

**СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ
РАДИОБИОЛОГИИ,
РАДИОЭКОЛОГИИ И
АГРОЭКОЛОГИИ**

**TOPIC ISSUES OF
RADIOBIOLOGY,
RADIOECOLOGY AND
AGROECOLOGY**



**МЕЖДУНАРОДНАЯ МОЛОДЕЖНАЯ
КОНФЕРЕНЦИЯ**

**INTERNATIONAL YOUTH
CONFERENCE**

**3-4 октября 2019
Обнинск**

**3-4 October 2019
Obninsk**

Сборник докладов

Conference proceedings

Международная молодежная конференция



**Современные проблемы радиобиологии,
радиоэкологии и агроэкологии**

**Topic issues of radiobiology, radioecology
and agroecology**

Обнинск, 3-4 октября 2019 г.

Russian Academy of Sciences
Ministry of Science and Higher Education of The Russian Federation
Russian Institute of Radiology and Agroecology

TOPIC ISSUES OF RADIOBIOLOGY, RADIOECOLOGY AND AGROECOLOGY

**Proceedings
of the International Youth Conference**

Obninsk, October 3-4, 2019

Obninsk
2019

Российская академия наук
Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Всероссийский научно-исследовательский институт
радиологии и агроэкологии»

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ РАДИОБИОЛОГИИ, РАДИОЭКОЛОГИИ И АГРОЭКОЛОГИИ

**Сборник докладов
Международной молодежной конференции**

Обнинск, 3-4 октября 2019 г.

Обнинск
2019

УДК 57.04
ББК 28.07
С 56

Редакционная коллегия:
О.А. Шубина, к.б.н. (*отв. ред.*),
Е.В. Гордиенко, О.А. Пронина, Р.А. Микаилова

С 56 **Современные проблемы радиобиологии, радиоэкологии и агроэкологии:** сборник докладов международной молодежной конференции, Обнинск, 3-4 октября 2019 г. Обнинск: ФГБНУ ВНИИРАЭ, 2019. – 342 с.: ил.

ISBN 978-5-903386-57-4

В сборнике представлены материалы молодежной конференции «Современные проблемы радиобиологии, радиоэкологии и агроэкологии» по следующим направлениям: радиационная биология, радиоэкология, агроэкология, техногенное и агрогенное загрязнение почв, ядерно-физические исследования и технологии в сельском хозяйстве и пищевой промышленности, математическое моделирование, цифровые технологии.

Ответственность за соблюдение законов об интеллектуальной собственности, достоверность приведенных сведений несут авторы публикуемых докладов. Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов материалов. При перепечатке ссылка на сборник докладов обязательна.

Topic Issues of Radiobiology, Radioecology and Agroecology: Proceedings of the International Youth Conference, Obninsk, October 3-4, 2019, 2019. Obninsk: RIRAE, 2019. – 342 p.

The collection contains materials from the youth conference “Modern Problems of Radiobiology, Radioecology and Agroecology” in the following areas: radiation biology, radioecology, agroecology, technogenic and agrogenic soil pollution, nuclear-physics investigation and technology in agriculture and food industry, mathematical modeling, digital technologies.

Authors of published material are responsible for compliance with intellectual property laws and reliability of the information provided. Editorial opinion may not coincide with the opinion of the authors of the publications. When reprinting, a reference to the Proceedings is obligatory.

УДК 57.04
ББК 28.07

ISBN 978-5-903386-57-4

© ФГБНУ ВНИИРАЭ, 2019
© Авторы, 2019

Содержание / Content

Секция РАДИАЦИОННАЯ БИОЛОГИЯ / RADIATION BIOLOGY	15
<i>Агаева А.В., Джафаров Э.С. / Aghayeva A.V., Jafarov E.S.</i>	
Некоторые биометрические параметры <i>Helianthus annuus</i> L, семена которого подверглись предпосевному γ -облучению в области малых доз / Some biometric parameters of <i>Helianthus annuus</i> L, which seeds were exposed to γ -radiation in the low-dose range before sowing	16
<i>Астахина С.О., Рассказова М.М. / Astakhina S.O., Rasskazova M.M.</i>	
Изменение содержания фотосинтетических пигментов у ячменя посевного <i>Hordeum sativum</i> после гамма-облучения / Change of the content of photosynthetic pigments in the barley <i>Hordeum sativum</i> after gamma radiation	19
<i>Бабина Д.Д., Горбатова И.В., Волкова П.Ю. / Babina D.D., Gorbatova I.V., Volkova P.Yu.</i>	
Анализ концентрации перекиси водорода в тканях растений, произрастающих в зоне отчуждения Чернобыльской АЭС / Analysis of hydrogen peroxide concentration in plants growing in the exclusion zone of the Chernobyl NPP	22
<i>Береговская Е.А., Чурикова Т.П., Абрамова О.Б., Тищенко В.К., Петруев В.М. / Beregovskaya E.A., Churikova T.P., Abramova O.B., Tishchenko V.K., Petriev V.M.</i>	
Изучение влияния ^{68}Ga на накопление и флуоресценцию Фоторана Е6 на модели экспериментальных лабораторных мышей C57Bl/6 с перевитой подкожно меланомой B16 / The study of the effects of ^{68}Ga on accumulation and fluorescence of photoran E6 on the model of experimental C57BL /6 laboratory mice with melanoma B16	24
<i>Битаршвили С.В., Пишенин И.А., Шестерикова Е.М., Волкова П.Ю. / Bitarishvili S. V., Pishenin I.A., Shesterikova E.M., Volkova P.Yu.</i>	
Содержание абсцизовой кислоты в популяциях травянистых растений, обитающих в условиях хронического радиационного воздействия / The abscisic acid content in herbaceous plant populations inhabited under chronic radiation exposure conditions	26
<i>Бондаренко Е.В., Бондаренко В.С., Волкова П.Ю. / Bondarenko E.V., Bondarenko V.S., Volkova P.Yu.</i>	
Оценка транскрипционной активности шести генов с дифференциальной экспрессией в гамма-облучённых зародышах ячменя на ранних стадиях онтогенеза / Evaluation of transcriptional activity of six genes with differential expression in gamma-irradiated barley at early stages of ontogenesis	29
<i>Бычкова Т.М., Никитенко О.В. / Bychkova T.M., Nikitenko O.V.</i>	
Сравнение цитогенетических эффектов в костном мозге мышей после облучения быстрыми нейтронами и гамма-квантами / Comparison of cytogenetic effects in the bone marrow of mice after fast neutrons and γ - rays irradiation	32
<i>Вагин К.Н. / Vagin K.N.</i>	
Способ получения препарата для профилактики или лечения радиационных поражений организма животных / The method of producing drug for the prevention or treatment of radiation injuries of animals	35
<i>Волкова П.Ю., Макаренко Е.С., Казакова Е.А., Битаршвили С.В., Лыченкова М.А., Подлуцкий М.С. / Volkova P.Yu., Makarenko E.S., Kazakova E.A., Bitarishvili S.V., Lychenkova M.A., Podlytskyi M.S.</i>	
Особенности метаболома проростков ячменя обыкновенного после гамма-облучения семян стимулирующими дозами ионизирующего излучения / analysis of barley seedlings' metabolome after stimulating gamma-irradiation of seeds	38
<i>Гайнутдинов Т.Р. / Gaynutdinov T.R.</i>	
Способ лечения животных при комбинированных радиационно-термических поражениях / Method for treating animals in combined radiation-thermal damages	40

<i>Гайнутдинов Т.Р., Низамов Р.Н., Конюхов Г.В., Тарасова Н.Б., Вагин К.Н., Василевский Н.М. / Gaynutdinov T.R., Nizamov R.N., Konyukhov G.V., Tarasova N.B., Vagin K.N., Vasilevsky N.M.</i>	
Разработка противорадиационного и противоожогового средства для лечения комбинированного радиационно-термического поражения организма / Development of anti-radiation and anti-burn agent for the treatment of combined radiation and thermal damage to the body	44
<i>Генералов Е.А. / Generalov E.</i>	
Влияние природных полисахаридов из <i>Helianthus tuberosus</i> L. на КОЕ-С при облучении / Effect of natural polysaccharide from <i>Helianthus tuberosus</i> L. on cfu-s during irradiation	47
<i>Горбатова И.В., Волкова П.Ю. / Gorbatova I.V., Volkova P. Yu.</i>	
Изучение экспрессии генов белков позднего эмбриогенеза в зародышах ячменя после воздействия ионизирующего излучения на семена / The study of gene expression of late embryogenesis abundant proteins in barley embryos after ionizing radiation exposure on seeds.....	49
<i>Гусева О.А., Цыгвинцев П.Н. / Guseva O.A., Tsygvintsev P.N.</i>	
Реакция фотосистемы II ячменя (<i>Hordenum vulgare</i> L.) на острое УФ облучение / Photosystem II reaction of barley (<i>Hordenum vulgare</i> L.) to acute uv irradiation	52
<i>Дюкина А.Р., Заичкина С.И., Розанова О.М., Сорокина С.С., Смирнова Е.Н., Шемяков А.Е., Поцелуева М.М., Наумов А.А., Минаев Н.В., Юсупов В.И. / Dyukina A.R., Zaichkina S.I., Rozanova O.M., Sorokina S.S., Smirnova E.N., Shemyakov A.E., Potselueva M.M., Naumov A.A., Yusupov V.I.</i>	
Фотодинамический эффект низкоинтенсивного фемтосекундного лазерного излучения с длиной волны 525 нм в цельной крови и костном мозге мышей <i>in vivo</i> / Photodynamic effect of low-intensity femtosecond laser radiation with a wave of 525 nm in a whole blood and in the bone marrow of mice <i>in vivo</i>	56
<i>Евстратова Е.С., Петин В.Г. / Evstratova E.S., Petin V.G.</i>	
Фенотипическое проявление генетической нестабильности дрожжевых клеток после действия, ионизирующего и неионизирующего излучений / Phenotypic manifestation of genetic instability of yeast cells after the action of ionizing and nonionizing radiations	60
<i>Казакова Е.А., Волкова П.Ю., Манухина Я.А. / Kazakova E.A., Volkova P.Yu., Manukhina Ya.A.</i>	
Активность ферментов антиоксидантной системы в хронически облучаемых популяциях травянистых растений / Activity of enzymes antioxidant system in chronic irradiated populations of herbal plants	63
<i>Колесникова И.А., Буденная Н.Н., Северюхин Ю.С., Ляхова К.Н., Утина Д.М. / Kolesnikova I.A., Budennaya N.N., Severyukhin Yu.S., Lyakhova K.N., Utina D.M.</i>	
Морфологическое обоснование противолучевого действия нейропептида «Семакс» / Morphological justification of opposite action of neuroreptid "Semax"	67
<i>Крыленкин Д.В., Морозова А.И., Васильева Н.А. / Krylenkin D.V., Morozova A.I., Vasilyeva N.A.</i>	
Определение содержания флавоноидов в облученных образцах посредством спектрофотометрического анализа / Flavonoids` content determination in irradiated samples via spectrophotometric analysis	70
<i>Лыченкова М.А., Макаренко Е.С., Гераськин С.А. / Lychenkova M.A., Makarenko E.S., Geras'kin S.A.</i>	
Оценка морфологических особенностей хвои у японской красной сосны на территориях, загрязненных в результате аварии на АЭС Фукусима / Estimate morphologic characteristics of needles in Japanese red pine from the areas contaminated as a result of the accident at the Fukushima Daiichi nuclear power plant	73
<i>Макаренко Е.С. / Makarenko E.S.</i>	
Изучение пыльцы второго поколения сосны обыкновенной из ближней зоны ЧАЭС / Study of scots pine pollen grains from the trees of the second generation from Chernobyl exclusion zone	76
<i>Минкенова К.С., Байгазинов Ж.А., Мамырбаева А.Н., Кенесарина А.О. / Minkanova K.S., Baigazinov Zh.A., Mamyrbayeva A.N., Kenessarina A.O.</i>	
Исследования генетических эффектов хронического облучения популяций растений, произрастающих в местах испытания боевых радиоактивных веществ / Research into genetic effects of chronic exposure of plant populations growing in venus of warfare radiological agents tests	78

<p>Низамов Р.Н., Ишмухаметов К.Т., Низамов Р.Н., Конюхов Г.В., Тарасова Н.Б., Василевский Н.М. / Nizamov R.N., Ishmukhametov K.T., Nizamov R.N., Konyukhov G.V., Tarasova N.B., Vasilevsky N.M.</p>	
<p>Модифицирующее действие ионизирующего излучения на культурально-морфологические свойства бактерий <i>E. coli</i> «ПЛ-6» и <i>B. bifidum</i> 1 / Modifying the action of ionizing radiation on cultural and morphological properties <i>E. coli</i> bacteria and <i>B. bifidum</i></p>	80
<p>Пишенин И.А., Битаршвили С.В., Волкова П.Ю. / Pishenin I.A., Bitarishvili S.V., Volkova P.Yu.</p>	
<p>Влияние хронического радиационного облучения на концентрации абсцизовой кислоты в растениях клевера ползучего / The effects of chronic radiation exposure on the concentration of abscisic acid in clover plants</p>	83
<p>Подобед М.Ю., Казакова Е.А., Волкова П.Ю. / Podobed M.Yu., Kazakova E.A., Volkova P.Yu.</p>	
<p>Оценка активности каталазы в клевере ползучем (<i>Trifolium repens</i> L.) и водосборе обыкновенном (<i>Aquilegia vulgaris</i> L.), произрастающих в условиях хронического облучения / Assessment of catalase activity in <i>Trifolium repens</i> L and <i>Aquilegia vulgaris</i> L. populations growing under conditions of chronic irradiation</p>	86
<p>Помясова М.Г., Башарина О.В., Артюхов В.Г. / Pomyasova M.G., Basharina O.V., Artyukhov V.G.</p>	
<p>Влияние УФ-света на процессы энергетического обмена в эритроцитах / The effect of UV light on the processes of energy metabolism in erythrocytes</p>	88
<p>Толкаева М.С. / Tolkaeva M.S.</p>	
<p>Радиобиологические и экологические аспекты синергического взаимодействия солей тяжёлых металлов с ионизирующим излучением / Radiobiological and ecological aspects of synergistic interaction of heavy metal salts with ionizing radiation</p>	90
<p>Филимонова А.Н. / Filimonova A.N.</p>	
<p>Новые данные об универсальности синергических взаимодействий химических препаратов с различными физическими факторами / Novel data on the universality of synergical interactions of chemical preparations with different physical factors</p>	93
<p>Хронина В.В., Удалова А.А., Макаренко Е.С. / Khronina V.V., Oudalova A.A., Makarenko E.S.</p>	
<p>Длина и масса хвои у второго послеаварийного поколения сосны обыкновенной из ближней зоны ЧАЭС / Length and mass of needles in the second generation of scots pine trees from 10-km exclusion zone of the ChNPP</p>	95
<p>Черкасова Е.Е., Лаврентьева Г.В., Протасова Л.А. / Cherkasova E.E., Lavrentyeva G.V., Protasova L.A.</p>	
<p>Влияние γ-облучения на смертность наземного моллюска <i>Fruticicola fruticum</i> / Effects of γ-radiation on mortality of the terrestrial mollusk <i>Fruticicola fruticum</i></p>	98
<p>Шаталова Р.О., Артамонова А.А., Балдов Д.А., Нгуен Тхань Гуан, Рассказова М.М., Мирзеабасов О.А., Сынзыныс Б.И. / Shatalova R.O., Artamonova A.A., Baldov D.A., Nguyen Thanh-Quan, Rasskazova M.M., Mirzeabasov O.A., Synzynys B.I.</p>	
<p>Экспериментальное обоснование метода биотестирования радиоактивного загрязнения водоемов с помощью ряски <i>Lemna minor</i> (L.) и <i>Spirodela polyrhiza</i> (L.) Schleid / Experimental verification of a method of biotesting of radioactive contamination of water bodies by means of duckweed <i>Lemna minor</i> and <i>Spirodela polyrhiza</i></p>	101
<p>Шестерикова Е.М., Казакова Е.А., Волкова П.Ю. / Shesterikova E.M., Kazakova E.A., Volkova P.Yu.</p>	
<p>Оценка активности антиоксидантного фермента каталазы в популяциях пастушьей сумки обыкновенной (<i>Capsella bursa-pastoris</i>), одуванчика лекарственного (<i>Taraxacum officinale</i>) и ежи сборной (<i>Dactylis glomerata</i>), произрастающих в условиях хронического радиационного воздействия / evaluation of the catalase activity in plant populations (<i>Capsella bursa-pastoris</i>, <i>Taraxacum officinale</i>, <i>Dactylis glomerata</i>) growing under conditions of chronic radiation exposure.....</p>	104
<p>Шималина Н.С. / Shimalina N.S.</p>	
<p>Адаптивный потенциал семенного потомства подорожника большого из зон радиоактивного и химического загрязнения / Adaptive potential of <i>Plantago major</i> seed progeny from the zones of radioactive and chemical contamination</p>	106
<p>Юнусов И.Р. / Yunusov I.R.</p>	
<p>Нейтрализующая способность апифитопрепаратов и неорганических соединений к радионуклидам / The neutralizing capacity of apiphytoproducts and inorganic compounds the radionuclides</p>	109

Секция РАДИОЭКОЛОГИЯ / RADIOECOLOGY	113
<i>Айдарханова А.К., Ларионова Н.В., Мамырбаева А.С., Светачева Ю.В., Кумисханова С.Б. / Aidarkhanova A., Larionova N., Mamyrbayeva A., Svetacheva Yu., Kumiskhanova S.</i>	
Современные уровни радионуклидного загрязнения природных озер территории Семипалатинского испытательного полигона / Current levels of radionuclide contamination of natural lakes at the territory of the Semipalatinsk test site	114
<i>Акатова А.А., Ефремова М.А., Родичева Т.В. / Akatova A.A., Efremova M.A., Rodicheva T.V.</i>	
Влияние физико-химических свойств песчаных почв Лужской возвышенности на распределение Cs-137 в почвенном профиле / the effect of physico-chemical properties of sandy soils of the Luga hill on the distribution Cs-137 in the soil profile	117
<i>Актаев М.Р., Ляхова О.Н., Айдарханов А.О., Кокежанов Б.А., Токтаганов Т.Ш. / Aktaev M.R., Lyakhova O.N., Aidarkhanov A.O., Kokezhanov B.A., Toktaganov T.Sh.</i>	
Мониторинг поверхностных и подземных вод на территории Семипалатинского испытательного полигона / Monitoring surface and underground waters in the territory of Semipalatinsky test site	120
<i>Андреева Н.В., Белова Н.В., Мезина М.В. / Andreeva N.V., Belova N.V. Mezina M.V.</i>	
Влияние комплексного удобрения СУПРОДИТ на накопление ¹³⁷ Cs в зерне яровой пшеницы / The influence of complex fertilizer SUPRODIT on ¹³⁷ Cs accumulation in spring wheat grain	123
<i>Гешель И.В., Сидорова Е.В. / Geshel I.V., Sidorova E.V.</i>	
Накопление ⁹⁰ Sr зеленой массой ячменя при внесении азотных удобрений / ⁹⁰ Sr accumulation in barley herbage from sod-podzolic soil with nitrogen fertilizer application	125
<i>Гордиенко Е.В. / Gordienko E.V.</i>	
Прогноз загрязнения ¹³⁷ Cs сельскохозяйственной продукции животноводства на территории Брянской области, подвергшейся воздействию аварии на ЧАЭС / Forecast of ¹³⁷ Cs contamination of agricultural animal products on the territory of the Bryansk region, affected due to the accident at the Chernobyl NPP	127
<i>Дворник А.А., Шамаль Н.В., Бачура Ю.М., Сеглин В.Н., Король Р.А. / Dvornik A., Shamal N., Bachura Y., Seglin V., Korol R.</i>	
Вертикальное распределение радионуклидов в лесных почвах, поврежденных пожарами / Vertical distribution of radionuclides in forest soils damaged by fire	131
<i>Епифанов А.О., Вакуловский С.М., Уваров А.Д., Ромашин Д.В., Тарасенко А.О. / Epifanov A.O., Vakulovsky S.M., Uvarov A.D., Romashin D.V., Tarasenko A.O.</i>	
Мониторинг радиоактивного загрязнения северных территорий в рамках Российско-Норвежской Программы сотрудничества / Monitoring of radioactive contamination of northern territories in the framework of Russian-Norwegian Cooperation Programm	134
<i>Жапашева Ж.Е., Айдарханова А.К. / Zhapasheva Zh.Ye., Aidarkhanova A.K.</i>	
Исследование форм нахождения радионуклидов в водных объектах площадки «Дегелен» методом каскадной фильтрации / Research of the radionuclides speciation in surface water of the «DEGELEN» test site using the cascade filtration method	138
<i>Зубачева А.А., Каткова М.Н., Тарасенко А.О., Шестерикова Е.М. / Zubacheva A.A., Katkova M.N., Tarasenko A.O., Shesterikova E.M.</i>	
Уровни содержания трития в поверхностной и питьевой воде города Обнинска и его окрестностей / Levels of tritium in surface and drinking water of the city of Obninsk and the surrounding area	140
<i>Карпов А.Д., Горбунов И.Ю., Калнин В.В., Радин А.И., Раздайвонин А.Н. / Karpov A.D., Gorbunov I.Yu., Kalnin V.V., Radin A.I., Razdayvodin A.N.</i>	
Изучение распределения Cs-137 по высотному профилю в коре модельного дерева сосны обыкновенной (<i>Pinus sylvestris</i> L.) / Study of the distribution of Cs-137 by the altitude profile in the bark of the model tree of scotch pine (<i>Pinus sylvestris</i> L.)	143
<i>Клеутина Е.А. / Kleutina E.A.</i>	
Влияние радиоактивного загрязнения на кадастровую стоимость почв земель сельскохозяйственного назначения Брянской области / The effect of radioactive contamination on the cadastral value of soils of agricultural lands of the Bryansk region	146

<i>Кречетников В.В., Шубина О.А., Титов И.Е. / Krechetnikov V.V., Shubina O.A., Titov I.E.</i>	
Современная радиационная обстановка в населенных пунктах, расположенных на загрязненных территориях 6-ти юго-западных районов Брянской области / Actual radiation situation in settlements located in the contaminated territories of 6 south-western districts of the Bryansk region	149
<i>Кривицкий П.Е., Ларионова Н.В, Айдарханов А.О, Умаров М.А, Мустафина Е.В. / Krivitskiy P.Ye., Larionova N.V., Aidarkhanov A.O., Umarov M.A., Mustafina Ye.V.</i>	
Особенности радиоактивного загрязнения почвенно-растительного покрова площадки «Сары-Узень» на Семипалатинском испытательном полигоне / Features of radioactive contamination in the land cover of 'Sary-Uzen' site at Semipalatinsk test site	151
<i>Кукарских В.В., Дэви Н.М., Шималина Н.С., Модоров М.В., Позолотина В.Н. \ Kukarskih V.V., Devi N.M., Shimalina N.S., Modorov M.V., Pozolotina V.N.</i>	
Реакция радиального прироста <i>Pinus sylvestris</i> на радиационное воздействие в зоне Восточно-Уральского радиоактивного следа / Response of <i>Pinus sylvestris</i> radial growth to radiation exposure in the East Ural radioactive trace zone	154
<i>Кундузбаева А.Е., Кабдыракова А.М., Бакирова Г.А., Паницкий А.В. / Kunduzbayeva A.Ye., Kabdyrakova A.M., Bakirova G.A., Panitskiy A.V.</i>	
Формы нахождения искусственных радионуклидов в почвах площадки испытания боевых радиоактивных веществ на Семипалатинском испытательном полигоне / Speciation of artificial radionuclides in soils of the testing site for warfare radioactive agents of Semipalatinsk test site	157
<i>Курбаков Д.Н., Панов А.В. / Kurbakov D.N., Panov A.V.</i>	
Мониторинг приземного атмосферного воздуха в регионе воздействия АЭС «Руппур» / Monitoring surface atmospheric air in the region of exposure of NPP "Ruppur"	161
<i>Кучук В.А., Калнин В.В., Радин А.И., Раздайводин А.Н. / Kuchuk V.A., Kalnin V.V., Radin A.I., Razdaivodin A.N.</i>	
Лесопатологические исследования в зонах радиоактивного загрязнения – новый методический подход / Forest pathological research in the zones of radioactive contamination – new methodological approach	166
<i>Микаилова Р.А., Нуштаева В.Э., Спиридонов С.И. / Mikailova R.A., Nushtaeva V.E., Spiridonov S.I.</i>	
Оценка доз облучения населения, проживающего в районе размещения Белоярской АЭС от естественного радиационного фона / Assessment of the radiation dose from the natural radiation background for the members of the public residing in the vicinity of Beloyarsk NPP	170
<i>Новикова Н.В., Кузнецов В.К., Белова Н.В., Андреева Н.В. / Novikova N.V., Kuznetsov V.K., Belova N.V., Andreeva N.V.</i>	
Оценка радиоэкологического состояния наземных экосистем в зоне строительства Курской АЭС-2 / Assesment of radioecological state of terrestrial ecosystems in the Kursk NPP-2 construction zone	172
<i>Нуштаева В.Э., Микаилова Р.А., Нуштаев С.Н., Карпенко Е.И., Спиридонов С.И. / Nushtaeva V.E., Mikailova R.A., Nushtaev S.N., Karpenko E.I., Spiridonov S.I.</i>	
Оценка воздействия атмосферных выбросов Белоярской АЭС на референтные организмы биоты / Assessment of radiation exposure to reference organisms from atmospheric releases of the Beloyarsk NPP	174
<i>Нуштаева В.Э., Нуштаев С.Н., Карпенко Е.И., Спиридонов С.И. / Nushtaeva V.E., Nushtaev S.N., Karpenko E.I., Spiridonov S.I.</i>	
Прогноз доз облучения биоты в результате газоаэрозольных выбросов и жидких сбросов Балтийской АЭС / The forecast of radiation doses to biota from atmospheric releases and liquid discharges of the Baltic NPP	176
<i>Олейник А.В., Зубачева А.А., Прякина А.И. / Oleynik A., Zubacheva A., Pryakina A.</i>	
Определение содержания ⁹⁰ Sr в атмосферном воздухе вблизи радиационно-опасных объектов / Determination of the contents of ⁹⁰ Sr in atmospheric air near radiation-hazardous objects	178
<i>Орлов П.М. Аканова Н.И. / Orlov P.M. Akanova N.I.</i>	
Радиационный режим почв земель сельскохозяйственного назначения Сибири / Radiation soil mode of agricultural lands of Siberia	182
<i>Подлущий М.С., Удалова А.А., Лаврентьева Г.В. / Podlutskiy M., Oudalova A., Lavrentyeva G.</i>	
Динамика уровней загрязнения почвы ⁹⁰ Sr в районе расположения регионального хранилища РАО / Dynamics of soil contamination levels with ⁹⁰ Sr nearby regional radioactive waste storage	188

<i>Пономаренко П.А., Фролова М.А. / Ponomarenko P.A., Frolova M.A.</i>	
О средней плотности потока космических нейтронов по земному шару / On the average density of the cosmic neutron flux around the Globe	192
<i>Рахматуллина Г.И. / Rakhmatullina G.I.</i>	
Радиоэкологический мониторинг на территориях РФ с различным уровнем радиоактивного загрязнения / Radio-ecological monitoring on the territories of the Russian Federation with different levels of radioactive contamination	194
<i>Сеглин В.Н., Храмченкова О.М. / Sehlin V.N., Khramchankova V.M.</i>	
Эпифитный лишайник <i>Hypogymnia physodes</i> как фактор аккумуляции и пирогенной транслокации ¹³⁷ Cs / Epiphytic lichen <i>Hypogymnia physodes</i> as a factor of accumulation and pyrogenic translocation ¹³⁷ Cs	196
<i>Середин Т.М., Солдатенко А.В., Баранова Е.В., Шумилина В.В., Кривенков Л.В., Агафонов А.Ф. / Seredin T.M., Soldatenko A.V., Baranova E.V., Shumilina V.V., Krivenkov L.V., Agafonov A.F.</i>	
Содержание радионуклидов в луке порее (<i>Allium porrum</i> L.) в условиях Московской области / Content of radionuclides in onions (<i>Allium porrum</i> L.) under conditions of the Moscow region	200
<i>Сержанова З.Б., Айдарханова А.К., Ляхова О.Н., Тимонова Л.В. /</i>	
Формы нахождения трития в почве как фактор оценки влияния радиоактивно-загрязненных участков на прилегающие территории / The speciation of tritium in the soil as a factor in the assessment of the impact of radioactively contaminated sites in the surrounding areas	202
<i>Смольский Е.В. / Smolsky E.V.</i>	
Вертикальное распределение ¹³⁷ Cs в аллювиальной почве в зависимости от агротехнических мероприятий / Vertical distribution ¹³⁷ Cs in the alluvial soil in dependence from agrotechnical actions	204
<i>Сопова Е.О., Кузнецов В.К. / Sopova E.O., Kuznetsov V.K.</i>	
Горизонтальная миграция ¹³⁷ Cs в эрозионных агроландшафтах юго-западных районов БРЯНСКОЙ области / ¹³⁷ Cs horizontal migration in erosion agrolandscapes of the south-western areas of the Bryansk region	207
Секция АГРОЭКОЛОГИЯ. ТЕХНОГЕННОЕ И АГРОГЕННОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПОЧВ / AGROECOLOGY. TECHNOGENIC AND AGROGENIC SOIL POLLUTION	211
<i>Абдулаббас А.Ю.А. / Abdulabbas A. U. A.</i>	
Источники и факторы нефтяного загрязнения почвы / Sources and factors of oil contamination of soil	212
<i>Афонин А.А., Ляпунова Е.Р., Комарова Л.Н. / Afonin A.A., Lyapunova E.R., Komarova L.N.</i>	
Закономерности действия кадмия и лития на дрожжевые клетки / Patterns of cadmium and lithium action on yeast cells	215
<i>Баланова О.Ю., Попова Г.И., Ратников А.Н. / Balanova O.Y., Popova G.I., Ratnikov A.N.</i>	
Влияние комплексного органо-минерального удобрения СУПРОДИТ-М на подвижность ¹³⁷ Cs в почве и накопление радионуклида в зерне гороха / Effect of complex organo-mineral fertiliser SUPRODIT-M on ¹³⁷ Cs mobility in soil and accumulation of radionuclide in pea grain	217
<i>Балкушкин Р.Н., Кулик А.К., Иванцова Е.А. / Balkushkin R.N., Kulik A.K., Ivantsova E.A.</i>	
Гумус почв Калачевско-Голубинского песчаного массива / Humus soil of Kalachevsko-Golubin sandy massif	220
<i>Бигаева А.В. / Bigaeva A.V.</i>	
К вопросу снабжения населения безопасным и качественным молоком в условиях нарастающего техногенного загрязнения окружающей среды / To the question of supply of the population with safe and quality milk in the conditions of the accruing technogenic environmental pollution	223
<i>Войтюк В.А., Кондратьева О.В., Слинко О.В., Федоров А.Д. / Voytyuk V.A., Kondratyeva O.V., Slinko O.V., Fedorov to A.D.</i>	
Агроэкология сельского хозяйства проблемы и перспективы развития / Agroecology of agriculture of a problem and prospect of development	226
<i>Дикарев А.В., Дикарев В.Г., Дикарева Н.С. / Dikarev A.V., Dikarev V.G., Dikareva N.S.</i>	
Исследование биохимических причин формирования устойчивости растений ярового ячменя к действию кадмия методом изоферментного анализа / The investigation of biochemical causes of spring barley plants tolerance to cadmium by the isoenzyme analysis method	228

<i>Ефимова Е.С., Пименов Е.П., Суслов А.А. / Yefimova Ye.S., Pimenov E.P., Suslov A.A.</i>	
Влияние органо-минерального комплекса ГЕОТОН и микробных препаратов на урожайность ярового ячменя и ферментативную активность дерново-подзолистой почвы Нечерноземья / Effect of the GEOTON, organic-mineral complex, and microbial preparations on the yield of spring barley and the enzyme activities of sod-podzolic soil of the Non-Black Earth region	230
<i>Лохматова А.А., Ефремова М.А., Пинаева А.С. / Lokhmatova A.A., Efremova M.A., Pinaeva A.S.</i>	
Влияние Zn на накопление Cd яровой пшеницей из дерново-подзолистой почвы / The effect of Zn on the accumulation of cd by spring wheat from sod-podzolic soil	233
<i>Мезина М.В., Андреева Н.В., Белова Н.В. / Mezina M.V., Andreeva N.V., Belova N.V.</i>	
Агроэкологическая оценка эффективности применения традиционных и новых удобрений на радиоактивно загрязненной торфяно-болотной почве / Agroecological assessment of the effectiveness of traditional and new fertilizers in the contaminated peat-bog soil	236
<i>Прущик А.В. / Prushchik A.V.</i>	
Поступление в почву биогенных веществ при дождевании / Receipt of boigenic substances into soil during sprinkling	239
<i>Саруханов А.В., Крыленкин Д.В. / Sarukhanov A.V., Krylenkin D.V.</i>	
Содержание мышьяка, свинца, ртути в сельскохозяйственной продукции в районе Балтийской АЭС / Content of arsenicum, plumbum and hydrargyrum in agriproduct in the vicinity of Baltic NPP	241
<i>Суслова О.В., Лой Н.Н., Суслов А.А. / Suslova O.V., Loy N.N., Suslov A.A.</i>	
Влияние ГЕОТОНА на ферментативную активность и пораженность болезнями проростков озимых зерновых культур / Influence of GEOTON on enzymative activity and immunity by diseases of winter seeds of winter grain crops	244
Секция ЯДЕРНО-ФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И ТЕХНОЛОГИИ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ И ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ / NUCLEAR-PHYSICS INVESTIGATIONS AND TECHNOLOGIES IN AGRICULTURE AND FOOD INDUSTRY	249
<i>Агданцева Е.Н., Вазиров Р.А., Соковнин С.Ю., Цмокалюк А.Н., Балезин Е.М. / Agdantseva E.N., Vazirov R.A., Sokovnin S.Y., Tsmokalyuk A.N., Balezin M.E.</i>	
ЭПР-спектроскопия при радиационной обработке пищевой продукции / EPR-spectroscopy in processing radiation of food products	250
<i>Бексултанов Ж.И., Данько И.В., Глущенко Н.В. / Beksultanov Zh.I., Danko I.V., Glushchenko N.V.</i>	
Перспективы применения радиационной обработки сельскохозяйственной продукции на базе ускорителя ИЛУ-10 / Prospects for application of radiation processing agricultural products based on the accelerator ILU-10	253
<i>Близнюк У.А., Борщеговская П.Ю., Ипатова В.С., Леонтьев В.А., Студеникин Ф.Р., Черняев А.П. / Bliznyuk U.A., Borchegovskaya P.U., Ipatova V.S., Leontyev V.A., Studenikin F.R., Chernyev A.P.</i>	
Радиационная обработка охлажденной форели низкоэнергетичными электронами / Low-energy accelerated electron treatment on chilled trout	254
<i>Вазиров Р.А., Соковнин С.Ю., Балезин М.Е. / Vazirov R.A., Sokovnin S.Y., Balezin M. E.</i>	
Радиационная поверхностная дезинфекция пищевой продукции наносекундным электронным пучком / Radiation surface disinfection of food products by nanosecond electron beams	257
<i>Горбатов С.А. / Gorbatov S.A.</i>	
Применение холодной плазмы в сельском хозяйстве / Application of cold plasma in agriculture	260
<i>Дорошкевич С.Ю., Воробьев М.С., Лой Н.Н., Коваль Н.Н., Санжарова Н.И., Сулакшин С.А. / Doroshkevich S.Yu., Vorobyov M.S., Loy N.N., Koval N.N., Sandjarova N.I., Sulakshin S.A.</i>	
Ускоритель электронов с выводом пучка большого сечения в атмосферу для обеззараживания и стимуляции роста сельхозпродукции / Electron accelerator with the output of a large section beam in the atmosphere for sterilization and stimulation of growth of agricultural products	262
<i>Ивахно В.В., Полякова Л.П., Мельникова Т.В., Баранова А.А., Рябухин О.В., Удалова А.А. / Ivakhno V.V., Polyakova L.P., Melnikova T.V., Baranova A.A., Ryabuhin O.V., Oudalova A.A.</i>	
Влияние электронного излучения на степень разложения изомеров ГХЦГ как компонентов увлажненного пестицидного препарата дуста гексахлорана / effect of electron irradiation on degradation degree of HCH-isomers as components of moisturized dust hexachlorane pesticide preparation	265

<i>Исемберлинова А.А., Нужных С.А., Чубик М.В., Покровская Е.А., Полосков А.В., Серебренников М.А., Егоров И.С., Ремнев Г.Е. / Isemberlina A.A., Nuzhnyh S.A., Chubic M.V., Pokrovskaya E.A., Poloskov A.V., Serebrennikov M.A., Egorov I.S., Remnev G.E.</i>	
Влияние импульсной рентгеновской обработки на грибные инфекции в семенах пшеницы / Influence of pulse X-ray treatment on fungi infections in wheat seeds	268
<i>Мелешко А.Ю., Мельникова Т.В., Баранова А.А., Рябухин О.В., Полякова Л.П., Удалова А.А. / Meleshko A.Yu., Melnikova T.V., Baranova A.A., Ryabuhin O.V., Polyakova L.P., Oudalova A.A.</i>	
Изучение радиационного разложения действующего вещества пестицидного препарата «Гексахлоран дуст» в аммиачно-буферном растворе / Study of radiation decomposition of the active substance in pesticide preparation «Hexachlorane dust» in ammonia-buffered solution	270
<i>Мищенко Е.В., Никитин А.Н., Сухарева Д.В. / Mishchenko E.V., Nikitin A.N., Sukhareva D.V.</i>	
Влияние предпосевного воздействия ЭМИ КВЧ на изменение солеустойчивости пшеницы яровой / Influence of presettime exposure to extremely high emf on change of salt resistance of spring wheat	273
<i>Морозова А.И., Крыленкин Д.В., Васильева Н.А. /</i>	
Влияние ионизирующего излучения на микробиологическую обсемененность и антиоксидантную активность какао-порошка / Effect of ionizing radiation on the microbiological contamination and antioxidant activity of cocoa powder	276
<i>Петрухина Д.И. / Petrukhina D.</i>	
Нетермальная плазма в контроле цианобактерий / Non-thermal plasma technology to cyanobacteria control	279
<i>Петрухина Д.И. / Petrukhina D.</i>	
Нормативное сопровождение применения ионизирующего излучения в АПК / Regulation of application of ionizing radiation in АПК	283
<i>Полякова И.В., Губина О.А., Фролова Н.А., Кобылко В.О. / Polyakova I.V., Gubina O.A., Frolova N.A. Kobylko V.O.</i>	
Исследование комбинированного действия ионизирующего излучения и бензоата натрия, на выживаемость дрожжей, выделенных из рыбных пресервов / The study of combined effect of ionizing radiation and sodium benzoate on survival of yeast, isolated from fish preserves	286
<i>Родионова Е.А., Пономаренко П.А., Фролова М.А. / Rodionova E.A., Ponomarenko P.A., Frolova M.A.</i>	
Об особенностях ядерного гидрирования алюминия / Features of nuclear hydrogenation of aluminum	289
<i>Семёнова А.А., Асланова М.А., Дыдыкин А.С., Деревицкая О.К., Боро А.Л., Новикова Л.Е. / Semenova A.A., Aslanova M.A., Didikin A.S., Derevitskaya O.K., Bero A.L., Novikova L.E.</i>	
Влияние ионизирующего излучения на безопасность мясного фарша / An effect of ionizing irradiation on minced meat safety	290
<i>Тхорик О.В. / Tkhорik O.V.</i>	
Развитие международных проектов по внедрению радиационных технологий в сельское хозяйство и пищевую промышленность / Development of international projects on the implementation of radiation technologies in agriculture and the food industry	294
<i>Фролова Н.А., Губина О.А., Полякова И.В., Кобылко В.О., Лауринавичюс К.С. / Frolova N.A., Gubina O.A., Polyakova I.V., Kobylko V.O., Laurinavicius K.S.</i>	
Влияние различных доз ионизирующего излучения на видовой состав микроорганизмов в охлажденном мясном фарше / The effect of various doses of ionizing radiation on the species diversity of microorganisms in a chilled minced meat	297
<i>Хорт Д.О., Кутырёв А.И., Филиппов Р.А., Пупин Д.С. / Khort D.O., Kutyrev A.I., Filippov R.A., Pupin D.S.</i>	
Особенности разработки автоматизированного аппарата для экологически безопасной стимуляции жизненных и ростовых процессов садовых культур / Features of the development of the automated apparatus for environmentally safe stimulate the life and growth processes of horticultural crops	300
<i>Чиж Т.В., Лой Н.Н. / Chizh T.V., Loy N.N.</i>	
Влияние гамма-излучения на сохранность клубней картофеля / The effect of gamma irradiation on storage life of potatoes	303

Секция МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ. ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ / MATHEMATICAL MODELING. DIGITAL TECHNOLOGY	307
<i>Basova M.A., Medzhidov I.M., Kurachenko Yu.A.</i> Anthropomorphic male phantom' dose estimation for apollo mission astronauts when crossing the earth radiation belts	308
<i>Батова А.С., Бугай А.Н., Душанов Э.Б., Аксёнова С.В. / Batova A. S., Bugay A. N., Dushanov E. B., Aksenova S. V.</i> Математическое моделирование влияния радиационно-индуцированных эффектов на формирование осцилляций в нейросети САЗ гиппокампа	311
<i>Денисова Э.Н., Снегирёв А.С., Шаповалов С.Г., Козьмин Г.И., Кураченко Ю.А. / Denisova E.N., Snegiryov A.S., Shapovalov S.G., Kozmin G.V., Kurachenko Yu.A.</i> Анализ последствий облучения щитовидной железы крупного рогатого скота / Consequences analysis of the cattle thyroid irradiation	312
<i>Коротовских О.И., Вазиров Р.А., Агданцева Е.Н. / Korotovskikh O.I., Vazirov R.A., Agdantseva E.N.</i> Математическое моделирование радиационно-индуцированного адаптивного ответа / Mathematical modeling of radiation-induced adaptation response	315
<i>Меджидов И.М., Басова М.А., Кураченко Ю.А. / Medzhidov I. M., Basova M.A., Kurachenko Yu. A.</i> Оценка дозовых нагрузок на астронавта миссии Apollo при пересечении радиационного пояса Земли / Doses estimation for the Apollo mission astronauts at crossing the Earth radiation belts.....	318
<i>Пухальский Я.В., Воробьев Н.И., Шапошников А.И., Якубовская А.И., Пирмагомедов Р.Я., Лактионов Ю.В., Лоскутов С.И. / Puhalsky Y.V., Vorobyov N.I., Shaposhnikov A.I., Yakubovskaya A.I., Pirmagomedov R.Y., Laktionov Y.V., Loskutov S.I.</i> Фрактальный анализ уровня организации корневых выделений растений гороха, используемых в технологиях фитомониторинга и фиторекультивации техногенно-нарушенных почв / Fractal analysis of the level organization of root exudates of pea used in technologies of phyto-monitoring and phyto-recultivation of technogenically disturbed soils	322
<i>Титов И.Е., Кречетников В.В., Карпенко Е.И., Соломатин В.М. / Titov I.E., Krechetnikov V.V., Karpenko E.I., Solomatin V.M.</i> Геоинформационная система радиозоологической обстановки в районе расположения АО «СХК» / Geoinformation system of radio-ecological situation in the area of JSC "SCC»	325
<i>Тьен В.В., Снегирев А.С. / Tien V.V., Snegirev A.S.</i> Моделирование транспорта радиоактивных частиц в пищеварительном тракте коров / Modeling of transport of radioactive particles in cows digestive tract	328
<i>Тьен В.В., Снегирев А.С. / Tien V.V., Snegirev A.S.</i> Моделирование транспорта радиоактивных частиц в пищеварительном тракте овец / Modeling of transport of radioactive particles in the digestive tract sheep	331
<i>Шаповалов С.Г., Козьмин Г.В. / Shapovalov S.G., Kozmin G.V.</i> Транспорт радиоактивных частиц в желудочно-кишечном тракте свиней / Rate of radioactive particle passage in pigs gastrointestinal tract	335
<i>Шестериков А.Ю. / Shesterikov A.Yu.</i> Радиозоологический мониторинг окружающей среды на основе применения концепции «Интернет вещей» / Radioecological monitoring of the environment by means the applying of the conception of «Internet of things»	338
<i>Шушко В.И. / Shishko V.I.</i> Использование беспилотных летательных аппаратов в сельском хозяйстве / The use of unmanned aerial vehicles in agriculture	340

Секция

РАДИАЦИОННАЯ БИОЛОГИЯ

RADIATION BIOLOGY



НЕКОТОРЫЕ БИОМЕТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ *HELIANTHUS ANNUUS L.*, СЕМЕНА КОТОРОГО ПОДВЕРГЛИСЬ ПРЕДПОСЕВНОМУ γ -ОБЛУЧЕНИЮ В ОБЛАСТИ МАЛЫХ ДОЗ

Агаева А.В., Джафаров Э.С.

Институт Радиационных Проблем Национальной Академии Наук Азербайджана,
AZ 1143 г. Баку, ул. Б. Вагабзаде, 9, Азербайджанская Республика
e-mail: asmat@inbox.ru

Определены биометрические показатели, такие как длина надземной части, число междоузлий, длина между 4 и 5 междоузлиями от земли, обхват ствола, площадь средней листовой поверхности, а также диаметр цветка в период цветения для подсолнечника (*Helianthus annuus L.*) сорта Лакомка, семена которого перед посевом подверглись γ -облучению в дозах от 1 до 20 Гр с шагом в 1 Гр. В биометрических показателях обнаружено определенное доза-зависимое изменение. Показано, что в области доз от 3 до 11 Гр наблюдается заметное увеличение основных биометрических параметров подсолнечника. Результаты позволили оценить диапазон доз, в котором наблюдается стимуляция развития растения на ранних этапах онтогенеза. В качестве стимулирующей дозы для роста и развития подсолнечника в данных почвенно-климатических условиях принят интервал доз 3-11 Гр.

Ключевые слова: предпосевное γ -облучение семян, подсолнечник, биометрические показатели, стимуляционный эффект

Как известно, предпосевное γ -облучение семян позволяет повысить экономическую эффективность возделывания сельскохозяйственных культур за счет ускорения развития растений, сокращения периода вегетации и увеличения урожая [4, 5, 10]. В изучении механизмов формирования биологических эффектов γ -облучения важным этапом является определение диапазона доз, стимулирующих развитие растений на ранних этапах онтогенеза. Эффект малых доз свидетельствует об активизации физиолого-генетических процессов [1]. Под влиянием малых доз ускоряется метаболизм и деление клеток [9], происходит дерепрессия генома, увеличивается проницаемость мембраны, снижается содержание гистонов, ускоряется реализация генетических программ развития [6-7].

Целью настоящей работы была оценка диапазона доз, при котором наблюдается стимуляция развития растений на ранних этапах онтогенеза, путем изучения некоторых биометрических показателей.

Материалы и методы

В качестве объекта исследования был выбран подсолнечник (*Helianthus Annuus L.*) сорта Лакомка урожая 2018 года. Облучение семян проводили на установке «РХУНД – 20000» с источником ^{60}Co в бумажных пакетах с площадью поверхности 20 см². В каждом пакете находилось по 20 семян, что гарантировало равномерное распределение дозы даже при облучении с низкой мощностью. Для исследования

зависимости доза-эффект был выбран широкий диапазон доз – от 1 до 20 Гр с шагом в 1 Гр (мощность дозы во всех случаях составляла 0,048 Гр/сек). Контролем служили растения из необлученных семян.

Влажность семян перед облучением определяли по ГОСТ 12041-82 [2].

В рекомендациях по предпосевному облучению предлагают высевать семена сразу после радиационного воздействия [3, 8]. Облученные и контрольные семена проращивали в термостате в чашках Петри, застеленных фильтровальной бумагой.

Проросшие семена посадили на опытном участке в одинаковых для всех доз почвенно-климатических условиях (рис. 1). Семена посадили в гнезда на глубину 3-5 см, с интервалом в 50 см в конце мая. Через месяц после посадки для оптимизации полива гнезда переделали в грядки.

Процедуру оценки параметров роста и развития растений проводили один раз в неделю до конца вегетации. Процедура оценки параметров роста и развития растений включала снятие биометрических показателей, а именно измерение надземной части растений, обхвата ствола, длины междоузлий, площади листовой поверхности (если учесть, что форма листа схожа с равносторонним треугольником, то площадь листовой поверхности измеряли по формуле $S=a*b/2$), а также отмечали увеличение диаметра цветка в период цветения. Так как на момент написания статьи вегетационный период не был завершен, в список биометрических показателей не была включена длина корня.

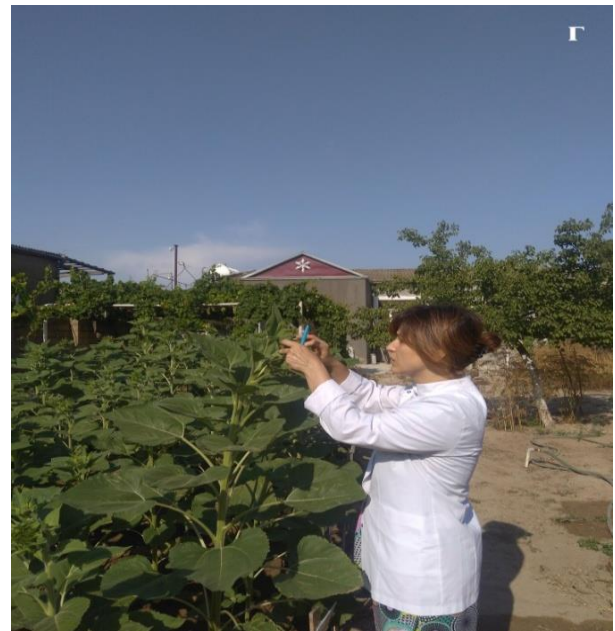


Рисунок 1 – Виды с полевого участка

Результаты и их обсуждение

Результаты измерений некоторых биометрических показателей приведены в таблице 1.

Из полученных результатов, прежде всего, обращает на себя внимание то, что существует определенное доза-зависимое изменение биометрических показателей подсолнечника. Интересным фактом является то, что интервалы дозы облучения для разных параметров не совпадают. Например, если при облучении семян в дозах от 3 до 11 Гр наблюдается тенденция увеличения таких параметров, как надземная часть растений, число междоузлий, длина междоузлиями и площадь листовой поверхности, то при этих дозах диаметр цветка характеризуется наименьшим

значением. Кроме того, интервал стимулирующей дозы облучения для параметра охвата ствола смещается в стороны больших доз, то есть в дозы 8-11 Гр. Другим интересным фактом является то, что в дозах облучения 3-11 Гр диаметр цветка мало отличается от диаметра контрольного образца. Для этого параметра область стимулирующей дозы впадает в область дозы 15-20 Гр.

Эти результаты позволили оценить диапазон доз, в котором наблюдается стимуляция развития растения на ранних этапах онтогенеза. В качестве стимулирующей дозы для роста и развития подсолнечника в данных почвенно-климатических условиях принят интервал доз 3-11 Гр.

Влияние предпосевного γ -облучения семян на биометрические показатели подсолнечника

Дозы облучения, Гр	Длина наземной части растения, см	Число междоузлий	Длина между 4 и 5 междоузлиями от земли, см	Обхват ствола, см	Площадь средней листовой поверхности, см ²	Диаметр цветка, см
Контроль	146	25	11	6,5	136	10
1	169	26	11	6	171	11
2	178	29	12	7	180	9,5
3	179	31	13	6,5	210	9,5
4	178	29	12	6	210	8,5
5	181	29	14	6	230	9
6	184	30	14	7	288	8
7	181,5	29	12	7,5	265	8
8	178	28	13	8,5	260	11
9	183,5	29	13	8	280	9
10	175	29	12	7,5	220	10
11	152	28	14	9	218	9,5
12	126	28	10	5	105	13
13	131	26	10	5	112	12
14	129	26	11	5,5	127	12
15	124	23	10	5	101	14
16	132	25	10	6	112	13
17	126	24	10	6	123	12,5
18	123	26	9	6,5	105	14
19	125	23	9	5,5	110	14
20	145	25	10	6	117	16

Список литературы

1. Гродзинський Д.М. Радіобіологія. К.: Либідь, 2000. 448 с.
2. ГОСТ 12041-82. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения влажности. Взамен ГОСТ 12041-66. Введ. 01.07.1983. Межгосударственный стандарт. 2004. 6 с.
3. Каушанский Д. А., Кузин А. М. Радиационно-биологические технологии. М.: Энергоатомиздат, 1984. 148 с.
4. Козьмин Г.В., Санжарова Н.И., Кибина И.И., Павлов А.Н., Тихонов В.Н. Радиационные технологии в сельском хозяйстве и пищевой промышленности // Достижения науки и техники АПК. 2015. №5. С. 87-92.
5. Кузин, А.М. Стимулирующее действие ионизирующего излучения на биологические процессы / А. М. Кузин. М.: Энергоиздат, 1977. 97 с.
6. Кузин А.М. Стимулирующее действие ионизирующего излучения на биологические процессы. М.: Атомиздат, 1977. 132 с.
7. Кузин А.М. Проблема малых доз и идеи гормезиса в радиобиологии // Радиобиология. 1991. Т. 31. Вып. 1. С. 16-21.
8. Левин, В.И. Агроэкологические аспекты предпосевной обработки семян сельскохозяйственных культур гамма-лучами: монография. М: ВНИИ «Агроэкоинформ», 2000. 221 с.
9. Тимофеев-Рессовский Н.В. Биофизическая интерпретация явления радиостимуляции растений // Биофизика. 1956. Т. 1. Вып. 7. С. 616-627.
10. Gressel J., Dodds J. Commentary: Hormesis can be used in enhancing plant productivity and health: but not as previously envisaged // Plant Science. 2013. V. 213. P. 123-127.

SOME BIOMETRIC PARAMETERS OF *HELIANTHUS ANNUUS* L., WHICH SEEDS WERE EXPOSED TO γ -RADIATION IN THE LOW-DOSE RANGE BEFORE SOWING

Aghayeva A.V., Jafarov E.S.

Institute of Radiation Problems of the National Academy of Sciences of Azerbaijan, AZ1143 9 B. Vahabzade str., Baku, Azerbaijan

Biometric indicators were determined, such as the length of the aerial part, the number of internodes, the length between 4 and 5 internodes from the ground, the trunk circumference, the area of the middle leaf surface, and the diameter of the flower during flowering for sunflower (*Helianthus annuus* L.) varieties Lakomka, whose seeds were subjected to γ -radiation before sowing in doses of 1 to 20 Gy in increments of 1 Gy. A specific dose-dependent change was detected in the biometrics. It is shown that in the dose range from 3 to 11 Gy, a noticeable increase in the main biometric parameters of sunflower is observed. The results made it possible to estimate the range of doses in which stimulation of plant development in the early stages of ontogenesis is observed. The dose interval of 3-11 Gy was accepted as a stimulating dose for the growth and development of sunflower in these soil and climatic conditions.

Keywords: *presowing γ -irradiation of seeds, sunflower, biometric parameters, stimulation effect*

УДК 577.346

ИЗМЕНЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИХ ПИГМЕНТОВ У ЯЧМЕНЯ ПОСЕВНОГО *HORDEUM SATIVUM* ПОСЛЕ ГАММА-ОБЛУЧЕНИЯ

Астахина С.О., Рассказова М.М.

*Обнинский институт атомной энергетики – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ»
249040 Калужская область, г. Обнинск, Студгородок, д.1, Российская Федерация
e-mail: astakhina@list.ru*

Растительный организм реагирует на гамма-излучение изменением профиля и количественного соотношения веществ, входящих в фотосинтетический аппарат клетки. Фотосинтез является одним из наиболее важных физиологических процессов растения, необходимым для образования органических веществ, поэтому при подавлении этого процесса происходит угнетение растения в целом. В проведенном исследовании выявлено увеличение содержания фотосинтетических пигментов (хлорофилла-а, хлорофилла-в, каротиноидов) у облученных семян ячменя посевного сорта Ладный при гамма-облучении в дозе 10 и 15 Гр при мощности дозы 58 Гр/ч.

Ключевые слова: *ячмень, семена, гамма-излучение, хлорофилл-а, хлорофилл-в, каротиноиды, фотосинтез*

Фотосинтетический аппарат растений – одна из наиболее чувствительных к абиотическому стрессу клеточных систем. Особый интерес в этой ситуации представляет роль фотосинтетических пигментов – компонентов фотосинтетических структур (фотосистем I и II и светособирающих комплексов) – хлорофилла-а, хлорофилла-в и каротиноидов. Несмотря на то, что физиологические и биохимические аспекты фотосинтеза и функционирования фотосистем подробно изучены, закономерности формирования устойчивости фотосинтетического аппарата к неблагоприятным внешним факторам и механизм действия физиолого-биохимических защитных реакций исследованы недостаточно. Так же необходимы дополнительные исследования для определения стимулирующих диапазонов доз и мощностей доз для каждой сельскохозяйственной культуры и сорта [3].

Целью работы являлся анализ изменения концентраций фотосинтетических пигментов у ячменя посевного *Hordeum sativum* после действия гамма-

излучения. Для эксперимента было выбран сорт Ладный. Облучение семян проводили на базе Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии» на установке «ГУР-120» с источником излучения ^{60}Co . Исследуемые дозы: 2 Гр, 5 Гр, 10 Гр, 15 Гр, 20 Гр, 25 Гр, 50 Гр с мощностью дозы 58 Гр/ч. После облучения семена проращивали в рулонных культурах по 30 семян в трех повторностях в термостате. На 5 день переносили под фитотампу. На 10 день проводили измерение количественного содержания фотосинтетических пигментов (хлорофилла-а, хлорофилла-в и каротиноидов) в ацетоновой вытяжке, путем пересчета оптической плотности, которую определяли на фотометре КФК-3-01.

На рисунке 1 показана зависимость содержания хлорофилла-а и хлорофилла-в (мг/г сырой массы) от дозы гамма-излучения на 10 сутки проращивания семян ячменя.

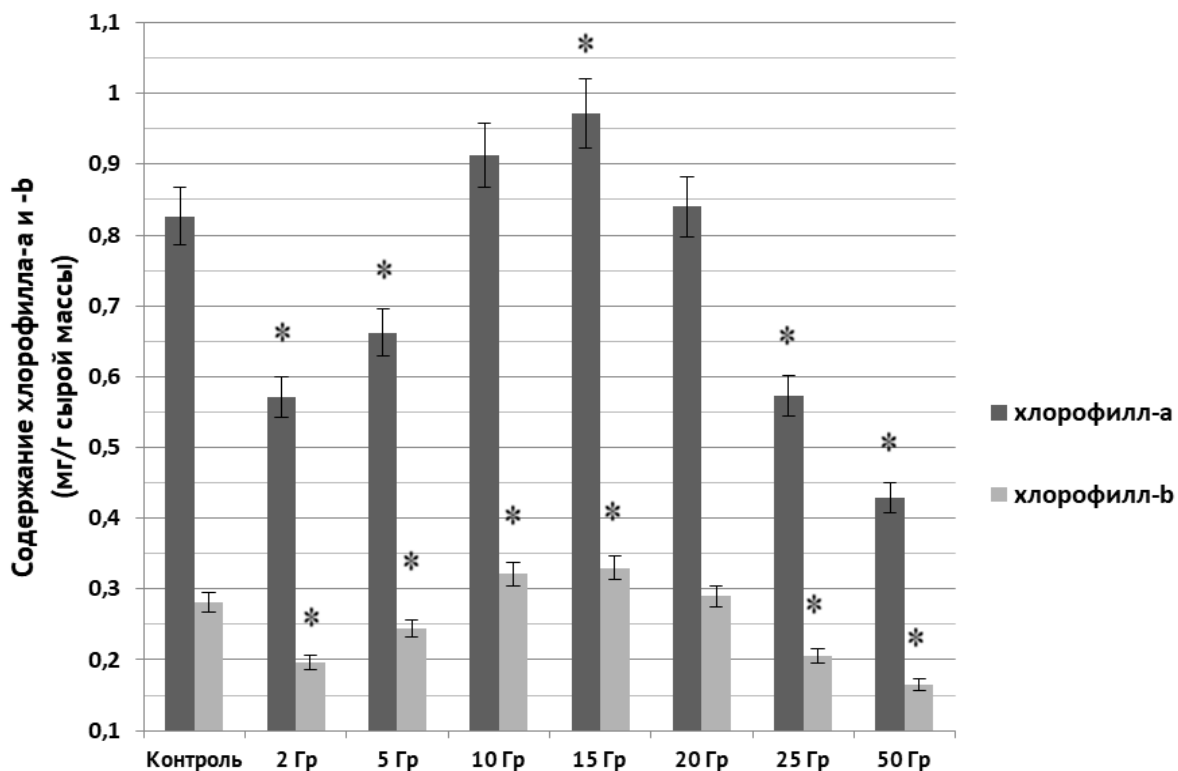


Рисунок 1 – Зависимость содержания хлорофилла-а и -в (мг/г сырой массы) от дозы гамма-излучения на 10 сутки проращивания

* – статистически значимое отличие от контроля при $p < 0,05$

По результатам исследования выявлено, что концентрация хлорофилла-а у пророщенных семян ячменя посевного сорта Ладный облучение в дозе 15 Гр повышает содержание хлорофилла-а, при облучении в дозах 10 Гр и 20 Гр не выявлены значимые отличия от контроля, остальные исследуемые дозы гамма-излучения ингибируют синтез хлорофилла-а. Известно, что стресс у растений вызывает существенные изменения в их пигментном комплексе, прежде всего значительно уменьшается содержание фотосинтезирующих пигментов в листьях. Полученные нами данные подтверждают хорошо известный тезис о том, что, как правило, адаптация к стрессовому фактору предполагает снижение содержания хлорофиллов, указывающее на начало перестройки пигментного комплекса [1].

Влияние гамма-излучения на процесс фотосинтеза также проявляется в виде изменения содержания хлорофилла-в, призванного утилизировать появляющийся избыток энергии в системе. Отмечены аналогичные результаты, что и по содержанию хлорофилла-а, однако, помимо гамма-облучения в дозе 15 Гр, стимулирующее действие оказывает облучение в дозе 10 Гр. У высших растений молекулы хлорофилла-а и -в входят в состав пигмент-белковых комплексов, поскольку в свободном виде, будучи

сильнейшими фотосенсибилизаторами, они могут вызвать разрушение мембран тилакоидов и стромы хлоропласта за счет фотодинамического эффекта [1]. Хлорофилл-в служит вспомогательным светособирающим пигментом, улавливая и передавая световую энергию в реакционные центры фотосистем. На его долю приходится примерно 15-25 % от общего содержания хлорофиллов. Поэтому снижение содержания хлорофилла-в под действием гамма-излучения оказывает отрицательное влияние на нормальную жизнеспособность растения в целом.

При абиотическом стрессе каротиноиды выполняют защитную функцию, так как обладают способностью замедлять развитие окислительного стресса [2]. По содержанию каротиноидов у пророщенных семян сорта Ладный выявлены аналогичные результаты как по хлорофиллу-в (рис. 2).

Механизм снижения содержания фотосинтетических пигментов связан с нарушением деятельности пигментно-белковых комплексов под действием избыточного накопления активных форм кислорода.

Таким образом, уменьшение содержания пигментов – это один из механизмов, который можно использовать для ранней диагностики состояния фотосинтетического аппарата.

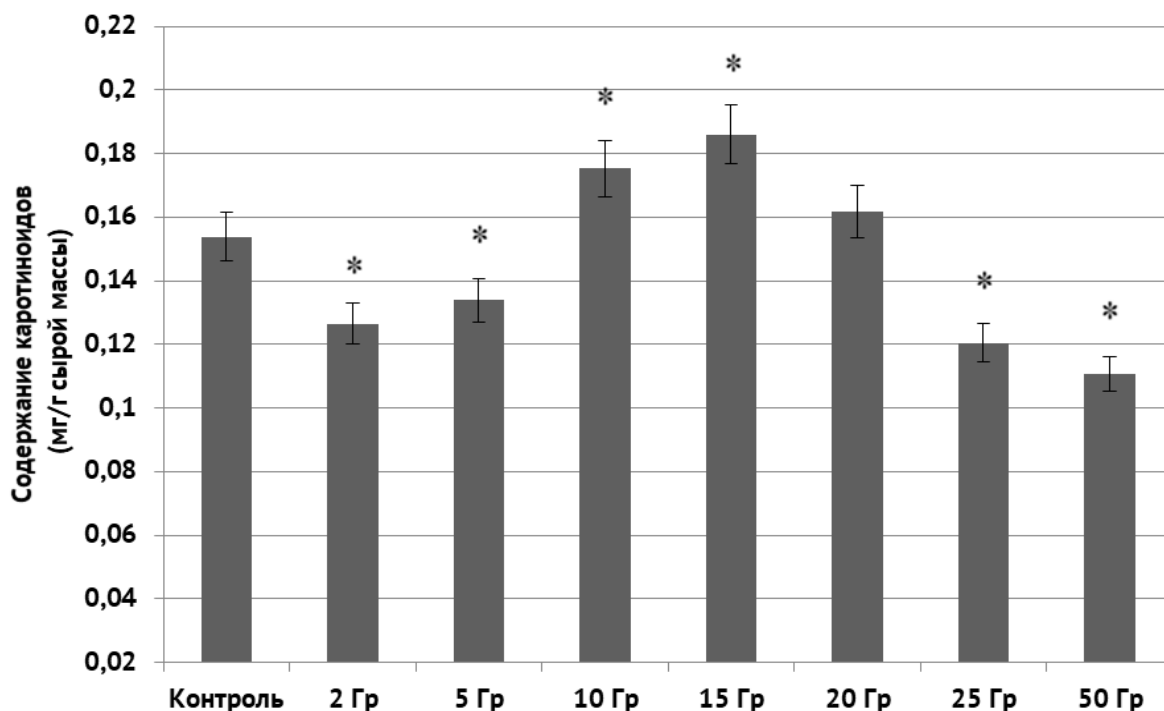


Рисунок 2 – Зависимость содержания каротиноидов (мг/г сырой массы) от дозы гамма-излучения на 10 сутки проращивания

* – статистически значимое отличие от контроля при $p < 0,05$

Список литературы

1. Аллахвердиева, С.И., Рубина, А.Б., Шувалова, В.А. Фотосинтез: открытые вопросы и что мы знаем сегодня: Учебник. М.: Ижевский ин-т компьютерных исследований, 2013. 825 с.

2. Смоликов, Г.Н., Ламан, Н.А., Борискевич, О.В. Роль хлорофиллов и каротиноидов в устойчивости

семян к абиотическим стрессорам // Физиология растений. 2011. Т.58. №6. С.817-825.

3. Чурюкин, Р.С., Гераськин, С.А. Влияние облучения (^{60}Co) семян ячменя на развитие растений на ранних этапах онтогенеза // Радиация и риск, 2013. Т.22. №3. С.80-92.

CHANGE OF THE CONTENT OF PHOTOSYNTHETIC PIGMENTS IN THE BARLEY HORDEUM SATIVUM AFTER GAMMA RADIATION

Astakhina S.O., Rasskazova M.M.

Obninsk Institute of Nuclear Power Engineering - branch of the National Research Nuclear University "MEPhI"
249040, Kaluga region, Obninsk, Studgorodok st, b. 1, Russian Federation

The plant organism reacts to gamma radiation by changing the profile and the quantitative ratio of substances included in the photosynthetic apparatus of the cell. Photosynthesis is one of the most important physiological processes of a plant necessary for formation of organic matters therefore at suppression of this process there is an oppression of a plant in general. In the conducted research increase in maintenance of photosynthetic pigments (a chlorophyll-a, a chlorophyll-b, carotinoids) at the irradiated seeds of barley cultivar Ladny is revealed at gamma irradiation in doses of 10 and 15 Gy at a dose rate of 58 Gy/h.

Keywords: *barley, seeds, gamma radiation, chlorophyll-a, chlorophyll-b, carotinoids, photosynthesis*

АНАЛИЗ КОНЦЕНТРАЦИИ ПЕРЕКИСИ ВОДОРОДА В ТКАНЯХ РАСТЕНИЙ, ПРОИЗРАСТАЮЩИХ В ЗОНЕ ОТЧУЖДЕНИЯ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС

Бабина Д.Д., Горбатова И.В., Волкова П.Ю.

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии»

249032 Калужская область, г. Обнинск, Киевское шоссе, 109 км, Российская Федерация

e-mail: babinadd@gmail.com

Проведен анализ концентрации перекиси водорода в тканях ежи сборной (*Dactylis glomerata*) и одуванчика лекарственного (*Taraxacum officinale*), произрастающих в условиях хронического облучения на территориях, загрязненных после аварии на Чернобыльской АЭС (ЧАЭС).

Ключевые слова: перекись водорода, *Taraxacum officinale*, *Dactylis glomerata*, хроническое облучение, адаптивные реакции

Около 95 % всего потребляемого кислорода в клетке восстанавливается в митохондриях до H_2O в процессе окислительного фосфорилирования. Остальные 5 % в результате различных реакций в электронных транспортных цепях хлоропластов и митохондрий превращаются в активные формы кислорода (АФК) [1]. Выделяют несколько типов АФК, наиболее значимых для растительной клетки: синглетный кислород (1O_2), перекись водорода (H_2O_2), супероксид анион радикал (супероксидадикал, O_2^-) и гидроксилрадикал (НО) [2].

Известно, что биотические и абиотические стрессы могут усиливать производство и накопление АФК в клетках [3]. Избыток АФК нарушает редокс-статус клетки и опосредует окислительный стресс, который приводит к нарушению функций клетки за счет окисления и дегградации мембранных липидов, белков, ДНК, а также к гибели клеток [1].

При радиационном воздействии образуются активные радикалы, а также высокорекреационноспособная перекись водорода, которые могут вступать в реакции практически со всеми органическими соединениями. Развитие пострадиационных свободнорадикальных цепных реакций можно рассматривать как важнейший механизм усиления поражающего действия радиации [4]. Однако клетки растений также могут использовать АФК в качестве вторичных посредников, передающих информацию о стрессовом воздействии в ядро клетки, взаимодействуя при этом с другими сигнальными системами, ведущими к изменению экспрессии генов, связанных с адаптивными реакциями в ответ на стрессовое воздействие [2].

Растения, испытывающие хроническое радиационное воздействие, вынуждены модулировать производство эндогенной перекиси водорода, чтобы сохранять редокс-гомеостаз в условиях постоянной генерации АФК в процессе радиолитиза внутриклеточной воды. Способность к стабилизации уровней перекиси водорода в условиях хронического стресса является одной из форм адаптивных реакций в ответ

на действие излучения. Для оценки концентрации АФК в тканях облученных растений был проведен анализ концентрации перекиси водорода, являющейся наиболее стабильной формой АФК (время жизни около 1 мс), вследствие чего она может диффундировать от места образования на значительные расстояния.

Материалы и методы

Для исследования были выбраны два вида растений, относящихся к разным семействам, различающихся по радиорезистентности:

– одуванчик лекарственный (*Taraxacum officinale*) – семейство Сложноцветные (*Asteraceae*), средняя радиорезистентность $LD_{50} \sim 100$ Гр [5];

– ежа сборная (*Dactylis glomerata*) – семейство Злаковые (*Gramineae*), радиочувствительны, LD_{50} у культурных сородичей ~ 30 Гр [5].

Пробоотбор каждого вида растений происходил на территории Полесского радиационно-экологического заповедника (ПГРЭЗ), находящемся в Гомельской области, Республики Беларусь. Заповедник был создан в районах, сильно загрязненных долгоживущими радионуклидами после аварии на ЧАЭС. Были выбраны 3 участка (Радин, Кулажин, Масаны) с разными уровнями радиоактивного загрязнения и 2 (Бабчин, Ломыш) контрольных участка. Данные по мощности потока α и β частиц, а также мощности амбиентной дозы представлены в таблице 1. Отбор растений происходил в одно и то же время суток. Образцы сразу погружали в сосуд Дьюара с жидким азотом, где они хранились до начала анализа.

Эксперименты по оценке концентрации перекиси водорода проводили методом флуориметрического анализа, на приборе Qubit Fluorometer 2.0 с Amplex™ Red Hydrogen Peroxide/Peroxidase Assay Kit (ThermoFisher Scientific, США), в соответствии с протоколом производителя.

Для оценки значимости различий между облученными и контрольными растениями использовали U-критерий Манна-Уитни. Данные представлены в

виде значений медианы и межквартильных размахов. Для проведения расчетов использовали программы Microsoft Office Excel 2013 и Statistica 6.0.

Таблица 1

Радиационный фон на территории ПГРЭЗ на исследуемых участках

Участок	Мощность амбиентной дозы (γ), мкЗв/ч	Плотность потока α -частиц (Φ_α), част./($\text{мин}\cdot\text{см}^2$)	Плотность потока β частиц (Φ_β), част./($\text{мин}\cdot\text{см}^2$)
Бабчин	0,33	1,18	1,16
Ломыш	0,24 - 0,28	2,45 - 5,6	0,3 - 1,4
Радин	3,89	8,6	8,4
Кулажин	5,16	67	39
Масаны	3,77	39	38,3

Результаты и обсуждение

Содержание перекиси водорода в исследуемых растениях представлено в таблице 2. Концентрация

H_2O_2 в тканях ежи сборной была выше, чем у одуванчика лекарственного, что, по-видимому, является видовым различием.

Таблица 2

Содержание перекиси водорода в исследуемых образцах

Растение	Участок	Содержание перекиси водорода, мкМ			U-критерий, для $p < 0,05$	
		Min.	Медиана	Max.	vs. Бабчин	vs. Ломыш
Одуванчик	Бабчин	4,88	7,21	12,28	-	0,806
	Ломыш	7,37	7,82	8,93	0,624	-
	Радин	9,14	9,58	9,33	0,806	0,347
	Кулажин	4,98	5,94	7,74	0,462	0,174
	Масаны	4,18	4,73	6,35	0,806	0,117
Ежа	Бабчин	26,19	31,05	33,45	-	0,465
	Ломыш	42,81	44,27	55,17	0,068	-
	Радин	59,83	89,64	113,99	0,347	0,100
	Кулажин	18,06	20,53	30,31	0,347	0,347
	Масаны	27,65	32,72	83,33	0,465	0,347

На двух участках (Кулажин и Масаны) с повышенным радиационным фоном наблюдается спад концентрации перекиси водорода, что может быть связано с более высокой активностью ферментов-антиоксидантов, способных восстанавливать или разлагать H_2O_2 . Это говорит о возможной адаптации изучаемых растений к хроническому радиационному воздействию, однако необходимо сопоставить данные по концентрации перекиси водорода с данными по активности ферментов антиоксидантной системы и содержанию водорастворимых антиоксидантов. Эта информация будет получена в следующих экспериментах.

Повышенное содержание перекиси водорода на участке Радин может указывать на повышение уровня АФК в ответ на абиотический стресс, однако необходимо провести сравнительный анализ концентрации различных радионуклидов в почвах

экспериментальных участков и исключить другие абиотические факторы, что будет выполнено в будущих экспериментах.

Список литературы

1. Møller I.M., Jensen P.E., Hansson A. Oxidative modifications to cellular components in plants // Annual Review of Plant Biology. 2007. V. 58. P. 459-481.
2. Полесская, О.Г. Растительная клетка и активные формы кислорода / О.Г. Полесская; под ред. И.П. Ермакова. М: КДУ. 2007. 140 с.
3. Bhattacharjee S. Reactive oxygen species and oxidative burst: roles in stress, senescence and signal transduction in plants // Current Science. 2005. V. 89. P. 1113-1121.

4. Цыб, А.Ф. Радиация и патология / А.Ф. Цыб, Р.С. Будагов, И.А. Замулаева; под общ. ред. А.Ф. Цыба. М.: Высш. шк., 2005. 341 с.

5. Сарапульцев Б.И, Гераськин С.А. Генетические основы радиорезистентности и эволюция. М.: Энергоатомиздат, 1993. 208 с.

ANALYSIS OF HYDROGEN PEROXIDE CONCENTRATION IN PLANTS GROWING IN THE EXCLUSION ZONE OF THE CHERNOBYL NPP

Babina D.D., Gorbatova I.V., Volkova P.Yu.

Russian Institute of Radiology and Agroecology, 249032 Kaluga region, Obninsk, Kievskoe shosse 109 km, Russian Federation

The concentration of hydrogen peroxide in tissues of *Dactylis glomerata* and *Taraxacum officinale* was analysed. The plant samples were taken in the area of chronic irradiation, excluded after the accident at the Chernobyl nuclear power plant.

Keywords: *hydrogen peroxide, Taraxacum officinale, Dactylis glomerata, chronic irradiation, adaptive reaction*

УДК 539.1.04

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ^{68}Ga НА НАКОПЛЕНИЕ И ФЛУОРЕСЦЕНЦИЮ ФОТОРАНА Е6 НА МОДЕЛИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ЛАБОРАТОРНЫХ МЫШЕЙ C57BL/6 С ПЕРЕВИТОЙ ПОДКОЖНО МЕЛАНОМОЙ В16

Береговская Е.А., Чурикова Т.П., Абрамова О.Б., Тищенко В.К., Петриев В.М.

*Медицинский радиологический научный центр им. А.Ф. Цыба – филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России
249036 Калужская область, г. Обнинск, ул. Королева, 4, Российская Федерация
e-mail: beregovskayekaterina@gmail.com*

Изучена фармакокинетика фотосенсибилизирующего препарата, основным действующим веществом которого является Хлорин Е6, в комплексе с радиоактивным и стабильным ^{68}Ga в органах и тканях лабораторных мышей C57BL/6. Установлено, что комплекс ^{68}Ga -Фоторан Е6 характеризуется более высоким уровнем накопления в коже, чем в меланоме В16 через час после в/в введения мышам C57BL/6. Выраженная положительная селективность наблюдалась между накоплением в мышцах и опухолевой ткани (в 2 раза).

Ключевые слова: *фотосенсибилизирующий препарат, ^{68}Ga , меланома, Фоторан Е6, лабораторные животные*

Разработка перспективных методов сочетанного применения Фоторана Е6 с ионизирующим излучением ^{68}Ga является актуальной проблемой радиологии, поскольку позволит визуализировать распространенность опухоли, что позволит точнее планировать фотодинамическую терапию (ФДТ) и увеличить глубину поражения опухолей. Изучена фармакокинетика фотосенсибилизирующего препарата, основным действующим веществом которого является Хлорин Е6, в комплексе с радиоактивным и стабильным ^{68}Ga в органах и тканях лабораторных мышей C57BL/6.

Целью исследования являлась сравнительная оценка фармакокинетики препаратов Фоторан Е6, комплекса ^{68}Ga -Фоторан Е6, препарата ^{68}Ga , и комплекса Ga-Фоторан Е6 со стабильным Ga на моделях экспериментальных мышей с перевитой подкожно в область бедра меланомой В16 для выявления влияния Ga на накопление и флуоресценцию Фоторана Е6 в органах и тканях.

Материалы и методы

Работа выполнена с соблюдением международных рекомендаций по проведению исследований с использованием лабораторных животных на 25 самках мышей C57BL/6. Фотосенсибилизатор вводили животным опытных групп внутривенно в дозе 5мг/кг.

Уровень содержания фотосенсибилизаторов оценивали по интенсивности флуоресценции в условных единицах (у. ед.) в органах и тканях с помощью спектрофлуоресцентного комплекса ЛЭСА-01-«Биоспек». Позитронный излучатель ^{68}Ga ($T_{1/2} = 68$ мин, $\beta^+ = 89\%$, $E^+ \beta \text{ max} = 1.9$ МэВ) использовался для получения комплекса с Фотораном Е6. Радионуклид ^{68}Ga получали путем элюирования 0.05 % -ным раствором соляной кислоты с хроматографической колонки, с адсорбентом которой жестко связан материнский радионуклид ^{68}Ge ($T_{1/2} = 270.95$ сут), распадающийся в ^{68}Ga ($T_{1/2} = 67.71$ мин). Синтез ^{68}Ga -Фоторан Е6 проводили при комнатной

температуре путем связывания радионуклидов с Фотораном Е6.

Через 60 минут по 5 животных в каждый срок подвергали эвтаназии путем декапитации для получения образца крови, с последующей аутопсией и забором внутренних органов и тканей. Образцы органов и тканей помещали в пластиковые пробирки, взвешивали и проводили радиометрию с помощью автоматического гаммасчетчика "Wizard" версии 2480. По данным радиометрии рассчитывали удельную активность изотопа ^{68}Ga в пробах на 1 г ткани в процентах от введенного количества по отношению к активности образцов-стандартов.

Результаты исследований

В течение 1 ч после внутривенного введения Фоторана Е6 отчетливо регистрировалось увеличение содержания препарата в опухоли с последующим снижением его концентрации, максимальный индекс контрастности был зафиксирован через 1 час и был равен 1,4. С учетом полученных данных, распределение накопления препаратов изучалось в период 45 -60 мин после внутривенного введения.

Анализ фармакокинетики комплекса радиоактивного ^{68}Ga -Фоторан Е6 демонстрирует, что наибольший уровень активности через 1 час после введения наблюдается в крови, легких и желудке. Комплекс ^{68}Ga -Фоторан в значительных количествах накапливается также в почках, печени, тонком кишечнике, сердце и костных тканях. Содержание препарата в коже за час вырастает более чем в два раза. Препарат быстро всасывается из крови в наиболее васкуляризированные органы и выведение активности происходит через мочевыделительную систему, в связи с чем повышенное содержание препарата наблюдается в почках, тонком кишечнике. Накопление в меланоме наблюдалось сравнимое с накоплением в коже. Но необходимо отметить очень большой статистический разброс данных.

Исследования фармакокинетики и биораспределения чистого фотосенсибилизатора Фоторан Е6 методом флуориметрии в органах и тканях *ex vivo*

показали, что ФС быстро распределяется по всем органам и тканям (печень, тонкий кишечник, почки). Накопление в тканях перевивной меланомы характеризуется более низким уровнем, чем в этих, обильно васкуляризированных органах, но значительно выше, чем в коже и в мышцах (в 2,4 раза). Эта селективность в отношении опухолевых тканей и является важным преимуществом Фоторана Е6 для проведения ФДТ.

Сравнение накопления чистого Фоторана Е6, комплекса с Ga и чистого радиоактивного Ga в органах и тканях мышей

В целом, все три препарата накапливаются и в коже, и в опухолевой ткани. Распределение чистого Фоторана Е6, характеризуется положительной селективностью к опухолевой ткани, а чистый радиоактивный галлий, наоборот, гораздо сильнее накапливается в коже, чем в меланоме, через час после в/в введения. Это объясняется слабой васкуляризацией опухолевых клеток меланомы В16 по сравнению с кожей. Что интересно, объединение галлия и фоторана в один комплекс и введение его в/в мышам, приводит к усреднению накопления – в коже комплекс накапливается меньше, чем чистый галлий (в 2 раза), но лучше, чем чистый фоторан (в 5,5 раз). И в опухолевых тканях – лучше чистого галлия (в 1,1 раза), но хуже фоторана (в 1,6 раза). Но, к сожалению, обратная селективность к данному виду опухоли, характерная для чистого галлия сохраняется и для комплекса галлий-фоторан: препарат накапливается в коже лучше, чем в опухолевых тканях.

Вывод

Проведенными исследованиями установлено, что комплекс ^{68}Ga -Фоторан Е6 характеризуется более высоким уровнем накопления в коже, чем в меланоме В16 через час после в/в введения мышам С57Bl/6. Выраженная положительная селективность наблюдалась между накоплением в мышцах и опухолевой ткани (в 2 раза).

THE STUDY OF THE EFFECTS OF ^{68}Ga ON ACCUMULATION AND FLUORESCENCE OF PHOTORAN E6 ON THE MODEL OF EXPERIMENTAL C57BL / 6 LABORATORY MICE WITH MELANOMA B16

Beregovskaya E.A., Churikova T.P., Abramova O.B., Tishchenko V.K., Petriev V.M.

*National Medical Research Radiological Center of the Ministry of Health of the Russian Federation
249036 Kaluga region, Obninsk, Korolev st., 4, Russian Federation*

The pharmacokinetics of a photosensitizing drug, the main active ingredient of which is Chlorin E6, in combination with a radioactive and stable ^{68}Ga in the organs and tissues of laboratory C57Bl / 6 mice, was studied. It was found that the ^{68}Ga -Photoran E6 complex is characterized by a higher level of accumulation in the skin than in B16 melanoma an hour after iv administration to C57Bl / 6 mice. Pronounced positive selectivity was observed between the accumulation in the muscles and tumor tissue (2 times).

УДК 577.346;577.175.1

СОДЕРЖАНИЕ АБСЦИЗОВОЙ КИСЛОТЫ В ПОПУЛЯЦИЯХ ТРАВЯНИСТЫХ РАСТЕНИЙ, ОБИТАЮЩИХ В УСЛОВИЯХ ХРОНИЧЕСКОГО РАДИАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Битаршвили С.В., Пишенин И.А., Шестерикова Е.М., Волкова П.Ю.

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии»
249032 Калужская область, г. Обнинск, Киевское шоссе, 109 км, Российская Федерация
e-mail: bitarishvili.s@gmail.com

Исследовано содержание абсцизовой кислоты (АБК) в растениях с разной радиочувствительностью, произрастающих на территории Гомельской области (Республика Беларусь), загрязнённой в результате аварии на ЧАЭС. Показано, что долговременное хроническое радиационное воздействие влияет на гормональную систему растений и приводит к повышению содержания АБК.

Ключевые слова: пастушья сумка обыкновенная, клевер ползучий, ежа сборная, водосбор обыкновенный, абсцизовая кислота, хроническое облучение, адаптация

Авария на Чернобыльской АЭС явилась беспрецедентной по масштабам радиоактивного загрязнения. Территории 30-км зоны аварии стала уникальной площадкой для изучения хронических эффектов облучения, а также механизмов адаптации природных популяций к хроническому радиационному воздействию.

С момента аварии прошло более 30 лет, с каждым годом уровни радиоактивности снижаются, однако природные популяции растений, обитающие на загрязнённых территориях, подвергаются хроническому стрессу, обусловленному повышенными уровнями радиации.

Формирование ответных реакций растений на стресс является комплексным процессом, затрагивающим изменения на всех уровнях организации. Важнейшую роль играет гормональная система, а именно АБК, известная как «гормон стресса», так как является основным регулятором ответных реакций на различные стрессовые воздействия [Wani et al., 2016]. При неблагоприятных условиях уровни АБК повышаются, что ведет к мобилизации адаптивных ресурсов растения [Tuteja, 2007], поэтому увеличение ее концентраций можно рассматривать как индикатор стрессового состояния растения.

Материалы и методы

В работе исследовали растения, принадлежащие к 4 семействам, с различной радиочувствительностью, произрастающих на радиоактивно загрязнённых территориях в 30-км зоне ЧАЭС. Информация о радиочувствительности растений основана на показателе ЛД50 [Сарапульцев, Гераськин, 1993]:

– пастушья сумка обыкновенная (*Capsella bursa-pastoris*) – семейство Крестоцветные (*Brassicaceae*), ЛД50 ~ 600 Гр;

– клевер ползучий (*Trifolium repens*) – семейство Бобовые (*Fabaceae*), ЛД50 ~ 250 Гр;

– ежа сборная (*Dactylis glomerata*) – семейство Злаковые (*Gramineae*), ЛД50 ~ 30 Гр;

– водосбор обыкновенный (*Aquilegia vulgaris*) – семейство Лютиковые (*Ranunculaceae*), ЛД50 ~ 20 Гр.

3 экспериментальных участка (Кулажин, Радин, Масаны) и 2 контрольных (Бабчин, Ломыш) находятся на территории Полесского радиационно-экологического заповедника (ПГЭРЗ) (Гомельская область, Республика Беларусь). Мощность AMBIENTной дозы и плотность потока (ПП) α- и β- частиц на участках была оценена с помощью дозиметра МКС-02са1 (табл. 1).

Для анализа содержания АБК на каждом участке отбирали зеленые части растений, которые сразу же замораживали в жидком азоте до проведения анализа. Для экстракции АБК навеску растительного материала массой 0,5 г гомогенизировали в жидком азоте. Гомогенат переносили в 2 пробирки объемом 1,5 мл. В каждую пробирку добавляли по 1 мл подкисленного (pH 3.5) 80 % метанола (HPLC Gradient Grade, T. J. Baker, Нидерланды), охлажденного до 4 °С. Для уменьшения окислительной деградации фитогормона во время экстракции использовали антиоксиданты: 100 мкл 0,1 % раствора динатриевой соли этилендиамина тетрауксусной кислоты и 100 мкл 0,1 % раствора 2-меркаптоэтанола. Пробирки с суспензией помещали в холодильник на мини-шейкер 3D типа «Sunflower» (Biosan, Латвия) на 30 минут. По истечении 30 минут суспензию центрифугировали 5 минут при 14 500 об/мин на мини-центрифуге MiniSpin (Eppendorf, Германия), надосадочную жидкость отделяли, осадок отбрасывали.

Для очистки экстракта проводили твердофазную экстракцию (неудерживающую) на приборе

VacMaster-20 (Biotage, Норвегия) с использованием SPE колонок Biotage – ISOLUTE C18 (1 мл).

Таблица 1

Мощность амбиентной дозы и ПП α - и β - частиц на экспериментальных участках

Участок	Вид растения	Мощность дозы (γ), мкЗв/ч	ПП β -частиц, Ф β , част/(мин*см ²)	ПП α -частиц, Ф α , част/(мин*см ²)
Ломыш (К)	клевер ползучий, ежа сборная, водосбор обыкновенный	0,28	0,3	2,45
Бабчин (К)	пастушья сумка обыкновенная, клевер ползучий, ежа сборная, водосбор обыкновенный	0,33	1,16	1,18
Кулажин 1	пастушья сумка обыкновенная, клевер ползучий	2,99	59,3	202,3
Кулажин 2	клевер ползучий	2,78	18,0	30,7
Кулажин 3	ежа сборная	5,16	39,0	67
Кулажин 4	водосбор обыкновенный	6,20	22	52,3
Радин 1	пастушья сумка обыкновенная	3,89	8,4	8,6
Радин 2	клевер ползучий, ежа сборная	3,89	8,4	8,6
Радин 3	водосбор обыкновенный	5,27	8,0	22,3
Масаны	клевер ползучий, ежа сборная, водосбор обыкновенный	3,77	38,3	39,0

Качественный и количественный анализ экстрактов осуществлялся на высокоэффективном жидкостном хроматографе Shimadzu LC-30 Nexera (Япония) с диодно-матричным детектором SPD-M20A (Shimadzu). Для разделения смеси веществ использовали аналитическую колонку с обращенной фазой C18 (Shim-pack XR-ODSII, 2 мкм, диаметр 3.0 мм, длина 100 мм, Shimadzu).

Анализ проводили в трех повторностях, каждую повторность анализировали дважды для устранения инструментальных ошибок.

Экспериментальные данные анализировали, используя непараметрическую статистику с помощью программ Microsoft Office Excel 2003 и STATISTICA 6.0. Статистическую значимость отличий оценивали с помощью U-критерия Манна-Уитни.

Результаты и обсуждение

Обнаружено статистически значимое увеличение содержания АБК в растениях пастушья сумка, клевера и ежи на всех исследованных загрязненных участках по сравнению с контрольным участком Бабчин. При сравнении со вторым контролем (Ломыш) значимые отличия обнаружены лишь на некоторых участках у наиболее радиочувствительных видов. Интересно отметить, что концентрации АБК в 3 видах анализируемых растений на контрольных участках значимо отличаются между собой, несмотря на примерно равные уровни радиоактивного загрязнения.

Накопление АБК растениями на участке Ломыш говорит в пользу неблагоприятных условий для их жизнедеятельности и, возможно, опосредовано действием факторов неионизирующей природы. Обоснованные выводы будут сделаны после результатов комплексного анализа почвы с участка.

Содержание АБК в растениях пастушья сумка зависели от показателей плотности потока α - и β - частиц на участках ($r^2 = 0,66$, $p < 0,05$ %; $r^2 = 0,70$, $p < 0,05$ % соответственно), однако для более радиочувствительных растений такой зависимости не было обнаружено.

Растения, обитающие на загрязненных территориях, вынуждены адаптироваться к повышенным уровням радиации, переключая активность своих клеток на стрессовые программы. Изменения затрагивают важнейшие функциональные и регуляторные системы.

Результаты нашего исследования продемонстрировали, что на загрязненных участках у растений, обладающих различной радиочувствительностью, обнаружены повышенные концентрации АБК.

В неблагоприятных условиях АБК индуцирует экспрессию генов различных шоковых белков, задействованных в защите целостности клеточных структур от повреждений, вызываемых стрессовыми факторами [Шакирова, 2001]. Таким образом, увеличение содержания АБК является одним из механизмов адаптации растений к хроническому радиационному воздействию.

Концентрации АБК в исследуемых растениях.
В таблице приведены медианы, первые (25 %) и третьи (75 %) квартили

Растение	Показатель	Участок				
		Ломыш	Бабчин	Кулажин	Радин	Масаны
пастушья сумка обыкновенная	25 %	1,24	0,20	1,54	0,21	н/д
	медиана	†1,46	*0,33	†1,72	0,55	
	75 %	2,07	0,58	3,97	4,73	
клевер ползучий	25 %	2,57	0,70	1,74	4,77	3,51
	медиана	†4,26	*0,72	*†1,87	†5,32	†3,63
	75 %	4,88	0,82	2,25	5,60	4,69
ежа сборная	25 %	2,34	0,46	2,86	12,40	4,01
	медиана	†3,40	*†0,50	†3,4	*†12,50	†4,95
	75 %	6,99	0,74	4,95	12,64	22,64
водосбор обыкновенный	25 %	0,76	1,02	0,59	1,64	0,68
	медиана	0,88	1,08	0,72	*1,82	0,73
	75 %	1,45	1,47	0,78	1,88	0,76

Примечание: Различия значимы по сравнению с контролями: * - участок Ломыш, $p < 5\%$; † - участок Бабчин, $p < 5\%$. н/д – нет данных

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (№ 18-34-20012).

Список литературы

1. Wani S.H., Kumar V., Shriram V., Sah S.K. Phytohormones and their metabolic engineering for abiotic stress tolerance in crop plants // Crop J. 2016. V. 4. PP. 162–176.

2. Tuteja, N. Abscisic acid and abiotic stress signaling // Plant Signal. Behav. 2007. V. 2. PP. 135–138.

3. Сарапульцев Б.И., Гераськин С.А. Генетические основы радиорезистентности и эволюция. М.: Энергоатом издат, 1993. 208 с.

4. Шакирова, Ф.М. Неспецифическая устойчивость растений к стрессовым факторам и ее регуляция. Уфа: Гилем, 2001. 160 с

THE ABSCISIC ACID CONTENT IN HERBACEOUS PLANT POPULATIONS INHABITED UNDER CHRONIC RADIATION EXPOSURE CONDITIONS

Bitarishvili S. V., Pishenin I.A., Shesterikova E.M., Volkova P.Yu.

Russian Institute of Radiology and Agroecology, 249032 Kaluga region, Obninsk, Kievskoe shosse 109 km, Russian Federation

The content of abscisic acid was studied in plants with different radiosensitivity growing in the Gomel region (Republic of Belarus), that were contaminated as the result of the Chernobyl accident. It was shown that long-term chronic radiation exposure affects the hormonal system of plants and leads to an increase in the ABA content.

Keywords: *Capsella bursa-pastoris, Trifolium repens, Dactylis glomerata, Aquilegia vulgaris, abscisic acid, chronic radiation exposure, adaptation*

ОЦЕНКА ТРАНСКРИПЦИОННОЙ АКТИВНОСТИ ШЕСТИ ГЕНОВ С ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ЭКСПРЕССИЕЙ В ГАММА-ОБЛУЧЁННЫХ ЗАРОДЫШАХ ЯЧМЕНЯ НА РАННИХ СТАДИЯХ ОНТОГЕНЕЗА

Бондаренко Е.В., Бондаренко В.С., Волкова П.Ю.

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии»
249032 Калужская область, г. Обнинск, Киевское шоссе, 109 км, Российская Федерация
e-mail: bev_1408@mail.ru

Изучена транскрипционная активность шести генов, продукты которых, предположительно, вносят свой вклад в стимуляцию развития зародышей ячменя после γ -облучения в низких дозах, благодаря участию в регуляции антиоксидантной системы, активности митохондрий и хлоропластов, функционировании цитоскелета. Полученные результаты подтверждают релевантность ранее проведённого транскриптомного анализа зародышей ячменя на разных стадиях прорастания семян. Выявленные паттерны экспрессии согласуются с известными функциями исследованных генов.

Ключевые слова: гамма-облучение в низких дозах, стимулирующий эффект, экспрессия генов, ПЦР в реальном времени, ячмень

Известно, что после γ -облучения в низких дозах семян сельскохозяйственных растений наблюдается стимуляция их прорастания и развития, проявляющаяся в ускорении биохимических процессов, увеличении длины корешка и побега, интенсификации процессов дыхания и фотосинтеза [1-3], что, при сохранении растением преимуществ, полученного на раннем этапе онтогенеза, в конечном счёте ведет к улучшению качественных и количественных характеристик урожая. Таким образом, разумно предположить, что стимуляция роста облучением в низких дозах индуцирует экспрессию генов, связанных с синтезом фитогормонов, белков-регуляторов антиоксидантной системы, активности митохондрий и хлоропластов, белков эмбриогенеза, компонентов клеточных мембран и др. Высокие дозы γ -облучения (для ячменя, например, это дозы 50 – 100 Гр), напротив, угнетают развитие растений на ранних этапах онтогенеза, приводя к снижению концентраций ауксинов, возникновению мутаций и торможению роста [1-3].

Для выяснения молекулярных основ стимуляции роста проростков ячменя после γ -облучения семян в низкой дозе был проведен транскриптомный анализ зародышей ячменя на разных стадиях прорастания семян и выявлены дифференциально экспрессирующиеся гены [4]. Цель данной работы заключалась в оценке транскрипционной активности шести генов с дифференциальной экспрессией в зародышах ячменя через 2, 24 и 48 ч после их γ -облучения в дозе 15 Гр.

В качестве объекта исследования использовали семена ячменя сорта Нур первой репродукции урожая 2017 г., которые облучали на γ -установке «ГУР-120» (источник ^{60}Co) в ФГБНУ ВНИИРАЭ в дозе 15 Гр с мощностью дозы 60 Гр/ч. Сразу после облучения семена проращивали на чашках Петри в термостате

Sanyo при $t=20$ °С. Контролем служили необлучённые семена ячменя, пророщенные в тех же условиях. Для сравнения эффектов часть семян была подвергнута γ -облучению в высокой дозе – 100 Гр.

РНК выделяли через 2, 24 и 48 ч после замачивания из зародышей необлучённых семян и семян, облучённых в дозе 15 Гр, и через 24 ч из семян, облучённых в ингибирующей дозе 100 Гр. Выделенные зародыши семян (три биологические репликации по 10 зародышей в каждой) помещали в жидкий азот. РНК выделяли при помощи набора для выделения и очистки тотальной РНК GeneJET Plant RNA Purification Mini Kit (Thermo Scientific). Полученные образцы РНК обработали ДНКазой и использовали для синтеза кДНК с использованием RevertAid First Strand cDNA Synthesis Kit (Thermo Scientific).

Транскрипционную активность шести генов, выявленных в результате транскриптомного анализа и представленных в таблице 1, изучали при помощи ПЦР в реальном времени (Real-Time PCR).

Праймеры были разработаны с использованием программного обеспечения Primer BLAST [6]. Последовательность праймеров представлена в таблице 2.

Образцы кДНК разводили 1:10 с помощью бидистиллированной воды (ddH_2O) и использовали в качестве матрицы для ПЦР. Полимеразную цепную реакцию проводили в объеме 20 мкл: 4 мкл кДНК, по 2 мкл прямого и обратного праймеров (10 мкМ), 10 мкл 2x Master Mix (PowerUp™ SYBR® Green Master Mix, Thermo Scientific), 4 мкл ddH_2O . Амплификация с использованием прибора ДТ-96 (ДНК-Технология) проводилась в следующих условиях: 2 мин при 50 °С, 2 мин при 95 °С и затем 60 циклов по 15 с при 95 °С и 60 с при 60 °С. Ген актина был использован в качестве референтного гена

Список исследуемых генов

Ген, Ensembl ID	UNIPROT ID	Кратко	Краткое описание
HORVU5Hr1G109300.4	FDFT_NICBE	F	Скваленсинтаза 1
HORVU3Hr1G016350.5	YIE2_SCHPO	Y	SH3 домен-содержащий белок PJ696.02
HORVU5Hr1G103430.2	GSTU1_ORYSJ	G	Вероятная глутатион-S-трансфераза
HORVU1Hr1G018930.2	MTEFH_ARATH	M	Митохондриальный фактор терминации транскрипции MTEF18
HORVU5Hr1G119520.1	PSKR2_ARATH	P	Фитосульфокиновый рецептор 2
HORVU6Hr1G053540.11	NAC8_ARATH	N	Супрессор гамма-ответа 1

Таблица 2

Последовательность олигонуклеотидов, использованных для ПЦР в реальном времени

Ген	Прямой праймер	Обратный праймер
F	CAAAGTCACCAGCCGACCAG	GTGGCCGTGGTATTTATGCG
Y	GCGTCTCATTCTTGGGGTCA	CCATTCTGGTGGTTCTGCCT
G	TCCCGCACCCCTATAAATCC	CTTGGCTGGTTTGGATCTCG
M	CATTGGGGTTCAGCCAGACT	TCTGGATGTTTCCTCACCGC
P	CTCACAATCACTTGGTGGGG	CTGCAAGCACCCGTTGATATTC
N	GCAGGGGTTTTTGGGGTTTC	GAAGGAACGGGGACCTGTG

Условные единицы, отражающие относительную концентрацию транскриптов исследуемых генов, получены по формуле $2^{-\Delta Ct}$, где Ct – пороговый цикл; $\Delta Ct = Ct_{\text{исследуемого гена}} - Ct_{\text{актина}}$, с учетом средней трёх биологических репликаций.

Полученные результаты наглядно представлены на рисунке 1.

Изнучена транскрипционная активность шести генов, продукты которых, предположительно, вносят свой вклад в стимуляцию развития зародышей ячменя после γ -облучения в низких дозах:

ген F (HORVU5Hr1G109300.4/FDFT_NICBE) кодирует скваленсинтазу – интегральный белок мембран эндоплазматической сети; фермент, участвующий в биосинтезе изопреноидов и в синтезе сквалена (три-терпен из группы каротиноидов, участвующий в обмене веществ);

ген Y (HORVU3Hr1G016350.5/YIE2_SCHPO) кодирует белок, избирательно и нековалентно взаимодействующий с F-актином, с фосфатидилинозитолом и его фосфорилированными производными; вовлечён в такие биологические процессы как: сборка пучков актина, эндоцитоз, биогенез клеточных компонентов;

продукт гена G (HORVU5Hr1G103430.2/GSTU1_ORYSJ) – глутатион-S-трансфераза – участвует в метаболизме глутатиона, являющегося одним из основных компонентов антиоксидантной системы и участвующего в восстановлении перекиси водорода и окисленного аскорбата;

ген M (HORVU1Hr1G018930.2/MTEFH_ARATH) кодирует фактор терминации транскрипции,

участвующий в регуляции экспрессии митохондриальных генов; необходим для нормального роста и развития растений;

ген P (HORVU5Hr1G119520.1/PSKR2_ARATH) кодирует фитосульфокиновый рецептор с серин/треонин-протеинкиназной активностью, локализованный в хлоропластах и плазматической мембране;

ген N (HORVU6Hr1G053540.11/NAC8_ARATH) кодирует транскрипционный фактор, регулирующий активацию транскрипции в ответ на гамма-излучение; необходим для УФ- или γ -индуцируемой гибели стволовых клеток; вовлечён в систему ответа на повреждение ДНК, которая регулирует арест клеточного цикла; участвует в регуляции репарации ДНК и передаче сигналов цитокининов по отдельности и играет ключевую роль в контроле образования боковых корней при генотоксическом стрессе.

В необлучённых образцах и в образцах после γ -облучения в стимулирующей дозе транскрипционная активность всех исследованных генов снижается с увеличением времени экспозиции на чашках Петри (самый высокий уровень экспрессии отмечается в точке 2 часа). Экспрессия всех генов, кроме гена N, через 2 часа после γ -облучения в дозе 15 Гр выше, чем в контроле. Через 48 часов после облучения транскрипционная активность всех исследованных генов находится на уровне контрольных значений.

Транскрипционная активность гена N в точке 2 часа сопоставима со значением контрольных образцов в этой же временной точке, что может свидетельствовать об отсутствии влияния γ -облучения на активность этого гена.

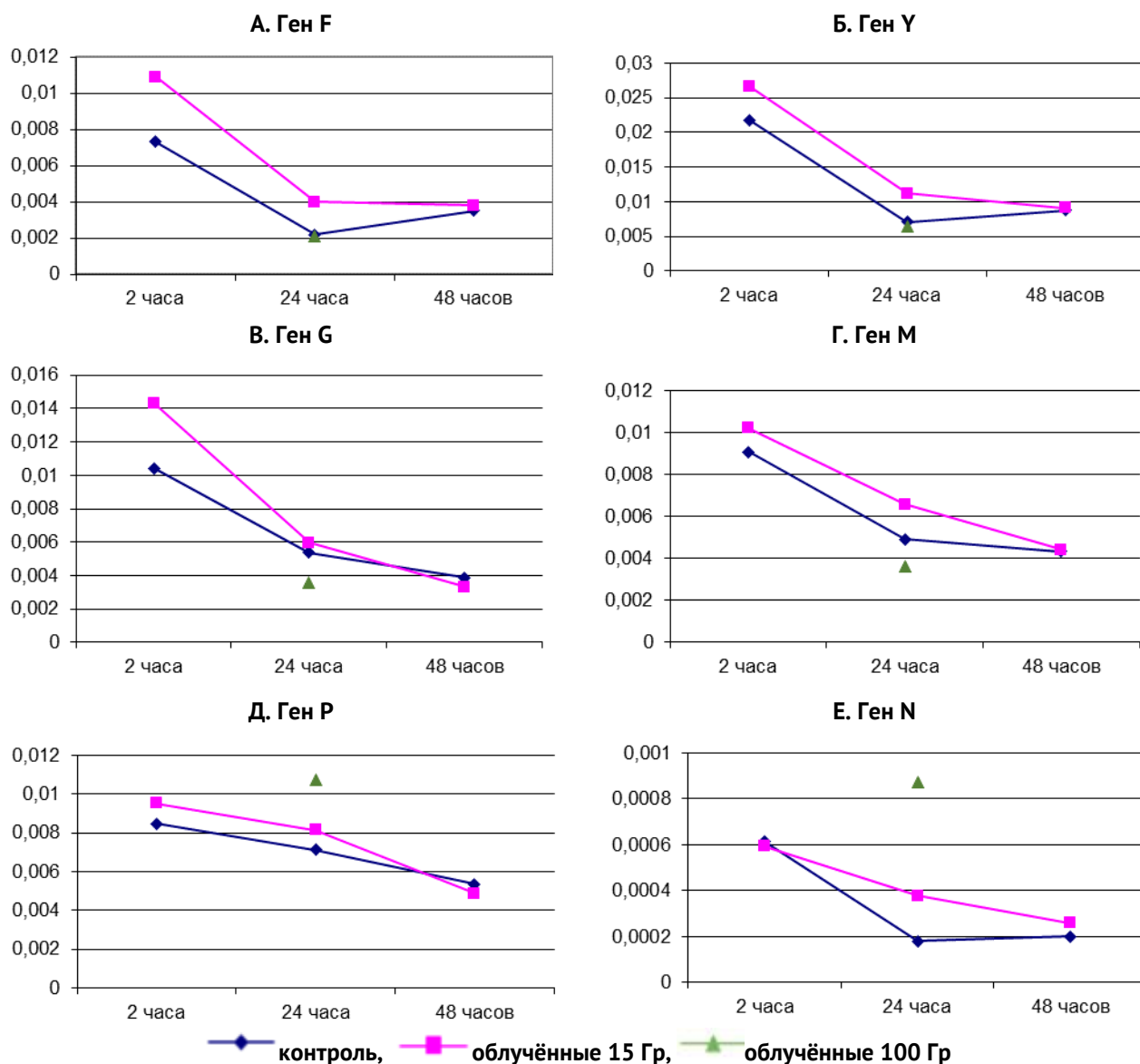


Рисунок 1 – Графики транскрипционной активности исследуемых генов

Этот результат согласуется с данными Yoshiyama K.O. и коллег, которые изучили экспрессию гомологичного гена у *A. thaliana* – SOG1 и выявили, что он не индуцируется ионизирующим излучением [5]. Упомянутые авторы описывают механизм активации транскрипции гена SOG1 в ответ на двухцепочечные разрывы [5]. Этим, скорее всего, можно объяснить высокий уровень экспрессии гена N, отмеченный в образцах, облучённых в дозе 100 Гр, в которых накапливаются разрывы и другие типы повреждения ДНК (Рис. 1.Е). Более высокий, по сравнению с контролем, уровень транскрипционной активности в семенах, облучённых дозой 100 Гр, отмечен и для гена P (Рис. 1.Д), что, возможно, связано с интенсификацией процессов фосфорилирования, в которых участвует кодируемый геном P фитосульфокониновый рецептор.

В совокупности полученные результаты подтверждают релевантность ранее проведённого транскриптомного анализа зародышей ячменя на разных стадиях прорастания семян. Дальнейшие исследования транскрипционной активности генов, дифференциально экспрессирующихся в ответ на γ -облучение семян, помогут выявить ключевые факторы и молекулярные процессы, обеспечивающие стимуляцию роста и развития растений на ранних этапах онтогенеза.

Список литературы

1. Дерябина Д.М., Баранова А.А. Исследование интенсивности роста редиса в зависимости от полученной дозы ионизирующего излучения. Физика. Технологии. Инновации: сборник трудов. Екатеринбург, 2015. С. 59-65.

2. Кожокару А.Ф., Ревин А.Ф. Изучение механизма действия γ -облучения на биосинтез индольных производных и их роли в образовании энергии в проростках растений // Современные проблемы науки и образования. 2010. №4. С. 8-18.

3. Чурюкин Р.С., Гераськин С.А. Влияние облучения (^{60}Co) семян ячменя на развитие растений на ранних этапах онтогенеза // Радиация и риск. 2013. Т. 22. № 3. С. 80-92.

4. Volkova P., Duarte G., Soubigou-Taconnat L., Kazakova E., Pateyron S., Bondarenko V., Bitarishvili S., Makarenko E., Churyukin R., Lychenkova M., Gorbatova

I., Meyer C., Geras'kin S. Early response of barley embryos to low-dose gamma-irradiation of seeds triggers changes in the transcriptional profile and an increase of hydrogen peroxide content in seedlings (в печати).

5. Yoshiyama K.O., Kobayashi J., Ogita N., Ueda M., Kimura S., Maki H., Umeda M. ATM-mediated phosphorylation of SOG1 is essential for the DNA damage response in Arabidopsis. EMBO Rep., 2013, 14:817-822.

6. Программное обеспечение Primer BLAST: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/tools/primer-blast/>

EVALUATION OF TRANSCRIPTIONAL ACTIVITY OF SIX GENES WITH DIFFERENTIAL EXPRESSION IN GAMMA-IRRADIATED BARLEY AT EARLY STAGES OF ONTOGENESIS

Bondarenko E.V., Bondarenko V.S., Volkova P.Yu.

Russian Institute of Radiology and Agroecology, 249032 Kaluga region, Obninsk, Kievskoe shosse 109 km, Russian Federation

The transcriptional activity of six genes was evaluated in barley embryos after low-dose γ -irradiation. The products of these genes are involved in the antioxidant system regulation, the activity of mitochondria and chloroplasts, and normal functioning of the cytoskeleton and, presumably, contribute to growth stimulation after gamma-irradiation of barley seeds. The results confirm the relevance of the earlier performed transcriptomic analysis of barley at different stages of seed germination. Identified expression patterns are consistent with the known functions of the studied genes.

Keywords: *low-dose gamma-irradiation, stimulatory effect, gene expression, Real-Time PCR, barley embryos*

УДК 001.891.53:599.323.4+57.043:59.084+59.085

СРАВНЕНИЕ ЦИТОГЕНЕТИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ В КОСТНОМ МОЗГЕ МЫШЕЙ ПОСЛЕ ОБЛУЧЕНИЯ БЫСТРЫМИ НЕЙТРОНАМИ И ГАММА-КВАНТАМИ

Бычкова Т.М.^{1,2}, Никитенко О.В.^{1,2}

¹ ФГБУН Государственный научный центр Российской Федерации – Институт медико-биологических проблем РАН
123007 г. Москва, Хорошевское шоссе 76 А, Российская Федерация

² ФГБУ «Государственный научный центр Российской Федерации – Федеральный медицинский биофизический центр имени А.И. Бурназяна» ФМБА России
123182 г. Москва, ул. Живописная, д. 46, Российская Федерация
e-mail: taisiabichkova@mail.ru

Проведено сопоставление процессов поражения клеток костного мозга мышей, облученных однократно totally 1,5 МэВ нейтронами в дозах 25-250 сГр и γ -квантами ^{60}Co . Митотический индекс и аберрантные митозы в препаратах костного мозга мышей определяли через 24 и 72 часа после облучения. ОБЭ быстрых нейтронов через 24 и 72 часа после облучения находились в пределах от $4,1 \pm 0,1$ до $7,3 \pm 0,1$. Установлено среднее время существования хромосомных аббераций в клетках костного мозга: 1,4-1,1 циклов для γ -лучей, для нейтронов 1,0-0,6 цикла. Морфологический анализ развивающихся после облучения нарушений и соотношения основных форм поломок показал высокий выход мостов, что свидетельствует о более глубоком нарушении генетических структур клеток. ОБЭ нейтронов является переменной величиной, увеличивающаяся при увеличении дозы облучения. ОБЭ, оцененная через 72 часа после облучения, превышает значения, полученные через 24 часа после облучения быстрыми нейтронами.

Ключевые слова: *мыши, быстрые нейтроны, цитогенетические эффекты, ОБЭ*

При взаимодействии быстрых нейтронов с клетками вещества возникают протоны отдачи, которые отличаются высокой способностью к ионизации [1].

Высокие значения ЛПЭ (линейной передачи энергии) вторичных заряженных частиц, которые возникают при взаимодействии нейтронов с ядрами атомов

облучаемого вещества, обуславливает высокий радиобиологический эффект [2]. Изучение процессов воздействия нейтронов на цитогенетический аппарат клеток костного мозга *in vivo*, как наиболее радиочувствительного органа [3], является одним из важных аспектов в общем понимании радиобиологических закономерностей, а также для обоснования мер по обеспечению радиационной безопасности на атомных предприятиях и во время космических полетов. ОБЭ нейтронов, согласно литературным данным, варьируется в широком диапазоне: от 1,9 до 11 [4, 5, 6]. Целью нашего исследования стало изучение влияния быстрых нейтронов на цитогенетический аппарат клеток костного мозга мышей *in vivo*, и вычисление значений ОБЭ на разные сроки после облучения.

Материалы и методики

В экспериментах было использовано 200 мышей самцов гибридов F1(CBAxС57Bl6) массой 16-18 г. Животных облучали тотально быстрыми нейтронами в дозах от 25 до 250 сГр с мощностью дозы 23,9 сГр/сек. Источником нейтронов являлся импульсный реактор ИБР-30. Вклад быстрых нейтронов в общую дозу составлял не менее 90 %, γ -излучения - не превышал 10 %. Средняя энергия нейтронов равнялась 1,5 МэВ, среднее значение ЛПЭ в биологической ткани - 37,8 кэВ/мкм. В качестве стандартного вида излучения было использовано γ -излучение ^{60}Co с ЛПЭ 0,3 кэВ/мкм и мощностью дозы 1 Гр/мин. Через 24 и 72 часа после облучения эвтаназию животных осуществляли методом цервикальной дислокации. Для цитогенетического анализа клеток костного мозга использовали анафазный метод [7, 8].

Результаты и обсуждение

Результаты проведенных исследований показали, что воздействие быстрых нейтронов, а также γ -лучей приводило к нарушениям процессов деления клеток костного мозга - прежде всего к изменению темпа клеточного деления, на что указывает снижение митотического индекса (рис. 1А). Наиболее выраженные изменения митотического индекса наблюдались через 24 часа после облучения. В последующий срок (72 часа) нами было установлено некоторое восстановление данного показателя в группе животных, облученных γ -квантами ^{60}Co . При прочих равных условиях глубина изменений митотического индекса для нейтронов возрастала с увеличением дозы, а скорость восстановления снижалась.

Сравнительный анализ угнетения митотической активности в клетках костного мозга показал, что через 24 часа после облучения большой эффект

торможения процессов деления наблюдался при облучении нейтронами по сравнению с γ -лучами. Через 72 часа после γ -облучения отмечалось некоторое восстановление этого показателя, а при дозах 25, 50 сГр значения митотического индекса были даже выше контрольных величин (рис. 1А). На основании сопоставления доз, вызывающих снижение митотического индекса в 2 раза через 24 и 72 часа после облучения нейтронами в клетках костного мозга мышей, были вычислены коэффициенты ОБЭ нейтронов, которые оказались равны: $4,1 \pm 0,1$; $7,2 \pm 0,1$, соответственно.

Анализ частоты образования aberrантных митозов через 24, 72 часа после облучения нейтронами и γ -лучами свидетельствует о том, что частота образования aberrантных митозов зависит от дозы, вида излучения и в меньшей степени, в случае нейтронного облучения, от сроков исследования (рис. 1Б). Воздействие нейтронов приводило к образованию большего числа aberrантных митозов, чем в случае γ -облучения в равных дозах. Вместе с тем, при дозах 100 и 250 сГр через 72 часа после облучения нейтронами сохранилось до 57,3 - 78,3 % aberrантных митозов, тогда как после облучения γ -лучами при аналогичных дозах сохранилось до 23,4-38,5 % aberrантных митозов. Коэффициенты ОБЭ нейтронов, вычисленные на основании сопоставления доз, при воздействии которых в 37 % делящихся клеток костного мозга отмечалось образование aberrантных митозов через 24 и 72 часа после лучевого воздействия были равны $6,5 \pm 0,1$ и $7,3 \pm 0,1$. Морфологический анализ развивающихся нарушений и соотношение основных форм поломок показал, что особенностью действия быстрых нейтронов с энергией 1,5 МэВ является более высокий выход мостов (aberrаций обменного типа) (таблица 1), содержание которых в 3-4 раза превышало количество клеток с фрагментами. Это свидетельствует о более глубоком нарушении генетических структур клеток, поскольку мосты являются более стойкими повреждениями хромосом, нарушают процесс деления клеток, приводя обычно к их гибели, особенно при повреждении нескольких хромосом. Общепринятой единицей времени при кинетических исследованиях клеточных популяций является средняя продолжительность клеточного цикла T. Значения T у интактных животных, соответствующие митотическому индексу $1,1 \pm 0,2$ % и средней продолжительности митоза 20 мин [9], равно $30,3 \pm 5,5$ час. Как видно из таблицы 1, облучение нейтронами значительно удлиняет клеточный цикл по сравнению с облучением γ -лучами. Важным фактором, определяющим скорость исчезновения aberrантных клеток из ткани облученных животных, является митотическая активность клеток.

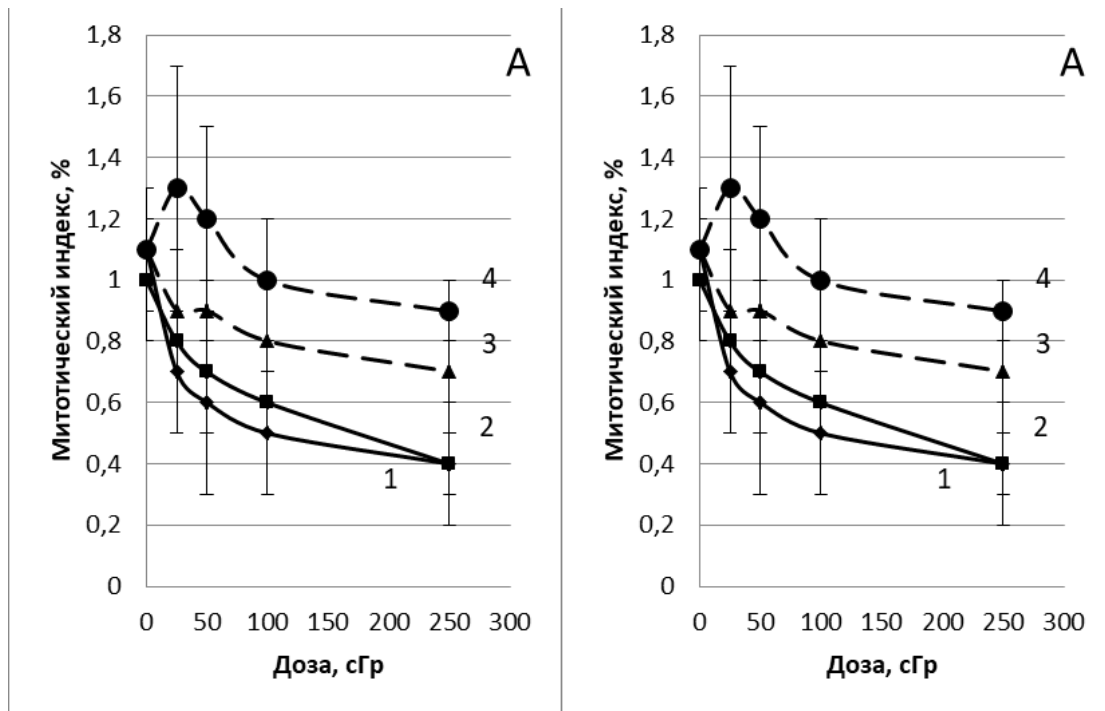


Рисунок 1 – Зависимость "доза-эффект" по показателю митотической активности (А) и частоте образования aberrантных митозов (Б) в клетках костного мозга мышей через 24 (1), и 72 (2) часа после облучения быстрыми нейтронами и через 24 (3) и 72 (4) часа после облучения γ -квантами ^{60}Co

Таблица 1

Сравнение цитогенетических эффектов в костном мозге мышей F1(СВАхС57В16) после облучения нейтронами и γ -лучами ^{60}Co (M \pm m)

Вид излучения	Доза, сГр	Продолжительность первого митотического цикла, час		Число клеток с хромосомными нарушениями через 24 часа после облучения, %			
		Сроки фиксации, час		В виде мостов	В виде фрагментов	Одновременно мосты и фрагменты	Соотношение мосты/фрагменты
		24	72				
Нейтроны 1,5 МэВ	25	47,6 \pm 13,6	41,7 \pm 17,8	24,2 \pm 2,2*	8,0 \pm 1,3*	3,0 \pm 0,1	3,03
	50	55,5 \pm 27,7	47,6 \pm 13,6	40,5 \pm 1,9*	10,2 \pm 0,9*	1,6 \pm 0,8	3,97
	100	66,6 \pm 26,6	55,5 \pm 9,25	44,7 \pm 2,0*	11,3 \pm 0,7*	3,0 \pm 0,2	3,96
	250	83,3 \pm 20,8	83,3 \pm 20,8	57,2 \pm 2,2*	14,3 \pm 1,2*	7,7 \pm 0,8	4
	Контроль 1	31,8 \pm 5,5		1,0 \pm 0,1	0,3 \pm 0,1	0	3,34
γ -кванты ^{60}Co	25	37,0 \pm 8,2	25,6 \pm 7,8	7,2 \pm 1,2*	7,3 \pm 1,0*	0	0,99
	50	37,0 \pm 8,2	27,7 \pm 6,9	9,3 \pm 0,7*	11,1 \pm 0,9*	0	0,84
	100	41,7 \pm 5,2	33,3 \pm 6,7	11,2 \pm 0,9*	10,2 \pm 0,6*	8,9 \pm 0,8*	1,1
	250	47,6 \pm 6,8	37,0 \pm 4,1	21,6 \pm 1,1*	13,9 \pm 1,4*	8,0 \pm 0,6*	1,55
	Контроль 2	31,8 \pm 5,5		0,8 \pm 0,1	0,3 \pm 0,1	0	2,67

Примечание: * - статистически значимые различия с соответствующим Контролем при $p < 0,05$

Полученные данные свидетельствуют о том, что среднее время существования хромосомных aberrаций, индуцированных в клетках костного мозга мышей после облучения γ -лучами ^{60}Co и нейтронами в дозах 25-250 сГр составляет 1,4-1,1 циклов и 1,0-0,6 цикла, соответственно. Установленные особенности

радиационных эффектов γ -лучей ^{60}Co и нейтронов с энергией 1,5 МэВ в дозах 25-250 сГр важно отражать в учебно-методических изданиях, используемых для подготовки специалистов по радиационной безопасности в авиационно-космической медицине.

Список литературы

1. Мухин К.Н. Экспериментальная ядерная физика. М.: Лань. 2008
2. G. Gartya, Ya.Xua, C. Ellistonb et al. Radiat Res. 2017. V. 187. № 4. P. 465–475
3. Ворожцова С.В., Шафиркин А.В., Федоренко Б.С. Относительная биологическая эффективность ускоренных тяжелых ионов и быстрых нейтронов на основе изучения частоты aberrантных митозов эпителия роговицы// Авиакосмическая и экологическая медицина. 2006. Т. 40. №3. С. 42-49
4. Yang M., Kim JS., Son Y et al. Detrimental effect of fast neutrons on cultured immature rat hippocampal cell: relative biological effectiveness of in vitro cell death indices//Radiation research. 2011. V.176. №3. P. 303-310.
5. Yang M., Kim JS., Song MS et al. Dose-response and relative biological effectiveness of fast neutrons: induction of apoptosis and inhibition of neurogenesis in the hippocampus of adult mice//International Journal of Rad. Bio. 2010. V.86. №6. P. 476-485
6. Хвостунов И.К., Пятенко В.С., Шепель Н.Н. и др. Анализ хромосомных aberrаций в клетках млекопитающих при воздействии различных видов ионизирующего излучения//Радиация и риск. 2013. Т. 22. № 4. С. 43-59
7. Коблов Л.Ф. Методы и приборы для клинических и лабораторных исследований//М. 1979
8. Стржижовский А.Д. Количественная оценка длительности существования хромосомных aberrаций в клетках различных тканей млекопитающих// Генетика. 1972. Т. 8. №2. С. 93-100
9. Лучник А.В. Первичные механизмы биологического действия ионизирующих излучений//М. 1968. С. 174

COMPARISON OF CYTOGENETIC EFFECTS IN THE BONE MARROW OF MICE AFTER FAST NEUTRONS AND γ - RAYS IRRADIATION

Bychkova T.M.^{1,2}, Nikitenko O.V.^{1,2}

¹ SSR RF – Institute of Biomedical Problems of RAS, 123007 Moscow, Khoroshevskoe sh. 76 A, Russian Federation

² SRC Burnasyan FMBC of the FMBA of Russia, 123182 Moscow, Zhivopisnaya st., 46, Russian Federation

The processes of destruction of bone marrow cells of mice irradiated once totally with 1.5 MeV neutrons at doses of 25-250 cGy and γ -quanta of ⁶⁰Co were compared. Mitotic index and aberrant mitoses in mouse bone marrow preparations were determined 24 and 72 hours after irradiation. Fast neutron RBE after 24 and 72 hours after irradiation ranged from $4,1 \pm 0,1$ to $7,3 \pm 0,1$. The average lifetime of chromosomal aberrations in bone marrow cells was established: 1,4-1,1 cycles for γ -rays, for neutrons 1,0-0,6 cycles. Morphological analysis of the disorders developing after irradiation and the ratio of the main forms of damage showed a high yield of bridges, indicating a deeper violation of the genetic structures of cells. Neutron RBE is variable, increasing with increasing radiation dose. The RBE estimated at 72 hours after irradiation exceeds the values obtained 24 hours after irradiation with fast neutrons.

Keywords: mice, fast neutrons, cytogenetic effects, RBE

УДК 619:616-001.28/29:551.521

СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ ПРЕПАРАТА ДЛЯ ПРОФИЛАКТИКИ ИЛИ ЛЕЧЕНИЯ РАДИАЦИОННЫХ ПОРАЖЕНИЙ ОРГАНИЗМА ЖИВОТНЫХ

Вагин К.Н.

ФГБНУ «Федеральный центр токсикологической, радиационной и биологической безопасности»

420075 Республика Татарстан, г. Казань, Научный городок-2, Российская Федерация

e-mail: vnivi@mail.ru

Результаты проведенных за последние годы исследований в области радиобиологии показали, что вещества микробного происхождения обладают радиозащитными свойствами. Одним из ведущих механизмов противолучевого действия средств микробного происхождения признается усиление эндогенной продукции цитокинов, колониестимулирующего фактора, туморнекротического фактора и др.

Ключевые слова: профилактика, лечение, радиационное поражение, облучение, радиозащитное действие

Введение

Использование средств микробного происхождения в целях повышения радиорезистентности организма и эффективности лечения лучевой болезни актуально в связи с проблемами радиоактивного загрязнения и опасности техногенных катастроф. Особенностью этих средств является широкий спектр действия в сочетании с отсутствием выраженной токсичности. Различные микробные антигены обладают способностью снижать смертность облученных животных и выраженность проявлений экспериментальной острой лучевой болезни за счет активации фагоцитарной функции клеток системы мононуклеаров, повышения устойчивости к экзогенным инфекциям, способности к образованию антител за счет увеличения числа антителопродуцирующих клеток [1]. В связи с этим поиск веществ микробного происхождения для повышения радиорезистентности животных является одним из важнейших направлений решения проблемы профилактики и терапии острой лучевой болезни [2].

Известно некоторое количество способов получения радиозащитных препаратов на основе веществ микробного происхождения, однако все они обладают определенными недостатками, такими как, ограниченностью лечебного эффекта, сложностью технологии получения препарата, использование в качестве исходного сырья для получения препарата дорогостоящих компонентов, ограниченностью применения и т.д [3].

Цель и задачи

Изучить возможность получения нового эффективного препарата на основе веществ микробного происхождения для профилактики или лечения радиационных поражений организма животных.

Материалы и методы исследований

Способ получения препарата для профилактики и лечения радиационных поражений осуществлялся следующим образом.

На первом этапе получали биомассу консорциума штаммов кишечной палочки *E. coli* «ПЛ-6», бифидобактерий *B. bifidum* шт.1 и сенной палочки *B. subtilis* шт.3. Для этого указанные тест-штаммы подвергали раздельному культивированию, причем культуры штаммов «ПЛ-6» и шт.3 культивировали на мясо-пептонном бульоне (МПБ), а *B. bifidum* шт.1 – на среде Блаурокка. В указанные питательные среды засеивали 24-часовую культуру *E. coli* «ПЛ-6» и 48-часовую *B. bifidum* шт.1 и 7-суточную споровую культуру *B. subtilis* шт.3 с посевными дозами $1 \cdot 10^7$, $1 \cdot 10^8$, $1 \cdot 10^9$ м.к./мл соответственно для каждой культуры. Штаммы термостатировали в течение 24 (*E. coli* и *B. subtilis*) – 72 (*B. bifidum*) часов (логарифмическая фаза роста соответствующих культур) при температуре 37-38 °С. По истечении указанных экспозиций,

выросшие культуры фракционировали на биомассу (центрифугат) и культуральную жидкость (супернатант) путем центрифугирования взвеси при 3500 об/мин в течение 10 мин. В полученных центрифугатах каждой культуры определяли количество микробных клеток.

На втором этапе получали высокодисперсную фракцию бентонита путем его кислотной обработки [4]. Для разрушения карбонатов бентонитовую глину обрабатывали 1 н. соляной кислотой, а затем 0,1 н. Образовавшиеся растворимые соли и кварц удаляли путем отмывания дистиллированной водой. Для этого глину с помощью воды переносили в вегетационные стаканы (20x12 см). На каждый стакан нанесли метки: первая - на высоте 3 см от дна, вторая - на 7 см выше, третья - на 7 см выше второй. Дистиллированную воду доливали до третьей метки, взмучивали в ней цеолит и оставляли на 12 ч для отстаивания. Когда твердая часть глины оседала, а над ней оставалась прозрачная жидкость, то последнюю удаляли сифоном и вновь наливали дистиллированной воды до верхней метки. Когда суспензия оставалась во взвешенном состоянии, приступали к отмучиванию частиц величиной 60-90 мкм. Для этого в стакан наливали дистиллированную воду до верхней метки, содержимое перемешивали, через 24 ч погружали сифон на глубину 7 см и с его помощью суспензию переливали в стакан приемник. Отмучивание продолжали до просветления суспензии. В стаканы-приемники к каждой новой порции суспензии добавляли 3-4 капли концентрированной соляной кислоты для коагуляции и осаждения суспензии. Фракцию отмывали дистиллированной водой, а затем высушивали в водяной бане и использовали в качестве сорбционного компонента в иммунопробиотическом препарате.

Параллельно получали природный биополимер - апизан, используемый в способе в качестве иммуномодулятора, стимулятора роста бифидобактерий, антиоксиданта, антитоксического и радиопротекторного компонента [5]. Для его получения хитинсодержащее сырье (подмор пчел) подсушивали до влажности 4-6 %, измельчали в гомогенизаторе до порошкового состояния. Затем проводили депротеинирование измельченного порошка подмора пчел с использованием 30 %-ного раствора гидроокиси натрия, фильтрацию, промывку дистиллированной водой до нейтрального значения pH. Депротеинирование измельченного порошка подмора пчел проводили с использованием гидроокиси натрия в течение 6 часов при температуре 75 °С, в соотношении 1:3, а перед фильтрацией дополнительно осуществляли активацию хитина путем радиолиза продукта в присутствии хлорной кислоты в соотношении 4:1 на гамма - установке «Пума» в дозе 10,0 Гр при мощности экспозиционной дозы $3,13 \cdot 10^5$ Кл/кг.с. После промывки дистиллированной водой продукт подвергали лиофилизации и получали биополимер - апизан - порошок светло-коричневого цвета, растворимый в воде и

содержащий 40-43 % белка, 20-22 % хитина, 2-3 % минеральных веществ, 10-20 % меланина, 8-10 % влаги, 1-2 % золы, вязкость 5-10 с ПЭ и степенью дэацетиллирования 80-85 %.

На следующем этапе готовили радиозащитную композицию на основе культуральной жидкости и биомассы *E. coli*, *B. bifidum* и *B. subtilis*, высокодисперсной фракции бентонита (ВДФБ) и природного биополимера – апизана.

Для составления радиозащитной композиции использовали определенное количество культуральной жидкости (КЖ) *E. coli* ПЛ-6; КЖ *B. bifidum* 1 и КЖ *B. subtilis* 3, смешивали и в полученную смесь вносили тест микробы консорциума: *E. coli* – $1,5 \cdot 10^9$ КОЕ/мл; *B. bifidum* – $0,6 \cdot 10^9$ КОЕ/мл и *B. subtilis* – $0,4 \cdot 10^9$ КОЕ/мл, в нее вносили порошок высокодисперсной фракции бентонита в количестве 0,02-0,03 % (20-30 мг на 100 см³ композиции) и порошок апизана – 0,007-0,010 % (7-10 мг на 100 см³ композиции), определяли в ней содержание биологически активных веществ (сухого вещества), которое колебалось в пределах 78,5-79,5 мг на 1 см³ композиции, затем композицию подвергали стерилизации путем фильтрации через фильтр миллипор (размер пор 0,2 мкм). Разливали во флаконы, хранили при температуре 4-6 °С. Для определения оптимального соотношения компонентов в предлагаемой композиции, получали композиции содержащие разные объемные соотношения культуральной жидкости *E. coli* ПЛ-6, *B. bifidum* 1, *B. subtilis* 3, содержащие разное количество высокодисперсной фракции бентонита и апизана. Полученные варианты композиции испытывали на радиозащитную активность в *in vitro* тест-системе на летально облученных лимфоцитах путем внесения их в среду культивирования летально облученных лимфоцитов в количестве 1 мг на 10 мл культуральной среды.

Для определения оптимальной лечебной и профилактической дозы композиции готовили разные концентрации препарата по содержанию биологически активных веществ (БАВ), т.е. по содержанию сухого вещества. Для этого препарат подвергали лиофилизации и полученный сухой порошок разводили в стерильной кипяченой воде в концентрациях 100,0; 90,0; 80,0; 70,0; 60,0; 50,0; 25,0; 12,5; 6,25; 3,12; 1,56; 0,78; 0,39; 0,19 мг/мл. Перечисленные концентрации препарата подкожно вводили белым мышам за 24 ч до облучения (профилактический вариант) и через 24 ч после облучения (лечебный вариант) в количестве по 0,1 мл на животное.

Определяли ареактогенность и безвредность композиционного препарата. Для этой цели полученный препарат в различных дозах перорально, внутримышечно, внутривенно подкожно одно-, двух- и трехкратно с интервалом 30, 45, 60, 120 мин вводили белым мышам по 5 животных на каждый вариант опыта, учитывая также отсутствие адекватной или неадекватной реакции на препарат.

Результаты исследований

Полученный по вышеуказанному способу радиозащитный препарат на основе соматических клеток пробиотических микроорганизмов, их продуктов метаболизма (метаболитов), высокодисперсной фракции бентонита (ВДФБ) и природного биополимера, позволяет использовать его как профилактическое, так и лечебное средство на облученных в летальных дозах лабораторных и сельскохозяйственных животных.

Наиболее высокая выживаемость (70 %) летально облученных лимфоцитов была достигнута в культуральной среде после внесения в него композиции, содержащей 0,5 частей культуральной жидкости и $1,5 \cdot 10^9$ КОЕ/мл *E. coli* ПЛ-6, 0,3 части КЖ $0,6 \cdot 10^9$ КОЕ/мл *B. bifidum* 1, 0,2 части КЖ и $0,4 \cdot 10^9$ КОЕ/мл *B. subtilis* 3, 25 мг высокодисперсной фракции бентонита и 0,020 мг апизана. Любые изменения соотношений компонентов (объема культуральной жидкости, количества микробных клеток, бентонита и апизана) вели к снижению выживаемости летально облученных лимфоцитов.

Введение препарата белым мышам как до, так и после облучения в концентрациях 100,0-60,0 мг/мл выживаемость животных составляла 75-80 %. Введение менее концентрированных растворов препарата сопровождалась снижением радиозащитной активности препарата, которая не превышало 50 %. Следовательно, оптимальной лечебной и профилактической дозой препарата являлась 6,0-10,0 мг/кг живой массы, что в среднем составило 7,5-8,0 мг/кг животного.

Установлено, что использование препарата при всех вариантах опыта побочных реакций не вызвало: животные были активны, охотно принимали корм и воду, адекватно реагировали на естественные раздражители, что свидетельствует об ареактогенности препарата и переносимости ими использованного диапазона доз, пути и кратности введения.

Выводы и предложения

Радиозащитное действие предложенного многокомпонентного пробиотического препарата осуществляется путем антигенного действия соматических клеток *E. coli* ПЛ-6, *B. bifidum* 1 и *B. subtilis* 3, иммуномодифицирующего действия синтезируемых указанными микроорганизмами биологически активных веществ (различных классов ферментов, аминокислот, пептидов, пробиотических компонентов), способствующих антигенному раздражению иммунокомпетентных клеток системы иммуногемопозеза, улучшению микроэкологических условий в кишечнике, нарушенных пострадиационным дисбактериозом, оказывающих бактериостатическое, бактерицидное действие по отношению к условно-патогенной и патогенной микрофлоре, обеспечивая питательные потребности нормальной микрофлоры кишечника и клеток макроорганизма благодаря

входящему в состав культуральных жидкостей полученных от трех пробиотических микроорганизмов (аминокислот, нуклеиновых кислот, белка, протеинов т.д.), оказывая антитоксическое действие за счет высокоактивной фракции бентонита и апизана, связывающих и выводящих низкомолекулярные токсины (метан, сероводород, аммиак), радиотоксины (супероксидные радикалы, эпоксиды, 0-фенолы, малоновый диальдегид, продукты липопероксидации липидов, продукты распада белков и радионуклиды), нормализуя и пополняя резерв антиоксидантной системы и усиления антиоксидантной активности крови, путем перехвата и дезактивации детерминантов радиационных поражений клеток-радиомодифицированных макромолекул-супероксидных радикалов.

Список литературы

1. Мальцев В.Н., Гуценко К.К., Емченко Н.В. Влияние бактериальных препаратов на выживаемость

облученных животных // Радиационная биология. Радиэкология. 1994. Т. 34. Вып. 4-5. С. 578-581.

2. Вагин, К.Н., Разработка радиозащитного препарата на основе метаболитов *E. coli*: дисс. канд. биол. наук. Казань, 2011. 142 с.

3. Мухаметшин, И.Р. Изыскание средств для профилактики радиационных поражений животных: Автореф. дисс. канд. биол. наук. Казань, 2002. 25 с.

4. Гайнуллин, Р.Р. Разработка бентонитового диагностикума для индикации радиоиндуцированных токсических соединений: дисс. канд. биол. наук. Казань, 2009. 148 с.

5. Патент RU №2649360 C1 C08B 37/08 Способ получения природного биополимера апизана и его применение для активации культур клеток животных *in vitro* при репродукции вирусов // Никитин А.И., Низамов Р.Н., Плотникова А.Э., Чурина З.Г., Архарова И.А., Насибуллин Р.Ю. Опубл. 02.04.2018. Бюлл. №10.

THE METHOD OF PRODUCING DRUG FOR THE PREVENTION OR TREATMENT OF RADIATION INJURIES OF ANIMALS

Vagin K.N.

Federal state budgetary scientific institution «Federal centre of toxicological, radiating and biological safety»
420075 Republic of Tatarstan, Kazan, Scientific Town-2, Russian Federation

The results of recent studies in radiobiology have shown that substances of microbial origin have radioprotective properties. One of the leading mechanisms of radioprotective action of agents of microbial origin recognizes the increased endogenous production of one or more cytokines, colony stimulating factors, tumor-associated factor etc.

Keywords: *prevention, treatment, radiation damage, irradiation, radioprotective effect*

УДК 58.03; 577.346.

ОСОБЕННОСТИ МЕТАБОЛОМА ПРОРОСТКОВ ЯЧМЕНЯ ОБЫКНОВЕННОГО ПОСЛЕ ГАММА-ОБЛУЧЕНИЯ СЕМЯН СТИМУЛИРУЮЩИМИ ДОЗАМИ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Волкова П.Ю., Макаренко Е.С., Казакова Е.А., Битаршвили С.В., Лыченкова М.А., Подлущий М.С.

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии»
249032 Калужская область, г. Обнинск, Киевское шоссе, 109 км, Российская Федерация
e-mail: volkova.obninsk@gmail.com

Проведён анализ метаболома проростков облучённых семян ячменя, направленный на выявление биохимических путей, вовлечённых в стимуляцию роста облучённых растений. Предварительные результаты указывают на связь морфологических параметров облучённых растений с концентрациями ряда метаболитов в корнях и побегах. Выявлено, что облучение в стимулирующих рост дозах приводит к изменениям в метаболических путях, связанных с циклом Кребса, антиоксидантной системой и синтезом ароматических соединений, а также к ускорению катаболизма белков и отдельных аминокислот.

Ключевые слова: *радиационный гормезис, метаболизм, метаболом, GC-MS, стимуляция роста растений*

Эффект радиационной стимуляции (эффект радиационного гормезиса) является одной из форм быстрой адаптивной реакции в ответ на острый стресс. Возникновение стимулирующих эффектов при воздействии на организмы низких доз разнообразных физических и химических факторов показано многими исследователями [1-5]. Известно, что облучение семян сельскохозяйственных культур низкими дозами ионизирующего излучения может приводить к стимуляции роста и развития проростков, а также к улучшению структуры и качества урожая. При этом на настоящий момент биохимические процессы, опосредующие подобные эффекты низких доз облучения, остаются слабоизученными. Выявление биохимических путей, вовлечённых в стимуляцию роста и развития растений, может внести важный вклад в развитие биотехнологий, направленных на увеличение урожайности и улучшение качества продукции растениеводства.

Материалы и методы

Семена ячменя обыкновенного сорта Нур первой репродукции облучали в широком диапазоне доз для оценки биохимических эффектов облучения. Дозы 5, 10, 15, 20 Гр использовали как стимулирующие, дозу

100 Гр – как ингибирующую, необлучённые семена выступали в качестве контроля. Облучение семян проводили во ВНИИРАЭ с использованием установки «ГУР-120» с источником ⁶⁰Со при мощности дозы 60 Гр/ч. Облучённые семена проращивали в бумажных рулонах в темноте. Оценку морфологических параметров проростков (длина корня и побега, масса корня и побега, отношение массы и длины корней к массе и длине побегов) проводили через 7 дней (168 ч) прорастания. Исследование метаболома побегов и корней облучённых и контрольных растений было проведено в ИРВ, Франция с использованием газовой хроматографии, дополненной масс-спектрометрией (GC-MS), позволяющей одновременно определить присутствие и концентрации в образцах сотен метаболитов (сахара, аминокислоты, органические кислоты и др.). Побеги и корни были отобраны раздельно, для каждой дозы использовали 4 биологические репликации.

Результаты

Анализ экспериментальных данных позволил выявить группу кандидатных метаболитов, связанных с особенностями роста облучённых растений (табл. 1).

Таблица 1

Значимые ($p < 0.05$) корреляции между морфологическими характеристиками облучённых растений и концентрациями метаболитов в их тканях

	Масса корней	Масса побегов	Длина корней	Длина побегов	Отношение длины корней к длине побегов	Отношение массы корней к массе побегов
Аспарагин (к)						0.83
Глицерол-3-фосфат (к)			-0.83			
Шикимат (к)					0.83	
2-оксоглутарат (п)					0.83	
Дегидроаскорбат (п)				-0.83	0.94	0.89
Фруктопираноза (п)	-0.94					
Глицерат (п)					0.83	
Гулонат (п)		-0.83		-0.94	0.88	
Галактинол (п)	-0.83					
Урокановая кислота (п)	-0.84					

Примечание: (к) – содержание метаболита в корнях, (п) – содержание метаболита в побегах.

Выводы

Морфологические параметры, включая отношение длин и масс корней к длинам и массам побегов (root:shoot ratio) являются интегральными показателями, зависящими как от стадии онтогенеза растения, так и от воздействий стрессовых факторов среды. Изменения этих показателей у растений, облучённых в стимулирующих рост дозах, сопровождаются изменениями концентраций определённых метаболитов. В корнях происходит изменение концентраций

аминокислоты аспарагина, участника редокс-метаболизма глицерол-3-фосфата и предшественника синтеза ароматических соединений шикимата. В побегах с изменениями ростовых показателей в результате облучения растений связаны органические кислоты 2-оксоглутарат, дегидроаскорбат, глицерат, гулонат, урокановая кислота, что указывает на накопление продуктов распада белков и изменения метаболизма аскорбиновой кислоты в результате облучения, а также сахар фруктопираноза и спирт галактинол. Представленные результаты анализа компонентов

биохимических путей, связанных с изменениями морфологических параметров проростков ячменя в результате облучения семян, носят предварительный характер.

Список литературы

1. Calabrese E.J. Paradigm lost, paradigm found: The re-emergence of hormesis as a fundamental dose response model in the toxicological sciences // *Environmental Pollution*. 2005. V. 138. P. 378-411.
2. Calabrese E.J., Blain R.B. Hormesis and plant biology // *Environmental Pollution*. 2009. V. 157. P. 42-48.

3. Gressel J., Dodds J. Commentary: Hormesis can be used in enhancing plant productivity and health; but not as previously envisaged // *Plant Science*. 2013. V. 213. P. 123-127.

4. Mattson M.P., Calabrese E.J. Hormesis: a revolution in biology, toxicology and medicine. Humana Press, 2010. 213 p.

5. Tang F.R., Loke W.K. Molecular mechanisms of low ionizing radiation-induced hormesis, adaptive responses, radioresistance, bystander effects, and genomic instability // *International Journal Radiation Biology*. 2015. V. 91. Is. 1. P. 13-27.

ANALYSIS OF BARLEY SEEDLINGS' METABOLOME AFTER STIMULATING GAMMA-IRRADIATION OF SEEDS

Volkova P.Yu., Makarenko E.S., Kazakova E.A., Bitarishvili S.V., Lychenkova M.A., Podlytskiy M.S.

Russian Institute of Radiology and Agroecology, 249032 Kaluga region, Obninsk, Kievskoe shosse 109 km, Russian Federation

We made the analysis of the metabolome of seedlings derived from gamma-irradiated barley seeds, aimed at identifying the biochemical pathways involved in growth stimulation of irradiated plants. Preliminary results indicate a relationship between the morphological parameters of irradiated plants and the concentration of a number of metabolites in the roots and shoots. Apparently, irradiation leads to changes in the metabolic pathways associated with the Krebs cycle, the antioxidant system and the synthesis of aromatic compounds, as well as to accelerate catabolism of proteins and individual amino acids.

Keywords: *radiation hormesis, metabolism, metabolome, GC-MS, growth stimulation*

УДК 619:615: 33:619:616-001.17

СПОСОБ ЛЕЧЕНИЯ ЖИВОТНЫХ ПРИ КОМБИНИРОВАННЫХ РАДИАЦИОННО-ТЕРМИЧЕСКИХ ПОРАЖЕНИЯХ

Гайнутдинов Т.Р.

ФГБНУ «Федеральный центр токсикологической, радиационной и биологической безопасности»

420075 Республика Татарстан, г. Казань, Научный городок-2, Российская Федерация

e-mail: vnivi@mail.ru

При авариях на ядерных энергетических установках, когда возможно комбинированное воздействие как ионизирующего излучения, так и термических факторов (пламени пожара, перегретого пара и др.), при ядерном взрыве с последующим термическим поражением; при лечении двухфакторной болезни, был использован очищенный скипидар, который вводили в дозе 0,4 мл непосредственно под раневую поверхность (под ожоговый участок кожи) в первые часы (1-24) после двухфакторного (лучевого и термического) воздействия на организм.

Ключевые слова: *ионизирующее излучение, ожог, лечение, очищенный скипидар*

Из данных литературы известно множество различных препаратов, используемых при ожоговой и лучевой болезнях, обладающих противорадиационным, противовоспалительным, ранозаживляющим и обезболивающим действием, применяющихся для лечения различных патологических процессов. Например лечение млекопитающих противолучевой

сывороткой [5], для лечения организма при ожогах путем внутривенного введения 40 %-ного раствора гексаметилентетрамина, 10 %-ного раствора бромида натрия с кофеином и нанесение на пораженный участок 10 %-ной салициловой мази, удаления мертвых тканей, обработка гранулирующих дефектов мазью Вишневского [1], лечение комбинированных

радиационно-термических поражений (КРТП) организма путем внутримышечного введения противовоспалительного цитокина-пентоксифилина в дозе 5 мг/кг и моноклональных антител из расчета 10 мкг/моль [2] и др. Недостатком перечисленных выше способов лечения является низкая лечебная эффективность используемых средств, что диктует необходимость применения более радикальных методов лечения ожогов и лучевой болезни при их комбинированном воздействии.

Исследованиями последних лет установлено, что препараты растительного происхождения из класса терпеноидов обладают стресспротективным действием путем ингибирования токсичных радикалов-продуктов перекисидации липидов (ПОЛ) – малондальдегида, играющих ключевую роль в развитии радиоиндуцированной радиотоксичности и термоиндуцированной термотоксичности [4].

Включение фитопрепаратов в состав потенциальных радиозащитных, термозащитных и биозащитных препаратов обусловлено тем, что, во-первых, они малотоксичны легкодоступны, во вторых, они обеспечивают повышение эндогенного фона резистентности (ЭФР) за счет индукции синтеза антирадикальных и антиокислительных субстанций, обеспечивающих стимуляцию гемопоеза, иммунитета, онтогенности костного мозга, нормализацию содержания нуклеиновых кислот, в-третьих, они обладают высоким противовоспалительным и регенеративным (ранозаживляющим) действием, в-четвертых они обладают противорадиационным, сорбционным (диеорпофирующим) и антионкогенным действием и, наконец, они обладают противоожоговым действием. Биозащитный эффект фитопрепаратов (вытяжек, соков, порошков) связывают с влиянием на организм не только одного, но и многих компонентов биологически активных веществ, находящихся подчас во взаимодополненном и увеличивающим взаимодействии, сбалансированных природой биогенных соединений. Одним из биологически активных веществ растительного происхождения из класса терпеноидов является терпентинное масло – скипидар [3].

Целью исследования явилось упрощение и удешевление способа, с одновременным повышением антирадиационной активности препарата и исключения посттравматической раневой инфекции после нанесения ожоговой травмы на фоне радиогенного поражения организма.

Методика исследования

Эксперименты выполнены на беспородных белых крысах обоих полов со средней массой 200-220 г., которых, по принципу аналогов, разделили на опытные и контрольные группы по 5 голов в каждой по схеме: 1. Контроль облучения; 2. Облучение + ожог + лечение очищенным скипидаром в дозе 1,0 мл; 3. Облучение + ожог + лечение очищенным скипидаром в дозе 0,6 мл; 4. Облучение + ожог + лечение

очищенным скипидаром в дозе 0,4 мл; 5. Облучение + ожог + лечение очищенным скипидаром в дозе 0,2 мл; 6. Облучение + ожог + лечение 10 % линиментом D,L-Хлорамфеникол – контроль лечения; 7. Облучения + ожог; 8. Ожог без облучения; 9. Биологический контроль.

На гамма-установке «Пума» с источником излучения ^{137}Cs с мощностью дозы 5,49 Р/мин ($8,50 \cdot 10^{-2}$ А/кг) животных подвергали общему равномерному гамма-облучению в дозе 7,0 Гр. Через несколько минут после радиационного воздействия был смоделирован ожог путем наложения на выстриженный участок кожи верхней трети бедра нагретого до 180°C латунного пяточка (d=25 мм) (печь «Ricci», регенератор активирования угля, модель ТО 10BTQS, размер печи 450x330x350, вес 3 кг). Для нанесения ожога были использовали два латунных пяточка (один оставляли в печи в момент нанесения другим животным ожоговой травмы). По степени поражения кожного покрова и низлежащих тканей данный ожог соответствовал ожогу IIIБ степени площадью 15 % кожных покровов в области бедра.

Для лечения комбинированных радиационно-термических поражений животных использовали препарат растительного происхождения очищенный скипидар (Скипидар живичный, производство – ООО «Реактив», ГОСТ 1571-82), который применяли в дозах 0,4; 0,6; 1,0 мл. Препарат животным вводили однократно подкожно под раневую поверхность пораженного участка в течение первых 24 часов после радиационно-термического воздействия, а затем через каждые 3, 7, 11, 15, 20 и 24 суток.

Дальнейшие исследования продолжили по направлению определения времени введения очищенного скипидара после КРТП, согласно представленному выше опыту. Для этого по принципу аналога отбирали белых крыс живой массой 220-220 г и разделили на группы по 5 животных в каждой, им под пораженный ожогом участок кожи однократно вводили очищенный скипидар в дозе 0,4 мл через 2, 4, 6, 8 и 10 сут после облучения и нанесения ожоговой травмы.

Для оценки ранозаживляющей (грануляционной) эффективности препарата за контрольными и лечеными животными ввели наблюдения, учитывая тяжесть течения, сроки заживления и отторжения с ожоговых поверхностей струпов.

Результаты

У крыс, подвергшихся радиационно-термическому поражению и к которым не применяли лечения (1-ая группа-контроль), наблюдались нагноения пораженного участка тела. Заживления ожоговой раны не наступало, все животные погибали в следствии раневого сепсиса в течение 20 суток после двухфакторного воздействия.

У опытных животных, в отличие от контрольных, леченных скипидаром, течение лучевой и ожоговой

болезни протекало по модифицированному (облегченному) варианту. У животных 2-ой группы к 30 суткам после КРТП выжило 50 ± 5 %, 3-ой $73,3 \pm 3,4$ %, 4-ой 100 ± 0 %, 37 ± 5 % крыс соответственно.

Было установлено, что крысам подвергнутых воздействию КРТП, через 2 суток после двухфакторного поражения и введения испытуемого препарата выживало 80 % крыс, через 4 сут – 50 %, через 6 сут – 37,5 %, через 8 сут – 21,3 % и через 10 сут – 5,1 % крыс.

Введение очищенного скипидара в этой дозе в течение двух суток после КРТП приводило к снижению бактериальной токсемии у пораженных крыс с 82,9 до 21 % ($p < 0,01$), количество токсических продуктов липопероксидации (малондильдегида – МДА) в сыворотки крови уменьшалось в два раза, количество радиотоксинов и термотоксинов в РБФ-тесте (реакция бентонитовой флокуляции с сенсibilизированными хиноидным радиотоксином и ожоговым токсином эритроцитами барана) снижала в 1,9 и 2,1 раза соответственно.

У крыс 4-й группы, которым под раневую (обожженную) поверхность вводили очищенный скипидар в дозе 0,4 мл, процесс образования ожогового струпа начинался на 2 сутки против 6 суток у контрольных животных.

Полное образование ожогового струпа с четко обозначенными границами демаркации выявлялось на 6-е сут после воздействий патогенных факторов у белых крыс опытной (4-ая группы), в контрольных 6-й и 7-й – у трех животных в каждой и не отмечалось среди поголовья 8-й группы (рис. 1). Спустя 7 сут после начала опыта был зарегистрирован падеж одной крысы из 7-й контрольной группы.

Оценка состояния термических повреждений на 8-е сут эксперимента показала, что процесс образования ожогового струпа у белых крыс 6-й, 7-й и у трех животных 8-й группы завершился. На данный срок была зафиксирована гибель одного животного из 7-й контрольной группы.



Рисунок 1 – Формирование ожоговых струпов на 6-е сутки после облучения и термического повреждения (очищенный скипидар, доза 0,4 мл; б – линимент D,L-Хлорамфеникол; в – облучение + ожог; г – ожог без облучения).

При визуальной оценке клинического состояния животных на данный срок исследований было отмечено, что поведенческие реакции, состояние видимых слизистых оболочек, потребление корма и воды, двигательная активность и т.д. у животных опытной группы адекватны, в то время как у крыс контрольных групп наблюдалось угнетение, взъерошенность шерстного покрова, пониженная двигательная активность и снижение потребление корма.

Установление сроков отторжения струпов с ожоговых поверхностей является одним из критериев оценки эффективности применяемых медикаментозных терапевтических средств. В проведенных исследованиях указанный процесс наблюдался на 17-е сут у трех животных 4-й, двух 8-й группы, одного из 7-й, при полном сохранении его у белых крыс 6-й группы (рис. 2).



Рисунок 2 – Состояние ожоговых ран на 17 сут после облучения и нанесения термической травмы (очищенный скипидар, доза 0,4 мл; б – линимент D,L-Хлорамфеникол; в – облучение + ожог; г – ожог без облучения).

Наблюдениями, проведенными на 21-е сут эксперимента, отмечено полное отторжение ожоговых

струпов у всех животных 4-й, трех животных из и 6-й группы, двух в 7-й и 8-й контрольных группах.

Появление линии демаркации и грануляционной ткани, вокруг пораженных участков у леченных очищенным скипидаром животных наступало на 19-е сутки после начала лечения против 25-х суток у контрольных.

Спустя 28 сут после радиационно-термического воздействия зафиксировано отторжение ожогового струпа у белых крыс контрольных групп, с признаком нагноение ран у двух животных 8-й группы.

Основным критерием оценки эффективности средств при лечении как обычных, так и нанесенных на фоне радиационного поражения ожогов являются сроки полного заживления термических повреждений. Установлен факт заживления ожоговой травмы у одного животного из первой (опытной) группы на 31-е сут эксперимента и отмечено нагноение раневой поверхности у двух крыс 8-й группы.

Полное заживление ожоговых ран у животных 4-й группы, на фоне применения предлагаемого средства, наступало на 35-е сутки, одной в 6-й и двух в 7-й после лечения ожогов, в то время как на данный срок исследования ни у одного контрольного животного (8-й гр.) заживление не фиксировалось при одном случае нагноения.

Осмотр и оценка состояния термических повреждений на 38-е сут опытов показали, что полное заживление их наступало у 2 крыс 6-й и 7-й групп при отсутствии такового среди животных 8-й группы. Через 41 сут абсолютное заживление ожоговых ран отмечалось у всего поголовья крыс 7-й, 60 % 6-й и ни одного животного 8-й групп соответственно. У контрольных животных до конца срока наблюдения и вплоть до гибели заживление ожоговых ран не наступало.

Заключение

Таким образом, использование очищенного скипидара в качестве биологического препарата растительного происхождения для лечения КРТП организма животных при непосредственном введении его под обожженный участок кожного покрова обеспечивало значительное увеличение выживаемости пораженных животных за счет ускоренного заживления (грануляции) пораженной ткани, ингибирования общей интоксикации организма радиотоксинами и термотоксинами, снижения бактериальной токсемии организма.

Список литературы

1. Алексеев, А. Ожоговая инфекция. Этиология, патогенез, диагностика, профилактика и лечение /А. Алексеев, М. Крутиков, В.П. Яковлев. М.: Вузовская книга, 2015. 414 с.

2. Будагова, Р.С. Ульяновой «Эффекты модуляторов уровня цитокинов на выживаемость мышей и крыс при радиационно-термических поражениях /Р.С.Будагова, Л.П.Ульяновой // Радиационная биология. Радиоэкол. 2004. Т.44. № 4. С. 302-304.

3. Гайнутдинов, Т.Р. Эпизоотология пастереллеза крупного рогатого скота в Республике Татарстан, совершенствования методов диагностики и терапии: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 16.00.03. Казань, 2009. 16 с.

4. Панфилова, Т.В. и др. Тритерпеиноид мелиацин снижает индуцированное стрессом ПОЛ // Бюл. экстер. биология и медицина. 2004. Т. 141. № 6. С. 633-635.

5. Пат 2169572 РФ, МПК А 61 С 2 К 35/16. Способ лечения радиационных поражений организма и способ получения препарата для лечения радиационных поражений организма /В.М.Авилов, А.З.Равилов, В.А.Киршин, Р.Н.Низамов, Г.В.Конюхов, Н.Б.Тарасова, В.П.Ветров. 97113199/14; заявлена 31.07.1997, опубл. 27.06.2001.

METHOD FOR TREATING ANIMALS IN COMBINED RADIATION-THERMAL DAMAGES

Gaynutdinov T.R.

*Federal state budgetary scientific institution «Federal centre of toxicological, radiating and biological safety»
420075 Republic of Tatarstan, Kazan, Scientific Town-2, Russian Federation*

In accidents at nuclear power plants, when a combined effect of both ionizing radiation and thermal factors (fire flame, superheated steam, etc.) is possible, with a nuclear explosion followed by thermal damage; in the treatment of two-factor disease, purified turpentine was used, which was administered in a dose of 0.4 ml directly under the wound surface (under the burned area of the skin) in the first hours (1-24) after two-factor (radiation and thermal) effects on the body.

Keywords: *ionizing radiation, burn, treatment, purified turpentine*

РАЗРАБОТКА ПРОТИВОРАДИАЦИОННОГО И ПРОТИВООЖОВОГО СРЕДСТВА ДЛЯ ЛЕЧЕНИЯ КОМБИНИРОВАННОГО РАДИАЦИОННО-ТЕРМИЧЕСКОГО ПОРАЖЕНИЯ ОРГАНИЗМА

Гайнутдинов Т.Р., Низамов Р.Н., Конюхов Г.В., Тарасова Н.Б., Вагин К.Н., Василевский Н.М.

ФГБНУ «Федеральный центр токсикологической, радиационной и биологической безопасности»
420075 Республика Татарстан, г. Казань, Научный городок-2, Российская Федерация
e-mail: vnivi@mail.ru

Предлагаемый способ лечения комбинированного радиационно-термического поражения организма состоит в 3-х кратном подкожном введении противолучевой сыворотки млекопитающих, с интервалом 24, 48 и 168 час после нанесения радиационно-термической травмы, в смеси с продуктами метаболизма бифидобактерий, полученных при выращивании бифидобактерий, в соотношении 0,5:0,5 в дозе 18,5-28 мг/кг по белку и с последующим нанесением через 24, 48 и 168 час на пораженный участок мази на основе продуктов пчеловодства (подмор пчел, прополис, воск, вазелин, ланолин) и зверобойного масла., жидкость для лечения радиационно-термического поражения организма получают путем выращивания бифидобактерий во флаконах емкостью 400-500 см² со средой Блаурокка (казеиново-дрожжевая среда) в течение 3-4 сут. Определение концентрации микробов со стандартизацией их количества до $1 \cdot 10^8$ КОЕ/см, дальнейшего тщательного взбалтывания, переливания в центрифужные пробирки емкостью 50-100 см³, центрифугировании при 5000 об/мин в течение 30 мин, декантировании полученного супернатанта, определения сухого вещества и доведения его до концентрации 10-15 мг/л физиологическим раствором, стерилизации фильтрацией, разлива во флаконы и хранение при температуре 4-6 °С.

Ключевые слова: лучевая болезнь, ожог, комбинированные поражения, разработка, лечение

У продуктивных животных в зоне действия факторов ядерного взрыва могут наблюдаться в той или иной степени механические, химические, термические, биологические, а также комбинированные и сочетанные поражения организма. На фоне изолированного действия ионизирующей радиации на организм развивается острая лучевая болезнь (ОЛБ), которая представляет собой полиорганную и полисистемную патологию, при которой ведущую роль играет система иммунитета, участвующая в процессе развития, купирования и разрешения лучевых поражений. В основе патогенеза острого периода ожоговой болезни лежат нарушения микроциркуляции с ухудшением деформируемости эритроцитов, повышении агрегации клеток, сопровождающихся резкой активацией перекисного состояния липидов (ПОЛ). При сочетанном действии указанных факторов развивается особая форма патологии – комбинированное радиационно-термическое поражение (КРТП) [1]. Радиоиндуцированная ожоговая травма сопровождается дисфункцией иммунитета, выражающаяся развитием аутоинтоксикации (самоотравление ядовитыми веществами собственного организма) продуктами обмена веществ и тканевого распада. Именно эти продукты обуславливают развитие характерных для первичных реакций радиационного и термического поражения организма.

К числу эффективных лечебных средств биологической природы при этих поражениях следуют отности препараты глобулинов из сыворотки крови, обладающие разносторонним биологическим эффектом

(предупреждение агаммаглобулинемии, стимуляция иммунореактивности, десинсебилизация, детоксикация, интерферогенность, нейтрализация продуктов тканевой деструкции и антиоксидантов.

Учитывая, что наиболее эффективным при ожоговых травмах являются эмульсионные или гелеобразные композиции содержащие хитинсодержащие продукты пчеловодства, в данном исследовании изучали противоожоговое действие мази на основе продуктов пчеловодства (подмор пчел, прополис) и зверобойного масла на фоне радиационно-термического поражения.

Исходя из вышеизложенного, целью исследований является разработка препарата на основе противолучевой сыворотки (ПРЛС) в комбинации с продуктами метаболизма бифидобактерий (ПМББ), а также использования противоожоговой мази.

Материал методы

На первом этапе работы проводили исследования по получению противолучевой сыворотки. Для этого использовали свиней (10 гол), овец (15 гол) и лошадей (5 гол). Противолучевую сыворотку получали путем двукратного обучения животных на гамма-установке «Пума». Облучение доноров осуществляли в 2 стадии, сначала в сублетальной (0,5-1,0 Гр), а затем (через 30 дней) - в летальной дозе (3,5-4,5 Гр) и через 3-4 дня после повторного облучения проводили эксфузию крови донора с последующим отделением сыворотки общепринятым методом

[4], доводили его содержание стерильным физиологическим раствором до концентрации 25-30 мг/мл, затем подвергали стерилизующей фильтрации, разливали во флаконы и хранили в холодильнике при температуре 4-6 °С.

На втором этапе работы получали продукты метаболизма *B. bifidum*. Для получения продуктов метаболизма пробиотического микроорганизма, бифидобактерии (*B. bifidum*) выращивали во флаконах емкостью 400-500 см³ со средой Блаурокка (казеиново-дрожжевая среда) в течение 3-4 сут. Выросшую культуру тщательно взбалтывали и переливали в центрифужные пробирки ёмкостью 50-100 см и центрифугировали при 5000 об/мин в течение 30 мин. По истечении указанной экспозиции супернатант (культуральную жидкость) декантировали, определяли в нем общепринятым методом [3] содержание сухого вещества, включающего биологически активные компоненты (аминокислоты, ферменты, витамины, микроэлементы, антибиотики, цитокины, сурфактанты) [2]. Содержание сухого вещества в супернатанте доводили физиологическим раствором до концентрации 10-15 мг/мл, затем подвергали стерилизующей фильтрации, разливали во флаконы и хранили в холодильнике при температуре 4-6 °С.

На следующем этапе работы получали противожоговую мазь на основе продуктов пчеловодства и зверобойного масла. Для приготовления мази, в асептических условиях при нагревании 50-55 °С и постоянном перемешивании смешивали 25 мас.% вазелина и 25 мас.% ланолина, в эти смесь вносили 12-14 мас.% зверобойного масла и после полной гомогенизации поочередно вносили воск (7-9 мас.%),

прополис (6 мас.%), а затем - пчелиный подмор (21-23 мас.%). Смесь перемешивали с одновременной гомогенизацией. Степень гомогенизации оценивали визуально и микроскопически. Мазь представляет собой визуально гомогенную со средней степенью дисперсности 60-90 мкм. Фасовку мази проводили на фасовочном автомате в пластиковые тубы по 50-100 г.

Полученный экспериментальный цифровой материал обрабатывали методом вариационной статистики с использованием критерия Стьюдента с применением пакета программ Microsoft Excel (2016).

Результаты исследований

На первом этапе работы проводили исследования по конструированию комплексного противорадиационного и противоожогового средства. Вначале определяли оптимальные соотношения противолучевой сыворотки и культуральной жидкости, содержащей продукты метаболизма бифидобактерий (ПМББ). Для этого готовили смеси противолучевой сыворотки (ПРЛС) и культуральной жидкости (КЖ), содержащей продукты метаболизма бифидобактерий (ПМББ) в следующих соотношениях ПРЛС: ПМББ: 0,9:0,1; 0,8:0,2; 0,7:0,3; 0,6:0,4; 0,5:0,3; 0,4:0,6; 0,3:0,7; 0,2:0,8; 0,1:0,9. Указанные смеси компонентов однократно подкожно в дозе 0,2 см² вводили белым крысам, подвергнутым комбинированному радиационно-термическому воздействию (гамма-облучение в дозе 8,0 Гр (ЛД₉₀)+нанесения ожога III степени). Результаты проведенных иммунологических исследований представлены в таблице 1.

Таблица 1

Изменение уровня комплемента у облученных (8,0 Гр) и обожженных (III степень поражения) белых крыс на фоне применения различных соотношений смесей ПРЛС:ПМББ

Соотношение компонентов	Количество животных	Уровень комплемента (СН-50/мл) через час нанесения травм	
		24	48
		M±m	M±m
Контроль	3	45,6±2,59	46,1±2,75
0,9:0,1	3	44,7±4,51	45,1±3,21
0,8:0,2	5	43,5±3,75	44,3±2,89
0,7:0,3	3	43,1±3,31	43,9±3,55
0,6:0,4	3	42,9±2,75	43,5±3,79
0,5:0,5	5	35,3±1,69*	36,1±2,31*
0,4:0,6	3	39,3±2,31	40,5±2,97
0,7:0,7	3	42,5±3,37	43,1±3,07
0,2:0,8	5	43,7±2,98	44,5±2,59
0,1:0,9	3	44,8±3,21	45,3±3,37

*- P < 0,05

В качестве критерия оптимального соотношения компонентов служила антикомплемментарная активность испытуемых смесей через 24 часа после введения их облученным и обожженным животным по титру комплемента в реакции потребления комплемента.

Из данных таблицы видно, что введение облученным и обожженным животным смеси ПРЛС:ПМББ приводит к декомплемментарному эффекту, снижая уровень комплемента в сыворотке крови от 1,02 до 1,29 раз в зависимости от соотношения компонентов. При этом введение смеси ПРЛС:ПМББ в соотношении

0,5:0,5 оказывало наиболее высокое антикомплементарное воздействие, снижая уровень комплемента в 1,24 раза ($p < 0,05$).

Следовательно, смесь, содержащая 50 % противолучевой сыворотки и 50 % культуральной жидкости бифидобактерий при содержании сухого вещества 17,5 - 22 мг/мл, обладает высокой степенью антикомплементарной активности при радиационно-термическом поражении, которая является одним из механизмов противолучевой и противоожоговой защиты организма.

Дезинтоксикационную активность предлагаемой сывороточно-бифидогенной композиции проверяли в сравнении с радиобифидумбактерином при острой лучевой болезни (ОЛБ) у облученных и обожженных 20 белых мышах. С этой целью белых мышей облучали гамма-лучами в дозе 7,0 Гр и подвергали термическому ожогу галогеновыми лампами с интенсивностью ожога III степени тяжести. Через 24 ч после радиационно-термического воздействия, животным (10 голов) однократно подкожно вводили сывороточно-бифидогенную композицию в дозе 0,1 см. В динамике (на 3, 7, 14 день ожога) у животных брали кровь и в сыворотке определяли радиоиндуцированные и термоиндуцированные продукты радиолитиза (радиотоксины-РТ) и ожоговые антигены (ОЖА) с использованием реакции бентонитовой флокуляции (РБФ).

Установлено, что однократное подкожное введение разработанной нами композиции ингибировало синтез радио- и термотоксинов на 3-сут содержание их было в 1,56 раза, на 7 сут – в 1,82 раза, 17 сут в 2,04 раза меньше чем в контрольной (облучение и ожог) группе.

Для усиления противоожогового, антибактериального и ранозаживляющего эффекта на фоне комбинированного радиационно-термического поражения нами была испытана противоожоговая мазь, содержащая в своем составе хитинсодержащие продукты пчеловодства (пчелиный подмор, прополис, воск), которые, наряду с вышеуказанными свойствами, обладают и пленкообразующими свойствами, что исключает применение мазевых повязок используемых с целью защиты обожженной поверхности от вторичного инфицирования и травмирования.

Применение предложенной мази препятствовало развитию влажного некроза и обеспечивало длительный контакт антибактериальных средств с тканями.

Таким образом, в результате проведенных исследований нами разработана технология получения противорадиационной и противоожоговой композиции, которая в сочетании с противоожоговой мазью, оказывало противолучевое и противоожоговое действие, увеличивая выживаемость облученных на фоне комбинированного радиационно-термического поражения организма.

Способ получения композиционного препарата для лечения комбинированного радиационно-термического поражения защищены патентом РФ [5].

Список литературы.

1. Гайнутдинов Т.Р., Конюхов Г.В., Идрисов А.М., Шашкаров В.П., Тарасова Н.Б., Гурьянова В.А. Оценка эффективности препаратов для лечения комбинированных радиационно-термических поражений // Научно-производственный журнал «Ветеринарный врач». Казань, 2018. № 5. С. 49-52.

2. Зинченко Е.В., Панин А.Н. Имунпробиотики в ветеринарной практике. Пушино, 2000. 160 с.

3. Конюхов Г.В., Низамов Р.Н., Гайнутдинов Т.Р., Идрисов А.М., Шакуров М.М., Шарифуллина Д.Т. Усовершенствование технологии получения радиозащитных препаратов на основе В.BIFIDUM и E.COLI в сочетании с биополимером и оценка их эффективности на сельскохозяйственных животных // Научно-производственный журнал «Ветеринарный врач». Казань, 2017. № 6. С. 31-35.

4. Патент РФ № 2169572. С 2 А61К 35/28 Способ лечения радиационных поражений организма и способ получения препарата для лечения радиационных поражений организма / В.М. Авилов, А.З. Равилов, В.А. Киршин, Р.Н. Низамов и др. Опубл. 27.06.2001. Бюл. № 18.

5. Патент РФ № 2627669. С 1 А61К 9/06 Способ получения продуктов метаболизма бифидобактерий для лечения комбинированного радиационно-термического поражения организма и способ лечения комбинированного радиационно-термического поражения организма / А.И. Никитин, Р.Н. Низамов и др. № 2016129773; заявлено 20.07.2016; опубл. 09.08.2017. Бюл. № 22.

DEVELOPMENT OF ANTI-RADIATION AND ANTI-BURN AGENT FOR THE TREATMENT OF COMBINED RADIATION AND THERMAL DAMAGE TO THE BODY

Gaynutdinov T.R., Nizamov R.N., Konyukhov G.V., Tarasova N.B., Vagin K.N., Vasilevsky N.M.

*Federal state budgetary scientific institution «Federal centre of toxicological, radiating and biological safety»
420075 Republic of Tatarstan, Kazan, Scientific Town-2, Russian Federation*

The proposed method of treatment of combined radiation-thermal damage to the body consists in a 3-fold subcutaneous administration of anti-radiation serum of mammals, at intervals of 24, 48 and 168 hours after the application of radiation-thermal injury, mixed with products of metabolism of bifidobacteria obtained by growing bifidobacteria, in a ratio of 0.5 in a dose of 18.5-28 mg/kg of protein and followed by application in 24, 48 and 168 hours on the affected area of ointment based on bee products (subpestilence of bees, propolis, wax, vaseline, lanolin) and St. John's wort oil, liquid for the treatment of radiation-thermal destruction of the body is produced by cultivation of bifidobacteria in bottles with a capacity of 400-500 cm² with the environment Blaurock (casein-yeast medium) for 3-4 days. Determination of the concentration of microbes with standardization of their number to 1*10⁸ CFU/cm, further careful stirring, transfusion into centrifuge tubes with a capacity of 50-100 cm³, centrifugation at 5000 rpm for 30 minutes, decanting the resulting supernatant, determination of dry matter and bringing it to a concentration of 10-15 mg/l saline, sterilization by filtration, bottling and storage at a temperature of 4-6 °C.

Keywords: *radiation sickness, burns, combined lesions, development, treatment*

УДК 577.342, 577.346.

ВЛИЯНИЕ ПРИРОДНЫХ ПОЛИСАХАРИДОВ ИЗ *HELIANTHUS TUBEROSUS* L. НА КОЕ-С ПРИ ОБЛУЧЕНИИ

Генералов Е.А.

*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Физический Факультет, кафедра биофизики, 119991 Москва, ГСП-1, Ленинские горы, Дом 1, строение 2, Российская Федерация
e-mail: generals1179@gmail.com*

Проведена работа по изучению влияния полисахарида из *Helianthus tuberosus* L. (HTLP) на колониеобразующие единицы спленоцитов (КОЕ-С) в модели выживаемости гемопоэтических стволовых клеток при облучении мышей. Вместе с тем было проверено влияние HTLP на селезенки в модели острой токсичности крыс. Получены экспериментальные данные, свидетельствующие о наличии у изучаемого полисахарида из *Helianthus tuberosus* L. колоние-стимулирующих и радиозащитных свойств. Обсуждаются возможные механизмы радиозащитного действия полисахарида на селезенки мышей.

Ключевые слова: *полисахарид HTLP, острая токсичность, облучение, КОЕ-С*

Введение

В настоящее время растет потребность в различных препаратах, способных предотвратить или нивелировать последствия радиационного поражения. Обусловлен такой рост, в основном, увеличением числа техногенных катастроф с участием расщепляющихся материалов и проведенных лучевых терапий онкологическим больным (в связи с ростом числа онкологических заболеваний) (1).

Существует несколько веществ, применяющихся в качестве радиопротекторов: гаммафос, цистамин, индралин, гепарин, экстракты женьшеня и другие препараты прямого и опосредованного действия, повышающие радиорезистентность (2). Однако все они имеют свои недостатки (3), вынуждающие исследователей искать новые радиопротективные средства: высокая токсичность, низкий фактор изменения дозы (ФИД) и ограниченная продолжительность защитного действия (4). Одним из положительных моментов в использовании растительного сырья для получения радиопротекторных и радиотерапевтических средств является их низкая токсичность, стоимость и возможность сочетания как терапевтических свойств, так и профилактических. Одним из таких растительных источников является топинамбур.

Материалы и методы

Модель острой токсичности (селезенки)

Изучение острой токсичности проводили на крысах (белых беспородных, линии «Август», массой 100-160 г). Для этого лиофилизированный порошок полисахарида из *Helianthus tuberosus* L. (HTLP) растворяли в стерильном физиологическом растворе 0.9 % натрия хлорида и вводили подкожно. Данные о дозах, вызывающих острую токсичность были получены ранее (неопубликованные данные). Вводили HTLP в дозах 0.1 мг/кг (терапевтическая) и 40 мг/кг веса (не вызывали гибели животных), однократно. Группы состояли из 10 животных самок и самцов. Результаты высчитывали из двух серий опытов. Оценивали массу и макроскопические изменения селезенки после забоя животных через сутки после введения раствора HTLP.

Для статистической обработки цифровых экспериментальных данных использовали вариационную статистику с учетом t-критерия Стьюдента.

Модель выживаемости гемопоэтических стволовых клеток

Опыты проводились на самцах мышей массой 20 - 25 г линии F1(CBAxС57Bl/6). НТLP вводили внутривенно за 1 и 2 часа до и через 1 час после облучения, соответственно, в дозе 10 мкг/животное. Лабораторные животные, 5 групп по 10 животных, подвергались воздействию гамма-излучения (источник Co^{60}) в дозе 600 рад на аппарате «Луч» (при мощности дозы 51.55 рад/мин). Животные в контрольной группе получали инъекцию стерильного 0.9 % NaCl, после чего подвергались облучению. Через 8 суток мышей декапировали. Извлекали селезенки, взвешивали и фиксировали в свежеприготовленном растворе уксуснокислого спирта (3 части 95 % этилового спирта и 1 часть ледяной уксусной кислоты). Фиксацию вели 2 часа, после чего, орган переносили в 70 % раствор этилового спирта, и производили подсчет образовавшихся на поверхности селезенок эндогенных селезеночных колоний, диаметром более 0.2 мм. В каждой группе вычисляли среднее число сформированных колоний и стандартную ошибку данного показателя, проводили статистическую обработку полученных данных.

Результаты и выводы

Модель острой токсичности (селезенки)

У забитых по окончании опыта крыс, получавших НТLP в терапевтической дозе, патологических изменений в селезенке не отметили. Их весовые коэффициенты (V_k) не отличались от таковых величин у крыс контрольной группы.

Таблица 1

Влияние НТLP на весовые показатели селезенки крыс при подкожном однократном введении в дозе 400 мг/кг.

№	Группа, пол крысы	Селезенка, мг, $M \pm m$, V_k
1	Контроль, крысы-самцы	353.0 ± 34.8 $V_k = 2.10$
2	Гамма-плант, крысы-самцы	$413.0 \pm 69.0^*$ $V_k = 2.57$
3	Контроль крысы-самки	216.6 ± 29.4 $V_k = 1.84$
4	Гамма-плант, крысы-самки	$342.5 \pm 33.7^*$ $V_k = 3.50$

* – статистически значимое ($p < 0.05$) различие с показателем контрольной группы

В экспериментальной группе с подкожным введением НТLP в дозе 400 мг/кг при гистологическом изучении селезенки отметили ее кровенаполненность, отечность и гиперемированность. Вместе с тем наблюдали, что красная пульпа богата клетками и наполнена эритроцитами.

Модель выживаемости гемопоэтических стволовых клеток

Результаты опыта по оценке противолучевой активности полисахарида по тесту выживаемости гемопоэтических стволовых клеток, формирующих селезеночные колонии (КОЕ-С) на 8-е сутки после облучения мышей-гибридов F1(CBAxС57Bl/6), приведены в таблице 7.

Таблица 7

Результаты опыта по тесту выживаемости гемопоэтических стволовых клеток.

№ Группы	Группа	Масса селезенки, мг $M \pm m$.	Количество КОЕ-С в группе, $M \pm m$.
1	Контроль, облучение 600 рад.	31.8 ± 1.3	0.8 ± 0.1
2	Введение за 2 ч до облучения	32.2 ± 0.5	$1.6 \pm 0.2^*$
3	Введение за 1 ч до облучения	33.8 ± 1.8	$1.9 \pm 0.4^*$
4	Введение через 1 ч после облучения	34.7 ± 1.4	$1.9 \pm 0.3^*$

* – статистически значимое ($p < 0.05$) различие с показателем контрольной группы по числу КОЕ-С.

В модели выживаемости КОЕ-С значения во всех опытных группах в 2 – 2.4 раза превышают значения контрольной. Такой рост числа колоний после введения НТLP свидетельствует о способности полисахарида стимулировать пролиферацию и защищать клетки селезенки от последствий облучения.

Таким образом, полисахарид из *Helianthus tuberosus* L. лиофилизированный при подкожном способе введения не токсичен в острых опытах на крысах (исходя из данных по количественной оценке острой токсичности). При этом выявлена зависимость влияния НТLP на селезенку от пола - у крыс-самок (по данным весовых коэффициентов) при введении дозы 400 мг/мл увеличение селезенки было существеннее чем у крыс-самцов.

Заключение

Гемопоэтические стволовые клетки являются предшественниками клеток крови и обладают свойством практически неограниченной пролиферации. В случае различных поражений костного мозга или падения уровня клеток крови возможно лекарственное стимулирование пролиферации гемопоэтических клеток. В данной работе показано, что таким лекарственным стимулом может выступать полисахарид из *Helianthus tuberosus* L. и его радиозащитные свойства обусловлены воздействием на количество КОЕ-С. При этом даже сверхвысокие дозы полисахарида не являются критически токсичными для селезенки и других клеток (6, 7), а биологическая активность в качестве терапевтического и профилактического агента может позволить создать новый радиопротектор с расширенным набором фармакологических

свойств. Кроме того, в противолучевой активности изучаемого препарата нельзя исключить его роль в продукции ряда ключевых цитокинов (8), которые способствуют стимуляции различных регенеративных процессов в облученном организме.

Цитокины (в частности: IL-1, IL-6 (9)) проявляют противолучевое действие, обусловленное способностью данных факторов стимулировать адаптационные, метаболические процессы и кроветворения, что приводит к общему повышению радиорезистентности. Ранее было показано, что HTLP способен стимулировать выработку IL-6 и модулировать – IL-1, что может быть одной из основ радиозащитного действия HTLP, помимо прямого действия на КОЕ-С.

Работа проведена при финансовой поддержке ООО НПФ «Гемма-Б».

Список литературы

1. Landes R.D., Lensing S.Y., Kodell R.L., Hauer-Jensen M. Statistical analysis of survival data from radiation countermeasure experiments. *Radiat Res.* 2012. V. 177. № 5. P. 546–554.

2. Петренко Э., Фукс А. С. Военная токсикология, радиобиология и медицинская защита. Учебное пособие. СПб.: ООО «Издательство ФОЛИАНТ». 2006.

3. Saaya F.M., Katsube T., Xie Y., et al. Research and Development of Radioprotective Agents: A Mini-

Review. *International Journal of Radiology.* 2017. V. 4. № 2-3. P. 128-138.

4. Yamini K., Gopal V. Natural Radioprotective Agents against Ionizing Radiation – An Overview. *International Journal of Pharm Tech Research.* 2010. V. 2. № 2. P. 1421-1426.

5. Maurya D.K., Devasagayam T.P.A., Nair C.K.K. Some novel approaches for radioprotection and the beneficial effect of natural products. *Indian journal of experimental biology.* V. 44. 2006. P. 93-114.

6. Генералов Е.А. Структура и радиопротекторные свойства нетоксичного полисахарида из *Helianthus Tuberosus* L. *Биофизика.* 2014. Т. 59. № 3. С. 439-445.

7. Генералов Е.А., Генералова Л.В. Влияние полисахарида из *Helianthus tuberosus* L. на число клеток линии RAW 264.7 и синтез TNF- α . 2017. 9 международная научная конференция SCIENCE4HEALTH.

8. Генералов Е.А. Водно-растворимый полисахарид из *Helianthus tuberosus* L.: радиозащитная, колониестимулирующая и иммуномодулирующая активность. *Биофизика.* 2015. Т. 60. № 1. С. 73-79.

9. Singh V.K., Yadav V.S. Role of cytokines and growth factors in radioprotection. *Experimental and Molecular Pathology.* 2005. V. 78. № 2. P. 156-169.

EFFECT OF NATURAL POLYSACCHARIDE FROM *HELIANTHUS TUBEROSUS* L. ON CFU-S DURING IRRADIATION

Generalov E.

Lomonosov Moscow State University, Faculty of Physics, biophysics department, 119991 Moscow, Leninskie Gory, 1-2, Russian Federation

Study was carried out to investigate the effect of polysaccharide from *Helianthus tuberosus* L. (HTLP) on colony-forming units of splenocytes (CFU-S) in a model of survival of hematopoietic stem cells in irradiated mice. In addition, the effect of HTLP on spleens in a model of acute toxicity of rats has been checked. Experimental data have been obtained indicating that the polysaccharide from *Helianthus tuberosus* L. has colony-stimulating and radioprotective properties. The possible mechanisms of the radioprotective action of the polysaccharide on the spleen of mice are discussed.

Keywords: HTLP polysaccharide, acute toxicity, irradiation, CFU-S

УДК 577.21

ИЗУЧЕНИЕ ЭКСПРЕССИИ ГЕНОВ БЕЛКОВ ПОЗДНЕГО ЭМБРИОГЕНЕЗА В ЗАРОДЫШАХ ЯЧМЕНЯ ПОСЛЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА СЕМЕНА

Горбатова И.В., Волкова П.Ю.

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии»

249032 Калужская область, г. Обнинск, Киевское шоссе, 109 км, Российская Федерация

e-mail: gorbatova.irina.96@mail.ru

В рамках представленной работы в зародышах облученных семян ячменя была проанализирована экспрессия генов, кодирующих белки позднего эмбриогенеза LEA6 и LEA18. Экспрессия указанных генов снижена в зародышах облученных растений, что может указывать на перераспределение доступных ресурсов эндосперма для элиминации последствий острого низкодозового облучения семян.

Ключевые слова: абиотический стресс, адаптивная реакция, ионизирующее излучение, ячмень, экспрессия генов, белки позднего эмбриогенеза

Экстремальные уровни воздействия абиотических факторов окружающей среды вызывают абиотический стресс. Главная задача в биологии абиотического стресса состоит в том, чтобы расшифровать, как растения воспринимают различные стрессоры, как ранние ответные сигналы передаются внутри растения, и каково разнообразие путей ответа, вызываемых ими [1].

По своей природе ионизирующее излучение является абиотическим стрессом. В результате воздействия на объект низкими дозами радиации, наблюдается возникновение позитивных биологических эффектов, то есть радиационного гормезиса. Возникновение подобного эффекта стимуляции может рассматриваться как адаптивная реакция растений в ответ на действие ионизирующего излучения.

Абиотический стресс вызывает обширные изменения в регуляции экспрессии генов, а также путей передачи сигналов, которые приводят к выживанию или гибели пораженных растений [2]. В ответе на стрессовые условия у всех живых организмов можно выделить процессы изменения экспрессии стресс-зависимых генов, активность которых направлена на защиту клеток и поддержку гомеостаза. Белки позднего эмбриогенеза LEA, по-видимому, является универсальным семейством белков. Они проявляют множество функций при воздействии различных стрессовых факторов, таких как засуха, засоление, низкие температуры, воздействие тяжелых металлов, и, возможно, также биотических стрессов.

В данной работе, основываясь на данных, полученных при анализе транскриптома зародышей облученных семян ячменя, изучены представители белков позднего эмбриогенеза из семейства гидрофильных белков LEA6 и LEA18, которые, как предполагается, играют защитную роль при воздействии различных абиотических стрессов. Однако их роль в формировании адаптивных реакций при действии ионизирующего излучения в настоящее время не изучена.

Материалы и методы

Объектом исследования является ячмень обыкновенный (*Hordeum vulgare* L.). В работе использовали семена ячменя сорта Нур первой репродукции, урожая 2017 года. Облучение семян проводили на установке ГУР-120 (⁶⁰Co) (ФГБНУ ВНИИРАЭ, Обнинск). Для проведения эксперимента были выбраны дозы 15 и 100 Гр. В качестве контроля использовали необлученные семена ячменя.

Облученные и контрольные семена стерилизовали в 10 %-ном растворе перекиси водорода в

течение 10 минут и проращивали на чашках Петри вплоть до 48 часов при постоянной температуре 20 °C в инкубаторе MIR-254, Sanyo, Япония.

Из семян ячменя через 2, 24 и 48 часов после замачивания при помощи препаровальной иглы и скальпеля выделили зародыши, поместили их в центрифужные криобирки и заморозили в жидком азоте. Использовали по 10 зародышей на пробу, формировали три биологические репликации по 10 зародышей в каждой на условие эксперимента (21 репликация в целом).

Далее зародыши, используя фарфоровую ступку и пестик, гомогенизировали в жидком азоте. Измельченную ткань поместили в пробирки, содержащие 500 мкл лизирующего буфера.

После чего проводили выделение РНК и удаление геномной ДНК из полученной РНК при помощи набора для выделения и очистки тотальной РНК GeneJET Plant RNA Purification Mini Kit (Thermo Scientific) [3].

Синтез ДНК проводили с помощью набора RevertAid First Strand cDNA Synthesis Kit (Thermo Scientific) в соответствии с протоколом производителя [4]. Полученную ДНК использовали для проведения полимеразной цепной реакции (ПЦР).

ПЦР в реальном времени проводили в соответствии с протоколом PowerUp™ SYBR™ Green Master Mix. Поместили ПЦР-пробирки объемом 0,2 мл, содержащие смесь для проведения реакции, в амплификатор ДТ-96 (ДНК-Технология).

ПЦР проводили в соответствии с условиями термоциклирования, представленными в таблице 1.

Таблица 1

Стандартный режим амплификации [5]

Шаг	Температура	Время	Циклы
Активация UDG	50 °C	2 мин	1
Активация ДНК-полимеразы	95 °C	2 мин	1
Денатурация	95 °C	15 сек	60
Отжиг праймеров и элонгация	60 °C	1 мин	

Детекцию накопления продуктов амплификации проводили на стадии отжига праймеров (60 °C) каждого цикла. Для обработки полученных результатов ПЦР использовали принцип прямого сравнения данных [6] и метод $\Delta\Delta C_t$. Для проведения расчетов использовали ПО Microsoft Office Excel 2010.

Результаты и обсуждение

По пороговым циклам, полученным в результате проведения ПЦР в реальном времени, рассчитали уровень относительной экспрессии для генов LEA6 и LEA18, результаты расчетов представлены в таблице 2.

Таблица 2

Результаты расчетов уровня относительной экспрессии для исследуемых генов

Ген	Условия	FC
LEA6	15 Гр, 2ч	-2,1*
	15 Гр, 24 ч	1,2
	15 Гр, 48 ч	-1,1
	100 Гр, 24 ч	-3,4*
LEA18	15 Гр, 2ч	-2,5*
	15 Гр, 24 ч	1,2
	15 Гр, 48 ч	1,3
	100 Гр, 24 ч	-4,2*

Примечание: FC – Fold change, кратность изменения экспрессии по сравнению с контролем. * – отличия от контроля значимы при $|FC| = 1,5$.

Отрицательные значения FC, полученные для образцов, облученных в дозах 15 и 100 Гр, для 2-го и 24-го часа прорастания соответственно, говорят о том, что экспрессия гена LEA6 значимо подавлена по сравнению с контролем.

Для гена LEA18 также наблюдали подавление экспрессии для тех же периодов проращивания и доз облучения, что и в первом случае.

Таким образом, результаты анализа впервые показали, что экспрессия генов белков LEA отвечает на низкодозовое облучение семян ячменя. Вопрос о причинно-следственной связи изменений экспрессии генов, кодирующих белки LEA, и стимуляции роста растений в результате облучения пока остается открытым и требует дальнейших исследований.

Список литературы

1. Yoshida T., Mogami J., Yamaguchi-Shinozaki K. ABA-dependent and ABA-independent signaling in response to osmotic stress in plants // *Current Opinion in*

Plant Biology. 2014. V. 21. P. 133-139. doi: 10.1016 / j.pbi.2014.07.009

2. Блехман Г.И. Синтез белка в условиях стресса // *Успехи современной биологии*. 1988. Т. 103. Вып. 3. С. 340-353.

3. Thermo Scientific GeneJET Plant RNA Purification Mini Kit. 2014. [Электронный ресурс] Режим доступа: https://www.thermofisher.com/document-connect/document-connect.html?url=https://assets.thermofisher.com/TFS-Assets/LSG/manuals/MAN0012668_GeneJET_Plant_RNAPurification_UG.pdf&title=User%20Guide:%20GeneJET%20Plant%20RNA%20Purification%20Kit (Дата обращения 20.07.2019)

4. Thermo Scientific RevertAid First Strand cDNA Synthesis Kit. 2013. [Электронный ресурс] Режим доступа: https://www.thermofisher.com/document-connect/document-connect.html?url=https://assets.thermofisher.com/TFSAssets/LSG/manuals/MAN0012715_RevertAid_FirstStrand_cDNA_Syn_K1621_UG.pdf&title=User%20Guide:%20RevertAid%20First%20Strand%20cDNA%20Synthesis%20Kit,%20%20rxns (Дата обращения 20.07.2019)].

5. PowerUp™ SYBR™ Green Master Mix USER GUIDE Universal 2X master mix for real-time PCR workflows. 2016. [Электронный ресурс] РЕЖИМ ДОСТУПА: https://www.thermofisher.com/document-connect/document-connect.html?url=https://assets.thermofisher.com/TFS-Assets/LSG/manuals/MAN0013511_PowerUp_mas-termix_UG.pdf&title=User%20Guide:%20PowerUp%20SYBR%20Green%20Master%20Mix%20-%20Universal%202X%20master%20mix%20for%20real-time%20PCR%20workflows (Дата обращения 20.07.2019)

6. Епринцев А.Т., Попов В.Н., Федорин Д.Н. Идентификация и исследование экспрессии генов. Издательско-полиграфический центр Воронежского государственного университета. 2008. 64 с. [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://window.edu.ru/resource/497/65497/files/m08-131.pdf> (Дата обращения 21.07.2019)

THE STUDY OF GENE EXPRESSION OF LATE EMBRYOGENESIS ABUNDANT PROTEINS IN BARLEY EMBRYOS AFTER IONIZING RADIATION EXPOSURE ON SEEDS

Gorbatova I.V., Volkova P. Yu.

Russian Institute of Radiology and Agroecology, 249032 Kaluga region, Obninsk, Kievskoe shosse 109 km, Russian Federation

Gene expression of late embryogenesis abundant proteins LEA6 and LEA18 was studied in embryos of gamma-irradiated barley seeds. These genes were downregulated under the experimental conditions, pointing on the endosperm resources redistribution in order to cope with the consequences of acute low-dose gamma-irradiation of seeds.

Keywords: *abiotic stress, adaptive reaction, ionizing radiation, barley, gene expression, late embryogenesis abundant proteins*

РЕАКЦИЯ ФОТОСИСТЕМЫ II ЯЧМЕНЯ (*Hordenum vulgare* L.) НА ОСТРОЕ УФ ОБЛУЧЕНИЕ

Гусева О.А., Цыгвинцев П.Н.

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии»

249032 Калужская область, г. Обнинск, Киевское шоссе, 109 км, Российская Федерация

e-mail: gusevaoks65@yandex.ru

В вегетационном эксперименте исследовано влияние острого УФ (А+В) облучения на фотосинтетический аппарат ячменя дозами 45, 90, 180 кДж/м². Показано, что первичное воздействие УФ на растения ячменя осуществляется через повреждения PSII, при этом со временем активность фотосистемы может восстанавливаться, но сохраняются дозозависимые и, по своему характеру, адаптивные изменения в системе тепловой диссипации света излишней интенсивности.

Ключевые слова: УФ облучение, фотосистема II, флуоресценция хлорофилла, ячмень

Введение

Солнечный спектр излучения, кроме теплового и фотосинтетически активного диапазона (PAR, 400-700 нм), включает также длины волн в ультрафиолетовом диапазоне: УФ-А (320-400 нм), УФ-В (280-320 нм) и в УФ-С (200-280 нм). До поверхности Земли из-за поглощения кислородом атмосферы и слоем стратосферного озона доходит только УФ-А излучение. УФ-В излучение является незначительной составляющей солнечного спектра при снижении толщины озонового слоя, тем не менее, несоразмерно влияет на метаболические процессы растений, такие как рост, морфологию, цветение, опыление, фотосинтез и транспирацию [1, 2]. Оценка механизмов повреждения, восстановления и защиты имеет значение для понимания экофизиологической роли УФ-В излучения.

Эффекты воздействия УФ-В включают инактивацию фотосистемы II (PSII), снижение активности рибулозобисфосфаткарбоксилазы – ключевого фермента фотосинтеза, снижение уровня хлорофилла и каротиноидов, снижение регуляции транскрипции фотосинтетических генов, снижение целостности тилакоидов и изменение ультраструктуры хлоропластов [3-5]. При воздействии УФ-В излучения на PSII повреждается марганцевый кластер, связанный с кислород-меняющейся активностью, P680, редокс-активным тирозином, связанными и несвязанными молекулами пластохинона. В результате происходит потеря фотосинтеза и деградация белков реакционного центра D1 и D2. Исследования систем, проведенные *in vitro*, показали, что облучение УФ-В светом приводит к потере белка D1 с появлением иммунодетектируемого С-терминального фрагмента 20 кДа. Белок D2 довольно чувствителен к влиянию ультрафиолетового излучения, и разрушение проявляется при показателе УФ в 1 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ [6]. Некоторые исследования показывают, что УФ-В может ингибировать перенос электронов PSII путем повреждения

редокс-функции акцепторов электронов хинона, от Y_z функции к ОЕС, и к белку D1 [5, 7].

В данной работе было изучено влияние УФ (А+В) излучения на функцию PSII в листьях ячменя с использованием стационарной (адаптированной к свету) флуоресценции хлорофилла (ФХ).

Материалы и методы

Объектом исследования являлся ячмень яровой (*Hordenum vulgare* L.) сорта «Владимир», который выращивали в сосудах, содержащих 4,5 кг воздушно-сухой дерново-подзолистой супесчаной почвы, в трехкратной повторности. Плотность посева на сосуд составляла 13 растений. Растительный материал представлял собой развитые растения в период роста стебля (34 этап по фенологической шкале по международному коду [8]), который является чувствительной фазой к разным факторам среды [9].

Растения облучали дозами УФ 35 кДж/м² (6 УФ-В и 29 УФ-А), 70 кДж/м² (12 УФ-В и 58 УФ-А) и 105 кДж/м² (18 УФ-В и 87 УФ-А), имитируя воздействие солнечной УФ радиации при различном снижении толщины озонового слоя. В качестве источника УФ-А излучения использовались лампы Black Light BLUE, а в качестве источника УФ-В излучения – лампы LER-40. Действие УФ излучения оценивали по изменению ФХ сразу после облучения и спустя 30 дней после облучения (на 34 и 51 этапах органогенеза растений).

Измерение ФХ проводилось с полноценно раскрывшегося 5 листа с помощью амплитудно-импульсного флуориметра Junior-PAM (Walz Inc., Effeltrich, Germany). Для определения минимального уровня флуоресценции F₀ использовался слабomodulированный измерительный свет, а для измерения максимального уровня флуоресценции F_m – импульсный измеряющий свет. На каждом уровне измерялись устойчивое состояние минимальной (F₀') и максимальной (F_m') свет-адаптированной флуоресценции в присутствии открытых реакционных центров PSII,

вызванных насыщающим световым импульсом, на которые накладывается актиничный свет.

По измеренным уровням флуоресценции вычислялись параметры: 1) максимальный фотохимический квантовый выход PSII, выражающийся отношением F_v/F_m , где $F_v = F_m - F_o$; 2) коэффициент фотохимического тушения, qP , по формуле $F_m - F' / F_m' - F_o'$; 3) коэффициент нефотохимического тушения, qN , по формуле $1 - (F_m' - F_o') / (F_m - F_o)$.

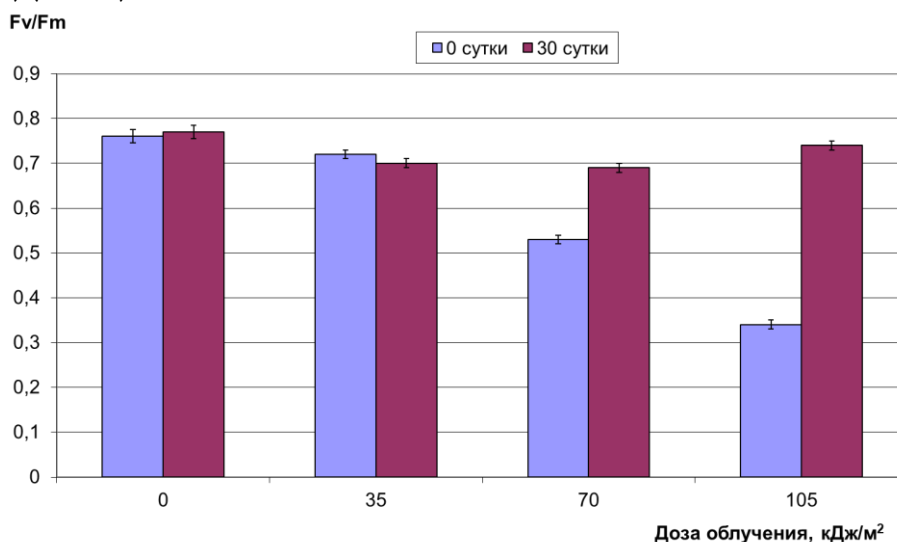


Рисунок 1 – Влияние УФ (А+В) излучения в разных дозах на максимальный фотохимический квантовый выход PSII в листьях ячменя сразу после облучения и спустя 30 дней

В контроле изменения данной величины не наблюдалось. Эффект острого УФ облучения сохраняется даже через месяц после воздействия, у облученных растений максимальный квантовый выход на 10 % ниже контроля. Это указывает на то, что нарушаются репарационные механизмы, происходящие в хлоропластах в ответ на стресс, для сохранения функций PSII.

Схожие данные были получены в исследовании Pfundel на виноградных листьях и в работе Смоликовой на горчице черной [10, 11]. Это указывает на то, что уменьшение F_v/F_m связано с повреждением компонентов PSII в результате стресса, поскольку избыточный поток УФ излучения, энергия которого не может быть реализована в фотосинтетических реакциях, считается одним из основных факторов инактивации комплексов PSII.

Изменения в фотохимических реакциях комплексов PSII могут быть обусловлены физиологически восстановимыми повреждениями пластохинонов. Фотохимическое тушение флуоресценции зависит от окислительно-восстановительного состояния Q_A , и уровень ФХ может увеличиваться при восстановлении Q_A и уменьшаться при его окислении. В результате применения вспышки красно-желтого света высокой интенсивности пластохиноны переходят в восстановленное состояние за счет активации фотосистемы I, и уровень ФХ увеличивается до F_m' . После выключения света пул пластохинонов окисляется и

Результаты и обсуждения

Анализ данных, представленных на рисунке 1, показал, что облучение ячменя сочетанием УФ (А+В) на стадии роста стебля вызывает дозозависимое снижение максимального фотохимического квантового выхода (F_v/F_m), и при максимальной дозе 105 кДж/м² по отношению к контролю оно составило 50 %.

интенсивность ФХ снижается до F_o' . Для того чтобы оценить долю окисленных Q_A применяют коэффициент фотохимического тушения qP . Он отражает степень окисленности пула Q_A и зависит от притока электронов от феофитина к Q_A , и от их оттока от Q_A на вторичный акцептор PSII – Q_B [12, 13].

Анализ данных, представленных на рисунке 2, показал, что с увеличением дозы УФ (А+В) излучения возрастает величина фотохимического тушения, измеренная сразу после облучения. Такое повышение эффективности qP связано с акцептированием электронов реакционными центрами PSII. С течением времени наблюдается восстановление механизма фотохимического гашения, что можно объяснить заменой поврежденного пула пластохинонов.

На рисунке 3 представлены данные по измерению показателя нефотохимического тушения флуоресценции (qN), который является механизмом защиты фотосинтетического аппарата от света высокой интенсивности. Процесс заключается в поглощении избыточной энергии синглетного возбужденного хлорофилла молекулой-акцептором с последующим переходом этой молекулы в основное энергетическое состояние при помощи усиленной внутренней конверсии, и избыточная энергия рассеивается в виде тепла.

Из представленных данных видно, что с увеличением дозы облучения резко повышается и нефотохимическое тушение. При этом данная закономерность

сохраняется у растений даже спустя 30 суток после облучения, что говорит об изменениях в механизмах тепловой диссипации при влиянии доз облучения УФ.

Так как в эксперименте использовалась комбинация УФ излучения, определить, какой вид оказал повреждающее действие, затруднительно. Однако можно предположить, что УФ-В излучение оказало большее влияние на функционирование PSII, т.к. по эффективности воздействия на него приходится до

80-90%, при этом в общем потоке солнечного УФ излучения его доля составляет от 10 до 20 % [14].

Таким образом, первичное воздействие УФ на растения ячменя осуществляется через повреждения PSII, при этом со временем активность фотосистемы может восстанавливаться, но сохраняются дозозависимые и, по своему характеру, адаптивные изменения в системе тепловой диссипации света излишней интенсивности.

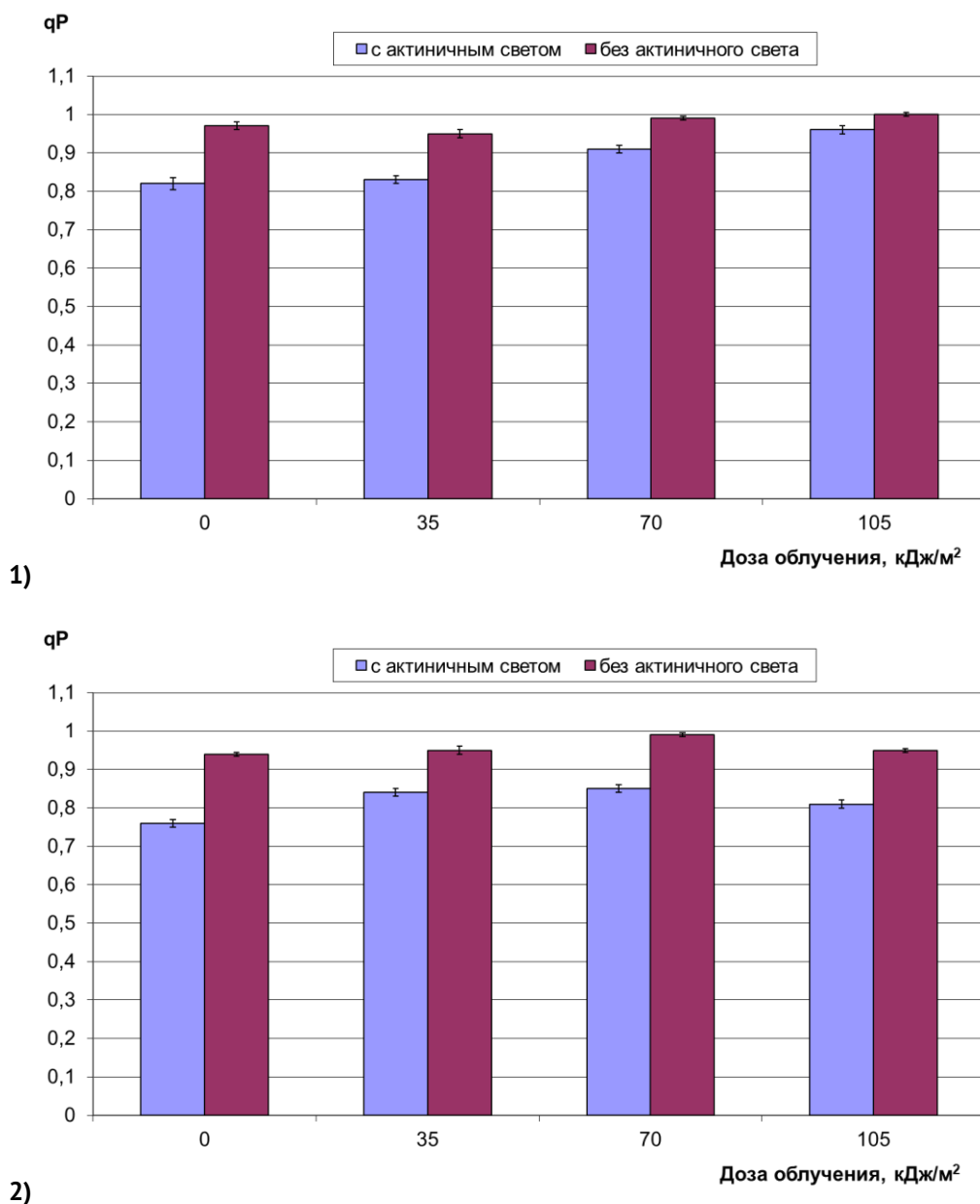
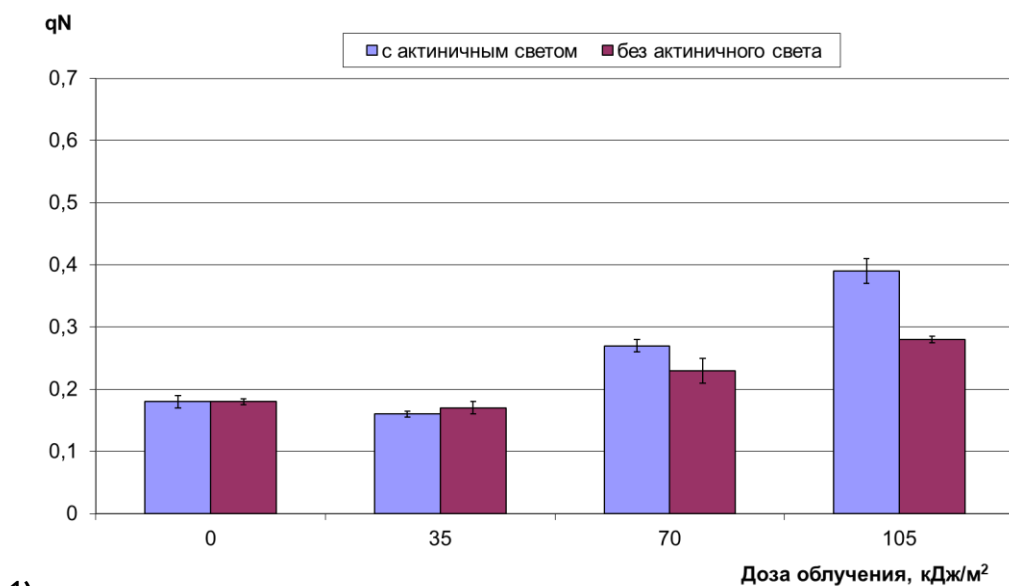
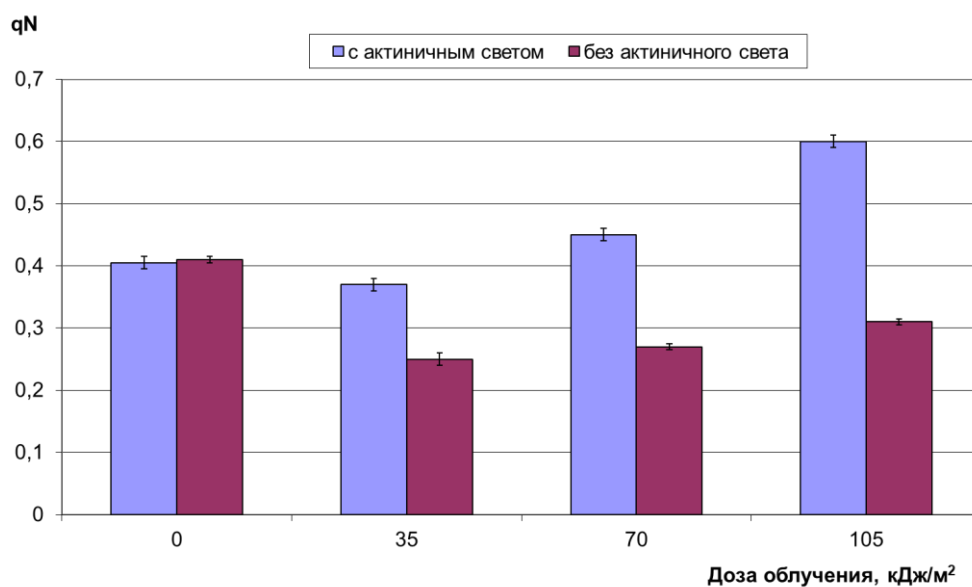


Рисунок 2 – Фотохимическое тушение флуоресценции в листьях ячменя при действии комбинации УФ (А+В) излучения: 1) сразу после облучения; 2) спустя 30 дней после облучения



1)



2)

Рисунок 3 – Нефотохимическое тушение флуоресценции в листьях ячменя при действии комбинации УФ (А+В) излучения: 1) сразу после облучения; 2) спустя 30 дней после облучения

Список литературы

1. Van Rensen J.J.S., Vredenberg W.J. et. al. Time sequence of the damage to the acceptor and donor sides of photosystem II by UV-B radiation as evaluated by chlorophyll a fluorescence // *Photosynth Res.* – 2007. Vol. 94. P. 291-297.
2. Jansen M., Gaba V., Greenberg B. Higher plants and UV-B radiation: balancing damage, repair and acclimation // *Trends Plant Sci.* 1998. Vol. 3. P. 131–135.
3. Strid A., Chow W.S., Anderson J.M. UV-B damage and protection at the molecular level in plants // *Photosynth Res.* 1994. Vol. 39. P. 475–489.
4. Teramura A.H., Sullivan J.H. Effects of UV-B radiation on photosynthesis and growth of terrestrial plants // *Photosynth Res.* 1994. Vol. 39. P. 463–473.
5. Vass I., et. al. UV-B induced inhibition of photosystem II electron transport studied by EPR and chlorophyll fluorescence: impairment of donor and acceptor side components // *Biochemistry.* 1996. Vol. 35. P. 8964–8973.
6. Jansen M., et. al. Low threshold levels of ultraviolet-B in a background of photosynthetically active radiation trigger rapid degradation of the D2 protein of photosystem II // *Plant J.* 1996a. Vol. 9. P. 693–699.
7. Rodrigues G.C., et. al. Evidence for the semireduced primary quinone electron acceptor of

photosystem II being a photosensitizer for UVB damage to the photosynthetic apparatus // *Plant Sci.* 2006. V. 170. P. 283–290.

8. Zadoks, J., Chang T., C. Konzak. A decimal code for the growth stages of cereals // *Weed research.* 1974. V. 14. P. 415-421.

9. Caldwell M.M., Ballare C.L., Bornman J.F. et. al. Terrestrial ecosystems increased solar radiation and interactions with other climatic factors // *Photochem. Photobiol. Sci.* 2003. Vol. 2 P. 29-38.

10. Pfundel E.E. Action of UV and visible radiation on chlorophyll fluorescence from dark-adapted grape leaves (*Vitis vinifera* L.) // *Photosynth Res.* 2003. Vol. 75. P. 29–39.

11. Смоликова Г.Н., Лебедев В.Н. и др. Динамика фотохимической активности фотосистемы II при

формировании семян *Brassica Nigra* L. // *Вестник С.-Пб университета. Физиология, Биохимия, Биофизика* 2015. Сер. 3. Вып. 3. С. 53-65.

12. Loriaux S. D., Avenson T. J., Welles J. M., et. al. Closing in on maximum yield of chlorophyll fluorescence using a single multiphase flash of sub-saturating intensity // *Plant, Cell and Environment.* 2013. Vol. 36. P. 1755–1770.

13. Schreiber U. Detection of rapid induction kinetics with a new type of high frequency modulated chlorophyll fluorometer // *Photosynth Res.* 1986. Vol. 9, N 1–2. P. 261–272.

14. Tsygvintsev P.N., Guseva O.A., Tatarova M.Yu. Effect of acute UV irradiation of barley in different stages of organogenesis on yield // *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* 2019. P. 1-5. 487 012032.

PHOTOSYSTEM II REACTION OF BARLEY (*Hordeum vulgare* L.) TO ACUTE UV IRRADIATION

Guseva O.A., Tsygvintsev P.N.

Russian Institute of Radiology and Agroecology, 249032 Kaluga region, Obninsk, Kievskoe shosse 109 km, Russian Federation

The effect of acute UV (A + B) irradiation on barley photosynthesis with doses of 45, 90, 180 kJ / m² in a vegetation experiment was studied. It is shown that the primary effect of UV on barley plants is through PSII damage, while over time the activity of the photosystem can be restored, but dose-dependent and, by their nature, adaptive changes in the system of thermal light dissipation of excessive intensity remain.

Keywords: *UV irradiation, photosystem II, chlorophyll fluorescence, barley*

577.3

ФОТОДИНАМИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ НИЗКОИНТЕНСИВНОГО ФЕМТОСЕКУНДНОГО ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ С ДЛИНОЙ ВОЛНЫ 525 НМ В ЦЕЛЬНОЙ КРОВИ И КОСТНОМ МОЗГЕ МЫШЕЙ *IN VIVO*

Дюкина А.Р.¹, Заичкина С.И.¹, Розанова О.М.¹, Сорокина С.С.¹, Смирнова Е.Н.¹, Шемяков А.Е.¹, Поцелуева М.М.¹, Наумов А.А.¹, Минаев Н.В.², Юсупов В.И.²

¹ *Институт теоретической и экспериментальной биофизики РАН*

142290 г. Пущино Московской области, ул. Институтская, 3, Российская Федерация

² *Институт фотонных технологий ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН*

108840 г. Москва, г. Троицк, ул. Пионерская, 2, Российская Федерация

e-mail: dyukina@rambler.ru

Работа посвящена выявлению активации естественной защиты мышей при действии низкоинтенсивного фемтосекундного лазера (525 нм, 10⁻¹⁵ с): по анализу клеточного состава и уровню продукции АФК в цельной крови и количеству цитогенетических повреждений в костном мозге в зависимости от дозы и мощности. В качестве положительных контролей животные были облучены непрерывным He-Ne лазерным (632.8 нм) и рентгеновским излучениями. Было обнаружено, что активация естественной защиты организма наблюдается по тесту «адаптивный ответ» в том же узком диапазоне плотности потока энергии, что и при облучении He-Ne лазерным и рентгеновским излучениями. Это позволяет предположить схожий механизм активации естественной защиты организма при воздействии ионизирующим и неионизирующим излучениями.

Ключевые слова: фемтосекундное лазерное и рентгеновское излучение, He-Ne лазер, микроядерный тест, адаптивный ответ, состав крови, АФК, костный мозг, мышцы

В настоящее время важной проблемой адаптивной медицины является поиск средств физической и химической природы для активации естественной защиты организма от различных неблагоприятных воздействий, которые могут привести к накоплению генетических нарушений, злокачественному перерождению соматических клеток и возникновению дефектов развития у потомства. В последние десятилетия особый интерес у исследователей в области радиобиологии и экологии вызывает феномен адаптивного ответа (АО), который заключается в том, что предварительное облучение объекта в малых адаптирующих дозах физических или химических агентов приводит к снижению чувствительности к последующему выявляющему воздействию больших доз радиации. Наличие радиационного АО было установлено нами и другими исследователями на различных объектах [1-3]. Показано, что индукция АО зависит от величины и мощности адаптирующей дозы, времени между адаптирующей и выявляющей дозами и качества излучения.

Феномен, когда адаптирующее и выявляющее воздействия относятся к факторам разной природы, так называемая перекрестная адаптация, которая может рассматриваться как одна из перспективных форм немедикаментозной защиты. Поэтому проблема поиска и исследования новых видов современных лазерных излучений, способных переводить организм в адаптированное состояние, характеризующееся повышенной устойчивостью генома, и тем самым активировать резерв естественной защиты является фундаментальной научной задачей.

Изученные нами в качестве новых адаптогенов источники инфракрасного - 850 нм и красного He-Ne лазера - 632.8 нм, как и ионизирующие излучения, при всех адаптирующих дозах не вызывали увеличения естественного спонтанного фона молекулярных и цитогенетических повреждений, что косвенно указывало на их генетическую безопасность [4]. Однако, при дополнительном облучении этих животных в повреждающей дозе 1.5 Гр рентгеновского излучения (РИ) была обнаружена индукция АО, которая также зависела от величины адаптирующей дозы, времени между адаптирующей и выявляющей дозами и коррелировала по динамике с уровнем продукции активных форм кислорода (АФК). Защитный эффект имел место только в том случае, если доза лазерного света не превышала 16 мДж/см², что соответствует дозе 0.4 Гр ионизирующей радиации, выше которой АО не индуцировался [5-7], что говорит о сходстве механизма индукции АО ионизирующим и неионизирующим излучениями.

Созданные в середине восьмидесятых годов фемтосекундные (ФС) лазеры, обладающие уникальными свойствами (ультракороткий импульс 10⁻¹⁵с и высокая пиковая мощность - ТВт), совершили

революцию не только в сфере лазерной физики, но и в биологии и экспериментальной медицине. Побочные исследования их использования в медицине практически не изучены.

Количество работ по созданию новых лазеров и использованию их в медицине опережает количество работ по комплексному исследованию биологических реакций и их последствий у облученных животных, а отдельные имеющиеся результаты трудно сопоставимы в связи с использованием разных объемов, доз, энергий и особенностей оборудования.

В связи с выше изложенным на первом этапе данного исследования с помощью традиционных и некоторых авторских методик был проведен анализ клеточного состава и уровня продукции АФК в цельной крови и цитогенетических повреждений в костном мозге в зависимости от дозы и мощности ФС лазерного излучения для выявления условий активации естественной защиты. В качестве положительных контролей животные были облучены непрерывным He-Ne лазерным (632.8 нм) и рентгеновским излучениями по разработанным ранее схемам.

Методика

Эксперименты проводили на двухмесячных самцах мышей линии SHK. Животных облучали в область носа ФС лазером (АВЕСТА, РФ) (525 нм, 200 фс, 70 МГц) при мощностях 0.05, 0.5 и 5 мВт, и экспозиции от 1 до 50 с, что соответствует дозам излучения 0.1 – 52 мДж/см². В качестве положительных контролей животные были облучены непрерывным He-Ne лазерным излучением (632,8 нм, 0.7 мВт, 0.16 мВт/см²) в течение 5 и 100 с (2 и 40 мДж/см²) и РИ в дозе 0.1 Гр (4 мДж/см²) на установке РУТ (200 кВ, 8 мА, г. Пушкино). Через сутки все группы животных дополнительно облучали РИ в дозе 1.5 Гр (60 мДж/см²) по разработанным ранее нами схемам. На каждую экспериментальную точку использовали не менее 5 мышей. С помощью стандартных методик был проведен гематологический анализ крови на анализаторе Beckman Coulter Ac*Т, определен уровень продукции АФК в цельной крови методом люминол-зависимой хемилюминесценции (СHEMILUM-12, Россия) [7, 8], и уровень цитогенетических повреждений в костном мозге с помощью микроядерного теста. Животных выводили из эксперимента методом декапитации через 28 ч после воздействия РИ в дозе 1.5 Гр и готовили препараты костного мозга для подсчета полихроматофильных эритроцитов (ПХЭ) с микроядрами (МЯ) по стандартной методике [9]. На экспериментальную точку использовали 5 мышей. Статистическую достоверность различий между группами оценивали с использованием *t* критерия Стьюдента.

Результаты

Было обнаружено, что обработка ФС излучением при всех изученных дозах не увеличивает уровень спонтанных цитогенетических повреждений в костном мозге по сравнению с уровнем естественного фона, так же, как и при облучении животных He-Ne и рентгеновским излучениями.

Из таблицы 1 видно, что только предварительная обработка животных ФС лазером при плотности потока 3 мДж/см² (0.05 мВт), 10.4 и 31 мДж/см² (0.5 мВт) и 10 мДж/см² (5 мВт) вызывала уменьшение цитогенетических повреждений, т.е. активировала естественную защиту в клетках костного мозга по тесту АО, что совпало с положительными контролями.

Известно, что процесс индукции АО включает в себя стимуляцию слабого окислительного стресса с образованием различных активных форм кислорода.

Поэтому мы исследовали уровень продукции АФК в клетках крови мышей, облученных в тех же условиях.

Из рисунка 1 видно, что при облучении мышей только в дозе 1.5 Гр наблюдается значительное повышение уровня продукции АФК, по сравнению со спонтанным уровнем. У предоблученных животных ФС лазером при плотности потока энергии 3 мДж/см² (0.05 мВт), 10.4 и 31 мДж/см² (0.5 мВт) и 10 мДж/см² (5 мВт), которые индуцировали АО по МЯ тесту наблюдалась тенденция к уменьшению уровня продукции АФК по сравнению с не предоблученными животными. Другие дозы излучения ФС лазера не изменяли уровень продукции АФК. Полученные эффекты совпали с положительными контролями в той же области доз. Гематологический анализ крови не выявил значимых изменений в клеточном составе во всех вариантах облучения.

Таблица 1

Количество полихроматофильных эритроцитов с микроядрами в клетках костного мозга после облучения мышей адаптирующими дозами ФС и He-Ne лазеров и РИ и выявляющей дозой 1.5 Гр РИ

Мощность, мВт	Время, с	Плотность потока энергии, мДж/см ²	Число ПХЭ	Число ПХЭ с МЯ	Доля ПХЭ с МЯ, %	АО
Фемтосекундный лазер						
0.05	1	0.1±0.03	14 000	759	5.4±0.15	-
0.05	30	3±0.1	12 000	491	4.09±0.10	+
0.5	1	1±0.3	20 000	1245	6.2±0.14	-
0.5	5	2.1±0.7	15 000	283	5.9±0.20	-
0.5	10	10.4±3.5	17 000	819	4.82±0.27	+
0.5	30	31	15 000	643	4.3±0.12	+
0.5	50	52±17	15 000	1010	6.7±0.10	-
5	1	10±3	18 000	934	5.05±0.19	+
5	2	21±7	15 000	984	6.56±0.26	-
5	5	52±16	20 000	1177	5.89±0.33	-
He-Ne лазер						
0.7	5 с	2	20 000	761	3.80±0.23	+
0.7	100 с	40	10 000	561	5.61±0.13	-
Рентгеновское излучение						
0.1 Гр/мин	60 с	4	10 000	346	3.46±0.17	+
1 Гр/мин	90 с	1.5 Гр	17 000	1145	6.7±0.03	

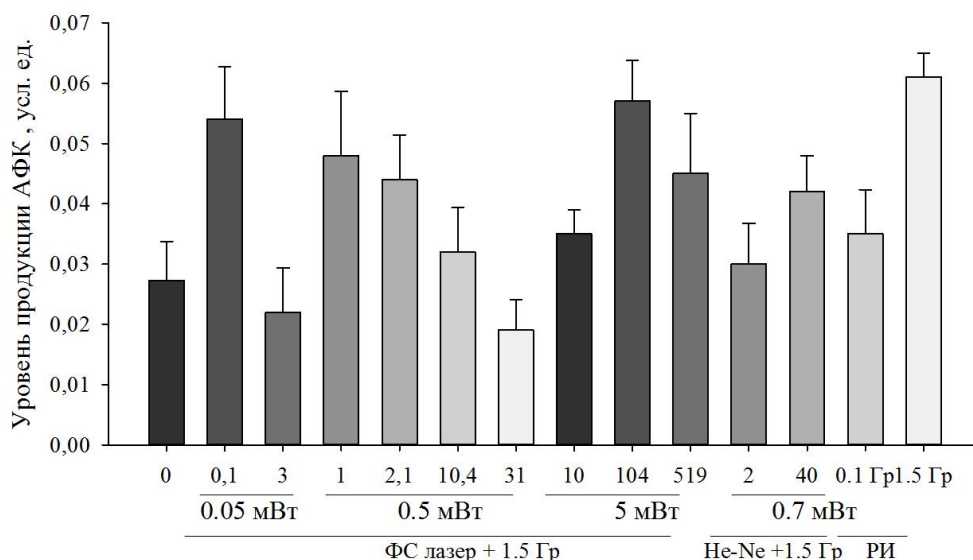


Рисунок 1 – Уровень продукции АФК в клетках крови мышей, облученных адаптирующими дозами ФС и He-Ne лазеров и РИ в дозе 0.1 Гр и затем выявляющей дозой 1.5 Гр РИ

Заключение

В результате проведенных экспериментов было обнаружено, что при воздействии на мышей неионизирующим низкоинтенсивным импульсным ФС лазерным излучением наблюдается активация естественной защиты организма по тесту «адаптивный ответ» в том же узком диапазоне плотности потока энергии, что и при облучении непрерывным He-Ne лазерным и РИ.

Полученные данные позволяют предположить схожий механизм активации естественной защиты организма ионизирующим и неионизирующим излучениями, что требует дальнейшего изучения.

Список литературы

1. Семенец Т.М. и др. 1993. Радиационная биология. Радиационная экология. 33(4):525-528.

2. Ibuki I., Goto R. 1994. Biological and Pharmaceutical Bulletin. 17(8):1111-1113.

3. Балакин В.Е. и др. Доклад РАН, 1998. 363(6):843-845.

4. Дюкина А.Р. и др. 2014. Медицинская физика. № 4. Т. 64. С. 37-45.

5. Заичкина С.И. и др. 1998. Генетика 34(7):1013-1016.

6. Гейниц А.В., Москвин С.В. Лазерная терапия в косметологии и дерматологии, М., 2010. 400 с.

7. Заичкина С.И. и др. 2016. Бюллетень экспериментальной биологии и медицины. 161(5): 621-624.

8. Дюкина А.Р. и др. 2011. Радиационная биология. 51(5): 536-541.

9. Schmid W. 1975. Mutat Res. 31(1):9-15.

PHOTODYNAMIC EFFECT OF LOW-INTENSITY FEMTOSECOND LASER RADIATION WITH A WAVE OF 525 NM IN A WHOLE BLOOD AND IN THE BONE MARROW OF MICE *IN VIVO*

Dyukina A.R.¹, Zaichkina S.I.¹, Rozanova O.M.¹, Sorokina S.S.¹, Smirnova E.N.¹, Shemyakov A.E.¹, Potselueva M.M.¹, Naumov A.A.¹, Yusupov V.I.²

¹ Institute of Theoretical and Experimental Biophysics of RAS, 142290 Pushchino, Moscow region, Institutskaya st. 3, Russian Federation

² Institute of Photon Technologies, FSRC "Crystallography and Photonics" of RAS, 108840 Troitsk, Moscow, Pioneer st. 2, Russian Federation

The work is devoted to identifying the activation of natural protection of mice under the action of a low-intensity femtosecond laser (525 nm, 10^{-15} s): according to the analysis of cell composition and the level of ROS production in the whole blood and the number of cytogenetic damage in the bone marrow, depending from laser dose and power. As positive controls, animals were irradiated with continuous He-Ne laser (632.8 nm) and X-ray radiation. It was found that activation of the body's natural defense was observed according to the adaptive response test in the same narrow range of energy

flux density as irradiated with He-Ne laser and X-ray radiation. This suggests a similar mechanism of natural activation protection of the body when exposed to ionizing and non-ionizing radiation.

Keywords: femtosecond laser and x-ray radiation, He-Ne laser, micronucleus test, adaptive response, blood composition, ROS, bone marrow, mice

УДК 576.356:574.224:575.21:582.282.23:614.875:614.876:539.1.047

ФЕНОТИПИЧЕСКОЕ ПРОЯВЛЕНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКОЙ НЕСТАБИЛЬНОСТИ ДРОЖЖЕВЫХ КЛЕТОК ПОСЛЕ ДЕЙСТВИЯ ИОНИЗИРУЮЩЕГО И НЕИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЙ

Евстратова Е.С.¹, Петин В.Г.²

¹ ФГБУ "Национальный медицинский исследовательский центр радиологии"

249036, г. Обнинск, ул. Королева, 4, Российская Федерация

e-mail: ekevs7240@mail.ru

² Медицинский радиологический научный центр им. А.Ф. Цыба – филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России

249036, г. Обнинск, ул. Королева, 4, Российская Федерация

e-mail: vgpetin@yahoo.com

Представлены результаты фенотипического проявления генетической нестабильности дрожжевых клеток дикого типа и их радиочувствительных мутантов, выживших после облучения γ -квантами, α -частицами и УФ светом. Было обнаружено, что эффект задержанного появления колонии облученными клетками более выражен для диплоидных клеток дикого типа в отличие от изогенных гаплоидных клеток. Аналогичные эксперименты были проведены для гаплоидных и гомозиготных диплоидных радиочувствительных и УФ-чувствительных мутантов.

Ключевые слова: фенотипическое проявление генетической нестабильности, УФ свет, ОБЭ, гамма-кванты, альфа-частицы, дрожжевые клетки

Генетическая нестабильность охватывает изменения, которые можно классифицировать различными способами [1, 2]. Многие эффекты, такие как хромосомные аберрации, репродуктивная гибель клеток, перегруппировка генома, злокачественная трансформация, снижение эффективности клонирования и гетерогенность среди потомства облученных клеток являются примером генетической нестабильности облученных клеток [3, 4]. Авторы работы [2] обсудили различные факторы, такие как плоидность клеток, фаза клеточного цикла, транскрипционная активность конкретной области ДНК, возможность клеток контролировать восстановление разрывов ДНК, метаболическая стадия клетки, ее дыхательная способность и, наконец, потенциальное воздействие эндогенного или экзогенного стресса, которые могут влиять на стабильность генома. Отсроченное формирование колоний клетками, выживающими после воздействия ионизирующего излучения, можно также рассматривать как пример фенотипического проявления генетической нестабильности облученной клетки [5]. Общим свойством различных задержанных эффектов излучения является передача субповреждений отдаленным потомкам выживших после облучения клеток. Недостаточно изученным аспектом этой проблемы является количественное сравнение выживаемости и фенотипического проявления генетической нестабильности для гаплоидных и диплоидных клеток, выживших после воздействия

канцерогенных факторов – γ -квантов, α -частиц и УФ света.

Материалы и методы

В качестве объекта исследования были выбраны дрожжи *Saccharomyces cerevisiae*, различного генотипа: дикие штаммы S288C (RAD) и XS800 (RAD/RAD), XS2316 (RAD/RAD), T1 (RAD/RAD); радиочувствительные мутантные штаммы XS1806 (*rad50/rad50*), XS774-4d (*rad51*) и XS806 (*rad51/rad51*); g160/2d (*rad52*) и XS1898 (*rad52/rad52*); XS1889 (*rad53/rad53*), g218/7c (*rad54*) и XS1879 (*rad54/rad54*), XS1935 (*rad55/rad55*), XS1943 (*rad56/rad56*); УФ-чувствительные мутантные штаммы T2 (*rad2/rad2*), XS1956 (*rad6/rad6*), XS1924 (*rad18/rad18*), а также гаплоидные варианты с мутациями в локусах *rad2*, *rad6*, *rad9*, *rad18*. В качестве редкоизирующего излучения использовали γ -кванты ^{60}Co (0,2 кэВ/мкм, 20 Гр/мин), в качестве плотноизирующего – α -частицы ^{239}Pu (120 кэВ/мкм, 23 Гр/мин). УФ облучение проводили с помощью трансиллюминатора (254 нм). Выживаемость определяли способностью клеток формировать макроколонию на твердой питательной среде. Фенотипическое проявление генетической нестабильности оценивали по степени задержки формирования колоний клетками, выжившими после облучения, по сравнению с необлученным контролем. Каждый опыт повторяли 5–7 раз.

Результаты

Используя тест выживаемости, были получены данные о том, что облучение УФ светом гаплоидных и диплоидных дрожжевых клеток приводит к сигмовидной форме кривых выживаемости независимо от плоидности клеток, и что гаплоидные дрожжевые клетки более чувствительны к УФ излучению, чем диплоидные (в 1,6 раза для выживаемости 10 %) (рис. 1). После облучения редкоизионизирующим излучением кривая выживаемости гаплоидных клеток экспоненциальная, тогда как диплоидных – сигмовидная. И они были более устойчивыми по сравнению с гаплоидными клетками (в 6,2 раза для выживаемости 10 %). После облучения α -частицами форма кривых выживаемости гаплоидных и диплоидных клеток оставалась без изменений по сравнению с γ -облучением, диплоидные клетки оставались более устойчивыми, чем гаплоидные, хотя степень кривизны начального участка кривой выживаемости диплоидных клеток была несколько уменьшена (рис. 1). Различия в их радиорезистентности также снизилось (в 2,1 раза для выживаемости 10 %).

Мы сравнили фенотипическое проявление генетической нестабильности, вызванную УФ светом, альфа- и гамма-излучениями в гаплоидных и диплоидных клетках различного генотипа. По мере увеличения дозы используемого фактора доля выживших диплоидных клеток, образующих колонии позже, чем в контроле, увеличивается и достигает почти 100 %, тогда как этот эффект составляет около 20–30 % для

гаплоидных клеток независимо от вида излучения (рис. 2).

Из этих данных можно сделать вывод, что с увеличением дозы воздействующего агента увеличивается доля клеток, содержащих неэффективные наследуемые субповреждения, ответственные за задержанное появление колоний. Фенотипическое проявление генетической нестабильности гаплоидных дрожжевых клеток, также характеризующихся сигмовидной формой кривой выживаемости после УФ облучения, гораздо менее выражена, чем в диплоидных клетках, и составляет около 30 % (рис. 2B).

Это подтверждает наш вывод о том, что генетическая нестабильность в основном определяется плоидностью клеток, а не формой кривых выживаемости и способностью клеток восстанавливаться от радиационных повреждений. Замедленное появление колоний более резко возрастало с дозой α -облучения, чем γ -квантов, что указывает на большую эффективность проявления анализируемого эффекта после действия плотноизионизирующего излучения.

Было выполнено экспериментальное сравнение выживаемости и фенотипического проявления генетической нестабильности диплоидного штамма дикого типа и его УФ-чувствительных мутантов. Оказалось, что фенотипическое проявление генетической нестабильности УФ-чувствительных штаммов намного больше, чем у клеток дикого типа.

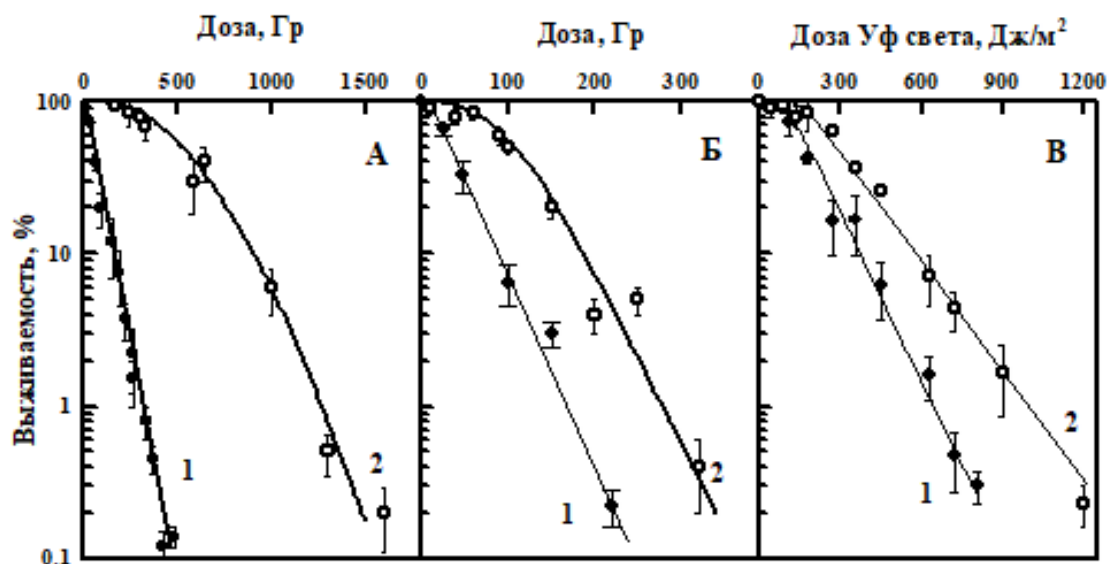


Рисунок 1 – Зависимость выживаемости клеток от дозы после γ -квантов (А), α -частиц (Б) и УФ света (В). Кривые 1 – гаплоидный штамм дикого типа S288С, кривые 2 – диплоидный штамм дикого типа XS800.

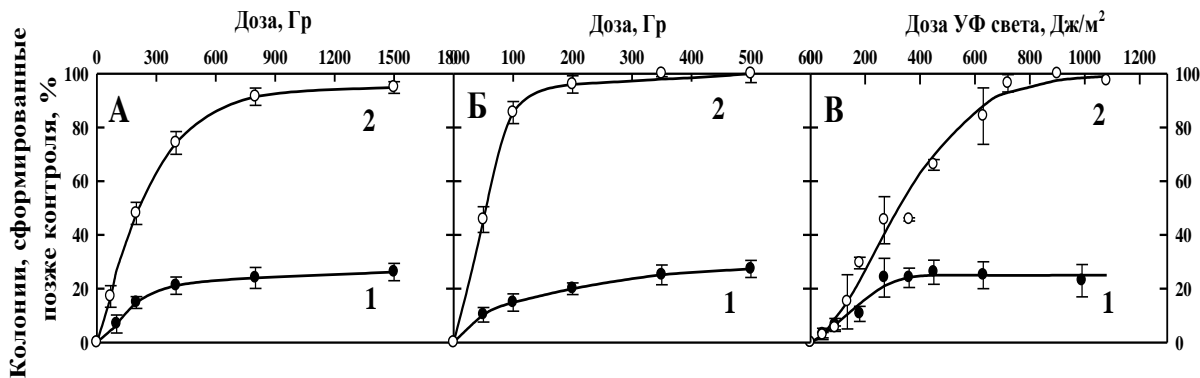


Рисунок 2 – Задержка появления колоний, образованных гаплоидными (кривые 1) и диплоидными (кривые 2) клетками, выжившими после γ -квантов (А), α -частиц (Б) и УФ света (В). Кривые 1 – гаплоидный штамм дикого типа S288C, кривые 2 – диплоидный штамм дикого типа XS800.

Также были получены результаты, которые показывают, что задержка формирования колоний облученными клетками в зависимости от их выживаемости практически не зависела от вида излучения. Эти данные свидетельствуют о том, что одинаково эффективный летальный эффект сопровождается равным количеством некоторых субповреждений, ответственных за генетическую нестабильность.

Обсуждение

Отсроченное появление колоний клетками, выжившими после воздействия ионизирующих и УФ излучений, подобно другим эффектам, таким как хромосомные aberrации, репродуктивная клеточная гибель, перегруппировка генома и гетерогенность среди потомков облученных клеток, представляют примеры генетической нестабильности облученной клетки [2]. Результаты, полученные для выживаемости и замедленного появления колоний изогенными гаплоидными и диплоидными дрожжевыми клетками дикого типа, выживающими после воздействия различных излучений, иллюстрирующих генетическую нестабильность, частично подтверждены ранее опубликованными данными [5, 6]. Результаты этих работ указывают, что этот эффект более выражен для диплоидных, чем для гаплоидных дрожжевых штаммов (100 % против 20 %). Мы предположили, что фенотипическое проявление генетической нестабильности может существенно определяться пloidностью дрожжевых клеток и быть не связано с формой кривой зависимости выживаемости от дозы и способностью клеток восстанавливаться от радиационных повреждений. Чтобы проверить это предположение, мы сравнили задержанное образование колоний гаплоидными и гомозиготными диплоидными штаммами дикого типа и радиочувствительными мутантами, выживающими при воздействии излучений с различными ЛПЭ. Было показано, что как резистентные, так и радиочувствительные диплоидные штаммы, в отличие от гаплоидных, демонстрируют большую степень

фенотипического проявления генетической нестабильности (100 % против 20–30 %) независимо от качества излучения.

Выводы

Зависимость задержанного появления колоний гаплоидными и диплоидными дрожжевыми клетками от их выживаемости была практически одинаковой после воздействия УФ света, редко- и плотноионизирующего излучения. Исходя из этого, можно сделать вывод, что число сформированных радиационных повреждений, ответственных за гибель клеток, может быть прямо пропорционально числу некоторых субповреждений, ответственных за генетическую нестабильность. Задержка появления колоний, образованных клетками, выживших после облучения ионизирующими излучениями различного качества и УФ светом, в основном определяется пloidностью клеток, а не сигмоидной формой кривой выживаемости и способностью клеток восстанавливаться от радиационных повреждений, как неоднократно предполагалось в более ранних работах [5].

Список литературы

1. Zhu J., Pavelka N., Bradford W.D. et al. Karyotypic determinants of chromosome instability in aneuploid budding yeast // *PLoS Genetics*. 2012. V. 8. № 5. e1002719.
2. Skoneczna A., Kaniak A., Skoneczny M. Genetic instability in budding and fission yeast – sources and mechanisms // *FEMS Microbiol. Rev.* 2015. V. 39. P. 917–967.
3. Kumaran R., Yang S.-Y., Leu J.-Y. Characterization of chromosome stability in diploid, polyploid and hybrid yeast cells // *PLoS ONE*. 2013. V. 8. № 7. e68094.
4. Lee M.-S., Yu M., Kim K.-Y. et al. Functional validation of rare human genetic variants involved in homologous recombination using *Saccharomyces cerevisiae* // *PLoS ONE*. 2015. V. 10. № 5. e0124152.

5. Korogodin V.I., Bliznik K.M., Kapultcevich Yu.G. et al. Cascade mutagenesis: regularities and mechanisms // Proc. 2-nd Int. N.W. Timofeef-Ressovsky Conference. Dubna. 2007. V. 1. P. 419–447.

6. Petin V.G., Perekhad O.V., Nili M. et al. Yeast cells retain a memory of their original radiation-induced insult // J. Radiat. Industry. 2008. V. 2. № 2. P. 59–64.

PHENOTYPIC MANIFESTATION OF GENETIC INSTABILITY OF YEAST CELLS AFTER THE ACTION OF IONIZING AND NONIONIZING RADIATIONS

Evstratova E.S.¹, Petin V.G.²

¹ National Medical Research Radiological Center of the Ministry of Health of Russia, 249036 4, Korolev st., Obninsk, Russian Federation

² A. Tsyb Medical Radiological Research Center – branch of the National Medical Research Radiological Center of the Ministry of Health of the Russian Federation? 249036 4, Korolev st., Obninsk, Russian Federation

The results of the phenotypic manifestation of genetic instability of wild-type yeast cells and radiosensitive mutants that survived after γ -ray irradiation, α -particles and UV radiation are presented. It was found that the effect of delayed colony appearance by irradiated cells is more pronounced for wild-type diploid cells, in contrast to the isogenic haploid strain. Similar experiments were carried out for haploid and homozygous diploid radiosensitive mutants.

Keywords: phenotypic manifestation of genetic instability, UV light, RBE, gamma rays, alpha particles, yeast cells

УДК: 577.15:614.876:535.243:582.683.2:582.736:582.998:582.542.1:582.675.1

АКТИВНОСТЬ ФЕРМЕНТОВ АНТИОКСИДАНТНОЙ СИСТЕМЫ В ХРОНИЧЕСКИ ОБЛУЧАЕМЫХ ПОПУЛЯЦИЯХ ТРАВЯНИСТЫХ РАСТЕНИЙ

Казакова Е.А.¹, Волкова П.Ю.¹, Манухина Я.А.²

¹ ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии»
249032 Калужская область, г. Обнинск, Киевское шоссе, 109 км, Российская Федерация
e-mail: elisabethafeb19@gmail.com

² Обнинский институт атомной энергетики – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ»
249040 Калужская область, г. Обнинск, Студгородок, д.1, Российская Федерация

Проведена спектрофотометрическая оценка активности антиоксидантных ферментов гваяколовой пероксидазы (РОХ), аскорбатпероксидазы (АРХ) и каталазы (САТ) в хронически облучаемых популяциях пяти видов травянистых растений, произрастающих в тридцатикилометровой зоне отчуждения Чернобыльской АЭС.

Ключевые слова: активность ферментов, антиоксидантная система, хроническое облучение, травянистые растения

В результате аварии на Чернобыльской АЭС в течение несколько десятков лет популяции травянистых растений, произрастающие на радиоактивно загрязнённых территориях, подвергаются хроническому облучению. Механизм адаптации таких популяций к условиям многолетнего хронического радиоактивного загрязнения в настоящее время очень слабо изучен.

Известно, что в результате действия стрессоров антиоксидантная система контролирует уровни активных форм кислорода и продуктов перекисного окисления липидов и обезвреживает их с помощью ферментативных и неферментативных антиоксидантов [1]. Изучение состояния антиоксидантной системы хронически облучаемых популяций

травянистых растений поможет выяснить, какую роль данная система защиты клеток играет в адаптации этих популяций к стрессовым условиям.

В данной работе проведена оценка активности антиоксидантных ферментов РОХ, АРХ и САТ в хронически облучаемых популяциях пастушьей сумки обыкновенной (*Capsella bursa-pastoris* (L.) Medik), клевера белого (*Trifolium repens* L.), одуванчика лекарственного (*Taraxacum officinale* (L.) Webb.), ежи сборной (*Dactylis glomerata* L.) и водосбора обыкновенного (*Aquilegia vulgaris* L.), произрастающих на участках, расположенных в зоне отчуждения Чернобыльской АЭС на территории Республики Беларусь (Гомельская область).

Материалы и методы

Экспериментальные и контрольные участки были заложены в Полесском радиационно-экологическом заповеднике. Для каждого вида растения выбрано два контроля (Бабчин и Ломыш) и три радиоактивно загрязнённых участка (Радин, Кулажин, Масаны) (Таблица 1). На всех участках измерена мощность амбиентной дозы (γ) и плотность потока β - и α -частиц

(Таблица 1). Также на каждом участке отобраны пробы почв для оценки удельной активности радионуклидов (^{137}Cs , ^{90}Sr , $^{238,239,240}\text{Pu}$, ^{241}Am). На основе полученных данных будет проведён расчёт поглощённых растениями доз.

На участках для анализа активности ферментов были отобраны листья исследуемых растений. Образцы сразу же замораживали в жидком азоте и хранили в сосуде Дьюара до начала анализа.

Таблица 1

Характеристика экспериментальных участков

Участок	Вид растения на участке	МАД (γ), мкЗв/ч	Φ_{β} , част./ (мин·см ²)	Φ_{α} , част./ (мин·см ²)
Бабчин (Б), к	<i>C. bursa-pastoris</i> , <i>T. repens</i> , <i>T. officinale</i> , <i>D. glomerata</i> , <i>A. vulgaris</i>	0.33	1.16	1.2
Ломыш (Л2), к	<i>Taraxacum officinale</i>	0.24	1.4	5.6
Ломыш (Л3), к	<i>T. repens</i> , <i>D. glomerata</i> , <i>A. vulgaris</i>	0.28	0.3	2.4
Радин (Р1)	<i>Capsella bursa-pastoris</i>	3.89	8.4	8.6
Радин (Р2)	<i>T. repens</i> , <i>T. officinale</i> , <i>D. glomerata</i>	3.89	8.4	8.6
Радин (Р3)	<i>Aquilegia vulgaris</i>	5.27	8.0	22.3
Кулажин (К1)	<i>Capsella bursa-pastoris</i>	2.99	59.3	202.3
Кулажин (К1)	<i>Trifolium repens</i>	2.78	18.0	30.7
Кулажин (К2)	<i>T. officinale</i> , <i>D. glomerata</i>	5.16	39.0	67.0
Кулажин (К2)	<i>Aquilegia vulgaris</i>	6.20	22.0	52.3
Масаны (М2)	<i>T. repens</i> , <i>T. officinale</i> , <i>D. glomerata</i> , <i>A. vulgaris</i>	3.77	38.3	39.0

Примечание: МАД – мощность амбиентной дозы (γ), Φ_{β} – плотность потока β -частиц, Φ_{α} – плотность потока α -частиц, к – контрольный участок

В лаборатории из каждого образца отбирали навеску ткани (~ 0.25 г) и гомогенизировали в жидком азоте. Гомогенат переносили в пробирки и растворяли в 1 мл 0.1 М холодного калий-фосфатного буфера (рН 7.0), затем центрифугировали в течение 20 минут при скорости 14.500 об/мин на мини-центрифуге «Erpendorf» с охлаждением. Приготовленные экстракты использовали для анализа. Пробоподготовка проведена с применением штатива-охлаждителя «CoolBox».

Экстракты (по 5 образцов с каждого участка для одного вида растения) анализировали на бесцветном спектрофотометре «NanoDrop-2000». Анализ активности РОХ проводили по [2] с модификациями. Измерения проводились при длине волны 470 нм. Коэффициент экстинкции $\epsilon = 26600 \text{ л}\cdot\text{моль}^{-1}\cdot\text{см}^{-1}$. Активность САТ определяли по [2] с модификациями. Измерения проводились при длине волны 340 нм. Коэффициент экстинкции $\epsilon = 0.047 \text{ л}\cdot\text{моль}^{-1}\cdot\text{см}^{-1}$ [3]. Анализ активности АРХ выполнен по [4] с модификациями. Измерения проводились при длине волны 290 нм. Коэффициент экстинкции $\epsilon = 2800 \text{ л}\cdot\text{моль}^{-1}\cdot\text{см}^{-1}$. Показания спектрофотометра переводили в

международные единицы ферментативной активности (МЕ) (МЕ в мл реакционной смеси для РОХ и АРХ; МЕ в мкл реакционной смеси для САТ), используя формулу из [2]. Длина оптического пути равна 1 мм. Анализ результатов выполнен в MS Office Excel 2010. Значимость различий оценивали с помощью U-критерия Манна-Уитни в Statistica 6.0.

Результаты и обсуждение

Данные об активности изученных ферментов в популяциях пастушьей сумки обыкновенной и клевера белого представлены на рисунке 1.

Активность РОХ, САТ и АРХ в популяциях *C. bursa-pastoris* оценена только для одного контрольного участка Б и двух загрязнённых участков Р1 и К1. Статистически значимых различий активности трёх изученных ферментов между контрольным и загрязнёнными участками не найдено (рис. 1). Полученный результат может быть связан с высокой радиорезистентностью семейства Крестоцветные (*Brassicaceae*), к которому принадлежит данный вид.

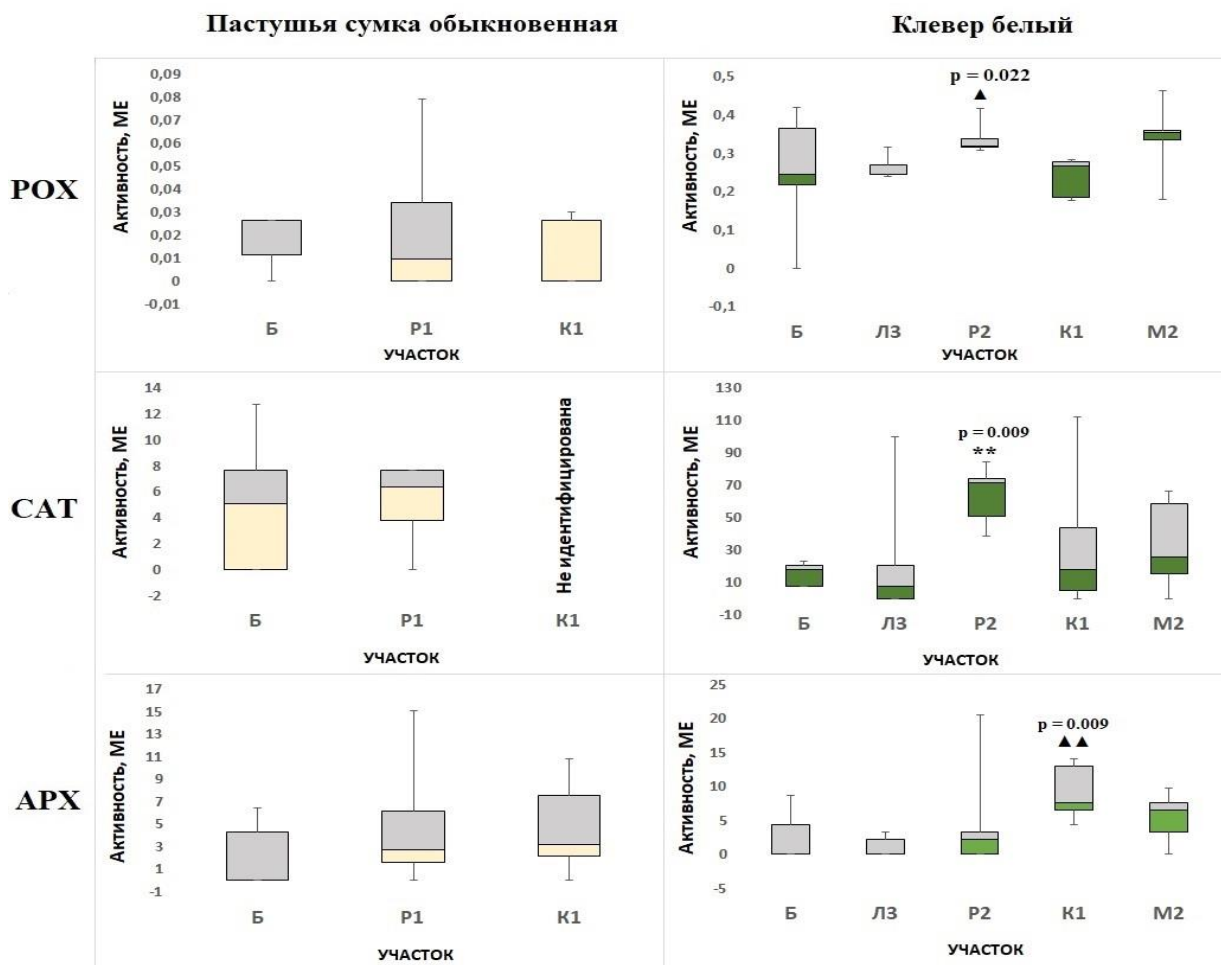


Рисунок 1 – Активность ферментов POX, CAT и APX в хронически облучаемых популяциях пастушьей сумки обыкновенной и клевера белого

В популяциях *T. repens* (семейство Бобовые (*Fabaceae*) – средняя радиорезистентность) POX статистически значимо увеличивает свою активность на участке Р2 по сравнению с контролем ЛЗ ($p = 0.022$). Для CAT наблюдается похожая ситуация, только различия отмечены на участке Р2 по сравнению с контролем Б и больше их статистическая значимость ($p = 0.009$). Активность APX возрастает на участке К1 в сравнении с контрольным участком ЛЗ ($p = 0.009$) (рис. 1).

На рисунке 2 показаны результаты оценки активности изученных ферментов в популяциях одуванчика лекарственного и ежи сборной.

Активность POX и CAT в популяциях *T. officinale* (семейство Сложноцветные (*Asteraceae*) со средней радиорезистентность) статистически значимо возрастает на участке М2. При этом значимых изменений активности APX в популяциях одуванчика лекарственного отмечено не было (рис. 2).

CAT и APX не изменяют активность в популяциях *D. glomerata* (Злаковые (*Gramineae*)), а активность POX на участке Р2 оказалась статистически значимо ниже, чем в контролях (рис. 2). Результаты требуют

уточнений в дальнейших работах, так как вид *D. glomerata* относится к радиочувствительному семейству.

Для популяций *A. Vulgaris* активность POX и CAT не идентифицированы, а активность APX значимо не изменялась несмотря на то, что данный вид принадлежит к радиочувствительному семейству Лютиковые (*Ranunculaceae*).

Данные о радиочувствительности семейств взяты из [5].

Выводы о природе возрастания активности ферментов на радиоактивно загрязнённых участках Радин, Кулажин (для *T. repens*) и Масаны для (*T. officinale*) по сравнению с контрольными участками, а также о причинах значимо не изменяющейся и нулевой активности ферментов для радиочувствительных видов можно будет сделать после оценки поглощённых растениями доз и анализа других компонентов антиоксидантной системы. Полученные данные внесут вклад в оценку состояния антиоксидантной системы хронически облучаемых популяций пяти видов растений с разной радиочувствительностью.

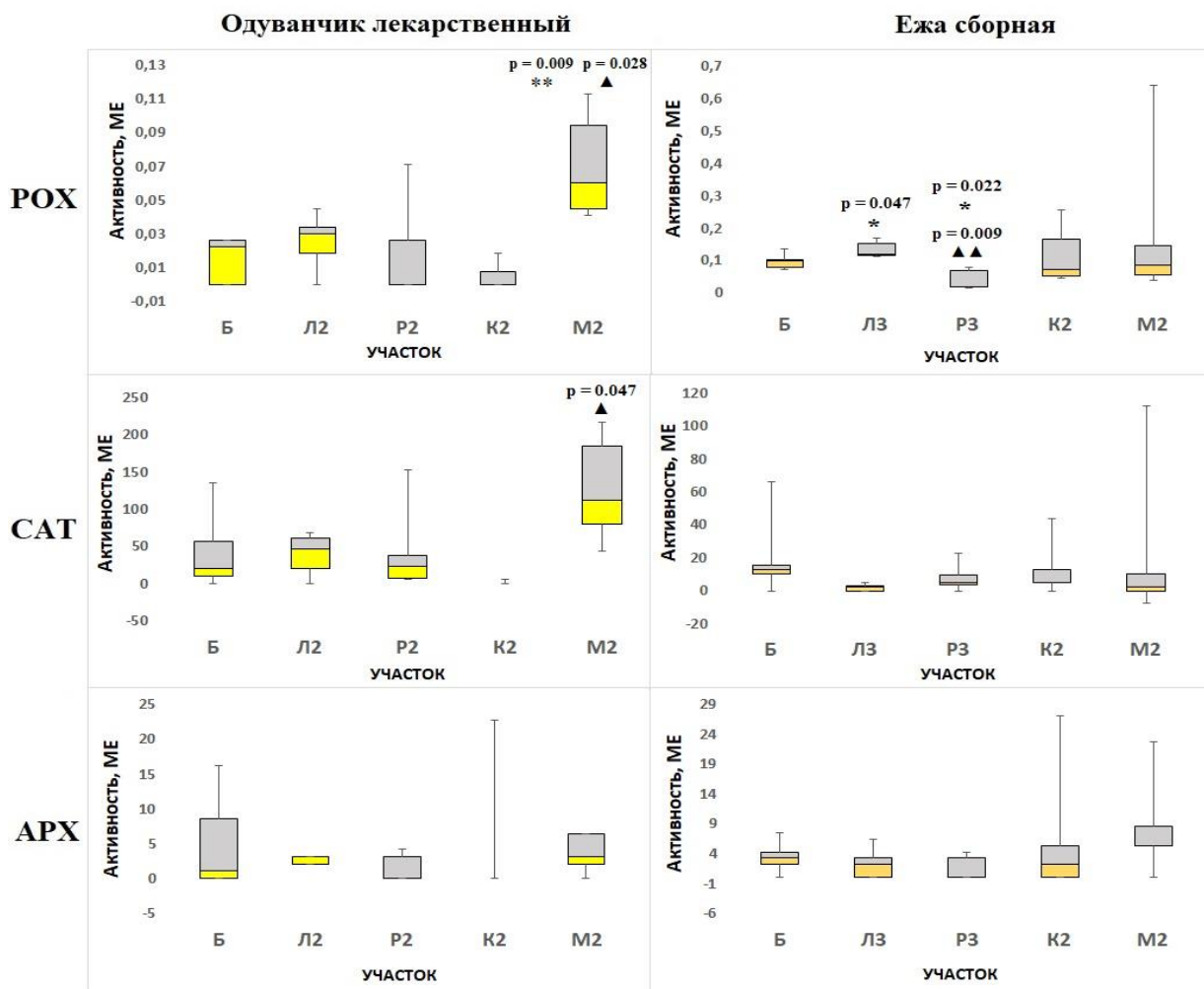


Рисунок 2 – Активность ферментов POX, CAT и APX в хронически облучаемых популяциях одуванчика лекарственного и ежи сборной

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 18-34-20012.

Список литературы

1. Полесская, О.Г. Растительная клетка и активные формы кислорода / под ред. И.П. Ермакова. М: КДУ, 2007. 140 с.
2. Биссвангер, Х. Практическая энзимология. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. 328 с.

3. Cataldo, F. Hydrogen peroxide photolysis with different UV light sources including a new UV-LED light source // New Front. Chem. 2014. V. 23. № 2. P. 99-11

4. Verma S., Dubey R.S. Lead toxicity induces lipid peroxidation and alters the activities of antioxidant enzymes in growing rice plants Plant Science. 2003. V. 164. P. 645-655

5. Сарапульцев Б.И., Гераськин С.А. Генетические основы радиорезистентности и эволюция. М.: Энергоатомиздат, 1993. 208 с.

ACTIVITY OF ENZYMES ANTIOXIDANT SYSTEM IN CHRONIC IRRADIATED POPULATIONS OF HERBAL PLANTS

Kazakova E.A.¹, Volkova P.Yu.¹, Manukhina Y.A.²

¹ Russian Institute of Radiology and Agroecology? 249032 Kaluga region, Obninsk, Kievskoe shosse 109 km, Russian Federation

² Obninsk Institute of Nuclear Power Engineering - branch of the National Research Nuclear University "MEPhI"

We performed spectrophotometric assessment of the activity antioxidant enzymes guaiacol peroxidase (POX), ascorbate peroxidase (APX) and catalase (CAT) in chronically irradiated populations of five species herbaceous plants growing in the thirty-kilometer exclusion zone of the Chernobyl nuclear power plant.

Keywords: *enzyme activity, antioxidant system, chronic radiation, herbaceous plants*

УДК 611.81+616-091.8+577+615.03

МОРФОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРОТИВОЛУЧЕВОГО ДЕЙСТВИЯ НЕЙРОПЕПТИДА «СЕМАКС»

Колесникова И.А.^{1,2}, Буденная Н.Н.^{1,2}, Северюхин Ю.С.^{1,2}, Ляхова К.Н.¹, Утина Д.М.^{1,2}

¹ Объединенный институт ядерных исследований, 141980 Московская обл., г. Дубна, ул. Жолио-Кюри 6, Российская Федерация

² Государственный университет «Дубна», 141982 г. Дубна Московской обл., ул. Университетская, 19, Российская Федерация

e-mail: innakolesnikova@jinr.ru

Проведено исследование радиопротекторных свойств ноотропного препарата «Семакс», который, предполагается, способен специфически купировать радиационные нарушения в ЦНС. Эксперимент проведен на самках аутбредных мышей ICR (CD-1), SPF-категории. Мыши были облучены ускоренными протонами в дозе 2,3 Гр. Биологический материал зафиксирован в растворе Карнуа, парафиновые срезы были приготовлены по стандартной гистологической методике, окрашены крезил-виолетом по методу Ниссля. Проведен качественный и количественный анализ морфологических изменений в головном мозге грызунов. В сенсомоторной коре головного мозга облученных животных, которым интраназально вводили препарат «Семакс» в течение недели после облучения наблюдается статистически значимое увеличение глио-нейронального индекса.

Ключевые слова: *«Семакс», мозг, нейрон, глио-нейрональный индекс, сосуды, протоны*

Медицинский препарат нейропептид с торговым названием «Семакс» имеет химическое название метионил-глутамил-гистидил-фенилаланил-пролил-глицил-пролин. «Семакс» относится к фармацевтической группе ноотропное средство и выпускается в лекарственной форме: капли назальные 0,1 % [5]. Препарат влияет на процессы, связанные с формированием памяти и обучением, усиливает внимание при обучении и анализе информации, улучшает консолидацию памятного следа у пациентов после нейрохирургических вмешательств, черепно-мозговой травмы, страдающих цереброваскулярными заболеваниями, в том числе дисциркуляторной энцефалопатией, улучшает адаптацию организма к гипоксии, церебральной ишемии, наркозу и другим повреждающим воздействиям [1]. Запатентована способность препарата купировать радиационные нарушения в деятельности ЦНС и силе скелетной мускулатуры [6, 7].

Глиальные клетки – обширная разнородная группа клеток нервной ткани, обеспечивающая существование и функционирование нейронов. Ввиду тесной связи работы глиальных элементов и сосудистой системы мозга представляется актуальным исследовать действие препарата на взаимосвязь всех клеточных элементов нервной ткани: нейроны, глия, клетки эндотелия капилляров. Для этого был посчитан глио-нейрональный индекс.

Целью исследования является оценка противолучевого влияния официального препарата «Семакс» на состояние ЦНС экспериментальных животных, облученных протонами с энергией 170 МэВ в дозе 2,3 Гр по уровню глио-нейронального индекса.

Материалы и методы исследования

Исследования цитоморфологических изменений нейронов головного мозга осуществлялись на аутбредных половозрелых самках мышей ICR (CD-1), SPF категории, массой тела 21 – 29 грамм, в возрасте 7-8 недель. В ходе всего эксперимента животные содержались в стандартных лабораторных условиях и имели свободный доступ к воде и корму.

Животные были подвергнуты облучению ускоренными протонами на медицинском пучке фазотрона ОИЯИ. Мышей фиксировали и облучали в специальных индивидуальных контейнерах по 4 животных одновременно. Направление пучка протонов – краниокаудальное. Для контрольных животных имитировался процесс облучения.

Средняя энергия протонного пучка на входе в кабину перед замедлителем составляет 170 МэВ. Объекты облучали в пике Брэгга в дозе на входе 1,0 Гр, и это составляло 2,3 Гр в точке облучения, т.е. на тело мыши. Мощность дозы на входе пучка (с убранным дополнительным замедлителем) составляла 0,62 Гр/мин, мощность дозы в точке облучения составляла 1,42 Гр/мин. Для контроля облучения за

контейнерами с мышами экспонировалась радиохромная пленка.

После облучения животных делили на две рандомизированные по массе группы, одна из них – основная – получала препарат «Семакс» 0,1 % по 1 капле интраназально, начиная со второго часа после облучения, трижды в сутки: утром, днем и вечером в течение 7 суток. Другой группе облученных животных вводили кипяченую охлажденную воду.

Для гистологического исследования после декапитации на 8-е сутки брался биологический материал. Обработка мозга и приготовление препаратов проходила в соответствии со стандартной гистологической техникой, окраска крезил-виолетом по методу Ниссля.

Для оценки степени тяжести структурных нарушений в нервной ткани мозга экспериментальных животных использовалась количественная методика оценки дистрофических изменений в сенсомоторной коре, гиппокампе и мозжечке [2]. Визуально-оптическим методом исследованы васкулярные изменения. Посчитан глио-нейрональный индекс: отношение числа глиальных клеток к количеству нейронов.

Для статистической обработки использовали программный комплекс Past3, достоверность рассчитывали с помощью критерия Манна-Уитни. Результаты считали статистически достоверными при $p \leq 0,05$.

Все исследования проводились с соблюдением всех требований и правил биоэтики содержания лабораторных животных в условиях вивария, установленных в ГНЦ РФ ИМБП РАН.

Результаты и обсуждение

В сенсомоторной коре головного мозга облученных животных, которым интраназально вводили препарат «Семакс» после облучения, наблюдается снижение количества дистрофически-измененных нейронов в сравнении с группой облученных животных, не получавших препарат «Семакс». Противолучевое действие «Семакса» по результатам исследования клеток Пуркинье мозжечка не установлено. В коре головного мозга у облученных животных, получавших «Семакс», практически отсутствуют нарушения капилляров. Полученные результаты по соотношению нормальных, измененных и деструктивных

нейронов в сенсомоторной коре и мозжечке были опубликованы в статье [3].

Обнаруженные в данном эксперименте различия в формировании изменений в клетках разных зон головного мозга (в сенсомоторной коре, в зоне гиппокампа, мозжечке) зависят от состояния капилляров и сосудов этих областей мозга. В исследуемых образцах дистрофически-измененные нервные клетки располагались вблизи капилляров с периваскулярным отеком. Незначительные патологические изменения капилляров наблюдались у облученных животных, не получавших «Семакс». При этом в экспериментальной группе облученных животных с введением «Семакса» после облучения, и количество измененных нейронов разительно отличается от их числа у облученных животных, не получавших «Семакс» [3].

При визуально-оптическом исследовании в препаратах облученных животных наблюдались изменения мелких сосудов и капилляров. При применении «Семакса» этих васкулярных изменений было меньше. Предполагается, что за счет большей сохранности капиллярной сети, у животных, получавших препарат, глиальные клетки эффективней справлялись со своими функциями. Морфологическое исследование состояния нервной ткани под влиянием ноотропного препарата свидетельствуют об активности глии у грызунов, получавших «Семакс», о чем свидетельствует статистически значимое увеличение глио-нейронального индекса (рис. 1). Полученные данные согласуются и подтверждают ранее описанные сосудистые и капиллярные изменения в мозге [3].

Выводы

Отсутствие нарушений микроциркуляторного русла в коре большого головного мозга облученных животных получавших «Семакс» и полученные результаты о повышенной функциональной активности глиальных элементов, а также меньшее количество измененных нейронов указывает на эффективное положительное действие «Семакса» на гемодинамику головного мозга, на его противолучевой эффект.

Работа выполнена при поддержке гранта ОМУС 19-702-02.

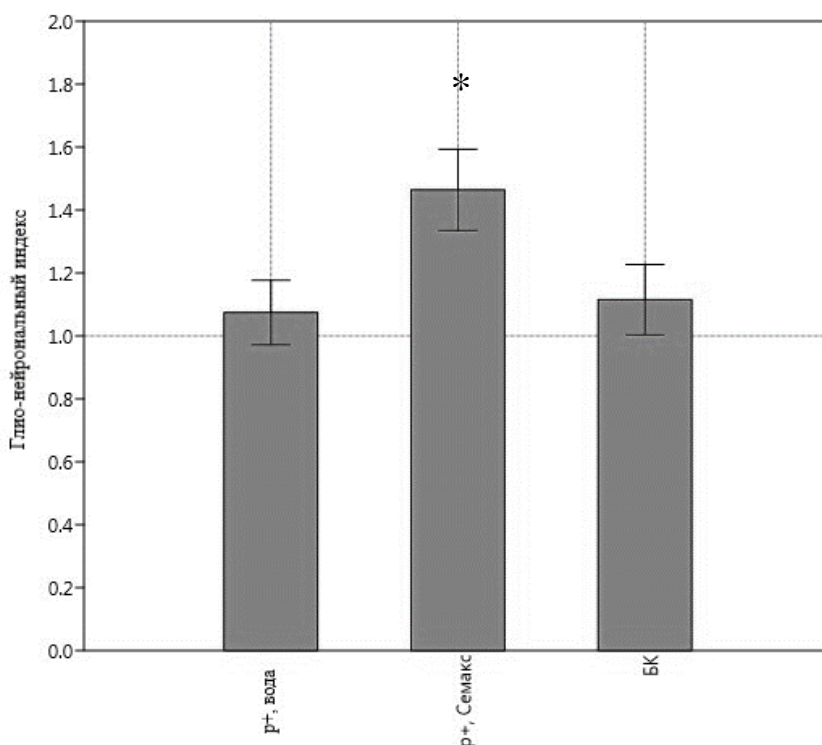


Рисунок 1 – Глио-нейрональный индекс. Группы: r+, вода - облученные с введением кипяченой воды; r+, Семакс - облученные, с введением препарата «Семакс»; БК - необлученный контроль; * - статистически значимые различия с группами «БК» и «r+, вода»

Список литературы

1. Андреева Л.А., Ашмарин И. П. Ноотропное средство и фармацевтическая композиция ноотропного действия. Патент на изобретение RU №2045958 опубликовано: 20.10.1995.

2. Буденная Н.Н., Федоренко Б.С., Петров В.М. Методика определения цитоморфологических изменений в нейронах головного мозга и внутренних органов лабораторных животных №1-104-7-92, Р. 1-9, 1992 г.

3. Ляхова К. Н. и др. Влияние препарата «Семакс» на жизненный статус и морфологические изменения в головном мозге мышей при облучении протонами //Радиационная биология. Радиоэкология. 2019. Т. 59. №. 2. С. 191-199.

4. Мартиросов К.С., Зорин В. В. Средства профилактики и лечения диспептических проявлений первичной реакции на облучение // Радиационная медицина: в 4 т. Т 1. Теоретические основы радиационной медицины. М., 2004. с. 761-787.

5. Регистр лекарственных средств России 2000-2016. Семакс раствор 0,1 %. Инструкция по применению, противопоказания и состав.

6. Иванов А.А., Красавин Е.А., Ляхова К.Н. и др. Способ профилактики нарушений психоневрологического статуса при острой лучевой болезни в эксперименте: Патент РФ №2638270.

7. Иванов А.А., Красавин Е.А., Ляхова К.Н. и др. Способ профилактики снижения мышечной силы при острой лучевой болезни в эксперименте: Патент РФ № 2666937.

MORPHOLOGICAL JUSTIFICATION OF OPPOSITE ACTION OF NEUROPEPTID "SEMAX"

Kolesnikova I.A. ^{1,2}, Budennaya N.N. ^{1,2}, Severyukhin Yu.S. ^{1,2}, Lyakhova K.N. ¹, Utina D.M. ^{1,2}

¹ Joint Institute for Nuclear Research, 141980 Moscow Region, Dubna, Joliot-Curie St 6, Russian Federation

² Dubna State University, 141982 Dubna, Moscow region, Universitetskaya 19

A study of the radioprotective properties of the nootropic drug Semax, which is supposed to be able to specifically control radiation disorders in the central nervous system, was conducted. The experiment was carried out on female ICR outbred mice (CD-1), SPF categories. The mice were irradiated with protons at the dose of 2.3 Gy. Biological material was fixed in Carnoy's solution, paraffin sections were prepared by the standard histological method, stained with cresyl violet according to the Nissl method. A qualitative and quantitative analysis of morphological changes in the brain of rodents was carried out. In the sensorimotor cortex of irradiated animals, to which the Semax preparation was intranasally administered after irradiation for a week, there is a statistically significant increase in the glio-neuronal index.

Keywords: *Semax, brain, neuron, glio-neuronal index, vessels, protons*

УДК 54.061+57.087

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ФЛАВОНОИДОВ В ОБЛУЧЕННЫХ ОБРАЗЦАХ ПОСРЕДСТВОМ СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

Крыленкин Д.В., Морозова А.И., Васильева Н.А.

*ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии»
249032 Калужская область, г. Обнинск, Киевское шоссе, 109 км, Российская Федерация
e-mail: cornblum@mail.ru*

Кратко изложена общая информация о биологически активных веществах флавоноидах. Обоснована потребность в количественном определении их содержания в продуктах и влияния на него методов их обработки. Были изучены методики качественного и количественного определения флавоноидов в различных продуктах, препаратах и сырье. На их основании составлена и апробирована методика определения флавоноидов в образцах облученного кориандра. Рассмотрены дальнейшие пути изучения и доработки данной методики для определения содержания флавоноидов в облученных образцах методом спектрофотометрического анализа.

Ключевые слова: *флавоноиды, спектрофотометрический анализ, антиоксиданты, кориандр, кверцетин, биологически активные добавки*

Флавоноиды принадлежат к классу полифенольных соединений растительного происхождения. Однако среди вторичных продуктов эта группа веществ является одной из наиболее заметных, благодаря участию во многих ключевых процессах роста и развития растений. Флавоноиды участвуют в пигментации растений, могут определять окраску цветов и выполняют множество других функций [1].

В клетках животных и человека флавоноиды не синтезируются, и присутствие флавоноидов в тканях полностью зависит от потребления в пищу растительных продуктов. Хертог (Hertog) одним из первых оценил размеры потребления флавоноидов большими группами населения. Было показано, что смертность от инфаркта миокарда среди пожилых людей характеризуется обратной корреляцией с потреблением флавоноидов. В то же время этим автором не было обнаружено связи между потреблением флавоноидов и онкологическими заболеваниями. Проведенные позже на многих тысячах добровольцев многолетние наблюдения связи между потреблением флавоноидов и сердечно-сосудистыми заболеваниями выявляли наличие корреляции не во всех случаях. В отличие от общепризнанных витаминов, например витамина Е или витамина С, отсутствие в пище флавоноидов не приводит к развитию выраженного синдрома дефицита. Поэтому причисление флавоноидов

к группе витамина Р оказалось преждевременным и впоследствии было отклонено [1].

Интерес к флавоноидам обусловлен не только возможным положительным действием этих веществ, наблюдаемым при потреблении растительных продуктов, но также перспективой получения синтетических производных этих веществ, обладающих лекарственным действием. На основе флавоноидов возможно создание новых высокоактивных лекарственных препаратов, обладающих противовоспалительной, антиканцерогенной, противовирусной, антипаразитарной или бактерицидной активностью [2]. Примечательно, что флавоноиды и их производные подчас обладают меньшей токсичностью и проявляют меньше побочных эффектов, чем аналогичные лекарственные средства. В то же время необходимо учитывать, что чрезмерное потребление какого-либо продукта чревато негативными последствиями. Флавоноиды не составляют исключения из этого правила, хотя аспекты негативного действия избытка флавоноидов исследованы мало [3]. С особой осторожностью следует относиться к большим дозам препаратов очищенных флавоноидов, предлагаемых в качестве пищевых добавок [4].

Таким образом, можно проследить необходимость контроля потребления флавоноидов, что в свою очередь требует знания их содержания в потребляемых продуктах, таких как фрукты, овощи,

растительные масла, вина, чай, кофе, какао, приправы и специи, а также влияние различных видов обработок этих продуктов на изменение содержания в них флавоноидов, в том числе эффекты различных видов ионизирующего облучения.

Существует несколько вариаций методов определения содержания флавоноидов в продуктах. В частности, в статье Ж.С. Лесовой исследовались условия извлечения флавоноидов из сырья последовательной сменой этанола 90 %, 70 % и 40 % концентрации [5]. В статье А.А. Марьина, Г.И. Калинина для качественного определения флавоноидов использовался хроматографический метод. В качестве одного из наиболее распространенных методов количественного определения флавоноидов выступает фотоспектрометрический анализ благодаря их способности легко образовывать комплексы с ионами металлов [6]. В частности, в вышеупомянутой статье А.А. Марьина после извлечения флавоноидов из сбора «Кардезид» 40 % спиртом, после взаимодействия вытяжки с раствором хлорида алюминия проводили измерения оптической плотности. Было отмечено что наблюдается батохромный сдвиг длинноволновой полосы поглощения благодаря чему основной пик наблюдался при длине волны 410 нм. При этом оптимальным соотношением сырья к экстрагенту было установлено 1:50. Ошибка методики составляла 4,52 % [7]. Исследования Тихонова Б.Б. и др. [8] показали, что использование 70 % раствора спирта может извлекать в два раза больше флавоноидов из сырья, по сравнению с 40 %, на примере ромашки лекарственной *matricaria chamomilla* и календулы лекарственной *calendula officinalis*. Измерения проводились на длине волны 400 нм. В работе А.В. Башилова и Е.В. Спиридовича для экстракции флавоноидов из *Polemonium caeruleum* и *Filipendula Mill* использовали 90 % раствор спирта с добавлением 1 % соляной кислоты. Измерения проводили при длинах волн 430 нм (для кверцетина) и 410 нм (для рутина) [8]. А.А. Лобанова и др. использовали для качественного определения флавоноидов хлорид железа (III), образующий с флавонолами (рутин, кверцетин, кемпферол) комплексы зеленого цвета, а с флавононами комплексы, окрашенные в коричневый цвет (рис.1). Для количественного определения также использовалась реакция с $AlCl_3$. При этом сообщалось об отсутствии какого-либо стабилизирующего воздействия кислот, в связи с чем они не добавлялись в реакционную смесь. В данной статье были приведены

пики оптической плотности экстрактов, на основании которых авторами было предложено проводить измерения относительно стандарта рутина в диапазоне от 408 до 420 нм и относительно и относительно кверцетина в диапазоне 421-435 нм [9].

Изучив различные доступные на данный момент методики по определению флавоноидов, было принято решение о проведении измерения флавоноидов по следующей методике. Для наиболее качественного извлечения флавоноидов экстракция велась при помощи 70 % спирта на протяжении 2-х часов в термостате при 60°C, так как вышеизложенные работы показывают недостаточное извлечение при использовании спиртовых растворов более низких концентраций (вплоть до двукратной разницы). В качестве комплексообразователя был выбран хорошо зарекомендовавший себя раствор $AlCl_3$. Так как пики плотности поглощения ожидалось получить в области 420-430 нм, для построения калибровочного графика был использован стандартный раствор кверцетина. Результаты построения калибровочного графика приведены ниже (рис 1).

Регрессионный анализ кривой позволил получить уравнение следующего вида для графиков на разных длинах волн – $D = 0,05C$, где D это оптическая плотность, а C – концентрация кверцетина. R^2 во всех случаях варьировался от 0,995 до 0,998, что показывает, что данное уравнение достаточно хорошо описывает зависимость оптической плотности от концентрации, вне зависимости от длины волны.

В качестве исследуемого образца был выбран облученный различными дозами корпускулярного облучения кориандр. После экстракции по описанной выше методике концентрация флавоноидов в пробе определялась по уравнению $C = D/0,05$; после чего пересчитывалось относительное содержание флавоноидов в облученном кориандре по массе.

Для пересчета использовалось следующее уравнение:

$$W(\%) = \frac{C_1 * V_1 * V_2 * 100}{m_1 * V_3 * 10^6},$$

где W(%) – относительное содержание кверцетина в мкг/мл, V_1 - общий объем экстракта, V_2 – объем разведения, V_3 – объем экстракта взятый для анализа, m_1 – масса экстракта взятого для анализа, 10^6 – пересчет мкг в г и 100 пересчет долей в %.

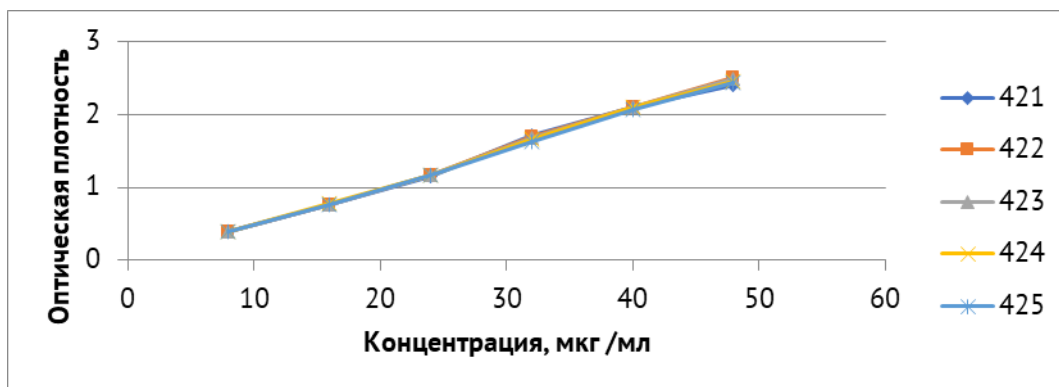


Рисунок 1 – Калибровочный график на по кверцетину на разных длинах волн

Было обнаружено, что при облучении дозами от 4 до 12 кГрей в кориандре наблюдается некоторое снижение флавоноидов (табл. 2), при этом увеличение дозы как правило, приводит к снижению содержания флавоноидов, хотя разница не слишком значительная, хотя это может быть обусловлено общим низким содержанием этих соединений в исследуемых образцах (рис. 2). Также можно заметить смещение максимального пика оптической плотности в область более коротких волн.

Данные по массовой доле флавоноидов в кориандре на разных длинах волн

Образец	425	424	423	422	421
4 кГ	0,04155	0,057075	0,05625	0,0618	0,062775
6 кГ	0,0322	0,05095	0,0516	0,0543	0,0547
8 кГ	0,03405	0,0544	0,0563	0,0575	0,0578
10 кГ	0,03576	0,05379	0,05634	0,05631	0,05826
12 кГ	0,0341	0,0553	0,0557	0,057	0,0603
Контроль	0,04255	0,0594	0,0649	0,0643	0,068

Таблица 1

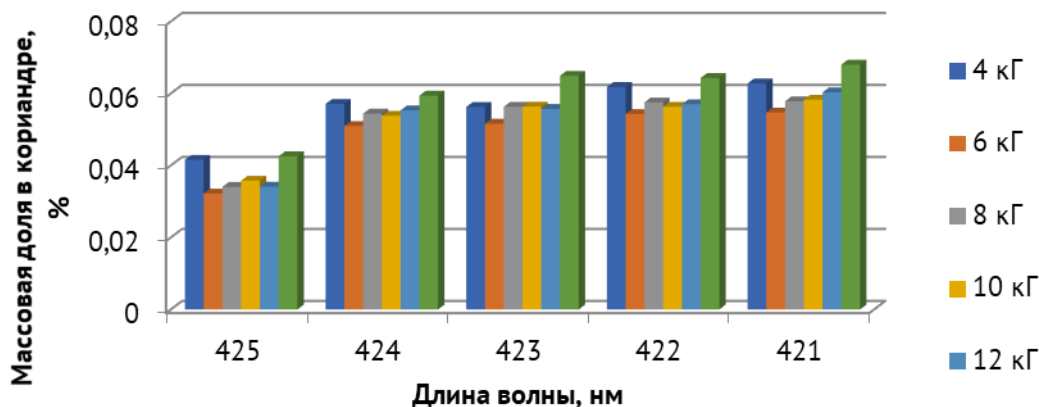


Рисунок 2 – Массовая доля флавоноидов в кориандре после β -облучения

Полученные данные позволяют сделать вывод, что данная методика может использоваться в дальнейшем для определения содержания флавоноидов в различных образцах, однако их анализ в сочетании с работами других авторов показывает, что следует провести измерения в области более коротких волн для получения более ярко выраженных пиков оптической плотности, что в свою очередь может дать более точные и достоверные результаты.

Список литературы

1. Тараховский Ю.С., Ким Ю.А., Абдрасилов Б.С., Музафаров Е.Н. Флавоноиды: биохимия, биофизика, медицина / [отв. ред. Е.И. Маевский]. Пушино: Synchrobook, 2013. 310 с.
2. Garcia, A., Bocanegra-Garcia, V., Palma-Nicolas, J. P., Rivera, G. (2012) Recent advances in antitubercular natural products, Eur.J.Med.Chem., 49, 1–23.

3. Ebrahimi, A., Schluesener, H. (2012) Natural polyphenols against neuro-degenerative disorders: potentials and pitfalls, *Ageing Res.Rev.*, 11, 329–345.

4. Egert, S., Rimbach, G. (2011) Which sources of flavonoids: complex diets or dietary supplements? *Adv.Nutr.*, 2, 8–14.

5. Лесовая Ж.С., Писарев Д.И., Новиков О.О., Романова Т.А. Разработка методики количественного определения флавоноидов в траве манжетки обыкновенной *Alchemilla vulgaris* L.S.L.

6. Химическая энциклопедия: В 5 т.: т.5 Три-Ятр/Ред.кол.: Кнунянц И.Л. (гл.ред) и др.-М.:Сов. энцикл., 1988. 623 с.

7. Тихонов Б.Б., Сидоров А.И., Сульман Э.М., Озимкова Е.В. Комплексная экстракция гликанов и флавоноидов из растительного сырья. 2011.

8. А.В. Башилов, Е.В. Спиридович. Количественное экстракционно-спектрофотометрическое определение флавоноидов в экстрактивных веществах представителей рода *Filipendula* Mill и *Polemonium caeruleum* L. // Труды БГУ. 2006: Т. 1. Ч. 1. С. 221-225.

FLAVONOIDS` CONTENT DETERMINATION IN IRRADIATED SAMPLES VIA SPECTROPHOTOMETRIC ANALYSIS

Krylenkin D.V., Morozova A.I., Vasilyeva N.A.

Russian Institute of Radiology and Agroecology, 249032 Kaluga region, Obninsk, Kievskoe shosse 109 km, Russian Federation

General information about biologically active substances flavonoids is concisely presented. The need for quantitative determination of its content in products, and influence of product processing on flavonoids` content is justified. Methods of qualitative and quantitative determination of flavonoids content in various products, medications and raw materials were studied. Based on this study the method of quantitative determination of flavonoids in samples of irradiated coriander is compiled and tested. Further ways to improve and adjust the compiled method for flavonoids content determination in irradiated samples via spectrophotometric analysis is considered.

Keywords: *flavonoids, biologically active substances, antioxidants, spectrophotometric analysis, quercetin, coriander*

УДК 539.1.047: 582.475.4

ОЦЕНКА МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ ХВОИ У ЯПОНСКОЙ КРАСНОЙ СОСНЫ НА ТЕРРИТОРИЯХ, ЗАГРЯЗНЕННЫХ В РЕЗУЛЬТАТЕ АВАРИИ НА АЭС ФУКУСИМА

Лыченкова М.А., Макаренко Е.С., Гераськин С.А.

*ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии»
249032 Калужская область, г. Обнинск, Киевское шоссе, 109 км, Российская Федерация
e-mail: lychenkovamariya@gmail.com*

Изучены морфометрические показатели хвои в популяциях красной японской сосны, произрастающих на радиоактивно загрязненных в результате аварии на Фукусимской АЭС территориях Японии. Длина и масса хвои значимо повышена только на одном импактном участке. Частота сильно пораженных некрозом хвоинок выше на большинстве радиоактивно загрязненных участках.

Ключевые слова: *красная японская сосна, хроническое облучение, хвоя, авария на Фукусиме*

Территории, подвергшиеся радиоактивному загрязнению в результате аварии на АЭС Фукусима, с точки зрения фундаментальных исследований в области радиобиологии и экологии представляют собой уникальный полигон для изучения отдаленных последствий хронического радиационного воздействия на естественные экосистемы.

Объект исследования – японская красная сосна (*Pinus densiflora*) – является видом-эдикатором, в значительной степени определяющим структуру и

функции лесной экосистемы. Она имеет широкий ареал произрастания в Японии и важное хозяйственное значение, радиочувствительна. Сосна выбрана одним из реперных видов, на которых базируется разработка современных принципов защиты биоты от действия ионизирующих излучений [1].

Целью настоящей работы являлась оценка морфометрических показателей хвои японской красной сосны в условиях хронического радиационного воздействия.

Материалы и методы

Исследование проводилось на 4 экспериментальных участках, расположенных в зоне отчуждения АЭС Фукусима, а также на созданном в рамках проекта участке на территории кампуса Фукусимского университета.

F – Fukushima University Campus – контрольный участок (37,682921N; 140,456635E). Участок представляет собой ступенчатый склон. Мощность дозы в январе 2016 г. составила $0,33 \pm 0,05$ мкЗв/ч (площадка может быть дезактивирована в последующий период).

S – Tsushima School (37,562330N; 140,768256E). Бывшая спортивная площадка. Мощность дозы в мае 2019 г. составила $3,7 \pm 0,4$ мкЗв/ч.

T – Tsushima Sampei (37,553270N; 140,786833E). Заброшенное поле. Мощность дозы в мае 2019 г.: $3,5 \pm 0,3$ мкЗв/ч.

O – Okuma Sports Center (37,411911N; 140,994318E). Участок расположен около дороги. Мощность дозы в мае 2019 г. $6,4 \pm 0,4$ мкЗв/ч.

A – Akibadai (37,411508N; 140,960887E). Участок представляет собой заброшенные рисовые поля. Мощность дозы в мае 2019 г.: $3,4 \pm 0,1$ мкЗв/ч.

На каждом участке пробы хвои отбирались с 7-11 деревьев, возраст которых на всех исследуемых участках составляет 5-10 лет. На площадках выделяли нормальные (N), аномальные (A) и восстановленные (R) деревья. С каждого из деревьев, выбранных на участке, собирали по 30-60 пар двухлетних хвоинок. Морфометрические параметры и состояние хвои (частота морфозов, количество некротических образований) были оценены по описанным в [2] методикам. При оценке длины и массы парные хвоинки

разделяли и измеряли длину обеих хвоинок отдельно с точностью до 0,5 мм. Далее хвою подсушивали в сушильном шкафу и взвешивали на лабораторных аналитических весах Ohaus Adventurer Pro (Ohaus Corporation, Pine Brook, USA) с точностью до 0,1 мг.

Данные проверили на наличие выбросов, которые исключили из дальнейшего анализа. Для определения значимости различий между средними значениями длины и массы хвои использовали U-тест Манна-Уитни в программе Statistica 8.0. На рисунках представлены средние значения и стандартные ошибки среднего.

Результаты и обсуждения

Настоящая работа продемонстрировала, что при данном уровне радиоактивного загрязнения обнаружено значимое увеличение длины и массы хвои на участке Akibadai (рис.1) относительно контроля.

Согласно исследованиям В.И. Йощенко с соавторами [4], участок Akibadai характеризуется наибольшей частотой аномалий, выражающихся в нарушении апикального доминирования. Как и в настоящей работе, данный эффект был ниже в других популяциях, где мощность дозы была выше. Данные исследователи связывают это с тем, что деревья на участке Akibadai проросли в 2011 г., когда произошла авария на Фукусимской АЭС, тогда как остальные популяции проросли раньше или позже аварии.

Частота здоровых хвоинок на загрязненных участках T и S значимо ниже, чем в контрольной популяции (рис. 2). Выявлено значимое увеличение частоты сильно поврежденных некрозом хвоинок на участках T, S, O относительно контрольного участка F.

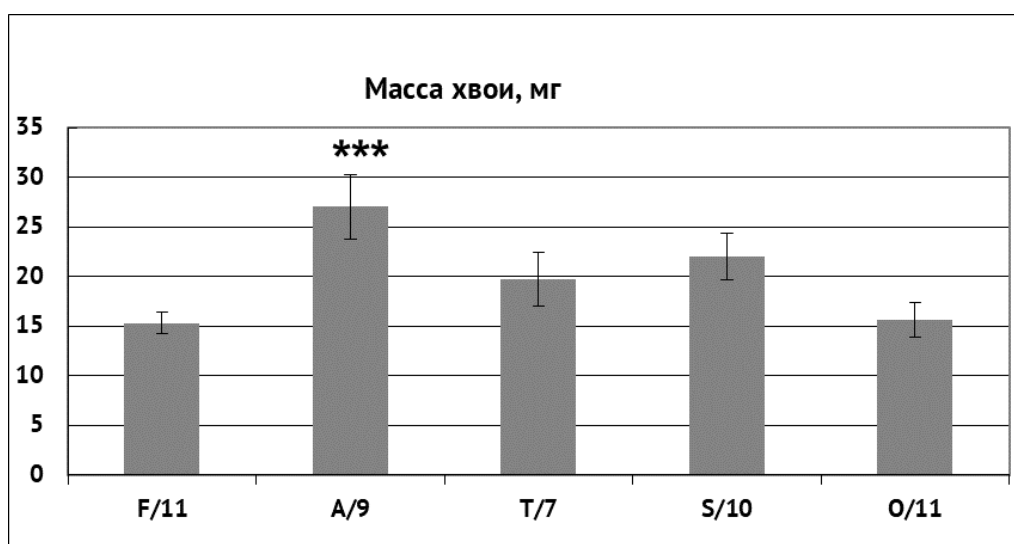


Рисунок 1 – Зависимость массы хвои японской красной сосны от участка, с указанием количества исследуемых деревьев

*** - значимое отличие от контроля, $p < 0,001$

Частота поражения хвои некрозом

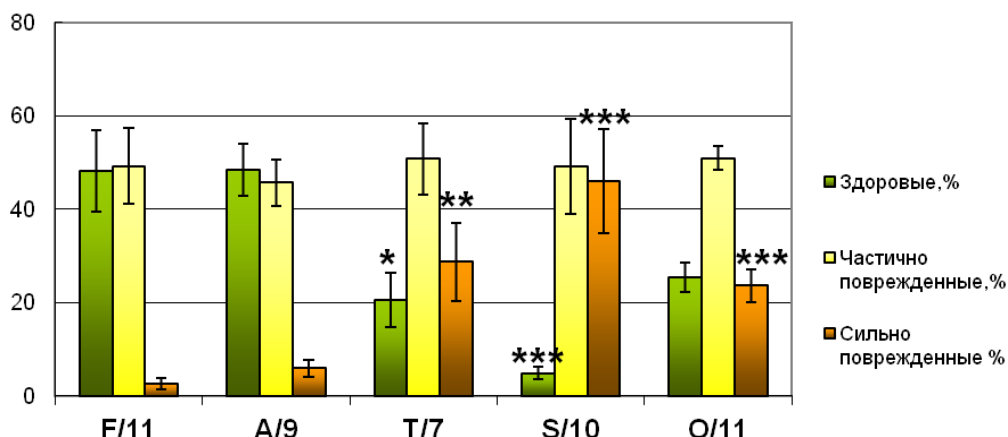


Рисунок 2 – Зависимость частоты поражения хвои японской красной сосны некрозом от участка, с указанием количества исследуемых деревьев

*, ** и *** - значимые отличия от контроля, $p < 0,05$; $p < 0,01$ и $p < 0,001$

Подобный эффект повышения частоты сильно пораженной некрозом хвои на наиболее радиоактивно загрязненных участках встречался в работе [3] по Брянской области, пострадавшей в результате аварии на Чернобыльской АЭС.

Исходя из полученных данных, можно сделать вывод о том, что частота сильно пораженных некрозом хвоинок выше на большинстве радиоактивно загрязненных участков. Также обнаружено увеличение длины и массы хвои на участке Akibadai, который характеризуется увеличением уровня аномалий.

Работа выполнена при поддержке Российского Фонда Фундаментальных Исследований (проект № 19-54-50003).

Список литературы

1. ICRP Publication 108. Environmental protection: the concept and use of reference animals and plants. Annals ICRP38. 2009. 1-242.

2. Makarenko E.S., Oudalova A.A., Geras'kin S.A. Study of needle morphometric indices in Scots pine in the remote period after the Chernobyl accident // Radioprotection. 2016. V. 51. P. 19-23.

3. Makarenko E.S., Oudalova A.A., Geras'kin S.A. Morphometric indices of Scots pine needle under chronic radiation exposure // Contemporary Problems of Ecology. 2017. V. 10. №. 7. P. 761-769.

4. Yoschenko V.I., Nanba K., Yoshida S., Watanabe Y., Takase T., Sato N., Keitoku K. Morphological abnormalities in Japanese red pine (*Pinus densiflora*) at the territories contaminated as a result of the accident at Fukushima Dai-Ichi Nuclear Power Plant // J. Environmental Radioactivity. 2016. V. 165. P. 60-67.

ESTIMATE MORPHOLOGIC CHARACTERISTICS OF NEEDLES IN JAPANESE RED PINE FROM THE AREAS CONTAMINATED AS A RESULT OF THE ACCIDENT AT THE FUKUSHIMA DAI-ICHI NUCLEAR POWER PLANT

Lychenkova M.A., Makarenko E.S., Geras'kin S.A.

Russian Institute of Radiology and Agroecology, 249032 Kaluga region, Obninsk, Kievskoe shosse 109 km, Russian Federation

The abstract shows the studies of the morphometric indices of needles in Japanese red pine populations gathered from radioactively contaminated areas in Japan related to Fukushima accident. The length and mass of needles is significantly increased only in one impact area. The frequency of needles severely affected by necrosis is higher in most radioactively contaminated areas.

Keywords: Japanese red pine, chronic irradiation, needle, Fukushima accident

ИЗУЧЕНИЕ ПЫЛЬЦЫ ВТОРОГО ПОКОЛЕНИЯ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ ИЗ БЛИЖНЕЙ ЗОНЫ ЧАЭС

Макаренко Е.С.

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии»
249032 Калужская область, г. Обнинск, Киевское шоссе, 109 км, Российская Федерация
e-mail makarenko_ek_obninsk@mail.ru

Оценены аномалии пыльцы второго поколения сосны обыкновенной, подвергшейся в результате Чернобыльской аварии облучению в дозах 4-5, 10-20 и 80-100 Гр. По результатам исследования 2018 и 2019 гг. частота аномальных пыльцевых зёрен во всех дозовых группах не превышает уровень контрольной группы.

Ключевые слова: сосна обыкновенная, пыльца, ближняя зона Чернобыльской АЭС, второе послеварийное поколение

Отдаленные радиационно-индуцированные биологические эффекты в поколениях живых организмов, подвергшихся воздействию ионизирующих излучений в результате радиационных аварий, представляют особый интерес. Сосна обыкновенная является классическим объектом для изучения благодаря своей высокой чувствительности, имеет длинную историю генетических, экологических и радиобиологических исследований. Кроме того, сосна обыкновенная включена в число референтных растений и животных, рекомендованных Международной комиссией по радиационной защите при оценке последствий облучения для природных экосистем [8]. Эффекты, появляющиеся в результате острого и хронического облучения сосны обыкновенной, изучались во многих работах [4, 7, 9, 10, 11], однако, проявление отдалённых последствий облучения родительских растений изучено в меньшей степени [3].

Целью настоящей работы являлась оценка типов и частоты аномальных пыльцевых зёрен у второго послеварийного поколения сосны обыкновенной из ближней зоны Чернобыльской АЭС.

Материалы и методы

В работе изучались молодые деревья сосны обыкновенной, являющиеся вторым поколением деревьев, испытавших острое радиационное воздействие в первый период после Чернобыльской аварии. Дозовые нагрузки на 01.06.1986 г для родительских популяций составляли 4-5, 10-20 и 80-100 Гр. Исследуемые деревья выращивали в питомнике (до пересадки в 2010 г.) в условиях естественного радиационного фона. В 2010 г. в возрасте 4-х лет они были

пересажены на территорию ВНИИ радиологии и агроэкологии, где расположена сходная по возрасту контрольная группа деревьев.

Для анализа пыльцу сосны собирали в середине мая 2018 и 2019 гг. по 10 стробиллов с дерева. Пыльцу окрашивали йодным методом и анализировали на микроскопе SK-14 при 120-кратном увеличении. Просматривали по 2000 пыльцевых зёрен (п.з.) с каждого дерева. Проанализировано в контрольной группе 7 деревьев, в импактной группе 4-5 Гр – 3-4 растения, 10-20 Гр – 6 деревьев и 80-100 Гр – 1 растение в каждый год исследования.

Для определения значимости отличия от контроля использовали критерий Манна-Уитни (*U*-тест) в Statistica 8.0.

Результаты и обсуждение

В норме пыльцевое зерно сосны обыкновенной имеет тело и 2 воздушных мешка (в.м.), образующихся в результате расхождения слоёв экзины, пространство между которыми у сформированного зерна заполнено воздухом. Мешки симметрично расположены и одинаковы по размеру.

Содержание тератоморфных пыльцевых зёрен в образцах обоих лет находится в пределах естественного полиморфизма пыльцы *Pinus silvestris* L. 3-7 % [2] или ниже (рис. 1).

При этом частота аномальных пыльцевых зёрен в группе 10-20 Гр в 2018 году значимо ниже уровня контрольной группы (рис. 1).

Данные о вкладе распространённых типов аномалий развития пыльцы сосны обыкновенной приведены в таблице 1.

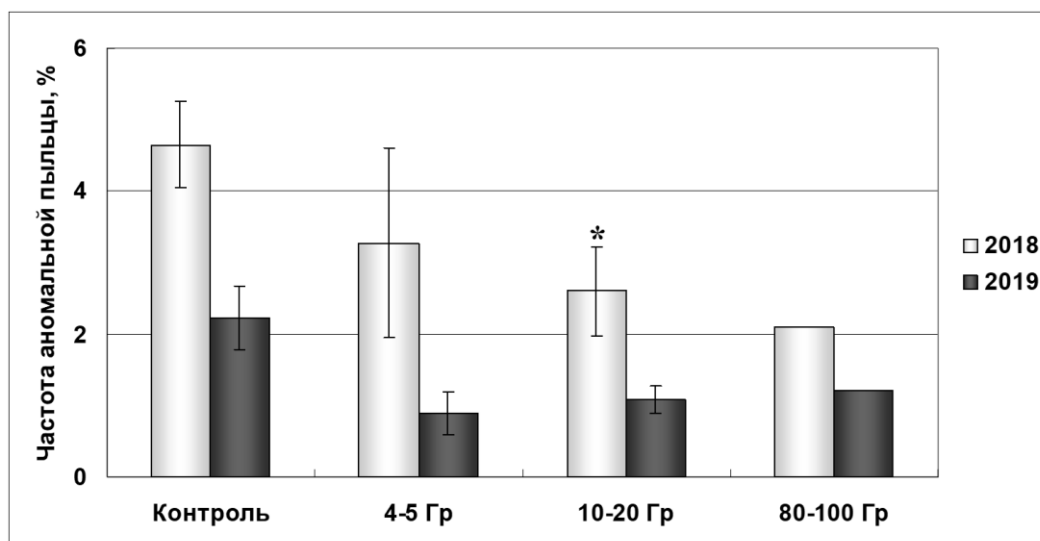


Рисунок 1 – Частота встречаемости тератоморфных пыльцевых зёрен (%) на пробных площадках
* - значимое отличие от контроля, $p < 0,05$

Таблица 1

Относительный вклад некоторых типов аномалий пыльцевых зёрен (%)

Группа	Контроль		4-5 Gr		10-20 Gr		80-100 Gr	
	2018	2019	2018	2019	2018	2019	2018	2019
Год								
Линзовидная	57,5	78,5	69,5	73,6	71,5	70	78,6	79,2
Деградирующая	18,3	2,2	8,0	1,9	3,5	1,5	7,1	4,2
С редуцированными в.м.	7,8	5,4	3,1	3,8	3,8	4,6	2,4	0
С утончённой экзиной	9,5	3,5	8,0	3,8	9,6	15,4	2,4	0
С редуцированным телом	2,5	2,9	1,5	5,7	2,6	0,8	2,4	4,2

Наиболее распространённой аномалией являются п.з. линзовидной формы, высокий процент которой отмечается и в других работах [1, 6].

Наблюдается высокий вклад деградирующей пыльцы в 2018 году во всех группах деревьев. Пыльца с признаками деградации, по результатам данных авторов [5, 6], образуется у представителей хвойных при нарушении развития микроспорозитов зимой, когда во время оттепелей мейоз завершается, и формируются пыльцевые зёрна с тонкой оболочкой. Последующее понижение температуры приводит к массовой деградации молодых пыльцевых зёрен. Такое же явление наблюдается и весной, когда в результате заморозков микроспоры оказываются неспособными формировать мужской гаметофит. Таким образом, видимо, погодные условия периода формирования пыльцы 2018 года в данном регионе были не очень благоприятными для их нормального развития, а повышенный уровень аномалий в контрольной группе обусловлен произрастанием на возвышенности с большим освещением, что и привело к большей подверженности в период оттепелей.

Также были обнаружены п.з. с тремя, четырьмя или одним в.м., п.з. воротничковой формы,

разномешковые п.з., гипертрофированные пыльцевые зёрна. Зависимости частоты встречаемости редких форм пыльцы от дозы, полученной родительскими деревьями, не выявлено. Исключение составляют разномешковые п.з., частота которых у потомков облучённых деревьев в 2-4 раза выше, чем в контрольной группе. В связи с небольшим количеством изучаемых деревьев и лет работы, данные результаты можно считать предварительными и требующими дальнейших исследований.

Таким образом, не обнаружено повышение частоты аномалий пыльцы сосны обыкновенной, являющейся вторым поколением деревьев, получивших средние, сублетальные и летальные дозы в ближней зоне Чернобыльской АЭС.

Список литературы

1. Василевская Н.В., Домахина А.Д. Полиморфизм пыльцы *Pinus sylvestris* L. и *Larix sibirica* ledeb. города Мурманска // Учёные записки Петрозаводского государственного университета. 2016. №4(157). С. 13–20.
2. Дзюба О.Ф., Куликова Н.К., Токарев П.И. О естественном полиморфизме пыльцы *Pinus sylvestris* L. в

связи с некоторыми проблемами палеопалинологии // Материалы XI Всероссийской палинологической конференции «Палинология: теория и практика». 2005. С. 65-68.

3. Игонина Е.В., Федотов И.С., Короткевич А.Ю., Рубанович А.В. Морфологические аномалии у потомков облучённых сосен (*Pinus silvestris* L.) из черномыльских популяций // Радиационная биология. Радиозэкология. 2012. Т. 52. № 1. С. 90-102.

4. Козубов Г.М., Таскаев А.И. Радиобиологические исследования хвойных в районе Чернобыльской катастрофы. М.: НПЦ «Дизайн. Информация. Картография», 2002. 256 с.

5. Носкова Н.Е., Романова Л.И., Третьякова И.Н. Особенности генеративных процессов у сибирских видов хвойных в связи с климатическими изменениями // Вестник Томского государственного университета. 2004. № 10. С. 78-81.

6. Третьякова И.Н., Носкова Н.Е. Пыльца сосны обыкновенной в условиях экологического стресса // Экология. 2004. № 1. С. 26-33.

7. Федотов И.С., Кальченко В.А., Игонина Е.В., Рубанович А.В. Радиационно-генетические последствия облучения популяции сосны обыкновенной в зоне аварии на ЧАЭС // Радиационная биология. Радиозэкология. 2006. Т. 46. № 3. С. 268-278.

8. ICRP. Environmental protection: the concept and use of reference animals and plants // Annals of the ICRP. 2008. V. 38. № 4-6. P. 1-242.

9. Geras'kin S.A., Oudalova A.A., Dikareva N.S. et al. Cytogenetic damage and reproductive effects in Scots pine populations affected by the Chernobyl accident // Ecotoxicology. 2011. V. 20. P. 1195-1208.

10. Kuchma O., Vornam B., Finkeldey R. Mutation rates in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) from the Chernobyl exclusion zone evaluated with amplified fragment-length polymorphisms (AFLPs) and microsatellite markers // Mutation Research. 2011. V. 725. P. 29-35.

11. Volkova P.Yu., Geras'kin S.A., Horemans N. et al. Chronic radiation exposure as an ecological factor: hypermethylation and genetic differentiation in irradiated Scots pine populations // Environmental Pollution. 2018. V. 232. P. 105-112.

STUDY OF SCOTS PINE POLLEN GRAINS FROM THE TREES OF THE SECOND GENERATION FROM CHERNOBYL EXCLUSION ZONE

Makarenko E.S.

Russian Institute of Radiology and Agroecology, 249032 Kaluga region, Obninsk, Kievskoe shosse 109 km, Russian Federation

Abnormality of pollen was estimated for Scots pine trees, which belong to the second generation of trees severely exposed during the Chernobyl accident in doses of 4-5, 10-20 and 80-100 Gy. The results of this study showed that in 2018 and 2019 the frequency of abnormal pollen grains at all the impacted groups did not exceed the control group level.

Keywords: Scots pine, pollen, the Chernobyl exclusion zone, second generation after acute radiation exposure

УДК 575.17:632.9:539.16

ИССЛЕДОВАНИЯ ГЕНЕТИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ ХРОНИЧЕСКОГО ОБЛУЧЕНИЯ ПОПУЛЯЦИЙ РАСТЕНИЙ, ПРОИЗРАСТАЮЩИХ В МЕСТАХ ИСПЫТАНИЯ БОЕВЫХ РАДИОАКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ

Минкенова К.С., Байгазинов Ж.А., Мамырбаева А.Н., Кенесарина А.О.

Филиал «Институт радиационной безопасности и экологии» РГП НЯЦ РК

071100 Восточно-Казахстанская область, г. Курчатов, улица Бейбіт атом, 2Б, Республика Казахстан

e-mail: Minkanova@nnc.kz

В работе представлены результаты по исследованию цитогенетических показателей тонконога (*Koeleria gracilis*) и ковыля (*Stipa capillata*), произрастающих на территории Семипалатинского испытательного полигона (СИП). Приведены количественные данные цитогенетических показателей, содержание радионуклидов и элементов в растениях. Определено, что рост количества одиночных мостов, одиночных фрагментов, двойных фрагментов, отстававший хромосом, забеганий хромосом и трехполюсного митоза не имеет зависимости от удельной активности ^{90}Sr в растениях. Тогда как, динамика роста двойных мостов показывает четкую линейную зависимость роста количества аберраций до 10 МБк/кг ^{90}Sr с последующим выходом кривой на плато.

Ключевые слова: Семипалатинский испытательный полигон (СИП), хромосомные aberrации, тонконог тонкий (*Koeleria gracilis*), ковыль волосовидный (*Stipa capillata*)

На территории Семипалатинского испытательного полигона (СИП) образованы многочисленные локальные участки с повышенным радиационным фоном. Различный характер радионуклидного загрязнения окружающей среды на СИП дает уникальную возможность проведения комплекса радиобиологических исследований, которые позволяют оценить длительное воздействие ионизирующего излучения на биоту в естественных условиях.

В работе представлены результаты исследований цитогенетических показателей тонконога (*Koeleria gracilis*) и ковыля (*Stipa capillata*), произрастающих на территории участков радионуклидного загрязнения мест испытания боевых радиоактивных веществ (БРВ). Удельная активность радионуклида ^{90}Sr в почвах данной территории достигает нескольких миллионов Бк/кг, тогда как содержание остальных радионуклидов значительно ниже.

Полевые работы для отбора растений были проведены в летние периоды. На различных участках площадки заложено более 170 исследовательских точек, выбранных на основании данных распределения плотности потока β -частиц и мощности эквивалентной дозы. В каждой точке отбирали надземную часть растений для определения содержания радионуклидов и семена для цитогенетического анализа. Определение удельной активности радионуклидов ^{137}Cs и ^{241}Am в растениях проводилось на γ -спектрометре Canberra GX-2020 [1]. Радионуклид ^{90}Sr определяли методом радиохимического выделения, высокие концентрации ^{90}Sr определяли на β -спектрометре «Прогресс» [2]. Концентрация ^{137}Cs , ^{241}Am , ^{90}Sr определяли в золе, с последующим пересчетом на сухое вещество. Предел обнаружения по ^{137}Cs составлял 1 Бк/кг, ^{241}Am – 0,3 Бк/кг, ^{90}Sr – 1 Бк/кг. Погрешность измерений для ^{137}Cs и ^{241}Am в основном не превышала 10-20 %, ^{90}Sr – 15-25 %. Определение концентрации элементов проводилось методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой на приборе «Elan 9000» фирмы «Perkin Elmer SCIEX» [3]. Для цитогенетического анализа использовали метод [4], который позволяет учесть частоту и типы структурных aberrаций хромосом в клетках растений. Цитогенетический анализ препаратов выполнен с использованием микроскопа Axio Imager M2 при увеличении объектива $\times 100$ (масляная иммерсия) и $\times 40$.

В результате проведенных исследований установлено, что значения удельной активности радионуклидов ^{137}Cs и ^{241}Am в исследуемых растениях находятся ниже предела обнаружения используемой аппаратуры, тогда как удельные активности ^{90}Sr – достигают $n \times 10^7$ Бк/кг. Концентрации тяжелых металлов в исследуемых растениях оказались ниже нормативных значений и соответственно не окажут токсического воздействия на цитогенетические нарушения клеток объектов исследования.

Рост количества одиночных мостов, одиночных фрагментов, двойных фрагментов, отставаний хромосом, забеганий хромосом и трехполюсного митоза не имеет зависимости от удельной активности ^{90}Sr в растении, как для тонконога, так и для ковыля. Однако, динамика роста двойных мостов в митозе у семян тонконога и ковыля показывает четкую линейную зависимость роста количества aberrаций до 10 МБк/кг с последующим выходом кривой на плато. Сравнение количества выхода частоты aberrантных клеток у семян тонконога, ковыля от удельной активности ^{90}Sr показало, что частота aberrантных клеток тонконога выше в 3-4 раза, чем частота aberrантных клеток семян ковыля.

Уровень цитогенетических нарушений увеличивается с ростом удельной активности ^{90}Sr в растениях до определенного уровня aberrаций (тонконог – 12 ± 2 ; ковыль – $2,1 \pm 0,3$), после чего рост патологий митоза замедляется. В спектре aberrаций преобладают как хромосомные, так и хроматидные типы aberrаций.

Список литературы

1. МИ 5.06.001.98 РК «Активность радионуклидов в объемных образцах. Методика выполнения измерений на гамма-спектрометре МИ 2143-91». 18 с.
2. Методика измерения активности радионуклидов с использованием сцинтилляционного бета-спектрометра с программным обеспечением «Прогресс», Менделеево, 20 с.
3. Isotopic Compositions of the Elements 1989, Pure Appl., Chem., Vol.63, No.7.
4. Паушева З.В. Практикум по цитологии растений. М.: Колос, 1980. 225 с.

RESEARCH INTO GENETIC EFFECTS OF CHRONIC EXPOSURE OF PLANT POPULATIONS GROWING IN VENUS OF WARFARE RADIOLOGICAL AGENTS TESTS

Minkenova K.S., Baigazinov Zh.A., Mamyrbayeva A.N., Kenessarina A.O.

Branch 'Institute of Radiation Safety and Ecology' RSE NNC RK, 071100 East-Kazakhstan region, Kurchatov, 2B Beibit Atom Str., Kazakhstan

The paper provides results on research into cytogenetic indicators of June grass (*Koeleria gracilis*) and feather grass (*Stipa capillata*) growing in the territory of Semipalatinsk Test Site (STS). Figures on cytogenetic indicators, the content of radionuclides and elements in plants are given. It was found that the growth of the number of single bridges, single fragments, double fragments, chromosome lags and overlaps, triple-pole mitosis do not depend on ⁹⁰Sr activity concentration in plants. Whereas the growth dynamics of single bridges demonstrates a clear linear dependence of the growth of the number of aberrations up to 10 MBq/kg of ⁹⁰Sr followed by the curve equilibrium.

Keywords: *Semipalatinsk Test Site (STS), chromosome aberrations, thin June grass (Koeleria gracilis), piliform feather grass (Stipa capillata)*

УДК 619:616-001.28/29:579

МОДИФИЦИРУЮЩЕЕ ДЕЙСТВИЕ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА КУЛЬТУРАЛЬНО-МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА БАКТЕРИЙ *E. COLI* «ПЛ-6» И *B. BIFIDUM* 1

Низамов Р.Н., Ишмухаметов К.Т., Низамов Р.Н., Конюхов Г.В., Тарасова Н.Б., Василевский Н.М.

ФГБНУ «Федеральный центр токсикологической, радиационной и биологической безопасности»

420075 Республика Татарстан, г. Казань, Научный городок-2, Российская Федерация

e-mail: vnivi@mail.ru

Облучение бактерий *E. coli* «ПЛ-6» и *B. Bifidum*-1 последовательно увеличивающимися дозами ионизирующего излучения в диапазоне от 0,5 до 4,0 кГр и от 0,3 до 2,4 кГр соответственно, приводило к ступенчатому повышению их радиорезистентности, которое сопровождалось изменениями культурально-морфологических свойств этих микроорганизмов, а именно деструктуризацией поверхности клеточной стенки, увеличением в нескольких раз их размеров, проявлением способности усиленно продуцировать ферменты антиоксидантной защиты. Дозы 6,0 кГр для *E. coli* и 4,8 кГр для *B. Bifidum* являлись стерилизующими.

Ключевые слова: *E. coli, B. Bifidum, радиационная модификация, культурально-морфологические свойства*

Введение

Бактерии нормофлоры кишечника человека и животных играют важную роль в жизнедеятельности организма носителя, продуцируют антибиотики, ферменты, антигены, энтеротоксины, экзотоксины, цитокины [2]. Под влиянием микробных агентов в организме активируются защитные механизмы в виде усиления пролиферации клеток гранулярного и лимфоидного рядов, непосредственно участвующих в реализации иммунного ответа [7].

Известна роль микроорганизмов в защите против действия ионизирующей радиации, снижении смертности пораженных радиацией животных. Под действием микробов в облученном организме активируется процесс регенерации кроветворных клеток, возрастает количество тромбоцитов, гранулоцитов, гемоглобина, усиливается активность экзогенных и эндогенных клеток лимфоидной системы селезенки, лимфоузлов и др. [3].

Облучение микробов в дозах недостаточных для разрушения молекул их ДНК, но вполне приемлемых для ДНК-перестроек с изменением фрагментов ДНК-цепочек может привести к образованию бактерий-мутантов с отличительными культурально-морфологическими свойствами с приобретением некоторых полезных качеств, а именно способностью

продуцировать определенные вещества полезные с точки зрения человеческой практики [1, 4, 5, 6].

Цель исследований – получение радиомодифицированных мутантов-бактерий для использования их в противорадиационных средствах защиты животных.

Материалы и методы исследований

В качестве бактериального материала использована лиофильно высушенная живая монокультура бифидобактерий (производитель МНИИЭМ им. Г.Н. Габричевского, г. Москва) и лабораторный штамм *Escherichia coli* «ПЛ-6», предоставленный музеем штаммов ФГБНУ «ФЦТРБ-ВНИВИ».

Микроорганизмы культивировали при 37±1 °С *E. coli* аэробно в течение 24-48 часов в МПА и МПБ, *B. bifidum* – анаэробно 72-96 часов в твердой и жидкой средах Блаурокка.

После регидратации *B. bifidum* пасировали в среде Блаурокка в течение 72 часов.

Моделирование радиационного воздействия осуществляли на гамма-установке «Исследователь» с источниками излучения ⁶⁰Со и мощностью дозы 0,022 А/кг.

Облучение *E. coli* проводили в физиологическом растворе в увеличивающихся дозах - 0,5; 1,0; 2,0; 4,0

и 6,0 кГр, *B. bifidum* в среде Блаурокка - 0,3; 0,6; 1,2, 2,4 и 4,8 кГр.

После радиационного воздействия микробы высеивали в питательные среды. При наличии единичных колоний наращивание биомассы проводили повторным пересевом микроорганизмов до появления сплошного роста культуры.

Облучение культур прекращали при наступлении лучевой стерилизации.

На каждом этапе исследований изготавливали препараты микроорганизмов, которые фиксировали и окрашивали по Граму.

Изучение морфологических свойств бактерий проводили методом световой микроскопии (JenaVal Carl Zeiss Jena).

Результаты исследований

Установлено, что облучение *B. bifidum* в дозе 0,3 кГр и *E. coli* «ПЛ-6» в дозах 0,5 и 1,0 кГр не вызывало визуальных нарушений роста бактерий, микроорганизмы на твердых питательных средах показывали сплошной рост. После доз 0,6 и 2,0 кГр, соответственно, на поверхности бактериальных сред выявляли разряженные пространства. Смыв и повторные пассажи обеспечивали сплошной рост культур. После облучения бактерий в дозах 2,4 и 4,0 кГр, соответственно, на скошенном агаре Блаурокка и в чашках Петри (на МПА) регистрировали единичные колонии, которые после нескольких пассажей проявлялись сплошным массивом. Дозы 4,8 кГр для *B. bifidum* и 6,0 кГр для *E. coli* были стерилизующими, после облучения в этих дозах рост бактерий отсутствовал.

Через 20 минут после аэробной регидратации большинство бифидобактерий находилось в стадии

биологического статуса, клетки были темными, плотными. Только часть из них были светло-синими (физиологически активными). У части клеток были зарегистрированы признаки частичной или полной деструктуризации (фрагментация, аутолиз) (рис. 1а). Через 72 часа после пассирования бифидобактерий в жидкой среде Блаурокка в полях зрения микроскопа были выявлены физиологически активные клетки. В культуральной жидкости были зарегистрированы гранулы пигмента (рис. 1б).

Облучение бифидобактерий в дозе 0,3 кГр не оказало существенного влияния на их метаболизм. На препаратах присутствовали физиологически активные и неактивные (в стадии статуса) клетки и гранулы пигмента разрушенных клеток (рис. 1в). После облучения микроорганизмов в дозах от 0,6 до 1,2 кГр в культуральной жидкости регистрировали значительное количество разрушенных клеток. При этом было выявлено незначительное увеличение длины отдельных клеток, у некоторых отсутствовали бифуркации, поэтому они внешне напоминали клетки кишечной палочки (рис. 1г, д). На микробных препаратах, изготовленных после радиационного воздействия в дозе 2,4 кГр регистрировали массив разрушенных бактерий, среди которых в отдельных полях зрения встречались единичные активные клетки (рис. 1е). На всех микробных препаратах были зарегистрированы как целые, так и частично разрушенные клетки, которые представляли собой структуры с наличием дегрануляции и выхода содержимого клеток в бактериальную среду, что является механизмом естественного регулирования количественного состава популяции (рис. 1а-е).

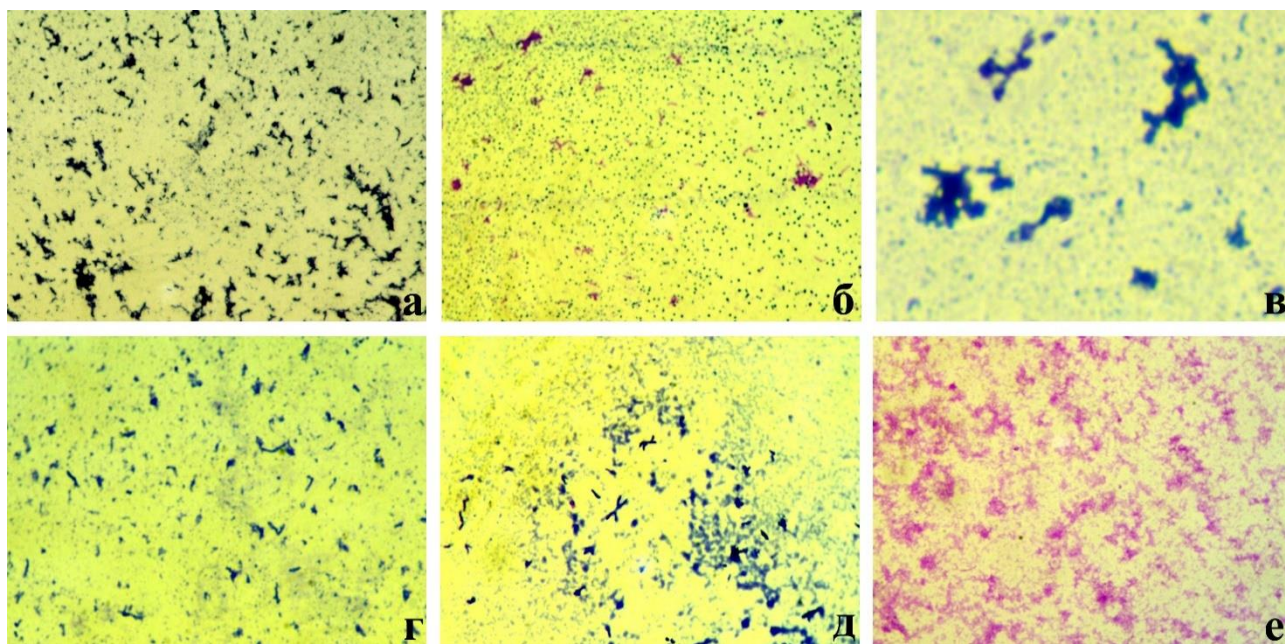


Рисунок 1: а - *B. Bifidum* после регидратации; б – через 72 часа после пассирования в питательной среде; облучение в дозах 0,3 (в); 0,6 (г); 1,2 (д) и 2,4 (е) кГр.

Суточные эширихии на мазках-препаратах выглядели овальными, несколько вытянутыми, сине-сиреневого оттенка. При работе с микровинтом четко вырисовывалась линия демаркации мембраны. В цитоплазматической жидкости вырисовывались темные структурные образования (плазмиды, эписомы, цепочки ДНК) (рис. 2а).

Изменение структуры кишечной палочки было выявлено после радиационного воздействия в дозе 0,5 кГр которое выражалось в виде появления незначительной шероховатости мембранной поверхности прокариот, каковая у необлученных аналогов не была выражена (рис. 2б). После радиационного воздействия в дозе 1,0 кГр в полях зрения микроскопа были выявлены отдельные микроорганизмы, размеры которых превышали естественные в 8-15 раз (3-7 мкм) (рис. 2в-г). Была зарегистрирована полиморфность культуры. Среднее количество атипичных клеток в одном поле зрения микроскопа с учетом нескольких полей (до 10) составляло 1,7 клеток. В тоже время в некоторых полях зрения были выявлены более плотные (физиологически неактивные), овальные клетки меньшего размера ($\approx 0,2-0,4$ мкм). После облучения в дозе 2,0 кГр количество атипичных клеток в поле зрения микроскопа возросло до 2,8 единиц (рис. 2д), а 4,0 кГр – 5,1 клеток (рис. 2е). На разных

стадиях облучения культуры (от 1,0 до 4,0 кГр) в полях зрения микроскопа выявлялись структуры с наличием затемнений агрегирующего вещества или наоборот вакуолей (светлых пространств), вызванных дезорганизацией содержимого бактерий. Гибель части клеток после облучения и деструктуризация ДНК в других вызывали задержку прироста микробной массы.

Биохимические исследования бактерий и продуктов их метаболизма показали, что в культуральной жидкости *E. coli* содержалось $0,97 \pm 0,09$ м.к.М/г супероксиддисмутазы, $27,38 \pm 0,59$ м.кат/г/мл каталазы, в то время, как у исходных образцов эти ферменты отсутствовали. Кроме того, у облученной кишечной палочки по сравнению с ее интактным аналогом в культуральной жидкости содержалось в 1,81 раза больше фермента пероксидазы.

У радиоустойчивых бифидобактерий, по сравнению с нативными, было зарегистрировано увеличение содержания антиокислительного фермента пероксидазы: в клеточной суспензии в 2,05 раза, в экстракте – в 2,14 раза и в культуральной жидкости – в 1,45 раза. Активность антиокислительного фермента пероксидазы в клеточной суспензии была максимальной ($0,000343 \text{ с}^{-1}\text{мг}^{-1}$).

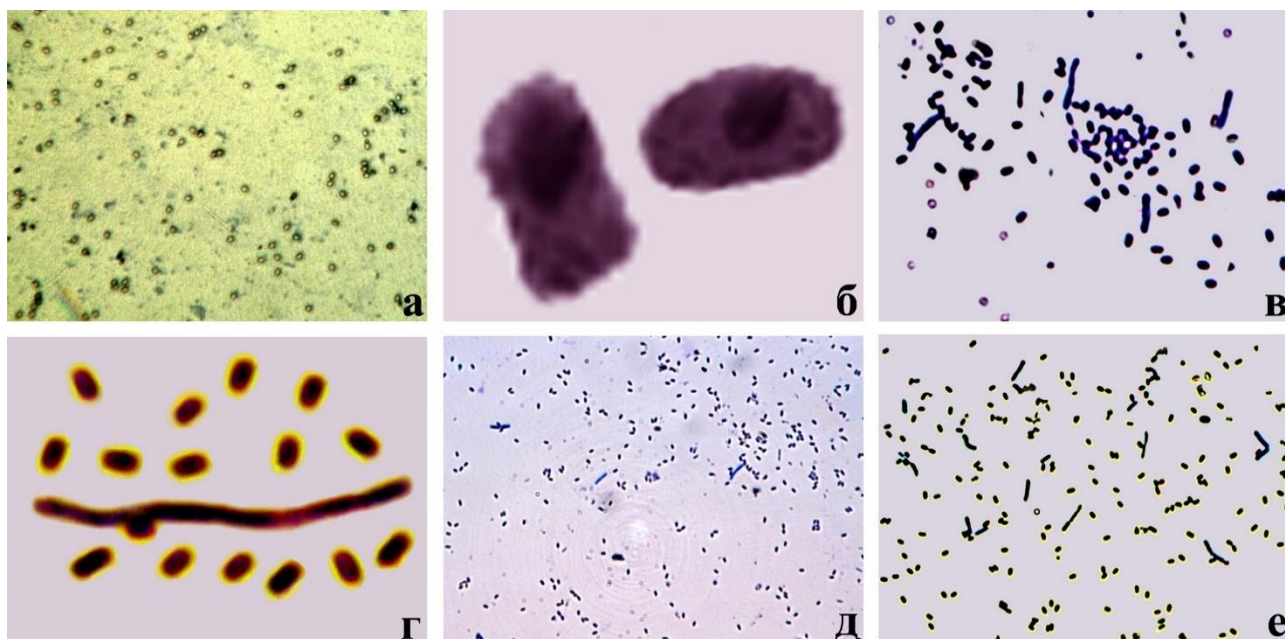


Рисунок 2: а - *E. coli*, нативная культура; б – облучение 0,5 кГр, деструктуризация поверхности клеток; в, г – 1 кГр, полиморфность и полихромазия клеток; д и е – 2 и 4 кГр, увеличение числа атипичных клеток.

Заключение

Проведенные эксперименты позволили модифицировать культурально-морфологические свойства бактерий *B. Bifidum-1* и *E. coli* «ПЛ-6». Полученные микробы-мутанты, в отличии от нативных имели полиморфность, деструктуризацию поверхности клеточной стенки, у отдельных представителей популяции увеличение в 8-15 раз размеров.

Биохимические исследования бактерий-мутантов и их метаболитов выявили у последних способность усиленно продуцировать ферменты антиоксидантной защиты - супероксиддисмутазу, каталазу, пероксидазу, что может быть применено при конструировании препаратов противорадиационной защиты.

Список литературы

1. Бойко С.С., Яценко Е.С. Изучение влияния ультразвукового воздействия на споро- и неспорообразующие бактерии // Вестник биотехнологии и физико-химической биологии им. Ю.А. Овчинникова. 2018. Т. 14. № 1. С. 102-105.

2. Бухарин О.В., Перунова Н.Б., Иванова Е.В. Взаимодействие *Bifidobacterium bifidum* с представителями нормальной микрофлоры в микросимбиозе кишечника человека // Бюллетень Оренбургского научного центра УрО РАН. 2012. № 3. С. 4.

3. Гребенюк А.Н., Стрелова О.Ю., Легеза В.И., Степанова Е.Н. Основы радиобиологии и радиационной медицины // Уч. пособие. С.-П.-2012. 225 с.

4. Данилова А.Н., Пономарева М.С., Гернет М.В., Шабурова Л.Н. Влияние лазерного излучения на молочнокислых бактерий // Хранение и переработка сельскохозяйственного сырья. - 2017. - № 12. - С. 12-14.

5. Морозов И.И., Петин В.Г. О природе явления реактивации выживаемости бактерий *Escherichia coli* на поздних этапах инкубации в солевом буфере после воздействия ионизирующего излучения // Радиационная биология. Радиоэкология. 2008. Т. 48. № 5. С. 600-605.

6. Морозов И.И., Морозова Г.В., Петин В.Г. Влияние высокоинтенсивного ионизирующего излучения на жизнеспособность бактерий *Escherichia coli*, культивируемых в солевом буфере без питательных добавок // Радиационная биология. Радиоэкология. - 2005. Т. 45. № 3. С. 305-309.

7. Старовойтова С.А., Карпов А.В. Иммунобиотики и их влияние на иммунную систему человека в норме и при патологии // Биотехнология. Теория и практика. 2015. № 4. С. 10-20.

MODIFYING THE ACTION OF IONIZING RADIATION ON CULTURAL AND MORPHOLOGICAL PROPERTIES *E. COLI* BACTERIA AND *B. BIFIDUM*

Nizamov R.N., Ishmukhametov K.T., Nizamov R.N., Konyukhov G.V., Tarasova N.B., Vasilevsky N.M.

*Federal state budgetary scientific institution «Federal centre of toxicological, radiating and biological safety»
420075 Republic of Tatarstan, Kazan, Scientific Town-2, Russian Federation*

Irradiation of *E. coli* "PL-6" and *B. Bifidum*-1 bacteria with the following increasing doses of ionizing radiation in the range from 0.5 to 4.0 kg and from 0.3 to 2.4 kg, respectively, led to a step-by-step increase in their radioresistance, which was accompanied by changes in the cultural and morphological properties of these microorganisms, namely, the destruction of the surface of the cell wall, an increase to several times their size, the manifestation of the ability to intensively produce antioxidant enzymes. Doses of 6.0 kg for *E. coli* and 4.8 kg for *B. Bifidum* was sterilizing.

Keywords: *E. coli*, *B. Bifidum*, radiation modification, cultural and morphological properties

УДК 539.1.047, 539.16.04, 577.175.152

ВЛИЯНИЕ ХРОНИЧЕСКОГО РАДИАЦИОННОГО ОБЛУЧЕНИЯ НА КОНЦЕНТРАЦИИ АБСЦИЗОВОЙ КИСЛОТЫ В РАСТЕНИЯХ КЛЕВЕРА ПОЛЗУЧЕГО

Пишенин И.А., Битаршвили С.В., Волкова П.Ю.

*ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии»
249032 Калужская область, г. Обнинск, Киевское шоссе, 109 км, Российская Федерация
e-mail: pishenin.Ivan@gmail.com*

Изучены концентрации эндогенного регулятора роста и развития растений – абсцизовой кислоты (АБК), в растениях клевера ползучего (*Trifolium repense*) в популяциях, произрастающих на территориях, радиоактивно загрязненных вследствие аварии на Чернобыльской АЭС в сравнении с необлученными популяциями.

Ключевые слова: клевер ползучий, хроническое облучение, абсцизовая кислота, регулятор роста, радиоактивное загрязнение

Абсцизовая кислота – один из основных гормонов роста растений. Она является гормоном-антагонистом ауксинов, цитокининов, гибберелинов, тормозящим реакции, контролируемые этими

гормонами. В число процессов, контролируемых АБК, входят прорастание семян, созревание плодов, синтез ферментов, необходимых для фотосинтеза, закрывание устьиц на листьях [1].

Способность АБК ингибировать все перечисленные процессы указывает на то, что АБК – стресс-гормон растений, вырабатываемый в ответ на изменения условий окружающей среды, такие как повышение температуры, засуха, засоление и радиационное воздействие [2, 3]. Последнее актуально в свете техногенных катастроф, таких как аварии на Чернобыльской и Фукусимской АЭС, которые привели к длительному радиоактивному загрязнению окружающей среды. В связи с этим, в данной работе изучается хроническое воздействие ионизирующего излучения на загрязненных после аварии на Чернобыльской АЭС территориях на концентрацию АБК в растениях клевера ползучего.

Образцы растений были отобраны с 5 территорий – 2 контрольные зоны с фоновым излучением (Ломыш и Бабчин) и 3 территории с повышенным радиационным фоном (Кулажин, Радин и Масаны). Опытные образцы растений были собраны в микропробирки эппендорф и помещены в жидкий азот для предотвращения деградации фитогормонов, после чего были транспортированы в лабораторию. Образцы далее были гомогенизированы в жидком азоте, после чего АБК экстрагировали 30 минут в 1 мл подкисленного до pH 3,5 метанола в присутствии 100 мкл 0,1 % меркаптоэтанола и 100 мкл 0,1 % этилендиаминтетрауксусной кислоты. Все растворы держали охлажденными до температуры 4 С для снижения степени деградации фитогормонов. После экстрагирования образцы центрифугировали 5 минут при скорости 14500 оборотов в минуту. Надосадочную жидкость переносили в отдельные пробирки, осадок отбрасывали. После этого производили твердофазную экстракцию при помощи прибора VacMaster-20, с использованием колонок Biotage Isolute C18 емкостью 1 мл. Колонки сольватировали 1 мл метанола, после чего уравнивали 1 мл 0,1 % уксусной кислоты. Надосадочную жидкость пропускали через подготовленные колонки со скоростью 0,2 мл/мин, очищенную фракцию собирали в стеклянные стаканчики, после чего проба готова к анализу на высокоэффективном жидкостном хроматографе.

Подготовленные образцы для качественного и количественного анализа помещали в прибор ВЭЖХ Shimadzu LC-30 Nexera с диодно-матричным детектором. 10 мкл пробы вводили в обратно-фазовую колонку C18, для идентификации и количественного анализа применяли метод внешнего стандарта. Анализ полученных данных проводили, используя непараметрическую статистику с помощью программ Microsoft Office Excel 2003 и STATISTICA 8.0. Результаты были проверены с помощью критерия Диксона на наличие выбросов, которые исключали из дальнейшего анализа. Статистическую значимость отличий оценивали с помощью U-критерия Манна-Уитни. В таблице 1 представлены средние значения. Разброс данных между участками представлен на рисунке 1 и рисунке 2.

Таблица 1

Концентрации АБК в клевере

Зона	Мощность дозы мкЗв	Концентрация АБК мкМ/мл
Ломыш (контроль)	0,4	3,805
Бабчин (контроль)	0,3	0,800
Кулажин	3,0	1,994
Радин	4,5	5,097
Масаны	3,8	4,107

Было показано, что концентрация АБК на загрязненных территориях повышаются по сравнению с контрольным участком Бабчин. Таким образом, хроническое излучение даже спустя 30 лет после аварии способно оставаться стрессовым фактором для растений.

Тем не менее, результаты для контрольного участка Ломыш и загрязненных участков Радин и Масаны оказались статистически незначимыми. Это может объясняться дополнительными стрессовыми факторами и быть поводом для дальнейшего изучения.

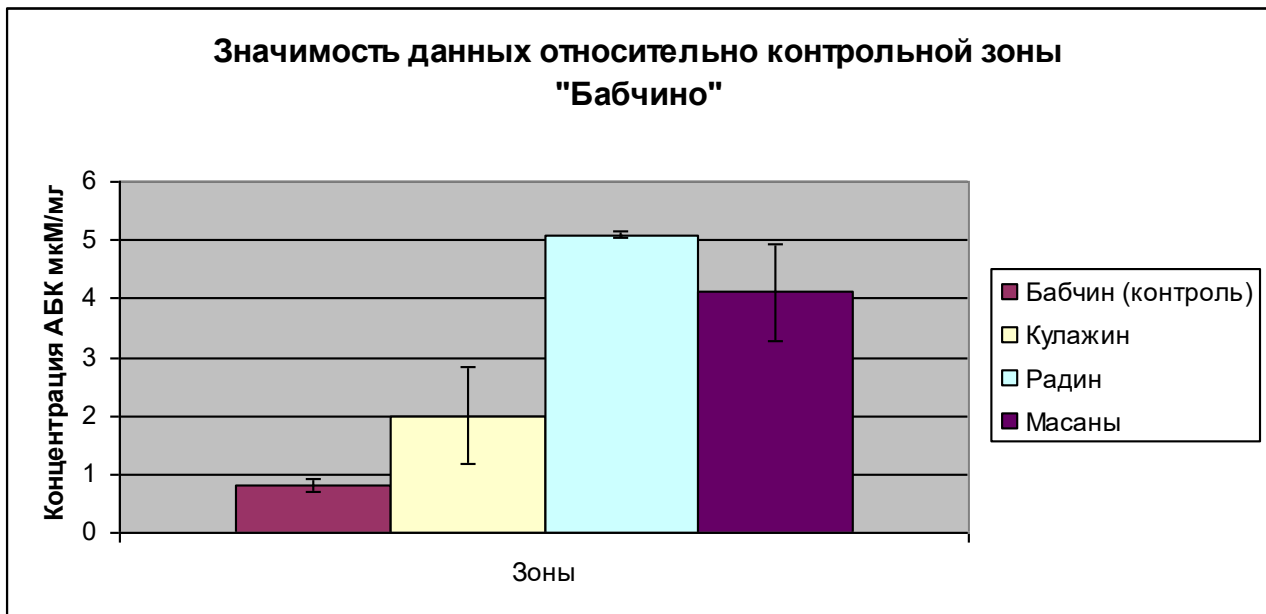


Рисунок 1 – Концентрации АБК на радиоактивно загрязненных участках и контрольном экспериментальном участке Бабчин

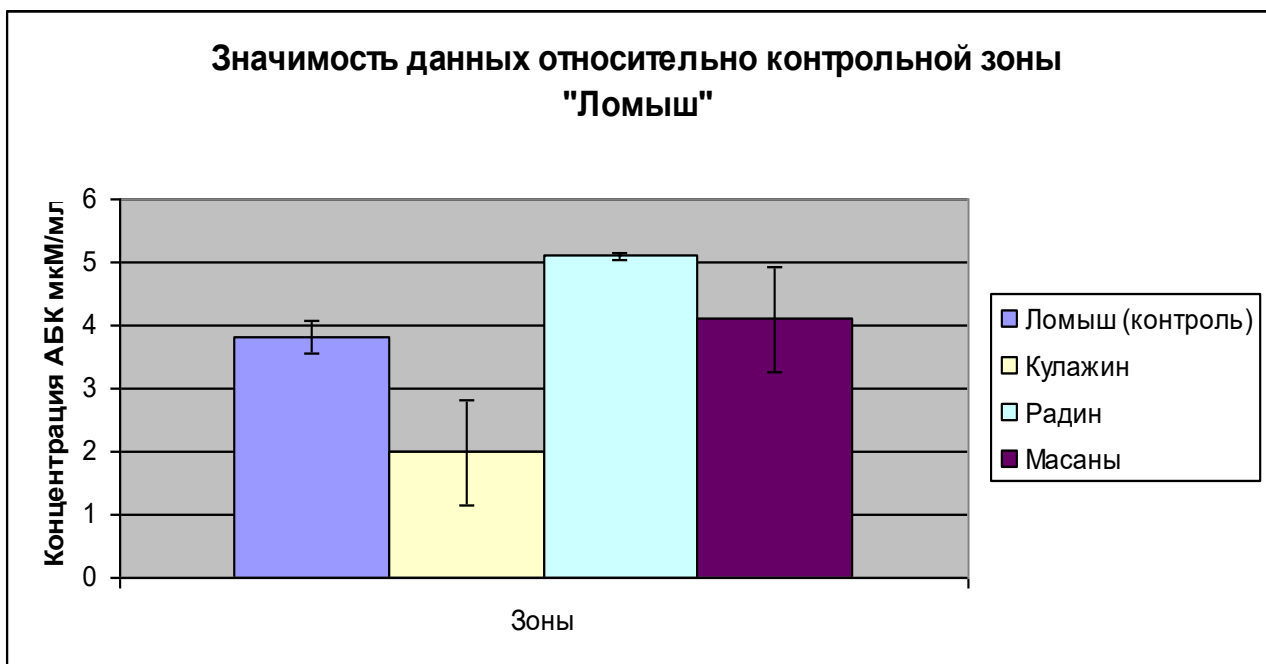


Рисунок 2 – Концентрации АБК на радиоактивно загрязненных участках и контрольном экспериментальном участке Ломыш

Список литературы

1. Лутова Л.А., Ежова Т.А., Додуева И.Е., Осипова М.А. Генетика развития растений. Спб.: Наука, 2010. 539 с.

2. Santner A., Estelle M. Recent advances and emerging trends in plant hormone signaling // Nature. 2009. V. 459. P. 1071–1078.

3. Peleg Z., Blumwald E. Hormone balance and abiotic stress tolerance in crop plants // Current Opinion in Plant Biology. 2011. V. 14. P. 290–295.

THE EFFECTS OF CHRONIC RADIATION EXPOSURE ON THE CONCENTRATION OF ABSCISIC ACID IN CLOVER PLANTS

Pishenin I.A., Bitarishvili S.V., Volkova P.Yu.

Russian Institute of Radiology and Agroecology, 249032 Kaluga region, Obninsk, Kievskoe shosse 109 km, Russian Federation

The abstract shows study of concentration of the endogenous plant growth regulator in clover plants gathered in radioactively contaminated areas in relation with non-irradiated plant population.

Keywords: clover, chronic radiation, abscisic acid, plant growth regulator, radioactive contamination

УДК: 539.16.34: 58.009: 577.152.1

ОЦЕНКА АКТИВНОСТИ КАТАЛАЗЫ В КЛЕВЕРЕ ПОЛЗУЧЕМ (*TRIFOLIUM REPENS* L.) И ВОДОСБОРЕ ОБЫКНОВЕННОМ (*AQUILEGIA VULGARIS* L.), ПРОИЗРАСТАЮЩИХ В УСЛОВИЯХ ХРОНИЧЕСКОГО ОБЛУЧЕНИЯ

Подобед М.Ю., Казакова Е.А., Волкова П.Ю.

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии»

249032 Калужская область, г. Обнинск, Киевское шоссе, 109 км, Российская Федерация

e-mail: podobedmyu@gmail.com

Исследована активность каталазы в двух видах растений, произрастающих в условиях хронического облучения на территории Гомельской области, загрязнённой в результате аварии на Чернобыльской АЭС. Данные по активности этого фермента вносят вклад в анализ комплексного состояния антиоксидантной системы в хронически облучаемых популяциях.

Ключевые слова: каталаза, хроническое облучение, антиоксидантная система, клевер ползучий, водосбор обыкновенный

Одним из последствий аварии на Чернобыльской АЭС является радиоактивный след, образованный долгоживущими радионуклидами. На территории трёх наиболее пострадавших от аварии районов Гомельской области был организован Полесский радиационно-экологический заповедник (ПГЭРЗ). Растения, произрастающие на территории заповедника, подвергаются хроническому радиационному воздействию. Известно, что в неблагоприятных, стрессовых для клетки условиях содержание активных форм кислорода (АФК) в клетке начинает увеличиваться и развивается окислительный стресс. В ликвидации АФК участвуют ферменты-антиоксиданты, одним из которых является каталаза [1], присутствующая во всех живых организмах. Этот фермент играет ключевую роль в предотвращении окислительного повреждения клеток путём высокоэффективного разложения перекиси водорода (H_2O_2) на воду и кислород. Представляло интерес оценить активность каталазы в растениях, произрастающих на загрязнённых территориях, так как существует недостаточно данных о долгосрочных биологических последствиях хронического радиационного воздействия для природных популяций растений.

Территории ПГЭРЗ были разделены по уровням загрязнения почв, согласно результатам

радиационного обследования и построенным на их основе картам загрязнения ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{241}Am и $^{238-240}Pu$ [2]. Наибольшие уровни загрязнения ^{137}Cs (более 7500 kBq/m^2) наблюдаются в южной и юго-восточной части заповедника в районе бывших населённых пунктов, два из которых были выбраны в качестве экспериментальных: Кулажин и Радин. Наибольшие уровни загрязнения ^{90}Sr (более 750 kBq/m^2), изотопами $^{238-240}Pu$ (более 37 kBq/m^2) и ^{241}Am (более 37 kBq/m^2) зафиксированы в районах бывших населённых пунктов Масаны и Кулажин. В качестве контрольных участков были выбраны Ломыш и Бабчин, на которых уровень загрязнения ^{137}Cs не превышает 750 kBq/m^2 , а загрязнение ^{90}Sr не более 75 kBq/m^2 .

Во время пробоотбора на всех экспериментальных участках были зафиксированы погодные условия при помощи мобильной метеостанции, определяющей температуру и влажность, а пробоотбор каждого вида растений на контрольных и экспериментальных участках проходил в одно и то же время суток для учёта циркадных ритмов. Также был проведён отбор почвы для дальнейшего определения типа почв и их основных физико-химических свойств.

В данной работе был проведён анализ активности каталазы для двух видов растений: клевера ползучего (*Trifolium repens*) – семейство Бобовые

(*Fabaceae*), средняя радиорезистентность, $LD_{50} \sim 250$ Гр и водосбора обыкновенного (*Aquilegia vulgaris*) – семейство Лютиковые (*Ranunculaceae*), радиочувствительны, $LD_{50} \sim 20$ Гр. Данные о радиорезистентности семейств растений взяты из [3]. Для проведения анализа активности фермента были отобраны образцы листьев растений (навеска составляла $\sim 0,25$ г). Растения гомогенизировали в жидком азоте, затем ресуспендировали в 1 мл холодного 0.1 М калий-фосфатного буфера. Гомогенаты центрифугировали 20 мин при 14500 об/мин. Супернатант использовали для анализа ферментной активности. Проводили 2 измерения: сразу после добавления перекиси водорода и через 60 с при длине волны 340 нм. Активность каталазы оценивали по динамике разложения перекиси водорода ферментом. Анализ активности фермента выполняли с использованием бескуветного спектрофотометра NanoDrop-2000 (Thermo Fisher Scientific, США), в соответствии с рекомендациями Х. Биссвангера по определению активности ферментов [4]. Анализировали 5 экстрактов с каждого экспериментального участка для одного вида растения. Значимость различий с контролем определяли с помощью U-критерия Манна-Уитни. Статистический анализ был выполнен с использованием MS Office Excel 2007 и Statistica 8.0 для Windows.

Активность изученного фермента в экстрактах клевера была статистически значимо выше только для экспериментального участка Радин по сравнению с контрольным участком Бабчин ($p = 0.009$). В экстрактах водосбора статистически значимых различий с контрольными участками обнаружено не было, несмотря на разницу в радиочувствительности семейств у выбранных растений (высокую радиочувствительность семейства Лютиковые и среднюю радиорезистентность семейства Бобовых), которая также может меняться для разных видов растений, относящихся к одному семейству. Известно, что каталаза имеет низкое сродство к субстрату и начинает работать только при достаточно высоком содержании H_2O_2 [1]. Вероятно, концентрация перекиси

водорода в клетках изучаемых растений недостаточно высока в нашем эксперименте для индукции значимых изменений в активности каталазы. При низких интенсивностях воздействия стрессового фактора антиоксидантные ферменты часто не демонстрируют изменения активности, тогда как воздействия более высоких интенсивностей могут либо снижать, либо увеличивать ее. Направленность эффекта зависит от вида растения, характера воздействия и генетических характеристик объекта [5]. Данные по активности каталазы, а также супероксиддисмутазы, (которая нейтрализует супероксидрадикал с образованием перекиси водорода) и пероксидаз (которые не разлагают, а восстанавливают перекись водорода до безопасной воды даже при низких концентрациях субстрата) будут использованы для комплексной оценки состояния антиоксидантной системы в тканях хронически облучаемых растений.

Список литературы

1. Полесская О.Г. Растительная клетка и активные формы кислорода: учебное пособие / Под ред. И.П. Ермакова. Москва: КДУ, 2007. 140 с.
2. Атлас современных и прогнозных аспектов последствий аварии на Чернобыльской АЭС на пострадавших территориях России и Беларуси (АСПА Россия–Беларусь) / Под ред. Ю.А. Израэля и И.М. Богдевича. Москва–Минск: Фонд «Инфосфера» – НИА-Природа, 2009. 140 с.
3. Сарапульцев Б.И., Гераськин С.А. Генетические основы радиорезистентности и эволюция. М.: Энергоатомиздат, 1993. 208 с.
4. Биссвангер Х. Практическая энзимология. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. 328 с.
5. Волкова П.Ю., Гераськин С.А., Раевская Н.И. Активность ферментов антиоксидантной системы у сосны обыкновенной в условиях хронического облучения // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2014. Т. 54. № 2. С. 174-178.

ASSESSMENT OF CATALASE ACTIVITY IN *TRIFOLIUM REPENS* L. AND *AQUILEGIA VULGARIS* L. POPULATIONS GROWING UNDER CONDITIONS OF CHRONIC IRRADIATION

Podobed M.Yu., Kazakova E.A., Volkova P.Yu.

Russian Institute of Radiology and Agroecology, 249032 Kaluga region, Obninsk, Kievskoe shosse 109 km, Russian Federation

The activity of catalase in two plant populations growing under conditions of chronic exposure after the accident at the Chernobyl nuclear power plant was studied. Data on the activity of this enzyme contribute to the analysis of the complex state of the antioxidant system in chronically exposed populations.

Keywords: *catalase, chronic radiation, antioxidant system, Trifolium repens L., aquilegia vulgaris L.*

ВЛИЯНИЕ УФ–СВЕТА НА ПРОЦЕССЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБМЕНА В ЭРИТРОЦИТАХ

Помясова М.Г.¹, Башарина О.В.², Артюхов В.Г.²

¹ ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии»

249032 Калужская область, г. Обнинск, Киевское шоссе, 109 км, Российская Федерация

e-mail: mariya-zelenetskaya@mail.ru

² ФГБОУ ВПО «Воронежский Государственный Университет»

394006 Воронеж, Воронежская область, Университетская пл. 1, Российская Федерация

Исследована дозовая зависимость активности глюкозо-6-фосфатдегидрогеназы эритроцитов. Выявлено, что при инкубации фотомодифицированных эритроцитов активность фермента изменяется разнонаправлено. Исследование дозовой зависимости активности ГК эритроцитов выявило, что после воздействия УФ-света в наименьшей дозе происходит повышение активности ГК в эритроцитах, а после суточной инкубации фотомодифицированных клеток – понижение. Однако воздействие УФ-света в дозе 1510 Дж/м² после инкубации приводит к значительному повышению активности ГК, что свидетельствует об активации гликолиза в эритроцитах.

Ключевые слова: эритроциты, УФ-облучение, гексокиназа, глюкозо-6-фосфатдегидрогеназа

В биологических исследованиях часто изучается действие УФ-света с длинами волн 220–400 нм (биологически значимый диапазон) [1]. В настоящее время в медицине используется метод аутоотрансфузии УФ-облученной крови (АУФОК). АУФОК вызывает быстрое улучшение реологических свойств крови, микроциркуляции, способствует нормализации гемостаза, газообменной и детоксикационной функции крови, активизирует факторы неспецифической защиты, регенерацию. Объектами воздействия УФ-света считаются все компоненты крови, в том числе эритроциты [2, 3].

Исследована дозовая зависимость (151–1510 Дж/м²) активности глюкозо-6-фосфатдегидрогеназы и гексокиназы в эритроцитах.

Показано, что после облучения суспензии эритроцитов УФ-светом происходит снижение активности Г6ФДГ, особенно сильно активность понижается при облучении клеток в дозах 151 Дж/м² и 1510 Дж/м²: активность резко падает при облучении в дозе 151 Дж/м², затем восстанавливается почти до исходного уровня, а при максимальной дозе опять снижается в 3 раза (рис. 1).

В нативных клетках после суточной инкубации происходит понижение активности Г6ФД на 35 %, это должно приводить к уменьшению концентрации НАДФН и, следовательно, к понижению активности антиоксидантной системы (за счет уменьшения количества восстановленного глутатиона) в эритроцитах [4] (рис. 1).

По сравнению с облученными клетками без инкубации в фотомодифицированных клетках при облучении в дозе 151 Дж/м² после суточной инкубации

активность фермента повышается, а в дозе 453 Дж/м² снижается в большей степени (на 43 %). В клетках, облученных в максимальной дозе (1510 Дж/м²), происходит повышение активности исследуемого фермента почти в 2 раза. Следовательно, т.к. после суточной инкубации активность Г6ФД в облученных клетках частично восстанавливается, то понижение активности обратимо.

Поскольку синтез белка *de novo* в эритроцитах невозможен, следовательно, имеют место другие механизмы активации Г6ФДГ. Возможные механизмы активации фермента в клетке – это изменение его компарментализации, ковалентная модификация (фосфорилирование или дефосфорилирование), изменение четвертичной структуры (диссоциация или ассоциация), изменение концентрации субстрата или продукта.

В эритроцитах гликолиз протекает всегда как анаэробный, несмотря на наличие кислорода, поскольку в эритроцитах отсутствуют митохондрии.

Было показано, что непосредственно после воздействия УФ-света в дозе 151 Дж/м² на клетки происходит повышение активности гексокиназы. При облучении эритроцитов в больших дозах активность фермента достоверно не отличается от исходного значения (рис. 2).

После инкубации эритроцитов, облученных в дозах 151 Дж/м², 453 Дж/м² и 755 Дж/м² активность гексокиназы понижается. Однако воздействие УФ-света в дозе 1510 Дж/м² после инкубации приводит к значительному повышению активности ГК, что свидетельствует об активации гликолиза в эритроцитах.

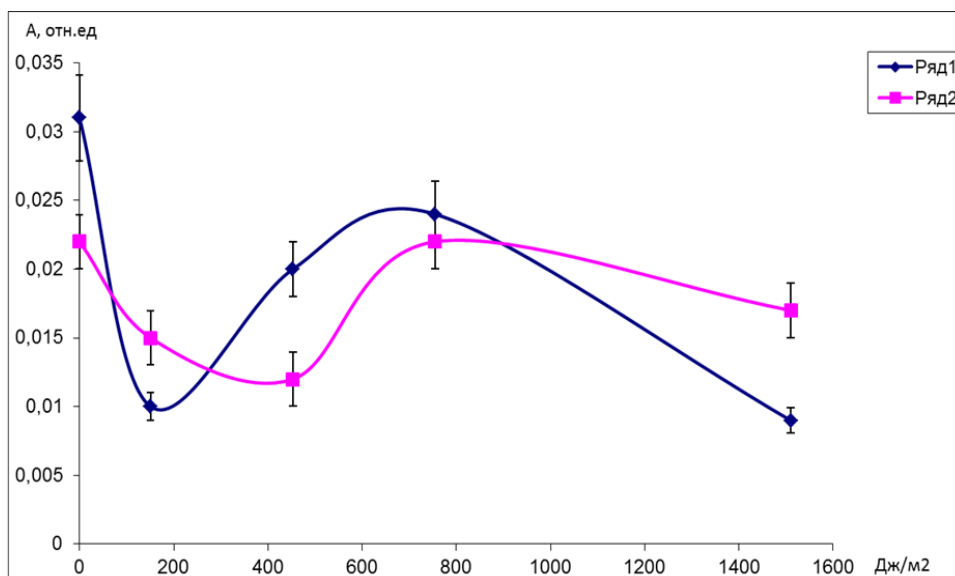


Рисунок 1 - Дозовая зависимость активности глюкозо-6-фосфатдегидрогеназы в эритроцитах. Обозначения: 1 – клетки без инкубации, 2 – клетки после суточной инкубации

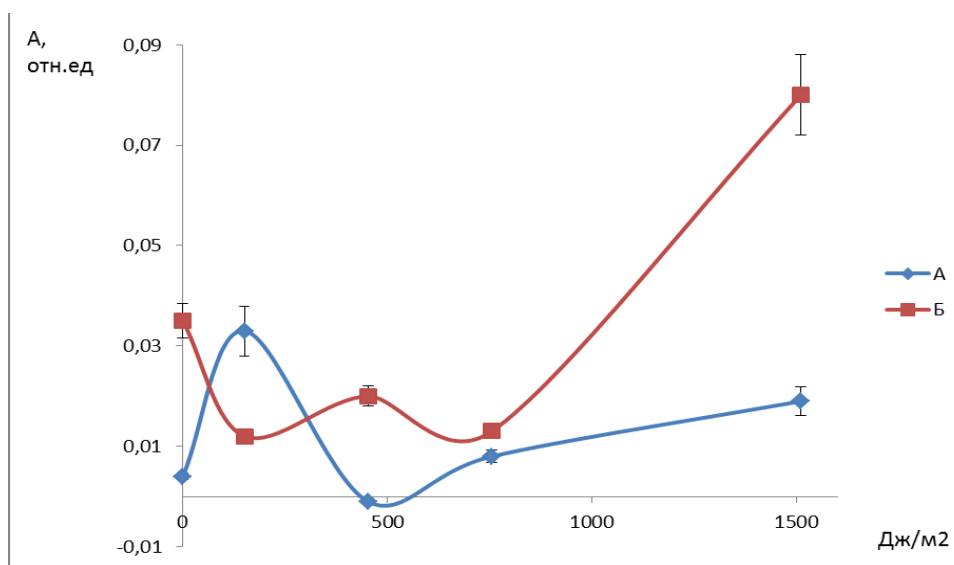


Рисунок 2 - Влияние УФ-света на активность фермента ГК в эритроцитах. Обозначения: А – клетки без инкубации, Б – клетки после суточной инкубации

Коэффициент корреляции изменения активности Г6ФД и ГК в эритроцитах после облучения равняется $-0,76$ это говорит, об высоком значении отрицательной корреляции, а после суточной инкубации этих ферментов степень корреляции $0,04$ – это говорит, о том что изменение активности этих двух ферментов не связаны между собой, т.е. происходит разобщение гликолиза и ПФП.

Список литературы

1. Артюхов В. Г. Биофизика / В. Г. Артюхов, Т. А. Ковалева, В. П. Шмелев. Воронеж : Изд-во Воронеж. ун-та, 1994. 336 с.

2. Артюхов В.Г. Земченкова О.В., Башарина О.В. Особенности метаболизма УФ-облученных лимфоцитов // Радиационная биология. Радиозэкология. 2011. Т. 51, № 2. С. 252–257.

3. Башарина О.В. Земченкова О.В., Артюхов В.Г. Защитное действие аутологичной плазмы от развития окислительного стресса в УФ-облученных лимфоцитах крови доноров // Радиационная биология. Радиозэкология. 2012. Т. 52, № 6. С. 602–607.

4. Лакомая Ю.А. Глюкозо-6-фосфатдегидрогеназа при старении эритроцитов: автореф. дис. на соискание ученой степени канд. биол. наук. Т., 2006, 28 с.

THE EFFECT OF UV LIGHT ON THE PROCESSES OF ENERGY METABOLISM IN ERYTHROCYTES

Pomyasova M.G.¹, Basharina O.V.², Artyukhov V.G.²

¹ Russian Institute of Radiology and Agroecology, 249032 Kaluga region, Obninsk, Kievskoe shosse 109 km, Russian Federation

² Voronezh State University, 394006 Voronezh, University Square 1, Russian Federation

The research was conducted to determine of the dose dependence of the activity of glucose-6-phosphate dehydrogenase of erythrocytes. It was revealed that during incubation of photomodified red blood cells, the activity of the enzyme changes in different directions. As a result of research the dose dependence of the activity hexokinase, it was revealed that after exposure to UV-light at the lowest dose, an increase in the enzyme activity occurs. Exposure to UV light at a dose of 1510 J / m² after incubation leads to a significant increase in the activity of hexokinase, which indicates the activation of glycolysis in red blood cells.

Keywords: erythrocytes, UV-irradiation, hexokinase, glucose-6-phosphate dehydrogenase

УДК 577. 3

РАДИОБИОЛОГИЧЕСКИЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СИНЕРГИЧЕСКОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СОЛЕЙ ТЯЖЁЛЫХ МЕТАЛЛОВ С ИОНИЗИРУЮЩИМ ИЗЛУЧЕНИЕМ

Толкаева М.С.

Медицинский радиобиологический научный центр им. А.Ф. Цыба – филиал ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр радиологии» Минздрава здравоохранения Российской Федерации

249036 Калужская область, г. Обнинск, ул. Королева, 4, Российская Федерация

e-mail: marya.tolkaeva@yandex.ru

На примере данных, полученных в ходе экспериментов, продемонстрирована актуальность ранее выявленных общих закономерностей проявления синергизма для одновременного взаимодействия растворов PbI₂ с ионизирующим излучением на диплоидные дрожжевые клетки *Saccharomyces cerevisiae*.

Ключевые слова: синергическое взаимодействие, ионизирующее излучение, тяжёлые металлы, *Saccharomyces cerevisiae*

В настоящее время значительное количество различных антропогенных объектов оказывает негативное воздействия на состояние окружающей среды. Одновременное действие факторов, продуцируемых этими объектами, или же их совместное действие с естественными факторами окружающей среды зачастую носят характер синергических взаимодействий, при которых сумма эффектов каждого фактора в отдельности не соответствует реальному при одновременном применении. Изучение проявления синергического эффекта при многофакторных воздействиях является актуальной проблемой современной экологии в сфере понимания общих механизмов синергизма, а так же использования полученных данных для уточнения санитарных норм. При сочетании нескольких факторов санитарные нормы, установленные для изолированно действующих факторов или только для аддитивного сложения эффектов и гарантирующие безопасность именно для этих условий, могут оказаться несостоятельными.

Среди распространённых многофакторных воздействий хочется выделить взаимодействие ионизирующего излучения с солями тяжёлых металлов. С одной стороны, за последние несколько десятилетий уровень излучения во внешней среде увеличился за счет радиоактивных выпадений после испытаний атомного оружия, а также радиоактивных отходов от атомных электростанций и предприятий атомной промышленности. С другой стороны, наиболее опасными и наиболее распространёнными химическими загрязнителями окружающей среды являются соли тяжёлых металлов. Таким образом, изучение характера наблюдаемых эффектов при комбинированном действии этих агентов является интересным направлением исследований.

Цель данного исследования: выявление ранее неизвестных закономерностей проявления синергизма при комбинированном действии соли свинца (PbI₂) с ионизирующим излучением.

Объектом экспериментальных исследований являлись диплоидные дрожжевые клетки *Saccharomyces*

cerevisiae (штамм XS800), на которых в стационарной стадии роста воздействовали растворами PbI_2 , (0,5, 1, 1,5, 2,5 и 5 мг/мл) отдельно и в комбинациях с ионизирующим излучением. Суспензию клеток помещали в растворы соли свинца непосредственно перед облучением ионизирующим излучением (γ -кванты ^{60}Co , мощность дозы 10,8 Гр/мин).

Для оценки результатов использовали выживаемость клеток, регистрируемую по способности облучённых клеток образовывать видимые глазом макроколонии на твёрдой питательной среде. Количественно выживаемость оценивали отношением числа колоний, образованных клетками, подвергшимся действию применяемых агентов, к числу колоний, сформированных в контроле. На этом основании строили кривые зависимости выживаемости от дозы или продолжительности применения воздействующих агентов. Для расчёта коэффициент синергического взаимодействия строили экспериментальные кривые выживаемости после раздельного и комбинированного действия агентов, а также теоретически ожидаемую кривую выживаемости при независимом сложении эффектов от каждого агента. Для количественной оценки степени синергизма использовали коэффициент синергического усиления k , определяемый отношением изоэффективных доз на теоретически ожидаемой и экспериментальной кривых доза-эффект [1].

$$k = D_2/D_1$$

На рисунке 1 (А, Б, В, Г, Д) приведены зависимости выживаемости диплоидных дрожжевых клеток *Saccharomyces cerevisiae* (штамм XS800) от продолжительности действия растворов PbI_2 (кривые 1) и ионизирующего излучения (кривые 2) и одновременного применения этих агентов (кривые 4). Кривые 3 на этом рисунке – теоретически рассчитанные кривые выживаемости для независимого сложения эффектов от действия раствора PbI_2 и ионизирующего излучения. На рис. 1(Б) стрелками указан пример расчёта коэффициента синергического усиления k . На рис. 1 (Е) приведена зависимость коэффициента синергического усиления от концентрации растворов

PbI_2 после их одновременного действия с ионизирующим излучением (^{60}Co , 10,8 Гр/мин) на выживаемость диплоидных дрожжевых клеток *Saccharomyces cerevisiae*.

Следует отметить, что не во всех случаях наблюдалось синергическое взаимодействие. На рисунке 1 (А, Б, В) экспериментальные кривые выживаемости после комбинированных воздействий расположены ниже ожидаемых при независимом сложении эффектов от каждого агента, следовательно, в данной ситуации синергизм наблюдается. На рисунке 1 (Г, Д) теоретическая кривая совпадает с экспериментальной, синергическое взаимодействие не наблюдается.

Таким образом, было выявлено:

1. Синергизм при комбинированном действии ионизирующего излучения с растворами PbI_2 наблюдается не при любых значениях концентраций растворов, а только в пределах значений концентрации от 0,5 до 2,5 мг/мл.

2. Максимальное синергическое взаимодействие от указанных агентов обеспечивается при концентрации раствора PbI_2 1,5 мг/мл.

3. Любое отклонение концентрации от оптимального значения, обеспечивающего максимальное синергическое взаимодействие, приводит к снижению синергического эффекта.

Приведенные в данной работе результаты указывают на универсальность проявления ранее выявленных закономерностей синергического взаимодействия [2].

Список литературы

1. Петин В.Г., Жураковская Г.П., Комарова Л.Н. Радиобиологические основы синергических взаимодействий в биосфере. М.: ГЕОС, 2012. 219 с.
2. Евстратова Е.С., Петин В.Г. Биофизическая интерпретация зависимости синергизма от интенсивности применяемых агентов // Биофизика. 2018. Т. 63, №6. С. 1186–1194.

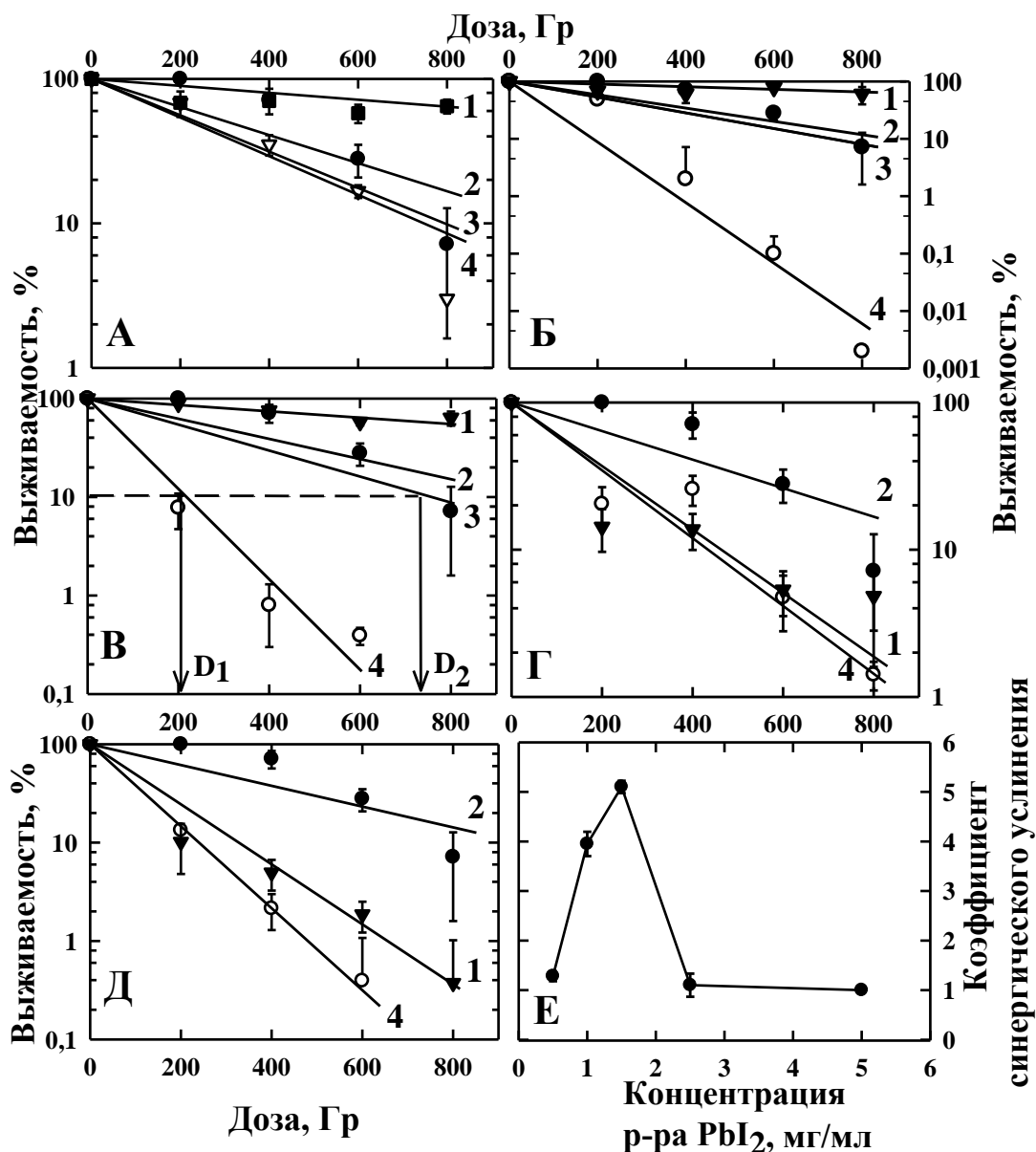


Рисунок 1 – Кривые выживаемости диплоидных дрожжевых клеток *Saccharomyces cerevisiae* (штамм XS800) после одновременного применения растворов PbI_2 и ионизирующего излучения (кривая 4), воздействия отдельно растворов PbI_2 (А – 0,5 мг/мл; Б – 1 мг/мл; В – 1,5 мг/мл; Г – 2,5 мг/мл; Д – 5 мг/мл) и ионизирующего излучения (1 и 2 соответственно), теоретическая кривая, рассчитанная при условии независимого сложения эффектов, индуцированных используемыми факторами (кривая 3) и зависимость коэффициента синергического усиления от концентрации растворов PbI_2 после одновременного действия с ионизирующим излучением (Е).

RADIOBIOLOGICAL AND ECOLOGICAL ASPECTS OF SYNERGISTIC INTERACTION OF HEAVY METAL SALTS WITH IONIZING RADIATION

Tolkaeva M.S.

A.F. Tsyb Medical Radiological Research Center – Branch of the Federal State Budget Institution «National Medical Research Center of Radiology» of the Health Ministry of the Russian Federation, 249036 Kaluga region, Obninsk, Korolev st., 4, Russian Federation

Using experimental data, this paper demonstrates the relevance of the previously identified general patterns of synergy manifestation for the simultaneous interaction of PbI_2 solutions with ionizing radiation on diploid yeast cells *Saccharomyces cerevisiae*.

Keywords: *Synergistic interaction, ionizing radiation, heavy metals, yeast cells, Saccharomyces cerevisiae*

УДК: 57.085.2

НОВЫЕ ДАННЫЕ ОБ УНИВЕРСАЛЬНОСТИ СИНЕРГИЧЕСКИХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ ХИМИЧЕСКИХ ПРЕПАРАТОВ С РАЗЛИЧНЫМИ ФИЗИЧЕСКИМИ ФАКТОРАМИ

Филимонова А.Н.

ФГБУ "Национальный медицинский исследовательский центр радиологии"

249036, г. Обнинск, ул. Королева, 4, Российская Федерация

e-mail: filimonowa.af@gmail.com

Приводятся новые экспериментальные результаты о влиянии солей тяжелых металлов и ионизирующего излучения на выживаемость диплоидных дрожжевых клеток *Saccharomyces cerevisiae* (штамм XS800) после отдельного и одновременного применения этих агентов. Показано, что синергическое взаимодействие этих агентов при постоянной дозе ионизирующего излучения регистрируется лишь в пределах определенного диапазона концентраций, внутри которого имеется оптимальная концентрация, при которой наблюдается максимальный синергический эффект. Результаты данной работы имеют фундаментальную и практическую значимость для оптимизации комбинированных воздействий и обеспечения максимального синергического взаимодействия, а также для понимания и теоретической интерпретации биологических эффектов комбинированных воздействий. Обсуждаются возможные механизмы описанных эффектов и пути их практического использования.

Ключевые слова: *тяжелые металлы, синергизм, ионизирующее излучение, гипертермия, комбинированные действия, дрожжевые клетки*

Введение

Ежегодно более 500 официально зарегистрированных веществ внедряются в практику в виде лекарственных препаратов, пищевых добавок, пестицидов и промышленных соединений, загрязняющих окружающую среду. Многие лекарственные средства используются в комбинации с ионизирующим излучением или гипертермией для повышения эффективности лечения злокачественных новообразований [10]. Комбинированное действие ионизирующего излучения с различными химиопрепаратами часто используется для повышения радиочувствительности опухолевых клеток при лучевой терапии опухолей [6]. Существует большое количество работ по изучению влияния одновременного и последовательного комбинированного действия ионизирующего излучения с химическими агентами на выживаемость клеток различного происхождения [5, 7].

Наиболее интересным является изучение характера наблюдаемых эффектов при комбинированном действии ионизирующего излучения и других агентов с солями тяжелых металлов, являющихся перспективными в практическом применении радиобиологических подходов лучевой терапии [4, 8]. Известны соединения тяжелых металлов (например, цисплатин), которые могут применяться одновременно с лучевой терапией опухолей.

Сложность количественной оценки комбинированного воздействия тяжелых металлов и

ионизирующего излучения обуславливается двумя факторами – недостаточностью знаний о молекулярно-клеточном механизме действия каждого фактора и их сочетаний, а также отсутствием единого методологического и концептуального подхода к изучению механизма синергического взаимодействия факторов различной природы [4, 8]. Было бы интересно исследовать экспериментально их совместное действие с гипертермией или с ионизирующим излучением для оптимизации методов сочетанной терапии.

Разработка перспективных методов учёта синергического взаимодействия биоэффектов химических соединений с ионизирующим излучением или гипертермией представляется актуальной проблемой современной радиобиологии [5]. Синергическое взаимодействие означает, что вредные факторы, применяемые одновременно, значительно усиливают поражающее действие друг друга. В литературе описаны синергические взаимодействия различных агентов не только для клеточных систем различного происхождения, но и для животных и человека. Важно также отметить, что при сочетании нескольких факторов санитарные нормы, установленные для изолированно действующих факторов или только для аддитивного сложения эффектов и гарантирующие безопасность именно для этих условий, могут оказаться несостоятельными.

Материалы и методы

Объектом собственных экспериментальных исследований были диплоидные дрожжевые клетки *Saccharomyces cerevisiae* (штамм XS800), на которых в стационарной стадии роста воздействовали ионизирующим излучением, химическим препаратом, содержащим соль тяжелого металла (хром) и одновременным действием ионизирующего излучения с солями тяжелых металлов. Используемые в экспериментах диплоидные дрожжевые клетки, являются простейшей моделью эукариотических клеток, строение которых сходно с клетками высших организмов и которые характеризуются наличием ядра и хромосом.

Источником γ -квантов служил ^{60}Co (установка «Исследователь», экспериментальный сектор Медицинского радиологического научного центра им. А.Ф. Цыба). Мощность дозы составляла 10,8 Гр/мин, для каждой дозы рассчитывали продолжительность воздействия с учетом дополнительного облучения при подъеме и спуске подвижной части установки. Доза за спуск-подъем камеры из положения загрузки до положения облучения и обратно составляла 3,69 Гр.

В опытах использованы растворы соли тяжелого металла: – $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 0,05; 0,5; 1,5 и 5 мг/мл. По окончании раздельного применения ионизирующего излучения, химического препарата и их одновременного комбинированного воздействия клетки помещали в чашки Петри с питательной средой так, чтобы 150–200 колоний образовывались после 3–5 суточной инкубации дрожжевых клеток при 30 °С. Выживаемость клеток оценивали отношением колоний, сформированных при воздействии разных факторов к числу колоний, образованных в контроле. Все экспериментальные серии повторяли 3–5 раз. Результаты представлены в виде среднего значения и его стандартной ошибки. Детали методов культивирования, определения выживаемости, статистической обработки описаны ранее [1, 4].

Результаты

Представляло интерес получить данные для синергического взаимодействия одновременного применения солей тяжелых металлов с ионизирующим излучением. В случае действия химических поллютантов продолжительность их действия в первом приближении может рассматривать аналогом дозы, а изменение концентрации препаратов или действующей температуры может служить аналогом интенсивности применяемых агентов.

Получены кривые выживаемости, необходимые для определения характера взаимодействия. Во всех случаях наблюдается их синергическое взаимодействие – эти кривые расположены ниже ожидаемых при независимом сложении эффектов от каждого агента. Для количественной оценки степени синергизма мы использовали коэффициент синергического усиления (k) [1, 4], описанный в указанных

ссылках на источники литературы. Этот коэффициент показывает, во сколько раз для одинакового эффекта уменьшилась продолжительность ожидаемого воздействия по сравнению с наблюдаемой в эксперименте величиной.

На рисунке 1 приведена зависимость коэффициента синергического усиления от концентрации растворов соли тяжелого металла $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ (0,05; 0,5; 1,5; 5 мг/мл) после их одновременного действия с ионизирующим излучением (^{60}Co , 10,8 Гр/мин) на выживаемость диплоидных дрожжевых клеток *S. cerevisiae*.

Видно, что наблюдается куполообразная зависимость эффективности синергического взаимодействия от концентрации солей тяжелых металлов. Любое отклонение концентрации от оптимального значения, обеспечивающего максимальное синергическое взаимодействие, приводит к снижению эффективности синергического взаимодействия. Эти закономерности имеют не только фундаментальное значение, но и должны учитываться на практике при санитарном нормировании или оптимизации комбинированных воздействий различных агентов.

Заключение

Синергические эффекты пока не учитываются в клинических исследованиях. Это обусловлено тем, что в существующей медицинской практике противоопухолевые препараты и модифицирующие физические агенты главным образом используются последовательно с ионизирующим излучением.

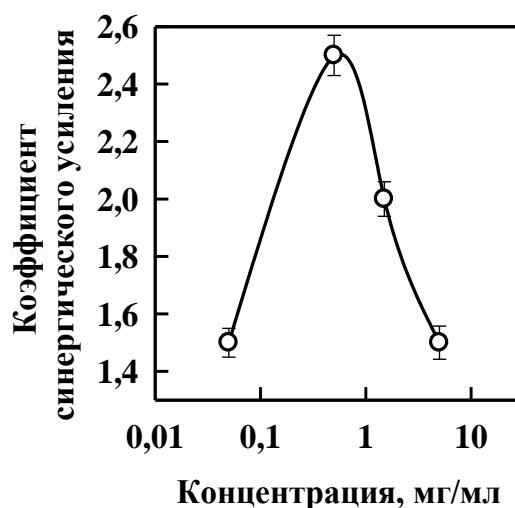


Рисунок 1 – Зависимость коэффициента синергического усиления от концентрации раствора $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, действующего одновременно с ионизирующим излучением на выживаемость диплоидных дрожжевых клеток

Хорошо известно, что в этом случае синергический эффект отсутствует или значительно уменьшен. На примере проделанных в данной работе исследований продемонстрирована возможность

значительного увеличения коэффициента синергического взаимодействия при одновременном применении агентов. Хотелось бы, чтобы подобное применение было внедрено в медицинскую практику. Результаты данной работы имеют фундаментальную и практическую значимость для оптимизации комбинированных воздействий и обеспечения максимального синергического взаимодействия, а также для понимания и теоретической интерпретации биологических эффектов комбинированных воздействий.

Список литературы

1. Антипов В.В., Давыдов Б.И., Вериго В.В., Свиричев Ю.М.О комбинированном действии различных факторов полета. Основы космической биологии и медицины. М.: Наука. 1975. Т. 2, кн. 2. С. 243–267.

2. Дэвидсон, Г.О. Биологические последствия общего гамма-облучения человека. М.: Атомиздат, 1960. 108 с.

3. Евстратова Е.С., Переклад О.В., Хрячкова А.В. ОБЭ α -частиц для задержки формирования колоний

облученными дрожжевыми клетками // Радиационная биология и радиозэкология. 2016. Т.56. №5. С. 481–486.

4. Петин В.Г., Жураковская Г.П., Комарова Л.Н. Радиобиологические основы синергических взаимодействий в биосфере. М.: ГЕОС, 2012. 219 с.

5. Цыб А.Ф., Мардынский Ю.С. Терапевтическая радиология. М.: Медицинская книга. 2010. 552 с.

6. Berthoud, H.R. Synergy: a concept in search of a definition // Endocrinology. 2013. V. 154. P. 3974–3977.

7. Choy, H. (Ed.) Chemoradiation in Cancer. Totowa, NJ, USA: Humana Press., 2003. 420 p.

9. Evstratova E.S., Petin V.G., Zhurakovskaya G.P. Synergistic effects and their potential significance for the influence of natural intensities of environmental factors on cell growth. Synergy. 2018. V. 6, № 1. P. 1–8.

9. Feldman, H. (Ed.) Yeast: Molecular and Cell Biology. New York: John Wiley & Sons, 2012. 444 p.

NOVEL DATA ON THE UNIVERSALITY OF SYNERGICAL INTERACTIONS OF CHEMICAL PREPARATIONS WITH DIFFERENT PHYSICAL FACTORS

Filimonova A.N.

National Medical Research Radiological Center of the Ministry of Health of the Russian Federation, 249036 4, Korolev st., Obninsk, Russian Federation

New experimental results on the effects of heavy metal salts, ionizing radiation and hyperthermia on the survival of *Saccharomyces cerevisiae* diploid yeast cells (strain XS800) after the separate and simultaneous use of these agents are presented. It is shown that the synergistic interaction of these agents at a constant concentration of drugs is recorded only within a certain temperature range, within which there is an optimal temperature at which the greatest synergistic effect is observed. The results of this work are of important from fundamental and practical points of view including the significance of optimizing the combined effects and ensuring the greatest synergistic interaction, as well as for understanding and theoretical interpretation of the biological effects of the combined interaction. The possible mechanisms of the described effects and the direction of their practical use are discussed.

Keywords: *heavy metals, synergism, ionizing radiation, hyperthermia, combined action, yeast cells*

УДК 57.043

ДЛИНА И МАССА ХВОИ У ВТОРОГО ПОСЛЕАВАРИЙНОГО ПОКОЛЕНИЯ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ ИЗ БЛИЖНЕЙ ЗОНЫ ЧАЭС

Хронина В.В.¹, Удалова А.А.¹, Макаренко Е.С.²

¹ Обнинский институт атомной энергетики – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ» 249040 Калужская область, г. Обнинск, Студгородок, д.1, Российская Федерация

² ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии» 249032 Калужская область, г. Обнинск, Киевское шоссе, 109 км, Российская Федерация

В работе представлены результаты двухлетнего изучения морфометрических показателей хвои и агрохимических показателей почвы в местах произрастания второго послеаварийного поколения сосны обыкновенной из ближней зоны ЧАЭС. По итогам исследования установлено, что длина и масса хвои во всех группах деревьев-потомков статистически значимо увеличены относительно контрольных групп как в 2016, так и в 2018 г. Значения индекса

флуктуирующей асимметрии по длине и массе во всех группах деревьев-потомков значимо не отличаются от деревьев контрольной группы. Показано, что почва в месте произрастания поколения P_2 является более плодородной, чем у деревьев контрольных групп. На развитие деревьев второго послеаварийного поколения сосны обыкновенной влияют как радиационные, так и эдафические факторы.

Ключевые слова: Чернобыльская авария, хвоя, морфометрические показатели, сосна обыкновенная, отдаленное действие радиации, флуктуирующая асимметрия, агрохимический анализ

Чернобыльская авария привела к серьезным радиобиологическим эффектам у растений и животных на загрязненной территории. Самую высокую радиочувствительность среди природных экосистем проявили сосновые биогеоценозы в ближней зоне ЧАЭС. При изучении генетических последствий действия ионизирующих излучений были подробно изучены эффекты в популяциях растений, произрастающих в условиях радиоактивного загрязнения. Однако особый интерес представляют исследования отдаленных последствий действия радиации у потомков облученных растений.

Подходящим объектом для изучения таких эффектов является второе послеаварийное поколение сосны обыкновенной, которое произрастает в Обнинске на территории ВНИИРАЭ. Изучение морфометрических показателей хвои - наиболее доступный и достаточно чувствительный метод исследований, однако при изучении этих показателей возникает вопрос о возможном влиянии на ростовые процессы хвои эдафических факторов, например, свойств почвы, на которой эти деревья произрастают.

Целью данной работы является изучение морфометрических показателей хвои и изучение агрохимических показателей почвы в местах произрастания второго послеаварийного поколения сосны обыкновенной из ближней зоны ЧАЭС.

Для достижения этой цели были поставлены следующие задачи:

- 1 – оценка длины и массы хвои второго поколения деревьев из ближней зоны аварии на ЧАЭС;
- 2 – оценка индекса флуктуирующей асимметрии хвои во втором послеаварийном поколении сосны обыкновенной;
- 3 – изучение агрохимических показателей почвы в местах произрастания деревьев.

Материалы и методы

Выжившие после аварии на ЧАЭС деревья сосны поколения P_0 дали семенное потомство, из которого путем самосева выросло первое послеаварийное поколение (P_1). С этих деревьев в 2004 г. сотрудниками ИОГЕН был проведен сбор семян из трех зон поражения экосистем (средняя, сублетальная и летальная зона). Выросшие из этих семян саженцы были высажены на чистую территорию. Так получили второе послеаварийное поколение (P_2), которое никогда не подвергалось радиационному воздействию.

Исследуемые деревья объединены в дозовые группы в соответствии с радиационными нагрузками на родительские популяции P_0 , которые составляли 4-5 (средняя зона), 10-20 (сублетальная зона) и 80-100 Гр (летальная зона) на 01.06.1986.

Группа исследуемых деревьев, обозначенная «Копачи» – это потомки сосен, высаженных на загрязненной территории в 1991 г., с которых также были собраны семена и высажены на чистой территории.

Недалеко от экспериментальной группы на территории ВНИИРАЭ находятся контрольные группы деревьев Контроль 1 и Контроль 2. Деревья в этих группах представляют собой потомков лесонасаждений на территории института, они были подобраны так, чтобы по возрасту соответствовать исследуемой группе деревьев.

Всего было изучено 63 дерева в 2016 г. и 58 деревьев в 2018 г. Для изучения морфометрических показателей хвои (длины и массы) отбирали двухлетнюю хвою в 2016 и 2018 гг. (по 20 пар хвоинок с дерева). Длину каждой отдельной хвоинки из пары измеряли линейкой с точностью до 0,5 мм. Затем хвою высушивали в течение 15 мин. в сушильном шкафу, массу хвои определяли на аналитических весах с точностью до 0,0001 г. Всего было измерено 2520 хвоинок в 2016 г. и 2320 хвоинок в 2018 г.

Для расчета индекса флуктуирующей асимметрии (ФА) использовались данные, полученные при определении длины и массы хвои. Исследование флуктуирующей асимметрии хвои сосны обыкновенной проводилось по методике М.В. Козлова [1].

Статистическую обработку материала проводили с помощью пакета прикладных компьютерных программ Microsoft Office Excel 2003. Данные были проверены на наличие выбросов, а для определения значимости различий между контролем и разными дозовыми группами деревьев использовали t-критерий Стьюдента.

Пробы почвы для агрохимического анализа отбирали летом 2018 г. Отбор проводился в соответствии с ГОСТ 17.4.4.02.84 [2]. При проведении агрохимического анализа были определены следующие показатели: гидролитическая кислотность почв по Каппену, актуальная и обменная кислотность почвы потенциометрическим методом, гумус методом Тюрина, емкость поглощения почв методом Бобко-Аскинази в модификации Уваровой.

Результаты

Результаты оценки длины хвои в изучаемых группах деревьев приведены на рисунке 1. Длина

хвои у потомков составляет от 71,9 до 81,3 мм, превышая контрольные показатели до 1,5 раз.

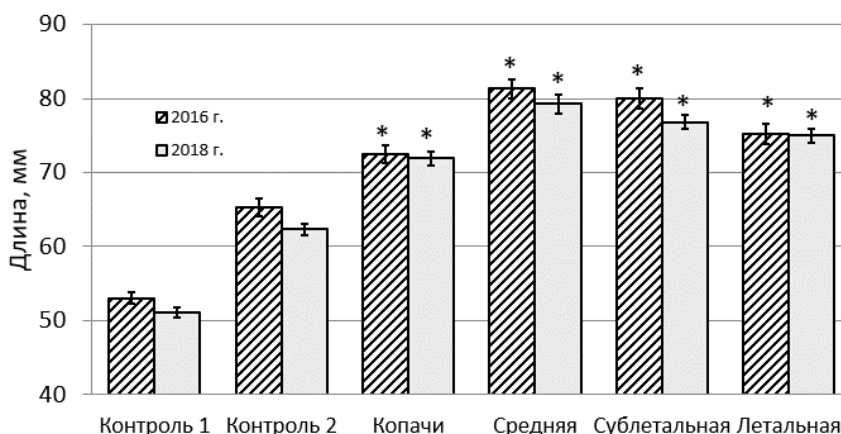


Рисунок 1 – Длина хвои сосны обыкновенной у деревьев разных дозовых групп
Значимое отличие от Контроля 1 и Контроля 2: * - $p \leq 0.001$

Результаты, полученные по массе хвои, аналогичны – в контрольных группах деревьев масса хвои ниже в 1,6 раз. Обнаруженные различия между контролями и деревьями-потомками являются статистически достоверными для обоих морфометрических показателей как в 2016 г., так и в 2018 г. Одним из возможных объяснений полученного результата является гипотеза о стимулирующем действии радиации на ростовые процессы у потомков. Эффект радиостимуляции ростовых процессов у хвойных деревьев после острого облучения в высоких дозах наблюдался также в работе Г.М. Козубова и А.И. Таскаева [3].

Исходя из данных, рассчитанных за два года, выявлено, что индексы флуктуирующей асимметрии во всех группах по длине и массе значимо не отличаются от данных в контрольных группах. Хотя в

литературе имеется немало сведений о высокой чувствительности ФА к стрессовым воздействиям [4], в нашем исследовании не выявлено никакой значимой реакции у потомков облученных родительских деревьев по данному показателю.

Результаты агрохимического анализа почвы, представленные в таблице 1., показывают, что на территории, где произрастают контрольные деревья, значения обменной кислотности выше, чем в почве у потомков; эти условия, в принципе, могут негативно влиять на ростовые процессы у сосновых деревьев.

Наибольшая емкость поглощения и содержание гумуса отмечены в почве, на которой произрастают деревья поколения P2; у этих деревьев наблюдается увеличение массы и длины хвои по сравнению с контрольными деревьями.

Таблица 1

Результаты агрохимического анализа почвы

Проба почвы	Гидролитическая кислотность, $\left(\frac{\text{мг*экв}}{100\text{г почвы}}\right)$	Обменная кислотность	Гумус, %	Емкость поглощения, $\left(\frac{\text{мг*экв}}{100\text{г почвы}}\right)$
Контроль 1	0,11 ± 0,00	7,75 ± 0,07	0,25 ± 0,10	1,8 ± 0,12
Контроль 2	0,81 ± 0,03	6,90 ± 0,02	1,07 ± 0,10	5,1 ± 0,18
Потомки	3,37 ± 0,07	5,30 ± 0,04	2,25 ± 0,28	6,0 ± 0,18
Холостой опыт	2,39 ± 0,14	5,30 ± 0,01	-	-

Таким образом, при изучении морфометрических показателей хвои у второго послеаварийного поколения сосны обыкновенной из ближней зоны ЧАЭС были получены следующие выводы:

1. Длина и масса хвои во всех группах деревьев-потомков статистически значимо увеличена относительно контрольных групп как в 2016 г., так и в 2018 г.

2. Значения индекса флуктуирующей асимметрии во всех группах деревьев-потомков значимо не отличаются от контрольных показателей.

3. Почва в месте произрастания поколения P2 является более благоприятной по сравнению с почвой контрольных групп деревьев, т.к. она содержит большее количество гумуса, имеет более высокую емкость поглощения и менее высокое значение кислотности. Возможно, увеличение массы и длины хвои у

второго послеаварийного поколения по сравнению с хвоей у контрольных деревьев обусловлено свойствами почвы в месте произрастания деревьев.

По всей видимости, на развитие деревьев второго послеаварийного поколения сосны обыкновенной влияют как радиационные, так и эдафические факторы, поэтому для более полного понимания закономерностей формирования биологических эффектов в этих уникальных условиях необходимо продолжить исследования.

Список литературы

1. Kozlov M.V., Niemela P. Junttila J. Needle fluctuating asymmetry as a sensitive indicator of pollution

impact on Scots pine (*Pinus sylvestris*) // Ecological Indicators. 2002. Vol. 1. P. 271-277.

2. ГОСТ 17.4.4.02-84. Почва. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического и гельминтологического анализа. – М.: Изд. Стандартов, 1985. – 11 с.

3. Козубов Г.М., Таскаев А.И. Радиобиологические исследования хвойных в районе Чернобыльской катастрофы. – М.: ИПЦ «Дизайн. Информация. Картография». 2002. – 272 с.

4. Palmer A.R., Strobeck C. Fluctuating asymmetry: measurement, analysis, patterns // Annual Review of Ecology and Systematics. – 1986. – Vol. 17. – P. 391-421.

LENGTH AND MASS OF NEEDLES IN THE SECOND GENERATION OF SCOTS PINE TREES FROM 10-KM EXCLUSION ZONE of the ChNPP

Khronina V.V.¹, Oudalova A.A.¹, Makarenko E.S.²

1 Obninsk Institute of Nuclear Power Engineering - branch of the National Research Nuclear University "MEPhI" 249040 Kaluga region, Obninsk, Studgorodok st, b. 1, Russian Federation

2 Russian Institute of Radiology and Agroecology, 249032 Kaluga region, Obninsk, Kievskoe shosse 109 km, Russian Federation

Results of the two-year study of morphometric indicators of needles in the second generation of Scots pine trees severely exposed in the Chernobyl accident and agrochemical properties of soil that they grow now at. It is found that the length and mass of needles in all dose groups of the second generation pine trees are significantly increased compared to the reference group in 2016 and 2018. Fluctuating asymmetry index for needle length and mass in all the groups of second generation do not show any statistically valid changes from the reference groups. The soil where the P₂ generation grow shows higher fertility compared to the reference groups. The growth of the second generation of Scots pine trees seems to be affected by both radiation and edaphic factors.

Keywords: Chernobyl accident, needle, morphometric indicators, Scots pine, long-term effects of radiation, fluctuating asymmetry, agrochemical analysis

УДК 57.017.6:57.084.1

ВЛИЯНИЕ γ -ОБЛУЧЕНИЯ НА СМЕРТНОСТЬ НАЗЕМНОГО МОЛЛЮСКА *FRUTICICOLA FRUTICUM*

Черкасова Е.Е.¹, Лаврентьева Г.В.^{1,2}, Протасова Л.А.¹

*1 Обнинский институт атомной энергетики – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ» 249040 Калужская область, г. Обнинск, Студгородок, д.1, Российская Федерация
e-mail: CaterinaCherkasova@yandex.ru*

2 Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана. Калужский филиал (КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана), 248000 г. Калуга, ул. Баженова, д. 2, Российская Федерация

Выполнены лабораторные исследования показателя смертности половозрелого моллюска *F. fruticum* при γ -облучении животного в диапазоне доз от 10 до 100 Гр. Рассчитан показатель ЛД_{50/60} для наземного моллюска. Установлено увеличение смертности при моллюска при увеличении дозы облучения. Отмечается увеличение показателя при облучении малыми дозами в отдаленный период после облучения.

Ключевые слова: референтные животные, моллюск *F. fruticum*, γ -облучение, смертность, ЛД 50/60

В настоящее время всё большую актуальность приобретает экоцентрический принцип нормирования радиационного фактора, который основан на предложенной МКРЗ концепции.

Вышеуказанная концепция, предложенная в Публикациях МКРЗ [1, 2], основана на оценке радиологической ситуации с учетом релевантных эффектов у «условных (референтных) животных и растений (RAPs – reference animals and plants). Ввиду того, что предложенный Комиссией список RAPs не является окончательным и требует расширения, необходимо научное обоснование других референтных видов посредством экспериментальных исследований. Одним из основных требований к референтным видам является создание экспериментального базиса радиационно-индуцированных эффектов у референтных видов. В данной работе представлены результаты лабораторных исследований, направленных на выявление влияния γ -облучения на показатели смертности и двигательной активности наземного моллюска *F. fruticum*.

Следует отметить, что моллюски давно признаны удобным инструментом биоиндикации при загрязнении окружающей среды благодаря высоким коэффициентам накопления тяжелых металлов и радионуклидов, широкой распространенности, простоте идентификации, короткому жизненному циклу. Выполнено немало исследований на водных моллюсках, обитающих в водоемах, подвергшихся радиоактивному загрязнению. При этом изучению наземных представителей отводится меньше внимания.

Объект и методы исследования

Объектом исследований, представленных в данной работе, является наземный моллюск *F. fruticum* (улитка кустарниковая). Пробоотбор моллюсков осуществлялся на территории национального парка «Угра». Всего было отобрано 55 особей без видимых внешних повреждений раковины. Для исследований были выбраны половозрелые моллюски возраста 1 – 2 года. Возраст моллюсков определялся по количеству оборотов раковины [3, 4]. После пробоотбора моллюски содержались в пластиковых контейнерах с настилем из кокосового субстрата. Перед облучением моллюски находились в лаборатории в течение пяти дней для адаптации к новым условиям обитания. Облучение моллюсков осуществлялось на γ -установке ГУР – 120 в диапазоне доз от 10 до 100 Гр с шагом 10 Гр.

Смертность моллюска определялась по следующим признакам: не реагирует на орошения водой; мягкое тело находится глубоко в раковине и отсутствует эпифрагма; мягкое тело становится бесформенным; улитка источает неприятный запах; мягкое тело отсутствует в раковине.

После облучения раз в неделю в течение 11 месяцев определяли смертность моллюсков в пробах.

Показатель ЛД50/60 определялся расчетным способом посредством пробит-анализа с применением метода наименьших квадратов [5].

Экспериментальные данные были обработаны с помощью программного пакета Microsoft Excel 2010. Для определения значимости различий между средними значениями изучаемых показателей и контролем использовался t-тест. На рисунках представлены средние значения и стандартные ошибки среднего.

Результаты и обсуждения

На основании данных эксперимента был определен показатель ЛД50/60, т.е. доза облучения, при которой отмечается 50 % смертности особей через 60 дней после облучения. Показатель ЛД50/60 для половозрелого наземного моллюска *F. fruticum* равен 60,71 – 119,27 Гр.

Анализ показателя смертности наземного моллюска в зависимости от дозы облучения позволил установить следующее. Для интерпретации экспериментальных данных дозы облучения от 10 до 100 Гр были разделены на диапазоны: малые (10–30 Гр), средние (40–60 Гр), высокие (70–100 Гр) дозы.

Смертность моллюсков изменяется на протяжении всего периода исследований (11 месяцев) от 0 до 80 %. Не в одной из облученных групп, так же как и в контроле, не наблюдается 100 %-ая смертность. В период 90 дней после облучения моллюска дозами 10, 20 и 30 Гр также не наблюдается смертности животных, смертность равна 0 % (рис. 1).

Однако через четыре месяца после облучения смертность при дозе облучения моллюска 10 Гр возрастает до 20 %, а через девять месяцев – до 40 %. Подобное изменение смертности наблюдается и при дозе облучения моллюска 20 Гр, только через восемь и десять месяцев, соответственно (рис. 1).

При облучении моллюсков дозами облучения 40 и 50 Гр в среднем отмечается смертность, равная 20 % (рис. 2). Доза облучения наземного моллюска 60 Гр приводит к смертности, которая через два месяца после облучения составляет 20 %, однако увеличивается до 60 % через шесть месяцев после облучения и остается на этом уровне до окончания наблюдений (одиннадцать месяцев после облучения) (рис. 2).

К окончанию эксперимента отмечается высокая смертность моллюсков, равная 80 %, при дозах облучения 70, 80, 90, 100 Гр на фоне смертности 20–60 % в первые месяцы после облучения (рис. 3).

На основании вышесказанного можно заключить, что установленные зависимости изменения показателя смертности наземного моллюска *F. fruticum* обосновываются влиянием γ -облучения, т.к. в контрольной группе на протяжении всего эксперимента смертность моллюсков равна 0 %.



Рисунок 1 – Смертность моллюсков при облучении в диапазоне малых доз

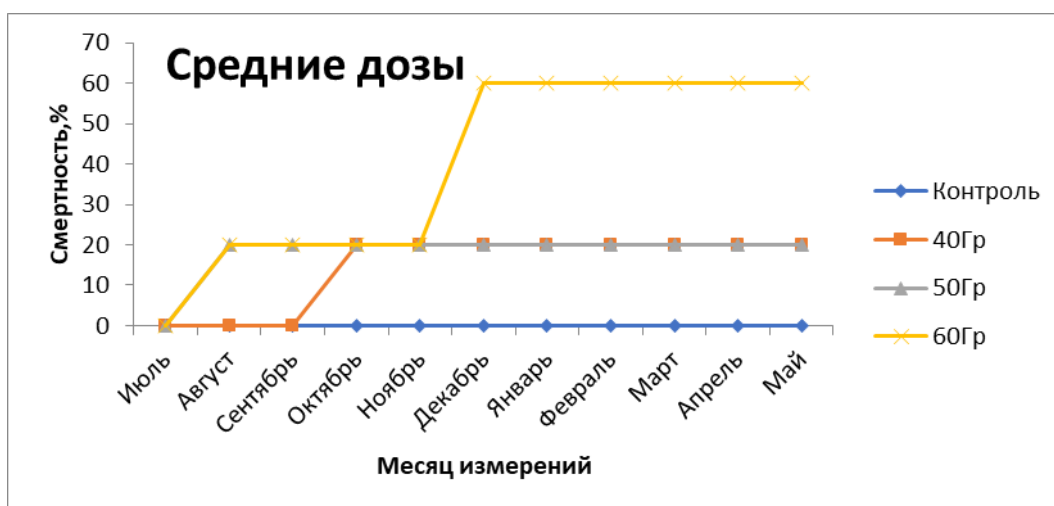


Рисунок 2 – Смертность моллюсков при облучении в диапазоне средних доз

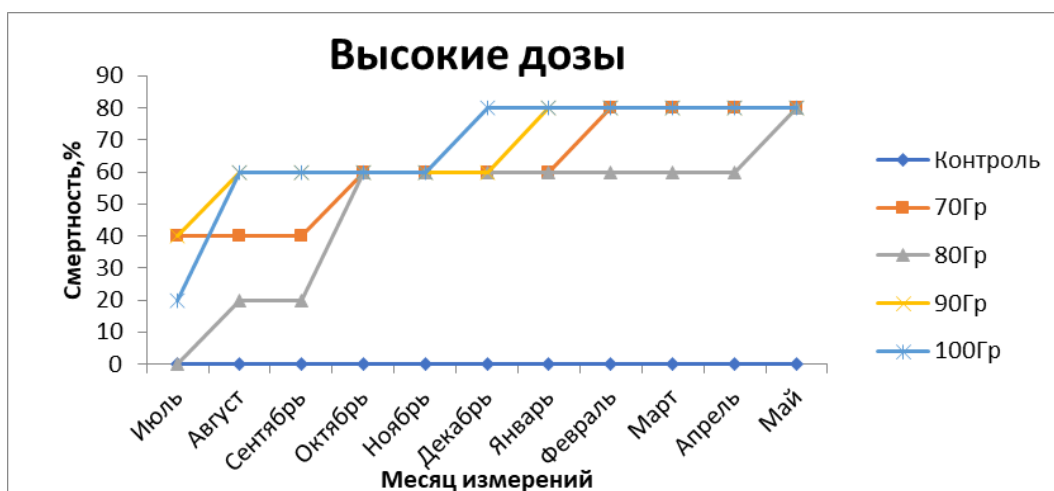


Рисунок 3– Смертность моллюсков при облучении в диапазоне высоких доз

Выводы:

- показатель ЛД_{50/60} для половозрелого наземного моллюска *F. fruticum* равен 60,71 – 119,27 Гр; увеличение дозы облучения наземного моллюска *F. fruticum* в диапазоне от 10 до 100 Гр приводит к увеличению показателя смертности животных. Облучения поглощенной дозой 60 Гр вызывает смертность 60 % особей, а дозами 70-100 Гр приводят к 80 %-ой смертности моллюсков;
- через девять месяцев после облучения наблюдается влияние γ -излучения на смертность моллюсков в малых дозах (10 – 20 Гр). Смертность при облучении моллюсков дозами 10 – 20 Гр достигает 40 %, тогда как при более высоких дозах облучения (30 – 50 Гр) смертность остается на уровне 20 %.

Список литературы

1. ICRP Publication 108. Environmental Protection: the Concept and Use of Reference Animals and Plants. Annals of the ICRP, 2008. 251 p.

2. ICRP Publication 114. Environmental Protection: Transfer Parameters for Reference Animals and Plants. Annals of the ICRP, 2009. 111 p.

3. Гребенников М.Е., Хохуткин И.М. Содержание тяжелых металлов в наземных моллюсках в районе Среднеуральского медеплавильного завода: материалы научно-практической конференции «Экологические основы стабильного развития Прикамья». Пермь, 2000. С. 43.

4. Сычев А.А., Снегин Э.А. Микропространственная изменчивость демографических и конхиологических параметров в популяциях *Helicopsis striata* (Mollusca; Pulmonata; Hygromiidae) в условиях юга Среднерусской возвышенности // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2016. Т 36. № 4. С. 127-146.

5. Платонов А.Г., Ахалая М.Я. Применение метода пробит-анализа в радиобиологии. Расчет полулетальной дозы ЛД₅₀: учебно-методическое пособие. М.: НИЯУ МИФИ, 2010. 36 с.

EFFECTS OF γ -RADIATION ON MORTALITY OF THE TERRESTRIAL MOLLUSK *FRUTICICOLA FRUTICUM*

Cherkasova E.E.¹, Lavrentyeva G.V.^{1,2}, Protasova L.A.¹

¹ Obninsk Institute of Nuclear Power Engineering - branch of the National Research Nuclear University "MEPhI" 249040 Kaluga region, Obninsk, Studgorodok st, b. 1, Russian Federation

² Bauman Moscow State Technical University (Kaluga Branch), 248000 Kaluga, Bazhenova st. 2, Russian Federation

It were made laboratory researches of an indicator of mortality of mollusk *F. fruticum*. Animals were irradiated with γ -radiation by doses from 10 to 100 of Gr. LD_{50/60} indicator for the terrestrial mollusk is calculated. It was established, that the mortality at by mollusk is increase at increase of dose of radiation. Increase in an indicator at radiation by small doses during the remote period after radiation is noted.

Keywords: reference animals, mollusk *F. fruticum*, γ -radiation, LD 50/60, mortality

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДА БИОТЕСТИРОВАНИЯ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОДОМОВ С ПОМОЩЬЮ РЯСКИ *LEMNA MINOR* (L.) И *SPIRODELA POLYRHIZA* (L.) Schleid

Шаталова Р.О., Артамонова А.А., Балдов Д.А., Нгуен Тхань Гуан, Рассказова М.М., Мирзеабасов О.А., Сынзыныс Б.И.

Обнинский институт атомной энергетики – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ» 249040 Калужская область, г. Обнинск, Студгородок, д.1, Российская Федерация

Представлены экспериментальные данные по оценке воздействия острого гамма-облучения на показатели роста и характер повреждений фрондов *Lemna minor* и *Spirodela polyrhiza*. Актуальность исследования определяется необходимостью выявления радиочувствительных видов для их использования в качестве референтных видов. Выявленные различия ответных реакции двух видов рясковых позволяют использовать показатели роста *Lemna minor* для оценки степени радиационного загрязнения. В качестве информативного критерия использована удельная скорость роста фрондов.

Ключевые слова: биотестирование, *Lemna minor*, *Spirodela polyrhiza*. радиоактивное загрязнение, γ -облучение, хлорозы, некрозы

Введение

В 2006 г. специалисты OECD предложили регламентацию биотеста для оценки степени химического загрязнения сточных вод химических и фармацевтических заводов [1], в 2013 г. был принят Межгосударственный стандарт стран СНГ «Методы испытания химической продукции, представляющей опасность для окружающей среды. Испытание ряски на угнетение роста» [2]. В отечественных публикациях 70-80-х годах XX столетия была показана радиочувствительность рясковых [6]. В последние несколько лет *Lemna minor* стали исследовать на предмет её использования в качестве биотеста и биоиндикатора разных видов излучений, однако разные виды этого семейства могут по-разному реагировать на различные виды излучения [3, 4]. В водоёмах средней полосы европейской части России наиболее часто встречаются 6 видов ряски, поэтому имеет смысл определить их чувствительность к излучениям в зависимости от вида для выбора наиболее радиочувствительного.

Целью работы было определение удельной скорости роста, площади листочков и числа хлорозов и некрозов у двух видов ряски (*Lemna minor* и *Spirodela polyrhiza*) после гамма-облучения в разных дозах в лаборатории.

Материалы и методы

В качестве объектов исследования для создания биотеста были выбраны водные растения рода рясковые *Lemna minor* и *Spirodela polyrhiza*. Облучение гамма-лучами ^{60}Co ($E_{\text{кванта}}=1,37$ МэВ) проводили во ВНИИРАЭ (Обнинск) на установке ГУР-120, мощность дозы 62 Гр/час. Дозу облучения определяли с помощью дозиметра ДКС-101, погрешность измерения 4 %. Облучение проводили в дозах 10; 20; 30; 40 и 50 гр. Контролем служили необлученные растения. В каждой экспериментальной пробе на начало опыта находились 30 растений (листочков), на каждую дозу брали по две пробы. После облучения чашки с ряской в модифицированной среде Штейнберга [3] инкубировали в климатической камере KBWF 240 ("Binder", Германия) при стандартных условиях: температура 24 °С, фотопериодичности 16 ч свет/8 ч темнота, 70 % влажности. Свет с интенсивностью 8000 лк, холоднотелый свет люминесцентных ламп как прописано в стандарте [2]. Водородный показатель pH в процессе биотестирования находился в интервале от 6,5 до 7,0.

Удельную скорость роста растений ряски определяли по формуле (1):

$$(1) \quad r = (\ln N_2 - \ln N_1) / t,$$

где: r – удельная скорость роста растений ряски, сут⁻¹;

N_1 – число растений ряски в начале опыта;

N_2 – число растений ряски в конце опыта;

t – время инкубации ряски в климатостате после облучения, 14 суток.

Также проводили измерение площади листовой поверхности, уровень и характер повреждения фронда (хлорозы и некрозы), также фиксировали прочие изменения в колониях ряски. Такие измерения проводили на первый и 14-тый день опыта. Общая площадь фронда каждого растения была определена путём анализа изображения: силуэт испытуемого растения был сфотографирован с помощью видеокамеры и переведён в цифровую форму. Далее с помощью программы IPWIN4 была рассчитана площадь фрондов (листочков) в условных единицах. Статистическую обработку экспериментальных данных проводили с использованием программного обеспечения Microsoft Excel.

Результаты

Основным показателем биотеста для ряски согласно международному и отечественному стандартам [1, 2] является средняя удельная скорость роста. Удельная скорость роста у ряски малой (*Lemna minor*) зависит от дозы облучения по формуле: $r=0,074 - 10^{-3}D$ в диапазоне доз от 10 до 50 Гр (рис.1). Для многокоренника (*Spirodela polyrhiza*) удельная скорость роста не зависит от дозы гамма-облучения вплоть до 50 Гр.

Таким образом, проведенное исследование показало, что *Spirodela polyrhiza* не обладает радиочувствительностью и непригодна для биотестирования водоемов в районах радиационного загрязнения.

Для ряски малой показатель площади листочков коррелирует с удельной скоростью роста растений в исследуемом интервале доз облучения (коэффициент корреляции 0,93), т.е. зависит от дозы облучения и может быть использован в качестве биотеста. Число хлорозов и некрозов для обоих видов рясковых при остром облучении в диапазоне доз гамма-облучения 0 – 50 Гр не демонстрирует зависимости от дозы; следовательно хлорозы и некрозы при воздействии острого облучения не показательны в качестве критериев биотеста на радиоактивное загрязнение. В отечественных публикациях рекомендуется использовать общее число повреждений значимые различия при общем учете повреждений.

Заключение

Lemna minor, но не *Spirodela polyrhiza*, можно использовать при биотестировании водоемов, загрязнённых гамма-излучателями. Полученные данные согласуются с результатами работы [5].

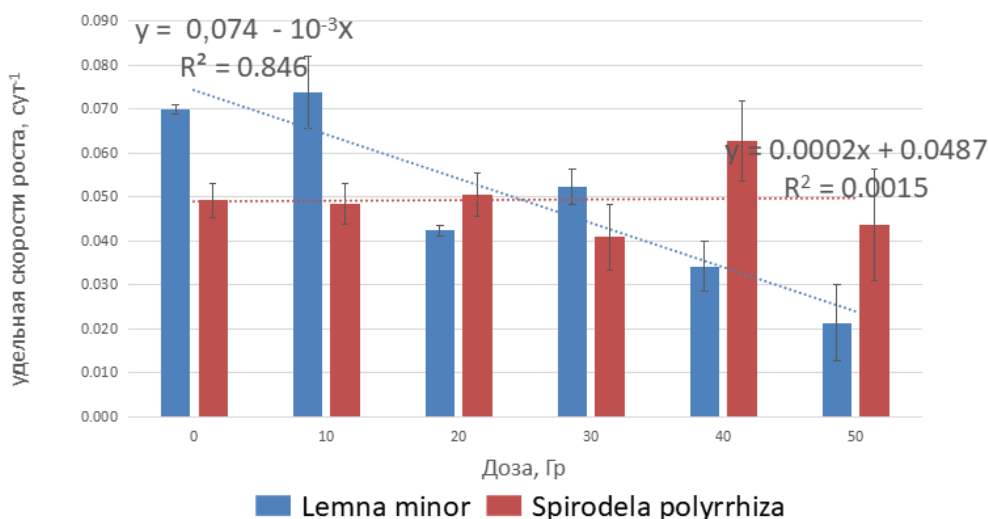


Рисунок 1- Зависимость удельной скорости роста от дозы облучения фрондов *Lemna minor* и *Spirodela polyrrhiza*

Список литературы

1. OECD Guidelines for the testing chemicals. *Lemna* sp. Growth Inhibition Test. Organization for Economic Co-operation and Development. Paris. 2006. P. 1-22.

2. ГОСТ 32426-2013. Методы испытаний химической продукции, представляющей опасность для окружающей среды. Испытание ряски на угнетение роста. 2013. С. 1-32.

Берестина А.В., Рассказова М.М., Чиж Т.В. Использование *Lemna minor* L. в качестве тест-объекта для оценки химического и радиационного загрязнения/ Матер. Междунар. Конф. «Биодиагностика в экологической оценке почв и сопредельных сред». (4-6 февр. 2013 г.). М.: 2013. С. 22.

4. Momot O.A., Zemnova A.V., Mirzeabasov O.A., Izarova E.G., Synzynys B.I., Rasskazova M.M., Glushkov Yu.M. Development of aquatic bioassay with *Lemna minor* and *Spirodella polyrrhiza* for screening and interpretative risk assessment of waters contaminated with tritium/ В книге: Physics, Engineering and Technologies for Biomedicine. The 2nd International Symposium: book of Abstracts. National Research Nuclear University MEPHl. 2017. P. 295-296.

5. Боднар И.С., Юшкова Е.А., Зайнуллин В.Г. Влияние гамма-излучения на морфометрические характеристики ряски малой (*Lemna minor* L.) //Радиационная биология. Радиоэкология, 2016, т.56. №6. С. 617-622.

EXPERIMENTAL VERIFICATION OF A METHOD OF BIOTESTING OF RADIOACTIVE CONTAMINATION OF WATER BODIES BY MEANS OF DUCKWEED *LEMNA MINOR* AND *SPIRODELA POLYRHIZA*

Shatalova R.O., Artamonova A.A., Baldov D.A., Nguyen Thanh-Quan, Rasskazova M.M., Mirzeabasov O.A., Synzynys B.I.

Obninsk Institute of Nuclear Power Engineering - branch of the National Research Nuclear University "MEPhI"
249040 Kaluga region, Obninsk, Studgorodok st, b. 1, Russian Federation

Experimental data on acute gamma-radiation impact on growth indices and damage character of *Lemna minor* and *Spirodela polyrrhiza* fronds are presented. The research relevance is defined by the necessity of detecting radiosensitive species in order to use them as referents. The exposed differences in respondent reactions of the two duckweed species allow to use *Lemna minor* growth indices to estimate the degree of radiant pollution.

Keywords: *biotesting, Lemna minor, Spirodela polyrrhiza, radioactive contamination, γ-irradiation, chlorosis, necrosis*

ОЦЕНКА АКТИВНОСТИ АНТИОКСИДАНТНОГО ФЕРМЕНТА КАТАЛАЗЫ В ПОПУЛЯЦИЯХ ПАСТУШЬЕЙ СУМКИ ОБЫКНОВЕННОЙ (*CAPSELLA BURSA-PASTORIS*), ОДУВАНЧИКА ЛЕКАРСТВЕННОГО (*TARAXACUM OFFICINALE*) И ЕЖИ СБОРНОЙ (*DACTYLIS GLOMERATA*), ПРОИЗРАСТАЮЩИХ В УСЛОВИЯХ ХРОНИЧЕСКОГО РАДИАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Шестерикова Е.М., Казакова Е.А., Волкова П.Ю.

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии»
249032 Калужская область, г. Обнинск, Киевское шоссе, 109 км, Российская Федерация
e-mail: EShesterikova89@gmail.com

Проведена первичная оценка активности фермента антиоксидантной системы растений, каталазы, на различных по чувствительности к ионизирующему излучению видах травянистых растений, подвергшихся хроническому радиоактивному облучению в 30-км зоне аварии на ЧАЭС.

Ключевые слова: хроническое облучение, антиоксидантная система, ферментная активность, каталаза

Изучение чувствительности растений и их адаптивных реакций в ответ на стрессовые воздействия хронического радиоактивного излучения, является одним из ведущих направлений в радиобиологии растений. В данной работе, в рамках одного полевого исследования, одновременно использовали несколько контрастных по чувствительности к острому облучению видов растений. Полученные данные в дальнейшем позволят получить полную картину об ответных реакциях разных фитоценозов на встречающиеся в современном мире уровни радиоактивного загрязнения.

Известно, что в условиях хронического радиационного воздействия популяции растений постоянно испытывают окислительный стресс, что приводит к ускоренной генерации активных форм кислорода (АФК) [1]. АФК утилизируются внутриклеточной антиоксидантной системой с помощью ферментативных и неферментативных антиоксидантов [2]. Ферментативные антиоксиданты отличаются высокой специфичностью действия, которая направлена против определённых форм АФК. Одним из таких антиоксидантов, играющих важную роль в системе защиты клетки, является гемсодержащий фермент каталаза, который с высокой скоростью разлагает перекись водорода на воду и кислород [3].

В данной работе была проведена первичная оценка активности каталазы, на трёх таксонах травянистых растений, подвергшихся радиационному воздействию из зоны аварии на ЧАЭС:

пастушья сумка обыкновенная (*Capsella bursa-pastoris*) – семейство Крестоцветные (*Brassicaceae*), радиорезистентность, ЛД₅₀ ~ 600 Гр;

одуванчик лекарственный (*Taraxacum officinale*) – семейство Сложноцветные (*Asteraceae*), средняя радиорезистентность (ЛД₅₀ ~ 100 Гр);

ежа сборная (*Dactylis glomerata*) – семейство Злаковые (*Gramineae*), радиочувствительна, ЛД₅₀ у культурных сородичей ~ 30 Гр.

Для каждого вида экспериментальных растений были выбраны два контрольных и три радиоактивно загрязнённых участка. Экспериментальные участки находятся в Полесском радиационно-экологическом заповеднике (ПГЭРЗ) на территории Гомельской области Республики Беларусь, созданного в районах, сильно загрязнённых долгоживущими радионуклидами после Чернобыльской аварии.

Для проведения анализа активности каталазы на каждом участке были отобраны образцы листьев испытуемых растений. Образцы погружали в сосуды Дьюара с жидким азотом и транспортировали в лабораторию, где они находились до начала анализа. В лаборатории из каждой пробы отбирали навеску и гомогенизировали в жидком азоте. Осадок ресуспендировали в холодном 0,1 М калий-фосфатном буфере (рН 7,0). Затем гомогенаты центрифугировали и из полученного супернатанта готовили образцы для измерений. Измерение проводили на бескуветном спектрофотометре NanoDrop-2000 (Thermo Fisher Scientific) при длине волны 340 нм. Перед каждым измерением в анализируемый раствор добавляли 1 %-ный раствор перекиси водорода и проводили анализ. Затем через 60 сек повторяли измерение, тем самым обеспечивая возможность наблюдать динамику разложения перекиси водорода антиоксидантным ферментом каталазой и оценить её активность [1].

Результаты первичной оценки активности каталазы в образцах изученных растений, произрастающих в 30-км зоне аварии на ЧАЭС, приведены в Таблицах 1–3. В Таблице 1 представлены результаты анализа популяций *C. bursa-pastoris*, образцы которой были отобраны только в одной контрольной точке (Бабчин) и в двух загрязнённых

экспериментальных точках (Радин и Кулажин). Непараметрический анализ данных с помощью U-критерия показал, что значимых различий между контрольной точкой и экспериментальными точками не наблюдается. Данный результат можно отнести к высокой радиорезистентности семейства *Brassicaceae*, к которому относится изучаемый вид, либо к недостаточному количеству полученных данных.

В случае популяции *T. officinale*, были взяты два контрольных участка (Бабчин и Ломыш) и три радиоактивно загрязнённых экспериментальных участка (Кулажин, Радин и Масаны). В Таблице 2 показаны результаты оценки активности каталазы в популяциях *T. officinale*. Значимые различия контрольных и экспериментальных популяций наблюдали только для участка Масаны по сравнению с контрольным участком Ломыш.

Таблица 1

Активность каталазы в популяциях *Capsella bursa-pastoris*, произрастающих в 30-км зоне аварии на ЧАЭС

Экспериментальный участок	Активность (МЕ/мкл)			U- критерий (p-value)
	Q1	медиана	Q3	
Бабчин	0	5,11	7,66	
Радин	0	5,11	7,66	0,910
Кулажин	0	0	0	0,130

Таблица 2

Активность каталазы в популяциях *Taraxacum officinale*, произрастающих в 30-км зоне аварии на ЧАЭС

Экспериментальный участок	Активность (МЕ/мкл)			U- критерий (p-value)	
	Q1	медиана	Q3	vs Бабчин	vs Ломыш
Бабчин	10,21	20,43	56,17	-	0,753
Ломыш	20,43	45,96	61,28	0,753	-
Радин	7,66	22,98	38,30	0,917	0,754
Кулажин	2,55	5,11	10,21	0,172	0,093
Масаны	79,15	112,34	183,83	0,076	0,047

Определение природы возрастания активности каталазы на участке Масаны будет возможно по окончании комплексного эксперимента, включающего в себя анализ концентраций перекиси водорода в тканях облучённых растений и анализ техногенного загрязнения почв экспериментальных участков.

В Таблице 3, показана активность каталазы для популяций *D. glomerata*. Пробы *D. glomerata* также были отобраны в двух контрольных участках и трёх загрязнённых радионуклидами экспериментальных

участках. По результатам непараметрического статистического анализа значимых различий активности каталазы между экспериментальными и контрольными участками не обнаружено. Семейство злаковых (*Gramineae*) является радиочувствительным таксоном. Результаты, полученные для вида *D. glomerata*, хронически облучаемого в полевых условиях, могут быть нерепрезентативными по отношению ко всему семейству *Gramineae*, что предстоит исследовать в дальнейших работах.

Таблица 3

Активность фермента каталазы в популяциях *Dactylis glomerata*, произрастающих в 30-км зоне аварии на ЧАЭС.

Экспериментальный участок	Активность (МЕ/мкл)			U- критерий (p-value)	
	Q1	медиана	Q3	vs Бабчин	vs Ломыш
Бабчин	10,21	12,77	15,32	-	0,341
Ломыш	0	2,55	5,11	0,341	-
Радин	0	0	5,11	0,052	0,572
Кулажин	2,55	5,11	5,11	0,294	0,750
Масаны	7,66	10,21	17,87	0,916	0,341

Список литературы

1. Цыб А.Ф., Будагов Р.С., Замулаева И.А. Радиация и патология / под общ. ред. А.Ф. Цыба. М.: Высш. шк., 2005. 341 с.

2. Прадедова Е.В., Ишеева О.Д., Салаяев Р.К. Классификация системы антиоксидантной защиты как основа рациональной организации

экспериментального стресса у растений // Физиология растений. 2011. Т. 58. № 2. С. 177-185.

3. Полесская, О.Г. Растительная клетка и активные формы кислорода / под ред. И.П. Ермакова. М: КДУ. 2007. 140 с

Биссвангер, Х. Практическая энзимология. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. 328 с.

EVALUATION OF THE CATALASE ACTIVITY IN PLANT POPULATIONS (*CAPSELLA BURSA-PASTORIS*, *TARAXACUM OFFICINALE*, *DACTYLIS GLOMERATA*) GROWING UNDER CONDITIONS OF CHRONIC RADIATION EXPOSURE

Shesterikova E.M., Kazakova E.A., Volkova P.Yu.

Russian Institute of Radiology and Agroecology, 249032 Kaluga region, Obninsk, Kievskoe shosse 109 km, Russian Federation

The abstract provides the preliminary assessment of the catalase activity on species of herbaceous plants with different sensitivity to ionizing radiation subjected to chronic radiation exposure in the 30-km zone of the Chernobyl accident.

Keywords: *chronic radiation, antioxidant system, enzyme activity, catalase*

УДК 582.933:[581.55+581.151]:504.5:[539.16+546.3]

АДАПТИВНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ СЕМЕННОГО ПОТОМСТВА ПОДРОЖНИКА БОЛЬШОГО ИЗ ЗОН РАДИОАКТИВНОГО И ХИМИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Шималина Н.С.

Институт экологии растений и животных Уральского отделения РАН

620144 г. Екатеринбург, ул. 8 Марта 202, Российская Федерация

e-mail: nadia_malina@mail.ru

Исследована радио- и металлоустойчивость семенного потомства *Plantago major*, произрастающего в течение длительного времени в головной части Восточно-Уральского радиоактивного следа (ВУРСа) и в зоне влияния Карабашского медеплавильного завода (КМЗ), а также на фоновых участках. Дозовые нагрузки на растения подорожника в зоне ВУРСа превышают фоновый уровень в 178–1455 раз, уровни токсической нагрузки в зоне КМЗ превышают фоновые значения в 5,2–41,8 раз. Во всех выборках наиболее чувствительными к провокационному облучению оказались ростовые характеристики. Семенное потомство подорожника большого из разных зон не различалось существенно по радио и металлоустойчивости, большинство выборок реагировали на провокационное воздействие сходным образом.

Ключевые слова: *Восточно-Уральский радиоактивный след, Карабашский медеплавильный завод, радиоактивное загрязнение, химическое загрязнение, Plantago major, адаптивный потенциал*

На Южном Урале, на небольшом расстоянии друг от друга существуют импактные территории с разными типами техногенного загрязнения – Восточно-Уральский радиоактивный след (ВУРС) и зона влияния выбросов Карабашского медеплавильного завода (КМЗ). Подобные территории могут выступать в качестве полигонов для исследования реакций растений на техногенное загрязнение окружающей среды, а также механизмов их адаптации к разным воздействиям. Для более глубокого понимания механизмов действия разных факторов представляет интерес сравнить адаптивный потенциал растений к

«привычным» и «новым» для них стрессовым воздействиям.

Цель данной работы – оценка адаптивного потенциала семенного потомства подорожника большого, сформировавшегося в зонах радиоактивного и химического загрязнения.

Восточно-Уральский радиоактивный след (ВУРС) образовался в результате аварии на ПО «Маяк» в 1957 г., реперный радионуклид – ⁹⁰Sr. В 1967 г. произошло дополнительное загрязнение зоны ¹³⁷Cs вследствие ветрового переноса радиоактивного ила и песка с берегов обмелевшего в результате засухи

оз. Карачай [Radioactive inventories..., 1997]. На территории ВУРСа были выбраны три площадки на удалении 5–16 км от эпицентра взрыва. Мощности поглощенных доз для материнских растений подорожника варьировали от 19,1 до 157,1 мкГр/ч. [Radionuclide uptake..., 2018]. Следовательно, дозовые нагрузки на растения в зоне ВУРСа превышают фоновый уровень в 178–1455 раз, что соответствует диапазону малых доз для растительных организмов [Are radiosensitivity data..., 2013].

Карабашский медеплавильный завод (КМЗ) был пущен в 1910 г., выбросы предприятия содержат большое количество сернистого ангидрида и пылевые частицы с сорбированными тяжелыми металлами (ТМ) [Комплексная..., 1992]. Накопленный в почвах запас поллютантов (Zn, Cu, Pb, Cd) на прилегающей к КМЗ зоне превышает фоновый уровень на 1–2 порядка величин [Сморкалов, Воробейчик, 2011]. В этой зоне были выбраны четыре площадки на разном удалении от завода, индексы токсической нагрузки (СІ) равны 5.2-41.8 [Оценка биологических..., 2017]. Четыре фоновые площадки находились вне зон техногенного загрязнения.

Семена подорожника собирали в каждой ценопопуляции в 2015 г. вдоль трансект протяженностью 1–1,5 км. Семена проращивали в четырёх повторностях методом рулонной культуры в течение 21 суток при +24°C [Современное состояние..., 2008]. Для оценки радиоустойчивости семена перед проращиванием облучали в дозах: 100, 200, 300, 400 Гр. Жизнеспособность семенного потомства оценивали по выживаемости проростков, доле проростков с настоящими листьями и длине корня. Адаптивный потенциал оценивали, сравнивая показатели

жизнеспособности после провокационного облучения с собственным контролем. Для проверки статистических гипотез использовали непараметрические критерии Краскела-Уоллиса (H) и Манна-Уитни (U) в программе STATISTICA 8.0 (StatSoft Inc., 2007). Различия между зонами по типам реакций на провокацию оценивали с помощью критерия χ^2 .

Ранее мы оценили качество семенного потомства, а также про- и антиоксидантный статус *Plantago major* из зон с разным типом загрязнения. В зоне радиоактивного загрязнения у проростков были отмечены большое содержание MDA и высокая активность SOD [Шималина и др., 2018], а в зоне химического загрязнения – низкая активность SOD, CAT и высокая активность РОХ по сравнению с фоновыми растениями [Оценка биологических..., 2017]. Изменчивость выживаемости семенного потомства подорожника внутри ценопопуляций была настолько высока, что выявить определенной связи данного показателя с уровнем техногенной нагрузки не удалось. При этом проростки из выборки, приуроченных к наиболее загрязненным участкам в зоне влияния КМЗ, имели самые короткие корни [Оценка биологических..., 2017].

На рис. 1 представлены данные по выживаемости проростков после острого облучения. Диапазон реакций на разные дозы во всех выборках был велик, тенденция к стимуляции выживаемости при дозах 100 и 200 Гр наблюдалась в выборках ВУРС-10, Фон-1 и Фон-4, однако различия не были статистически значимы (U -тест, $p > 0,05$). Парадоксальная стимуляция выживаемости в выборках Фон-1 и КМЗ-1 при дозе 400 Гр также оказалось незначимой (U -тест, $p = 0,31–0,39$).

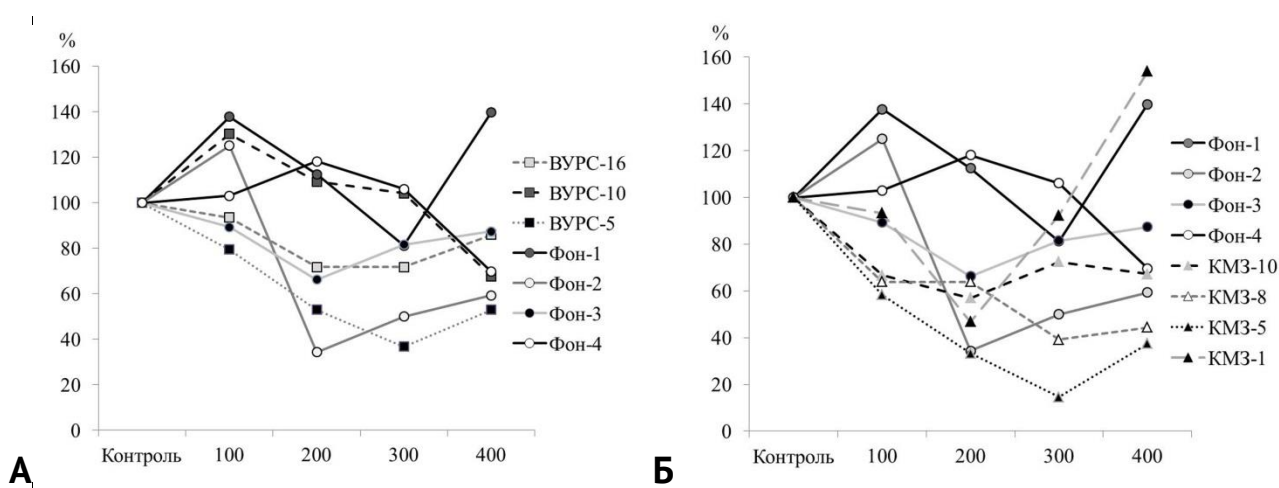


Рисунок 1 – Влияние провокационного облучения на выживаемость проростков *P. major* (в % к собственному необлученному контролю), по оси абсцисс – провокационные дозы, Гр. А) зона ВУРСа и фон; Б) зона КМЗ и фон.

Значимое угнетение выживаемости при облучении в дозе 100 Гр отмечено только в выборке КМЗ-10; при 200 Гр – Фон-2; при 300 Гр – ВУРС-5, Фон-2, КМЗ-8 и КМЗ-5; при 400 Гр – ВУРС-5, КМЗ-10, КМЗ-

8 и КМЗ-5 (U -тест, $p = 0,30–0,47$). Однофакторный непараметрический анализ показал влияние фактора «доза» на выживаемость в выборках ВУРС-5, Фон-2, КМЗ-5, КМЗ-8 ($H(4; 20) = 4,17–12,67$; $p = 0,010–0,046$). В

целом доля выборок, чувствительных к провокационному облучению во всём диапазоне доз, была наибольшей в зоне КМЗ, но значимых различий по радиоустойчивости семян между зонами не выявлено ($\chi^2=3,19$, $df=2$, $p=0,20$).

Листообразование у проростков после облучения было угнетено в большинстве выборок (рис. 2), кроме Фон-4 и ВУРС-5 при дозе 100 Гр и КМЗ-5 при 200 Гр (U -тест, $p=0,08-0,67$).

Значимых различий по этому показателю не выявлено в выборке КМЗ-1 при дозах 100-400 Гр, что связано с низкой всхожестью семян в этой выборке в контроле (U -тест, $p=0,11-0,38$). Фактор «облучение» обусловил значимое снижение листообразования во всех выборках ($H(4;19-20)=11,41-18,81$; $p << 0,001$), различий между зонами не выявлено ($\chi^2= 4,45$, $df=2$, $p=0,11$).

Длина корней значимо снизилась во всех выборках во всём диапазоне доз (U -тест, $p << 0,001$). Выборки из разных зон реагировали на облучение сходным образом: уже при дозе 100 Гр в большинстве выборок длина корня не превышала 5 мм при контрольных значениях от 38 до 70 мм.

Дополнительно была выполнена оценка металлоустойчивости семенного потомства подорожника. В выборках из зоны КМЗ реакции проростков на ТМ по скорости листообразования были разнообразны: отсутствие значимых различий, стимуляция и угнетение; рост корней был угнетен во всех изученных выборках [Оценка биологических..., 2017]. Для семенного потомства из зоны ВУРСа получены аналогичные результаты: во всех случаях длина корня снизилась после провокации ТМ (U -тест, $p < 0,05$), а доля проростков с настоящими листьями в большинстве случаев не отличалась от контроля (U -тест, $p > 0,05$).

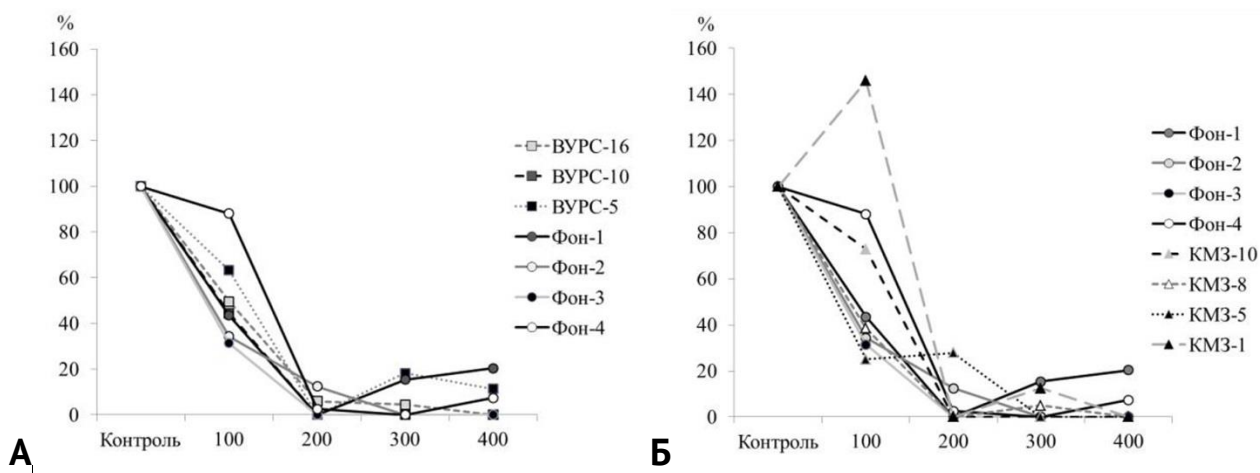


Рис. 2 – Влияние провокационного облучения на формирование листьев у проростков *P. major* (в % к собственному необлученному контролю), по оси абсцисс – провокационные дозы, Гр. А) зона ВУРСа и фон; Б) зона КМЗ и фон.

Мы предполагали, что локальные популяции, в течение долгого времени произрастающие в условиях радиоактивного или химического загрязнения окружающей среды, могут приобретать специфическую устойчивость в результате многих этапов отбора [Изменчивость популяционных..., 2001; Pozolotina et al., 2012]. Однако оценка изменчивости радио- и металлоустойчивости у семенного потомства из зон радиоактивного и химического загрязнения не выявила эффекта преадаптации. Наиболее чувствительными у всех изученных выборок к провокационному облучению и действию ТМ оказались ростовые характеристики. В целом, семенное потомство подорожника большого из зон ВУРСа и КМЗ не различалось по радио и металлоустойчивости, большинство выборок реагировали на провокационное воздействие «привычным» и «новым» для них фактором сходным образом.

Исследования выполнены в рамках государственного задания Института экологии растений и животных УрО РАН.

Список литературы

1. Антонова Е.В., Позолотина В.Н., Каримуллина Э.М. Изменчивость семенного потомства костреца безостого в условиях хронического облучения зоны Восточно-Уральского радиоактивного следа // Экология. 2014. №. 6. С. 459-468.
2. Изменчивость популяционных параметров: адаптация к токсическим факторам среды / Безель В.С., Позолотина В.Н., Бельский Е. А. [и др.] // Экология, 2001. № 6. С. 447-453.
3. Оценка биологических эффектов у семенного потомства *Plantago major* L. в зоне воздействия медеплавильного производства / Шималина Н.С. [и др.] // Экология. 2017. №6. С. 420-430.

4. Сморгалов И.А., Воробейчик Е.Л. Почвенное дыхание лесных экосистем в градиентах загрязнения среды выбросами медеплавильных заводов // Экология. 2011. № 6. С. 429–435.

5. Современное состояние наземных экосистем Восточно-Уральского радиоактивного следа: уровни загрязнения, биологические эффекты / Позолотина В.Н., Молчанова И.В., Караваева Е.Н. [и др.] Екатеринбург: Гощицкий, 2008. 204 с.

6. Шималина Н.С., Орехова Н.А., Позолотина В.Н. Особенности про- и антиоксидантных систем *Plantago major*, длительное время произрастающего в зоне радиоактивного загрязнения // Экология. 2018. № 5. С. 333–341.

7. Garnier-Laplace J. Are radiosensitivity data derived from natural field conditions consistent with data from controlled exposures? A case study of Chernobyl

wildlife chronically exposed to low dose rates // J. Environ. Radioact. 2013. V. 121. P. 12–21.

8. Pozolotina V.N., Antonova E.V., Bezel V.S. Comparison of remote consequences in *Taraxacum officinale* seed progeny collected in radioactively or chemically contaminated areas // Ecotoxicology. 2012. V. 21 (7). P. 1979–1988.

9. Radioactive inventories from Kyshtym and Karachay accidents: estimates based on soil samples collected in the South Urals (1990–1995) / Aarkrog A. [et al.] // Science of The Total Environment. 1997. V. 201. P. 137–154.

10. Radionuclide uptake and dose assessment of 14 herbaceous species from the east-Ural radioactive trace area using the ERICA Tool / Karimullina E.M. [et al.] // Env. Science and Pollution Research. 2018. V. 25. № 14. P. 13975–13987.

ADAPTIVE POTENTIAL OF *PLANTAGO MAJOR* SEED PROGENY FROM THE ZONES OF RADIOACTIVE AND CHEMICAL CONTAMINATION

Shimalina N.S.

*Institute of Plant and Animal Ecology, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences
620144 Yekaterinburg, st. March 8, 202, Russian Federation*

The radio and metal-resistance of the *Plantago major* seed progeny, which grows for a long time in the head part of the East Ural radioactive trace (EURT) and in the zone of influence of the Karabash Copper Smelter (KCS), as well as in the background areas, was studied. Dose loads on the plantain plants in the EURT zone exceed the background level by 178–1455 times, the toxic load levels in the KCS zone exceed the background values by 5.2–41.8 times. In all samples, growth characteristics were most sensitive to provocative radiation. The *Plantago major* seed progeny from different zones did not differ significantly in radioresistance, most of the samples responded to provocative exposure in a similar way.

Keywords: *East Ural Radioactive Trace, Karabash Copper Smelter, radioactive contamination, chemical contamination, Plantago major, adaptive potential*

УДК 574+539.12.04+638.1+619.615.015.3+546

НЕЙТРАЛИЗУЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ АПИФИТОПРЕПАРАТОВ И НЕОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ К РАДИОНУКЛИДАМ

Юнусов И.Р.

*ФГБНУ «Федеральный центр токсикологической, радиационной и биологической безопасности»
420075 Республика Татарстан, г. Казань, Научный городок-2, Российская Федерация
e-mail: vnivi@mail.ru*

Многочисленными опытами определена сорбционная способность веществ (микробного, зоогенного, фитогенного, аписогенного) происхождения декорпорировать радиоактивные элементы при добавлении к ним активированного бентонита (монтмориллонита) значительно усиливается. Биологически активная добавка в состав которой входят апифитопродукты из натурального минерального бентонита по способности связывать радионуклиды не уступает регламентированным препаратам, однако по составу значительно отличается от них по находящимся в нем биологически активным компонентам растительного (травяная, хвойная мука) и аписогенного (прополис, мед, пчелиный яд, маточное молочко, перга, обножка, пчелиный подмор, пчелиный расплод, воск, восковая моль) происхождения, которые обладают широким спектром биологического действия (адаптогенного, иммуностимулирующего, иммуномодулирующего, антитоксического, антиоксидантного, метаболizmстимулирующего, радиозащитного), отсутствующее у известных регламентированных препаратов.

Ключевые слова: техногенные загрязнения, радионуклиды, сорбенты, очистка, биологически-активная кормовая добавка

Введение

Важнейшее направление быстроразвивающегося техногенного мира - сохранность хрупкого баланса нашей экосистемы [1].

Ввиду участвовавших случаев выброса радиоактивных веществ в атмосферу большая часть территорий Российской Федерации попала под влияние антропогенных радиационных факторов, что привело к высокому содержанию радиоактивных веществ в продукции животноводства. Это объясняет потребность создания многофункционального лечебно-профилактического препарата для защиты животных от поражения ионизирующим излучением. Однако, как показали исследования последних лет, сорбционной активностью обладают вещества растительного происхождения (пищевые волокна люцерны, витамины А, Е, С, чага, розовая радиола, овощно-зерновая смесь, сбор трав «Карпатский чай», пектины, пищевые добавки, душица, крапива); животного (гидролизат мидий, хитин, хитозан); продукты пчеловодства (прополис, воск, пчелиный подмор, восковая моль, маточное молочко, трутневый расплод) и другие, которые могут быть использованы для разработки комплексного декорпорирующего средства [2-6].

Цель и задачи исследований

Изучить в опытах *in vitro* сорбционные свойства тестируемых веществ: «Витафорце», «Бентонита», «Бифеж», порошок *B.subtilis*, порошок *B.bifidum*, «Эраконд», «Эра-Н», «*B.bifidum*», порошок люцерны, чаги, травяная, хвойная, кровяная мука, хитозан крабовых, апизан, прополис, перга, пчелиный подмор, маточное молочко, воск, восковая моль. На основании полученных результатов составить и испытать в лабораторных условиях *in vitro* вариации лечебных и декорпорирующих композиций.

Материал и методы исследований

Исследования были проведены по испытанию веществ фитогенного, зоогенного, микробного и неорганического происхождения: порошки люцерны, чаги, травяной, хвойной, кровяной муки, препараты «Эра-Н», «Эраконд» и «Витафорце», хитозан крабовых, апизан, прополис, перга, пчелиный подмор, маточное молочко, воск, восковая моль, порошок *B.subtilis*, порошок *B.bifidum*, монтмориллонит. Для контроля качества выведения были использованы бентонит нативный, «Бифеж», препарат «ХЖ-90».

Для получения мелкодисперсной фракции монтмориллонита с размером частиц от 0,001 до 0,00001 мм природную глину Майнского месторождения Ульяновской области проведена активация 1н раствором соляной кислоты и затем 0,1н HCl. Соли получившиеся в результате реакции с кислотой убирали с

помощью множественного отсева под струей воды. После промывки шел процесс сушки.

Фитопрепараты «Эраконд», «Эра-Н» изготавливали при высоких температурах с внесением микро- и макроэлементов по ТУ 9337-004-12334-4249-97.

Для приготовления препарата «Витафорце» применяется мед, прополис, пергу, обножку, пчелиный яд, пчелиный расплод, пчелиный расплод, пчелиный подмор, травяную муку в определенных пропорциях.

Составы веществ и композиций фитогенного и аписогенного происхождения с бентонитом готовили, смешивая в равных пропорциях и гомогенизируя через ряд промежуточных действий до порошкообразного состояния. Были изготовлены композиции люцерны (Эраконд) + бентонит (Л + Б), «хвойная мука + бентонит (ХМ + Б), Эра - Н» + бентонит (Эра - Н + Б), «Витафорце» + бентонит (БАКД), порошок чаги + бентонит (Ч + Б), пчелиный подмор + бентонит (ПП + Б), апизан - бентонит (АП + Б).

Пробы образцов помещали по 1,0 г в резьбовые закрывающиеся пробирки, в которые вносили по 5,0 мл цезия-137 водного с активностью на данный момент 6,16 Бк/мл, тщательно перемешивая в течение часа, по истечению которого оставляли в покое для осаждения на 24 часа. Надосадочную жидкость брали после отстаивания по 1 мл от каждой композиции после было поведено радиометрирование.

Навески испытуемых веществ по 1,0 г помещали в резьбовые закрывающиеся пробирки, добавляли в них по 5,0 мл водного раствора цезия-137 с исходной активностью 6,16 Бк/мл, пробирки тщательно закрывали и с течения часа взбалтывали, после чего штатив с пробирками оставляли для осаждения взвешенных частиц. Через 24 ч по 1 мл супернатанта каждого вещества переносили в отдельные пробирки, после чего последние подвергали радиометрированию.

Замер удельной активности радионуклидов проводили с помощью счетчика гамма-частиц «Компьютер-гамма».

Статистическую обработку данных осуществляли общепринятыми методами.

Результаты исследований

Результаты изучения сорбционных свойства веществ фитогенного, зоогенного, микробного и неорганического происхождения представлены в таблице 1.

Из таблицы следует, что из всех испытанных веществ наиболее высокой поглощающей способностью обладали: очищенная высокодисперсная фракция бентонита (монтмориллонит) - кратность снижения радионуклида составила 4,36 раза; хитозан-апизан - 1,72 раза; препарат «Витафорце» - 1,58 раза; пчелиный подмор - 1,54 раза; порошок чаги - 1,52

раза; хитозан-крабовых – 1,51 раза; порошок люцерны – 1,49 раза; препарат «Эраконд» - 1,34 раза;

препарат «Эра-Н» - 1,28 раза; хвойная мука – 1,25 раза.

Таблица 1

Сорбционная активность тестируемых веществ и композиций по отношению радиоцезию в «in-vitro» тест системе.

№ п/п	Тестируемые вещества	Удельная активность		Сорбирующая активность	
		Бк/г	%	%	кратность
1	2	3	4	5	6
1	Порошок люцерны	4,13	67,05	32,95	1,49
2	Хвойная мука	4,91	79,71	20,29	1,25
3	Травяная мука	5,65	91,72	8,28	1,09
4	Порошок чаги	4,05	65,75	34,25	1,52
5	Препарат «Эраконд»	4,61	74,84	25,16	1,34
6	Препарат «Эра-Н»	4,83	78,41	21,59	1,28
7	Препарат «Витафорце»	3,91	63,47	36,53	1,58
8	Порошок <i>V.subtilis</i>	5,63	91,40	8,60	1,09
9	Порошок <i>V.bifidum</i>	6,14	99,68	0,32	1,04
10	Кровяная мука	6,12	99,35	0,65	1,01
11	Пчелиный подмор	4,01	65,10	34,90	1,54
12	Прополис	5,63	91,40	8,60	1,09
13	Маточное молочко	5,69	92,37	7,63	1,08
14	Восковая моль	6,06	98,38	1,62	1,02
15	Воск	6,07	98,54	1,46	1,01
16	Перга	6,13	99,51	0,49	1,05
17	Хитозан-апизан	3,59	58,28	41,72	1,72
18	Хитозан-крабовых	4,07	66,07	33,93	1,51
19	Бентонит очищенный	1,41	22,94	77,06	4,36
20	Бентонит нативный (контроль-1)	2,03	33,00	67,00	3,03
21	Препарат «Бифеж» (контроль-2)	1,62	26,25	73,75	3,81
22	Препарат «ХЖ-90» (контроль-3)	1,77	28,74	71,26	3,48

Сорбирующие свойства травяной муки, леофилизованных культур бактерии *V.subtilis* и *V.bifidum*, прополиса, маточного молочка, перги, восковой моли, кровяной муки, воска не превышали – 1,09-1,01 раза. Связывающая активность высокодисперсной фракции бентонита - монтмориллонита была в 1,14 раза выше таковой фармакопейного препарата «Бифеж»; в 1,25 раза - препарата «ХЖ-90» и в 1,44 раза - нативного бентонита.

Понимая, что многокомпонентные препараты имеют перспективы по отношению к однокомпонентным следующая серия опытов направлена на определение поглощающей активности комплексных соединений созданных на базе монтмориллонита во взаимодействии с другими содержащими веществами фито и аписогенного происхождения – люцерна + бентонит (Л + Б), хвойная мука + бентонит (ХМ + Б), «Эра - Н» + бентонит (Эра – Н + Б), «Витафорце» + бентонит, порошок чаги + бентонит (Ч + Б), пчелиный подмор + бентонит (ПП + Б), апизан + бентонит (АП + Б).

Результаты поглощающей способности многокомпонентных препаратов в лабораторных опытах

при взаимодействии с цезием-137 представлены в таблице 2.

Проанализировав результаты таблицы, выявили что добавление монтмориллонита к существующим составам веществ фитогенного и зоогенного происхождения приводило к улучшению поглощающей способности отдельно взяты исходных компонентов. Так, сорбирующая активность порошка люцерны составляла – 32,95 %, монтмориллонита – 77,06 % (табл. 1), их комплекс обладал цезийсвязывающей способностью – 78,73 % (табл. 2); хвойная мука и бентонит – 77,44 %; «Эра-Н» и бентонит - 77,27 %; «витафорце» и бентонит 80,03%; чага и бентонит 78,08 %; пчелиный подмор и бентонит 78,41 %; апизан и бентонит 79,38 %.

Сорбирующие композиции по активности составили убывающий ряд: «Витафорце» + бентонит (кратность выведения нуклида - 5,01 раза) > апизан + бентонит (4,85 раза) > люцерна + бентонит (4,70 раза) > пчелиный подмор + бентонит (4,63 раза) > чага + бентонит (4,56 раза) > хвойная мука + бентонит (4,43 раза) > «Эра-Н» + бентонит (4,40 раза).

Таблица 2

Сорбционная активность композиционных сорбентов в «in-vitro» тест-системе

№ п/п	Тестируемые композиции	Удельная активность		Сорбирующая активность	
		Бк/г	%	%	Кратность
1	Порошок люцерны + бентонит	1,31	21,27	78,73	4,70
2	Хвойная мука + бентонит	1,39	22,56	77,44	4,43
3	«Эра-Н» + бентонит	1,40	22,73	77,27	4,40
4	«Витафорце» + бентонит	1,23	19,97	80,03	5,01
5	Порошок чаги + бентонит	1,35	21,92	78,08	4,56
6	Пчелиный подмор + бентонит	1,33	21,59	78,41	4,63
7	Апизан + бентонит	1,27	20,62	79,38	4,85

Выводы

В результате проведенных исследований установлено, что вещества фитогенного и зоогенного происхождения могут быть использованы в качестве сорбирующих радиоцезий препаратов

Наиболее высокой сорбционной активностью обладала композиция «Витафорце» + бентонит, превышая активность фармакопейных препаратов «Бифеж» и «ХЖ-90» соответственно в 1,31 и 1,44 раза.

Список литературы.

1. Ильязов Р.Г. Радиоэкологические аспекты животноводства // Последствия и контрмеры после катастрофы на Чернобыльской АЭС. Сборник научных статей под ред. Р.Г. Ильязова. Гомель: «Полеспечать», 1996. 179 с.

2. Наш опыт изучения противолучевых фармакологических средств природного происхождения / В.И. Малюк, М.И. Руднев, А.Г. Аспецкая [и др.] // Тезисы докладов III съезда по радиационным исследованиям. М. 1997. С.196-197.

3. Патент РФ № 2 324 361, А 23 К 1/00 Бюлл № 14. Натуральная биологически активная кормовая

добавка «Вита-Форце» /А.В. Иванов, Р.Н. Низамов, Г.В. Конюхов, И.Р. Юнусов и др. // Патент РФ № 2 324 361, А 23 К 1/00 Бюлл № 14. 10.10.2006.

4. Патент РФ № 2 338 546 А 61 К 36/00, 3/64, А 61 Р 39/06. Бюлл. № 32. 20.11.2008. Способ получения препарата для профилактики или лечения радиационных поражений организма /А.В. Иванов, Р.Н. Низамов, Г.В. Конюхов, Р.Х. Алиев, А.Ш. Хафизов, И.Н. Нигматуллин, И.Р. Юнусов и др.// Патент РФ № 2 338 546 А 61 К 36/00, 3/64, А 61 Р 39/06. Бюлл. № 32. 20.11.2008.

5. Патент РФ № 2 627 669 С1 Бюлл. № 22. 09.08.2017. Способ получения продуктов метаболизма бифидобактерий для лечения комбинированного радиационно-термического поражения организма и способ лечения комбинированного радиационно-термического поражения / А.И. Никитин, Р.Н. Низамов, Г.В. Конюхов, Н.М. Василевский, М.З. Тухватулло, Д.Т. Шарифуллина, И.Р. Юнусов и др.// Патент РФ № 2 627 669 С1 Бюлл. № 22. 09.08.2017.

6. Юнусов И.Р. Изыскание радиозащитных средств из класса природных антиоксидантов /И.Р. Юнусов: дисс. канд .наук ... Казань 2009. 149 с.

THE NEUTRALIZING CAPACITY OF APIPHYTOPRODUCTS AND INORGANIC COMPOUNDS THE RADIONUCLIDES

Yunusov I.R.

Federal state budgetary scientific institution «Federal centre of toxicological, radiating and biological safety»
420075 Republic of Tatarstan, Kazan, Scientific Town-2, Russian Federation

Numerous experiences defined sorption ability of substances (microbic, zoogene, phytogenous, apisogenny) origins to dekontaminovat radioactive elements at addition to them of the activated bentonite (montmorillonite) considerably amplifies. Which dietary supplement are a part an apiphytoprodukta and does not concede natural mineral bentonite on ability to connect radionuclides to the regulated medicines, however on structure considerably differs from them on biologically active components which are in it vegetable (grass, pine powder) and apisogenny (propolis, honey, bee sting, a uterine milk, a perga, an obnozhka, a bee subpestilence, bee расплод, wax, a wax moth) origins which possess a wide range of biological effect (adaptogenny, immunostimulating, immunomodulatory, anti-toxic, antioxidant, metabolismstimuliruyushchy, radio protective), absent at the known regulated medicines.

Keywords: man-made pollution, radionuclides, sorbents, cleaning, biologically active feed additive

Секция

РАДИОЭКОЛОГИЯ

RADIOECOLOGY



СОВРЕМЕННЫЕ УРОВНИ РАДИОНУКЛИДНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ ОЗЕР ТЕРРИТОРИИ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА

Айдарханова А.К., Ларионова Н.В., Мамырбаева А.С., Светачева Ю.В., Кумисханова С.Б.

Филиал «Институт радиационной безопасности и экологии» РГП НЯЦ РК

071100 Восточно-Казахстанская область, г. Курчатов, улица Бейбіт атом, 2Б, Республика Казахстан

e-mail: Almira@nnc.kz

В работе приводятся данные исследований уровней радионуклидного загрязнения экосистем природных озер Семипалатинского испытательного полигона (СИП) и прилегающих к нему территорий. Объектами исследования являлись природные озера, расположенные на территории испытательных площадок, в зоне их влияния и на условно «фоновых» территориях. В рамках данных исследований проведен сопряженный отбор проб воды, донных отложений и растений, в которых проводилось определение содержания техногенных радионуклидов ^{241}Am , ^{137}Cs , ^{90}Sr и $^{239+240}\text{Pu}$. На основе полученных количественных данных рассчитаны коэффициенты распределения (K_d) для донных отложений и воды, а также коэффициенты накопления (K_n) для растений и донных отложений.

Ключевые слова: природные озера, радионуклидное загрязнение, донные отложения

Весомую долю поверхностных водных объектов на территории Семипалатинского испытательного полигона (СИП) составляют природные озера. Различные по площади (от нескольких десятков м^2 до нескольких км^2) в большинстве случаев они имеют высокую степень минерализации (от 10 до 130 г/л), являются замкнутыми – не имеют ни притоков, ни оттоков, не связаны с подземными водами, часть из них пересыхает к середине лета. Многие озера не имеют названий.

Озера расположены по всей территории полигона:

- на территории испытательных площадок: озеро Жангылды на площадке «Сары-Узень», Внешний водоем «Атомного» озера на площадке «Балапан», несколько озер без названия на площадке «Опытное поле»;

- в непосредственной близости к испытательным площадкам, т.е. в зоне их влияния: озера Жингылды и Котансор вблизи площадки «Сары-Узень», озера Каражурек, Кишкенсор, Шункурсор, Жанан и Шынырау вблизи площадки «Балапан», озера Жамантуз и Жаксытуз на границе площадки «Опытное поле»;

- на следах радиоактивных выпадений: озеро без названия на следе от испытания 1951 г., озера на прилегающих к СИП территориях на следе от испытания 1949 г.;

- на условно «фоновых» территориях: озера Шубран, Каратуз и другие в западной части, озеро Карасор в юго-восточной части, озера Шубарайгыр, Кумколь, Шандакколь, Меденколь и другие в восточной части СИП.

К природным озерам отнесен и Внешний водоем «Атомного» озера. В результате проведения 15.01.1965 г. экскавационного взрыва с выбросом

грунта в скважине 1004 площадки «Балапан» образовалось «Атомное» озеро. За воронкой «Атомного» озера за счет заполнения водой пойм рек Шаган и Ашису образовался Внешний водоем, при этом навал грунта, перекрывавший русла этих рек, стал выполнять роль плотины [1]. Таким образом, Внешний водоем можно отнести к природным пойменным озерам. Внешний водоем расположен в южном и юго-западном направлении от «Атомного» озера. Площадь водоема постепенно увеличивалась и на текущий момент составляет порядка 9 км^2 .

Среди остальных озер максимальные площади имеют озера: Жаксытуз (6,6 км^2), Карасор (6 км^2), Жамантуз и озеро на следе 1951 г. (по 3,3 км^2), Жанан (2,3 км^2), Кумколь (2 км^2).

Всего в рамках данной работы исследовано состояние радионуклидного загрязнения 40 природных озер СИП и прилегающих к нему территорий, расположение которых представлено на Рисунке 1.

Доминантными видами растений на озерах являются: в береговой зоне – тростник южный (*Phragmites australis*), в прибрежной зоне – гребенщик ветвистый (*Tamarix ramosissima*) и солерос европейский (*Salicornia europaea*).

Основными источниками формирования радионуклидного загрязнения природных озер территории СИП являются радиоактивные выпадения от наземных испытаний ядерного оружия и глобальные выпадения, за исключением Внешнего водоема «Атомного» озера, где основной источник формирования радионуклидного загрязнения является экскавационный взрыв 1965 г. Таким образом, в зависимости от расположения, озера имеют различные уровни радиоактивного загрязнения.

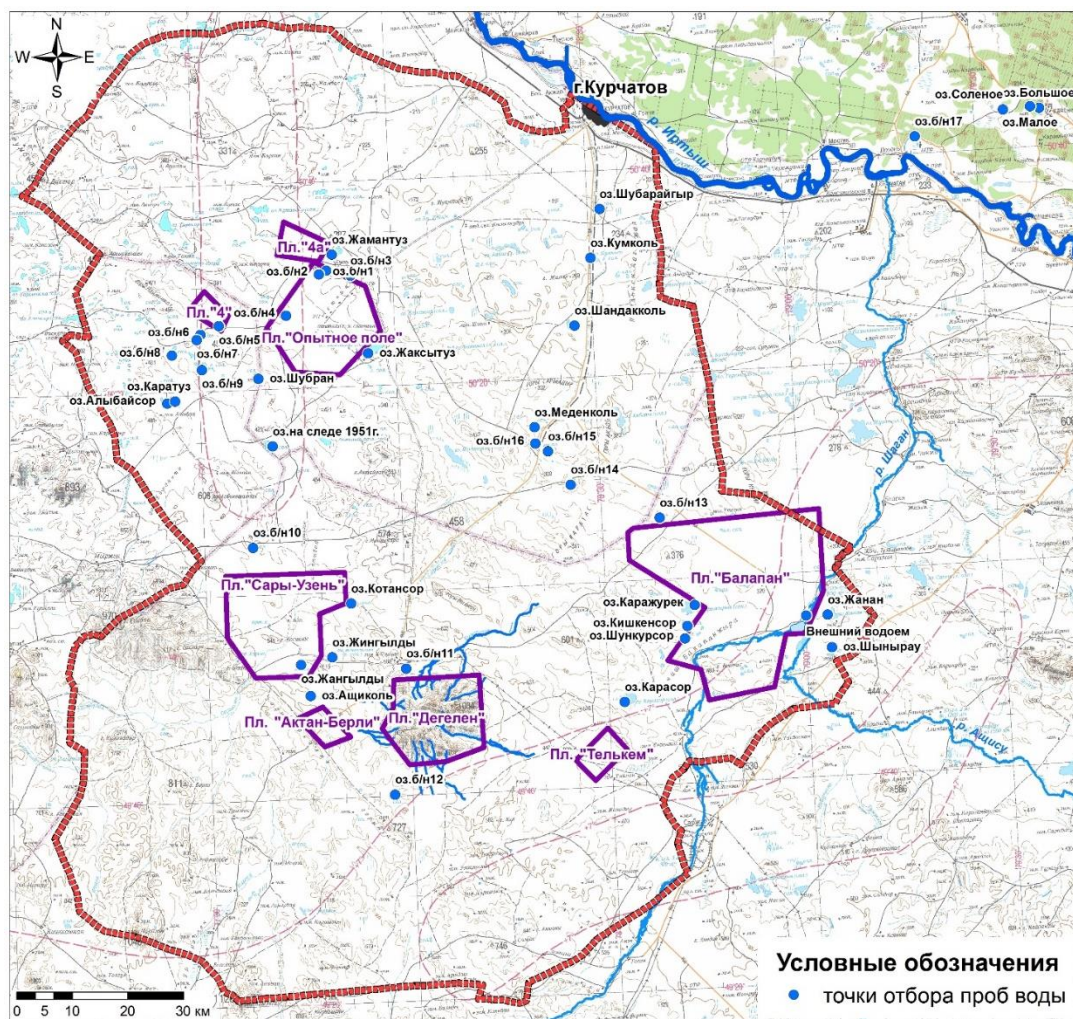


Рисунок 1 – Расположение природных озер на СИП и прилегающих к нему территориях

Содержание техногенных радионуклидов в воде большинства природных озер находится ниже предела обнаружения $<0,01$ Бк/кг для ^{137}Cs или ниже уровня вмешательства (УВ) для ^{90}Sr ($n \cdot 10^{-1}$ – $n \cdot 10^{-2}$ Бк/кг) и $^{239+240}\text{Pu}$ ($n \cdot 10^{-3}$ – $n \cdot 10^{-4}$ Бк/кг). Исключением является озеро на следе 1951 г., где фиксируется численное значение содержания ^{137}Cs в воде на уровне $0,07 \pm 0,01$ Бк/кг, хотя данное значение на 4 порядка ниже УВ (УВ = 11 Бк/кг). Повышенные значения содержания ^{90}Sr фиксируются в воде озера Жангылды ($1,9 \pm 0,3$ Бк/кг), расположенном на площадке «Сары-Узень», в воде озера на следе 1951 г. ($2,6 \pm 0,3$ Бк/кг) и озера на следе 1949 г. ($4,7 \pm 0,7$ Бк/кг). Данные значения также не превышают УВ для ^{90}Sr (УВ = 4,9 Бк/кг), но в воде озера Кишкенсор зафиксировано значение ^{90}Sr равное $16 \pm 1,5$ Бк/кг, что на порядок превышает УВ. В результате гидрогеологических исследований установлено, что данное радионуклидное загрязнение связано с подтоком загрязненных грунтовых вод, вымывающих ^{90}Sr из полостей скважин площадки «Балапан».

Концентрация техногенных радионуклидов в донных отложениях большинства природных озер в среднем достигает 200 Бк/кг – ^{137}Cs , 20 Бк/кг – ^{241}Am ,

^{90}Sr и $^{239+240}\text{Pu}$. Максимальные значения содержания техногенных радионуклидов фиксируются в донных отложениях Внешнего водоема в непосредственной близости от «Атомного» озера – содержание радионуклидов составляет ^{137}Cs – $(5 \pm 0,5) \cdot 10^3$ Бк/кг, ^{241}Am – $(2,5 \pm 0,25) \cdot 10^2$ Бк/кг, ^{90}Sr – $(2,8 \pm 0,28) \cdot 10^2$ Бк/кг и $^{239+240}\text{Pu}$ – $(1,2 \pm 0,1) \cdot 10^3$ Бк/кг. Повышенные значения содержания техногенных радионуклидов фиксируются в донных отложениях озера Жангылды, расположенного на территории площадки «Сары-Узень»: ^{137}Cs – 260 ± 50 Бк/кг, ^{241}Am – 17 ± 3 Бк/кг, ^{90}Sr – 170 ± 26 Бк/кг и $^{239+240}\text{Pu}$ – 280 ± 30 Бк/кг. В донных отложениях озера Кишкенсор фиксируется только повышенное значение содержания ^{90}Sr – 620 ± 90 Бк/кг.

Также повышенные значения содержания техногенных радионуклидов фиксируются в донных отложениях озера на следе 1951 г. (^{137}Cs – 87 ± 17 Бк/кг, ^{241}Am – 38 ± 8 Бк/кг, ^{90}Sr – 118 ± 18 Бк/кг и $^{239+240}\text{Pu}$ – 290 ± 40 Бк/кг) и озера на следе 1949 г. (^{137}Cs – 110 ± 10 Бк/кг, ^{241}Am – 63 ± 6 Бк/кг, ^{90}Sr – $6,9 \pm 0,9$ Бк/кг и $^{239+240}\text{Pu}$ – 130 ± 10 Бк/кг), т.е. в тех же озерах, где фиксировались повышенные значения содержания ^{90}Sr в воде.

На основе полученных количественных данных рассчитаны коэффициенты распределения K_p , как отношение содержания (удельной активности)

радионуклида в донных отложениях к содержанию (удельной активности) в воде [2]. Коэффициенты распределения K_p представлены в таблице 1.

Таблица 1

K_p для природных озер СИП и прилегающих к нему территорий

Тип озера по месту расположения	K_p	
	^{90}Sr	$^{239+240}\text{Pu}$
Озера на территории испытательных площадок	$\frac{1,0 \cdot 10^3}{4 - 7,710^3}$ (n=20)	$\frac{8,5 \cdot 10^5}{1,6 \cdot 10^3 - 8,9 \cdot 10^6}$ (n=16)
Озера, расположенные в зоне влияния испытательных площадок	$\frac{28,6}{8,7 - 59,2}$ (n=12)	$\frac{2,5 \cdot 10^4}{2,5 \cdot 10^2 - 2,2 \cdot 10^5}$ (n=11)
Озера на условно «фоновых» территориях	$\frac{1,7 \cdot 10^2}{5,7 - 1,3 \cdot 10^3}$ (n=11)	$\frac{4,1 \cdot 10^4}{37,9 - 1,6 \cdot 10^5}$ (n=10)

в числителе – среднее значение, в знаменателе – область значений, в скобках – количество

Для ^{241}Am и ^{137}Cs – K_p не рассчитан, так как численные значения их содержания в воде озер не зафиксировано. Для ^{90}Sr – K_p изменяется от $n \cdot 10^0$ до $n \cdot 10^3$, для $^{239+240}\text{Pu}$ – от $n \cdot 10^1$ до $n \cdot 10^6$. Из этого следует, что в системе «донные отложения – вода» природных озер ^{90}Sr в сопоставимых количествах содержится как в воде, так и в донных отложениях, в случаях где K_p равен $n \cdot 10^0$, а $^{239+240}\text{Pu}$ – преимущественно сосредоточен в донных отложениях.

Содержание ^{241}Am в растениях природных озер находится ниже предела обнаружения используемого аппаратурно-методического обеспечения, $<0,5$ Бк/кг. Содержание ^{137}Cs во всех растениях в среднем достигает 17 ± 1 Бк/кг, максимальное значение (80 ± 8 Бк/кг) зафиксировано в солеросе,

произрастающем на озере на следе 1951 г. Содержание ^{90}Sr в среднем достигает 60 ± 10 Бк/кг, максимальное значение (440 ± 40 Бк/кг) зафиксировано в солеросе, отобранном на Внешнем водоеме «Атомного» озера. Содержание $^{239+240}\text{Pu}$ в среднем достигает $2 \pm 0,5$ Бк/кг, максимальное значение ($7,4 \pm 2,1$ Бк/кг) зафиксировано в солеросе, произрастающем на озере Жингылды, расположенном в зоне влияния площадки «Сары-Узень».

На основе полученных количественных данных рассчитаны коэффициенты накопления K_n , как отношение содержания (удельной активности) радионуклидов в растениях к содержанию (удельной активности) в донных отложениях, которые представлены в таблице 2.

Таблица 2

K_n для растений природных озер

K_n		
^{137}Cs	^{90}Sr	$^{239+240}\text{Pu}$
$\frac{0,15}{0,0002 - 1,1}$ (n=15)	$\frac{2,1}{0,068 - 21,3}$ (n=13)	$\frac{0,033}{0,00019 - 0,16}$ (n=8)

в числителе – среднее значение, в знаменателе – область значений, в скобках – количество

Накопительная способность растений экосистемы природных озер по отношению к техногенным радионуклидам снижается в ряду $^{90}\text{Sr} > ^{137}\text{Cs} > ^{239+240}\text{Pu}$. Тот факт, что в ряде случаев для ^{90}Sr и ^{137}Cs получены $K_n > 1$, говорит о том, что растения способны накапливать в себе техногенные радионуклиды в количествах, превышающих из удельную активность в донных отложениях.

Таким образом, в озерных экосистемах «донные отложения – вода» и «донные отложения – растения» основное содержание ^{137}Cs и $^{239+240}\text{Pu}$ сосредоточено в донных отложениях. Тогда как ^{90}Sr может равномерно распределяться во всех компонентах системы «донные отложения – вода – растения», что

еще раз подчеркивает его высокую миграционную способность.

В результате проведенных работ установлено, что некоторые природные озера СИП и прилегающих к нему территорий имеют повышенные уровни радионуклидного загрязнения. Те озера, которые расположены не на территории испытательных площадок, а на условно «фоновых» территориях, могут представлять радиационную опасность с точки зрения использования их, как потенциальных источников водопользования.

Список литературы

1. Мирные ядерные взрывы: обеспечение общей и радиационной безопасности при их проведении / под рук. проф. В.А. Логачева. М.: Изд.АТ, 2001. С. 199-210.

2. Handbook of Parameter Values for the Prediction of Radionuclide Transfer in Terrestrial and Freshwater Environments, Technical Reports Series No. 472, IAEA, Vienna, 2010.

CURRENT LEVELS OF RADIONUCLIDE CONTAMINATION OF NATURAL LAKES AT THE TERRITORY OF THE SEMIPALATINSK TEST SITE

Aidarkhanova A., Larionova N., Mamyrbaeva A., Svetacheva Yu., Kumiskhanova S.

*Branch 'Institute of Radiation Safety and Ecology' RSE NNC RK,
071100 East-Kazakhstan region, Kurchatov, 2B Beibit Atom Str., Kazakhstan*

The paper presents research data on the levels of radionuclide contamination of ecosystems of natural lakes at the Semipalatinsk test site (STS) and the adjacent territories. The objects of the research were natural lakes located on the territory of test sites, in the zone of their influence and on conditionally "background" territories. Within the framework of these research, a sampling of water, bottom sediments and plants was carried out, in which the content of radionuclides ^{241}Am , ^{137}Cs , ^{90}Sr and $^{239+240}\text{Pu}$ was determined. Based on the obtained quantitative data, distribution coefficients (K_d) for sediments and water, and concentration ratio (F_v) for plants and sediments, were calculated.

Keywords: *natural lakes, radionuclide contamination, bottom sediments*

УДК 631.35:631.438.2

ВЛИЯНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПЕСЧАНЫХ ПОЧВ ЛУЖСКОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ Cs-137 В ПОЧВЕННОМ ПРОФИЛЕ

Акатова А.А., Ефремова М.А., Родичева Т.В.

*Санкт-Петербургский государственный аграрный университет
196601 Санкт-Петербург, Пушкин, Петербургское ш., д.2, Российская Федерация
e-mail: akatova1993@bk.ru*

Радиологический мониторинг почв Лужской возвышенности (Ленинградская область) показал присутствие Cs-137 в верхнем горизонте почв (до глубины 35 см). Источник радионуклида в почвах – аэральное загрязнение территории после Чернобыльской аварии. В ходе корреляционного анализа выявлено влияние физико-химических показателей верхнего горизонта песчаных почв, сформированных на флювиогляциальных песках, на содержание в нем радиоцезия. Выявлена высокая корреляционная зависимость содержания радиоцезия от обменной кислотности почвы. Наиболее тесная и статистически значимая корреляционная связь установлена между содержанием Cs-137 в почве и емкостью её катионного обмена.

Ключевые слова: *Цезий-137, флювиогляциальные пески, кислотность почвы, обменная емкость почвы, почвенный профиль*

Авария на Чернобыльской АЭС привела к радиоактивному загрязнению нескольких регионов Российской Федерации [1]. В составе атмосферных аэрозольных выпадений цезий-137 попал на территорию Ленинградской области [2], почвенный покров оказался загрязнен крайне неравномерно. Известно, что цезий водорастворим, это приводит к большой его мобильности в трофических цепях, возможном накоплении в биологических объектах, обуславливающим возрастание внутренней дозы их облучения [3]. С другой стороны, взаимодействие радиоцезия в почве с глинистыми минералами приводит к необменной фиксации радионуклида в их межпакетных пространствах и длительному сохранению

радиоактивного изотопа в верхнем корнеобитаемом слое почвы [4-8].

Часть почв Ленинградской области, загрязненных Cs-137, сформирована на водно-ледниковых отложениях и имеет легкий гранулометрический состав по всей глубине почвенного профиля [9]. Протекание подзолистого процесса на легких почвах в условиях промывного водного режима, может быть причиной миграции радиоцезия вниз по профилю почвы.

В ходе радиологического мониторинга почвенного покрова Лужской возвышенности (Ленинградская область) было обследовано 120 га территории, включающей природные ландшафты и бывшие сельскохозяйственные угодья. Всего было сделано 24

почвенных разрезов, из расчета: 1 разрез – на 5 га. Cs-137 был обнаружен на 1/3 обследованной территории (8 разрезов), в почвах двух типов: подзолистых и дерново-подзолистых, сформированных на ледниковых и флювиальных отложениях.

В зону нашего интереса попали наиболее распространенные на обследуемой территории почвы, сформированные на флювиогляциальных песках [10]. Cs-137 присутствовал в почвах пяти разрезов. Задачей исследования явилась оценка влияния физико-химических характеристик почв, сформированных на флювиогляциальных песках, на распределение цезия-137 по профилю.

На сцинтилляционном гамма-спектрометре МКГБ «Радек» была измерена удельная активность Cs-137 во всех почвах по горизонтам. Физико-химические показатели почв были определены в соответствии со следующими методиками: органическое вещество (С, %) – по методу Тюрина; сумма поглощенных оснований (S, моль/100 г почвы) – по методу Каппена, ГОСТ 27821-88, обменная кислотность (pH_{KCl}) – по ГОСТ 26483-85; гидролитическая кислотность (Нг, моль/100 г почвы) – по методу Каппена в модификации ЦИНАО, ГОСТ 266212-91, подвижные соединения калия (K_2O , мг/кг почвы) – по методу Кирсанова. Емкость катионного обмена почвы была рассчитана путем суммирования показателей гидролитической кислотности и суммы поглощенных оснований. Полученные данные обработаны методами выборочной статистики и корреляционного анализа.

Почвенные разрезы были заложены на разных элементах рельефа в пределах нескольких растительных сообществ. Основные растительные сообщества – это еловый лес, в наземном ярусе которого преобладают хвощ, мох сфагновый, кислица, пырей, а также травяно-кустарничковые сообщества, сформировавшиеся на залежных почвах, вышедших из сельскохозяйственного оборота около двадцати лет назад, с преобладанием осины, березы, рябины в древесном ярусе. Таким образом, единственным общим признаком, объединяющим объекты наших исследований, была почвообразующая порода – флювиогляциальные пески, определяющая гранулометрический состав почв.

В результате морфологического описания почвенных разрезов были идентифицированы следующие почвенные разности:

- дерново-среднеподзолистая песчаная контактно-глеевая (I),
- дерново-среднеподзолистая песчаная иллювиально-железистая (II),
- дерново-слабоподзолистая песчаная иллювиально-железистая (III),
- дерново-слабоподзолистая песчаная иллювиально-железистая (IV),
- дерново-слабоподзолистая песчаная иллювиально-железистая (V).

Несмотря на все различия в условиях почвообразования и легкий гранулометрический состав почв Cs-137 был обнаружен только в верхней части их профиля. Максимальная глубина проникновения радионуклида вниз по профилю составила 35 см. Удельная активность Cs-137 в исследуемых объектах варьирует в пределах от 9,86 до 31,00 Бк/кг, что в среднем составляет $17,66 \pm 7,75$ Бк/кг.

Усреднение физико-химических показателей пяти почв по генетическим горизонтам показало сильное их варьирование, что может быть связано с различиями в рельефе местности, составе растительных сообществ, предварительном использовании ряда почв в сельском хозяйстве. В среднем свойства почв соответствовали классификационному названию почв, основанному на их генезисе (рис. 1).

Так как Cs-137 содержался только в верхнем горизонте, то корреляционный анализ между физико-химическими показателями почвы этого горизонта и содержанием в нем радионуклида может показать наиболее значимые из них, с точки зрения удержания цезия (табл. 1).

Выявлена высокая корреляционная зависимость содержания радиоцезия от обменной кислотности почвы. Однако наиболее тесная и статистически значимая корреляционная связь установлена между содержанием Cs-137 в почве и емкостью её катионного обмена (Т).

Таким образом, несмотря на легкий гранулометрический состав почв, сформированных на флювиогляциальных песках, в них содержится достаточное количество минералов (глины, слюды, гидрослюды), обеспечивающих как ионообменную, так и специфическую сорбцию Cs-137 и препятствующих вымыванию радионуклида вниз по профилю почвы.

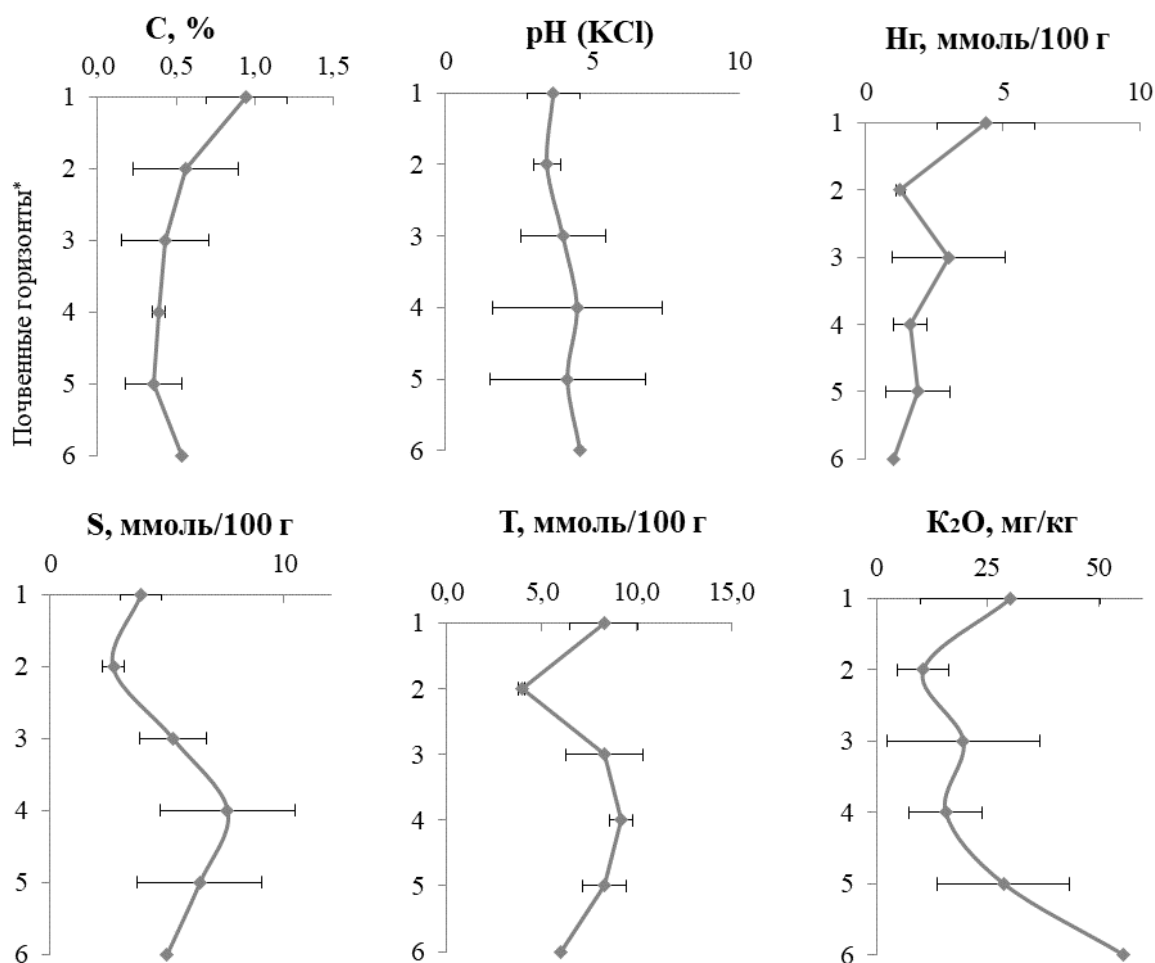


Рисунок 1 – Физико-химические свойства почв, сформированных на флювиогляциальных песках
 * - почвенные горизонты: 1- гумусово-аккумулятивный, 2- подзолистый, 3-иллювиальный, 4 - переходный, 5 - материнская порода (флювиогляциальные пески) , 6-пстиляющая порода (морена)

Таблица 1

Физико-химические показатели верхнего горизонта почв, содержащего Cs-137

Почвы	Cs-137, Бк/кг	C, %	pH _{KCl}	Нг	S	Т	К ₂ О, мг/кг
				ммоль/100 г			
I	16,4	1,34	3,27	6,67	2,9	9,57	60,0
II	31,0	0,71	4,21	5,85	4,1	9,95	13,5
III	20,6	0,90	3,78	3,67	5,0	8,67	39,0
IV	10,5	1,05	3,51	3,24	3,1	6,32	28,2
V	9,86	0,74	3,63	2,49	4,4	6,86	10,0
R		-0,327	0,782	0,606	0,304	0,836	-0,09

Список литературы

1. Радиационная обстановка на территории Ленинградской области, пострадавших вследствие аварии на Чернобыльской АЭС / Г. Я. Брук, А. Б. Базюкин, А. А. Братилова [и др.] // Радиационная гигиена. 2017. Т.10. № 3. С. 103-112

2. Мандзон Д. А. Динамика миграции цезия-137 после Чернобыльской аварии на территории русской

равнины: автореф. дис. ... канд. геогр. наук. М., 2010. 26 с.

3. Ефремова М. А., Акатова А. А., Цивка К. И. Влияние калия на распределение Cs-137 в дерново-подзолистой среднесуглинистой почве // Гумус и почвообразование. 2017. № 21. С. 124-128

4. Егорова И. А., Кислицина Ю. В., Пузанов А. В. Радионуклиды в почвах северо-западного Алтая // География и природные ресурсы. 2012. № 3. С. 31-35

5. Кузьменкова Н. В. Миграция и аккумуляция ¹³⁷Cs в ландшафтах северо-западной части Кольского полуострова: автореф. дис. ... канд. геогр. наук. М., 2010. 24 с.

6. Радиальное и латеральное распределение цезия-137 в почвах фоновых ландшафтов степей юго-западной Сибири / А. Ю. Мирошников, Семенов И.

Н., Усачева А. А., Дергачева А. В. // Фундаментальные исследования. 2014. № 12 (часть 3). С. 547-551

7. Семенов И.Н, Усачева А.А. Цезий-137 как маркер современных почвенных турбаций // Фундаментальные исследования. 2013. Т.10. № 7. С. 1478-1481;

8. Пивоваров Ю. П. Радиационная экология. М.: Академия, 2004. 240 с.

9. Пестряков В. К. Почвы Ленинградской области. Л.: Лениздат, 1973. 344 с.

10. Даринский А. В. Ленинградская область. Л.: Лениздат, 1975. 384 с.

THE EFFECT OF PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES OF SANDY SOILS OF THE LUGA HILL ON THE DISTRIBUTION Cs-137 IN THE SOIL PROFILE

Akatova A.A., Efremova M.A., Rodicheva T.V.

Saint-Petersburg State Agrarian University, 196601, Saint-Petersburg, Pushkin, Peterburgskoeshosse, 2, Russian Federation

Radiological monitoring of soils of the Luga Hill (Leningrad region) showed the presence of Cs-137 in the upper soil horizon (to a depth of 35 cm). The source of radionuclide in soils is the air pollution of the territory after the Chernobyl accident. The correlation analysis revealed the influence of physical and chemical parameters of the upper horizon of sandy soils formed on fluvioglacial Sands on the content of radiocesium. It is established the high correlation of radiocaesium content from the exchange acidity of the soil. The closest and statistically significant correlation was found between the content of Cs-137 in the soil and soil exchange capacity.

Keywords: *caesium-137, fluvioglacial sands, soil acidity, soil exchange capacity, soil profile*

УДК 551.49:504.064:53916

МОНИТОРИНГ ПОВЕРХНОСТНЫХ И ПОДЗЕМНЫХ ВОД НА ТЕРРИТОРИИ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА

Актаев М.Р., Ляхова О.Н., Айдарханов А.О., Кокежанов Б.А., Токтаганов Т.Ш.

Филиал «Институт радиационной безопасности и экологии» РГП НЯЦ РК

071100 Восточно-Казахстанская область, г. Курчатов, улица Бейбіт атом, 2Б, Республика Казахстан

e-mail: Aktaev@nnc.kz

В статье представлены результаты радиоэкологического мониторинга состояния поверхностных и подземных вод на территории бывшего Семипалатинского полигона. Представлены потенциальные источники загрязнения и основные пути миграции загрязненных подземных и поверхностных вод за пределы испытательных площадок и территории СИП.

Ключевые слова: *СИП, миграция, подземные и поверхностные воды, площадка*

С момента закрытия бывшего Семипалатинского испытательного полигона (далее СИП) в 1991 г, одним из важных направлений, связанных с обеспечением радиационной безопасности полигона, является исследование и мониторинг водной среды, которая по-прежнему характеризуется радиоактивным загрязнением [1].

В настоящее время радиоэкологическое состояние водных объектов СИП обусловлено вторичным загрязнением продуктами ядерных испытаний на пл. «Дегелен», «Балапан», «Телькем», и «Сары-Узень»

путем выноса техногенных радионуклидов с подземными и поверхностными водами из мест проведения ядерных испытаний. В основном присутствие техногенных радионуклидов отмечается в пределах площадок, однако в отдельных случаях наблюдается их миграция за пределы административных границ испытательных площадок и территории СИП с подземными и поверхностными водами [2].

По уровню содержания техногенных радионуклидов все водные объекты, расположенные на территории СИП, можно классифицировать как

чистые, условно чистые и загрязненные. Большинство из них относятся к чистым водам, так как присутствие каких-либо техногенных радионуклидов не обнаружено. Условно чистыми можно назвать воды, в которых удельная активность зафиксированных радионуклидов не превысила уровни вмешательства (далее - УВ) для населения при поступлении с водой, согласно [3]. Загрязненные воды характеризуются наличием техногенных радионуклидов, удельная активность которых превышает установленные УВ [4].

Площадка «Дегелен». Вследствие регулярной инфильтрации атмосферных осадков в полости «боевых» штолен, образовались водотоки, выносящие радиоактивность из мест проведения подземных ядерных взрывов на поверхность. На настоящий момент таких водотоков насчитывается более десятка, все они связаны с основными ручьями, берущими начало на площадке «Дегелен» и выходящими далеко за ее пределы. Это ручьи Карабулак, Узынбулак, Байтлес, Актыбай, Безымянный и Безымянный-2 [5].

Основными радиоактивными загрязнителем вод площадки «Дегелен» являются ^{90}Sr и ^3H . Удельная активность ^{90}Sr в поверхностных водах площадки составляет от 10 до 1000 Бк/кг, концентрация ^3H изменяется в широких пределах от 1000 до 350 000 Бк/кг, что значительно превышает уровень вмешательства для категории (УВ), который составляет для $^{90}\text{Sr}=4,9$ Бк/кг, для $^3\text{H}=7\ 600$ Бк/кг [6].

В подземных водах значения концентрации ^{137}Cs , ^{90}Sr и $^{239+240}\text{Pu}$ не значительны и не превышают установленных предельно-допустимых значений. Исключение составляет ^3H , который является основным радиоактивным загрязнителем водной среды СИП. Максимальные значения концентрации ^3H , достигающие порядка 400 000 Бк/кг, установлены в подземных водах юго-восточного направления, в долине ручья Байтлес [7].

Экспериментальные взрывы. На территории СИП экспериментальные взрывы были проведены в «боевой» скважине № 1004 («Атомное озеро») на площадке «Балапан» и на площадке «Телькем». В результате, в местах проведения экспериментальных взрывов образовались воронки, заполненные водой.

В водах «Атомного озера» отмечается неравномерное пространственное распределение концентрации ^3H . Максимальное значение ^3H с активностью 20 000 Бк/кг наблюдается в центральной части водоема, на глубине 60-80 м. Минимальные значения, в пределах 100-200 Бк/кг, отмечаются повсеместно на глубине до 10 м от поверхности озера. По данным суточных и месячных наблюдений, данный характер распределения ^3H является стабильным.

На площадке «Телькем» существует две воронки, заполненные водой. Данные водоемы представлены в виде замкнутых бассейнов и характеризуются отсутствием притока или оттока поверхностных вод. Радиоактивное загрязнение водоемов в наибольшей степени обусловлено наличием высоких значений ^{90}Sr , достигающих удельной активности 130

Бк/кг. Содержание радионуклида ^3H и $^{239+240}\text{Pu}$ отмечаются в пределах 30-50 Бк/кг и 0,04-0,05 Бк/кг, соответственно [3].

Площадки «Балапан» и «Сары-Узень». На площадке «Сары-Узень» поверхностные воды представлены водами в котловых воронках скважин, образовавшихся после проведения взрывов с нештатными радиационными ситуациями, где удельная активность ^3H составляет от 20 до 200 000 Бк/кг. В подземных водах содержание ^3H изменяется в диапазоне значений от <12 до 28 500 Бк/кг.

Основным загрязнителем подземных вод площадки «Балапан» является радионуклид ^3H . По данным мониторинговых наблюдений, удельная активность ^3H в подземных водах изменяется от <12 до 500 000 Бк/кг. Наиболее высокие значения фиксируются в водах восточной части площадки, в скважинах 5ПН, 4/5ПН и НШ-1.

Река Шаган. В настоящее время основным радионуклидным загрязнителем реки является ^3H . Источником загрязнения являются подземные воды, поступающие в поверхностные воды реки с площадки «Балапан» [8].

Особенностью радиоактивного загрязнения р. Шаган является неравномерное распределение ^3H в воде. По результатам работ определено пять мониторинговых участков на отрезке русла р. Шаган, расположенном от «Атомного озера» до впадения в р. Иртыш, с различной концентрацией ^3H в поверхностных водах [5].

На первом участке, с 1 по 4 км, концентрация ^3H в воде достигает 40 000 Бк/кг, что превышает нормативный уровень, установленный в РК более чем в 5 раз. На втором участке, с 4 по 6 км, зафиксирована максимальная концентрация ^3H в воде, которая составляет 680 000 Бк/кг, что в более 80 раз превышает допустимый УВ. На третьем участке, с 6 по 14 км (административная граница СИП), концентрация ^3H в воде находится в диапазоне от 10 000 до 30 000 Бк/кг, что также превышает УВ в 1,3 ÷ 4 раза. Четвертый участок берет начало от границы полигона, и лежит с 14 по 25 км, включительно. На данном отрезке реки концентрация ^3H в воде изменяется от 7 500 до 15 000 Бк/кг, что в ряде случаев также превышает УВ более, чем в 2 раза. На последнем отрезке русла с 25 по 110 км (место впадения р. Шаган в р. Иртыш) река Шаган характеризуется невысокой концентрацией ^3H в воде, составляющей до 300 Бк/кг [9].

Проводимый мониторинг показывает, что основным радионуклидом выходящим за пределы участков загрязнения (испытательных площадок) с подземными и поверхностными водами является ^3H . Миграция радионуклидов ^{137}Cs , ^{90}Sr , $^{239+240}\text{Pu}$ в основном ограничивается локализацией в пределах источников загрязнения.

В целом, на территории СИП определены все основные участки миграции техногенных радионуклидов с подземными и поверхностными водами. Проводимый мониторинг обеспечивает своевременный

контроль миграции техногенных радионуклидов как в пределах радиационно-опасных участков СИП, так и за пределами административных границ испытательных площадок.

Список литературы

1. Лукашенко С.Н. Современная радиационная обстановка на бывшем Семипалатинском испытательном полигоне // Ядерные технологии XXI века. Республиканский научный семинар «Атомная энергетика, ядерные и радиационные технологии»: тез. докл. IV Междунар. конф., 21–23 октября 2014. Минск: Право и экономика, 2014. С.34-35. ISBN 978-985-552-344-5.

2.. Ляхова О.Н., Ларионова Н.В., Лукашенко С.Н. К вопросу о путях миграции трития за пределы бывшей испытательной площадки "Дегелен" // Радиация и Риск. Бюллетень Национального радиационно-эпидемиологического регистра. - 2014. Т. 23. №1. С. 97-104. ISBN 978-985-552-344-5.

3. Гигиенические нормативы «Санитарно-эпидемиологические требования к обеспечению радиационной безопасности». Утверждены приказом Министра национальной экономики Республики Казахстан от 27.02.2015 года № 155. 112 с.

4. Айдарханова А.К., Лукашенко С.Н. Оценка радионуклидного загрязнения водных объектов территории бывшего Семипалатинского испытательного полигона // Радиоактивность после ядерных взрывов и аварий: последствия и пути преодоления: тез. докл. науч.-практ. конф., 19-21 апреля 2016. Обнинск, 2016. С. 102.

5. Есимбеков А.Ж., Айдарханов А.О., Актаев М.Р. Изучение механизмов загрязнения тритием вод бассейна р.Шаган в пределах границы СИП //

Семипалатинский испытательный полигон. Радиационное наследие и перспективы развития: тез. докл. VI Междунар. науч.-практ. конф., 24-25 сентября 2014. Павлодар: Дом печати, 2014. С.48-49. ISBN 978-601-7112-85-1.

6. Айдарханова А.К. Характер радионуклидного загрязнения водных объектов бывшего Семипалатинского испытательного полигона / А.К. Айдарханова, С.Н. Лукашенко // V Междунар. конф. "Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека", 13-16 сентября 2016. Томск, 2016. С. 40-43. ISBN 978-5-93629-564-5.

7. Айдарханов А.О., Лукашенко С.Н. Закономерности распределения радионуклидного загрязнения в водных объектах Семипалатинского испытательного полигона // Семипалатинский испытательный полигон. Радиационное наследие и перспективы развития: тез. докл. VI Междунар. науч.-практ. конф., 21-23 сентября 2016. Павлодар: Дом печати, 2016. С. 33. ISBN 978-601-80602-4-3.

8. Актаев М.Р., Лукашенко С.Н., Айдарханов А.О. Особенности распределения трития в основных водных объектах СИП ("Атомное" озеро, р. Шаган // Семипалатинский испытательный полигон. Радиационное наследие и перспективы развития: тез. докл. VI Междунар. науч.-практ. конф., 24-25 сентября 2014. Павлодар: Дом печати, 2014. С.41-42. ISBN 978-601-7112-85-1.

9. Актаев М.Р., Лукашенко С.Н., Ляхова О.Н., Пронин С.С. Выявление механизмов и путей поступления техногенных радионуклидов в воды р. Шаган на территории Семипалатинского испытательного полигона // Водные и экологические проблемы Сибири и центральной Азии: труды III Всероссийской научной конференции с международным участием: в 4 т. Барнаул, 2017. Т.2. С 3-7 ISBN 978-5-9909722-2-3 (Т.2).

MONITORING SURFACE AND UNDERGROUND WATERS IN THE TERRITORY OF SEMIPALATINSKY TEST SITE

Aktaev M.R., Lyakhova O.N., Aidarkhanov A.O., Kokezhanov B.A., Toktaganov T.Sh.

*Branch 'Institute of Radiation Safety and Ecology' RSE NNC RK,
071100 East-Kazakhstan region, Kurchatov, 2B Beibit Atom Str., Kazakhstan*

In this paper, the results of radioecological monitoring of the state of surface and groundwater in the territory of the former Semipalatinsk test site are presented. Potential sources of pollution and the main ways of migration of contaminated groundwater and surface water beyond the test sites and the territory of STS are presented.

Keywords: *STS, migration, underground and surface waters, site*

ВЛИЯНИЕ КОМПЛЕКСНОГО УДОБРЕНИЯ СУПРОДИТ НА НАКОПЛЕНИЕ ^{137}Cs В ЗЕРНЕ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ

Андреева Н.В., Белова Н.В., Мезина М.В.

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии»

249032 Калужская область, г. Обнинск, Киевское шоссе, 109 км, Российская Федерация

e-mail: nva2803@yandex.ru

В вегетационном опыте было изучено влияние комплексных удобрений нитрофоска и Супродит на накопление ^{137}Cs в зерне яровой пшеницы. Показано, что применение нитрофоски снижает содержание ^{137}Cs в зерне в 1,4-1,8 раза, а внесение Супродита – в 2,5-3,0 раза. Комплексные удобрения способствовали уменьшению выноса радионуклида с урожаем зерна в 1,5-2,8 раза по сравнению NPK растворимых солей.

Ключевые слова: Супродит, комплексные удобрения, накопление ^{137}Cs , вынос ^{137}Cs

Среди приемов реабилитации территорий, загрязненных в результате аварии на ЧАЭС, важное место занимает применение агромелиорантов, которые обеспечивают снижение темпов миграции радионуклидов в сельскохозяйственных цепочках. Недостаточное внесение удобрений на пахотных угодьях приводит к увеличению накопления радионуклидов в сельскохозяйственной продукции и, как следствие, дополнительному облучению населения [1].

Использование в качестве мелиорантов специальных сорбентов естественного или искусственного происхождения является в настоящее время новой тенденцией разработки технологий, направленных на восстановление почвенного плодородия после техногенных аварий.

Целью данной работы является оценка действия нового комплексного удобрения Супродит на подвижность в почве и накопление ^{137}Cs в урожае яровой пшеницы в сравнении с внесением нитрофоски и простых минеральных удобрений (NH_4NO_3 , K_2PO_4 , KCl - контроль фоновый).

Супродит - комплексное удобрение пролонгированного действия, с ярко выраженными сорбционными свойствами по отношению к загрязняющим веществам (радионуклидам и ТМ), содержит 8-13 % азота, 11-15 % фосфора, 12-19 % калия и 30-40 % органического вещества, N:P:K=1,3:1,5:1,0. Предназначен для применения на мало плодородных, деградированных почвах сельскохозяйственного назначения и селитебных территориях с целью стабилизации и повышения их плодородия, а также при техногенном загрязнении для снижения перехода загрязнителей в урожай [2].

Исследования проводились в двухлетнем вегетационном опыте на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве. Схема опыта: 1. Контроль ($\text{N}_{0,15}\text{P}_{0,15}\text{K}_{0,15}$); 2. Нитрофоска (1,2 г/кг почвы, $\text{N}_{0,15}\text{P}_{0,15}\text{K}_{0,15}$); 3. Супродит (1,4 г/кг почвы, $\text{N}_{0,15}\text{P}_{0,15}\text{K}_{0,15}$).

Простые минеральные удобрения вносили ежегодно перед посевом растений, нитрофоску и

Супродит – только в первый год опыта, на второй год изучали последствие. Опытная культура – яровая пшеница.

^{137}Cs в виде легкорастворимой соли CsCl вносился в почву в количестве $9,6 \times 10^4$ Бк/кг.

Основные агрохимические показатели определяли общепринятыми методами: рН_{KCl} – потенциометрическим методом; гидролитическую кислотность – по Каппену; содержание гумуса – по Тюрину; сумму обменных оснований – по методу Каппена-Гильковица, содержание подвижного фосфора и калия – по Кирсанову [3].

Концентрацию стабильных элементов К, Са, Mg измеряли методом атомной абсорбции в воздушно-ацетиленовом пламени на приборе Varian SpectrAA 250+.

Определение удельной активности ^{137}Cs в образцах почв, почвенных вытяжках и растениях проводили γ -спектрометрическим методом на многоканальном анализаторе IN 1200 с германиевым детектором. Ошибка измерения не превышала ± 10 %.

Двухлетние исследования в вегетационном опыте показали, что действие Супродита на изменение показателей плодородия дерново-подзолистой почвы более значимо по сравнению с влиянием нитрофоски и NPK растворимых солей. Так, содержание гумуса повысилось с 1,81 % до 1,90-1,93 %, содержание обменного кальция возросло с 7,8 до 8,2 мг-экв. на 100 г. почвы гидролитическая кислотность снизилась на 0,05 мг-экв., а рН повысилось с 6,0 до 6,5. При этом на вариантах с внесением NPK и нитрофоски эти показатели практически не изменились в течение двух лет проведения опыта.

Удобрения оказали значительное влияние на подвижность ^{137}Cs в почве, при этом комплексные удобрения нитрофоска и Супродит были действеннее по сравнению с NPK растворимых солей.

При этом содержание обменного ^{137}Cs в почве при внесении нитрофоски ниже в 1,1 – 1,2 раза по сравнению с внесением NPK, а применение Супродита позволило снизить этот показатель в 1,7 раза,

как в первый, так и во второй год проведения опыта. Доля подвижного ^{137}Cs (извлекаемого 1н НСl) при внесении Супродита снижалась в 1,3 раза в первый и в 1,6 раза – во второй год эксперимента.

Действие различных форм удобрений на величину урожая зерна яровой пшеницы практически не различалось и в первый и во второй год проведения опыта, но урожай во второй год был выше почти в два раза чем в первый (табл. 1).

Таблица 1

Влияние Супродита на вынос ^{137}Cs с зерном яровой пшеницы

Вариант	1-й год		2-ой год	
	Урожай зерна, г/сосуд	Вынос ^{137}Cs с зерном, Бк/сосуд	Урожай зерна, г/сосуд	Вынос ^{137}Cs с зерном, Бк/сосуд
Контроль	12,9±0,4	47,3	23,4±0,3	73,9
Нитрофоска	12,5±0,4	32,6	22,8±0,2	39,4
Супродит	13,1±0,3	19,0	24,8±0,4	26,2

Влияние удобрений на изменение подвижности ^{137}Cs в почве закономерно отразилось на уровне накопления радионуклида в зерне яровой пшеницы. Комплексные удобрения нитрофоска и Супродит

снижали поступление ^{137}Cs в зерно в 1,4 и 2,5 раза соответственно, в первый год, и в 1,8 и 3,0 раза - во второй год по сравнению с применением NPK растворимых солей (табл. 2).

Таблица 2

Влияние удобрений на накопление ^{137}Cs в зерне яровой пшеницы

Вариант	Содержание ^{137}Cs в зерне, Бк/кг		КН ^{137}Cs (Бк/кг в зерне)/(Бк/кг в почве)	
	1-й год	2-ой год	1-й год	2-ой год
	Контроль фоновый	3667	3158	0,038±0,002
Нитрофоска	2608	1728	0,027±0,003	0,018±0,002
Супродит	1450	1056	0,015±0,002	0,011±0,001

Применение комплексных удобрений, к которым относятся нитрофоска и Супродит на дерново-подзолистой почве способствовало снижению выноса ^{137}Cs с урожаем зерна яровой пшеницы в 1,5 раза при внесении нитрофоски в первый год по сравнению с NPK. Эффективность Супродита по снижению выноса ^{137}Cs с урожаем зерна значительно выше, чем применение нитрофоски. Так, вынос ^{137}Cs в первый год внесения Супродита в 2,5 раза ниже по сравнению с вариантом NPK, а на второй год опыта (последствие) – в 2,8 раза.

Таким образом, результаты исследований показали высокую эффективность применения Супродита на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве. Внесение Супродита способствовало снижению количества обменной и подвижной форм ^{137}Cs в почве, снижению накопления радионуклида в зерне яровой

пшеницы по сравнению с использованием NPK растворимых солей и нитрофоски.

Список литературы

1. Сельскохозяйственная радиоэкология /Под ред. Р.М. Алексахина, Н.А. Корнеева. М: «Экология», 1991г, С 396.
2. Санжарова Н.И., Жигарева Т.Л., Ратников А.Н. Кузнецов В.К. и др. Применение комплексного удобрения «Супродит» в технологиях реабилитации кормовых угодий на радиоактивно загрязненных территориях. Обнинск, ВНИИСХРАЭ, 2010 г. 14 с.
3. Агрохимические методы исследования почв. – М.: «Наука», 1975.

THE INFLUENCE OF COMPLEX FERTILIZER SUPRODIT ON ^{137}Cs ACCUMULATION IN SPRING WHEAT GRAIN

Andreeva N.V., Belova N.V. Mezina M.V.

Russian Institute of Radiology and Agroecology, 249032 Kaluga region, Obninsk, Kievskoe shosse 109 km, Russian Federation

In vegetative experience has been studied the influence of complex fertilizer nitrophoska and Suprodit on ^{137}Cs accumulation in spring wheat grain. It is shown that the application of nitrophoska reduces the ^{137}Cs content in grain 1.4-1.8

times, and the introduction of Suprodit is 2.5-3.0 times. Complex fertilizers contributed to the reduction of radionuclide removal with grain yield by 1.5-2.8 times compared to NPK of soluble salts.

Keywords: *Suprodit, complex fertilizers, the accumulation of ^{137}Cs , ^{137}Cs removal, the removal of ^{137}Cs*

УДК 631.438:631.445

НАКОПЛЕНИЕ ^{90}Sr ЗЕЛЕННОЙ МАССОЙ ЯЧМЕНЯ ПРИ ВНЕСЕНИИ АЗОТНЫХ УДОБРЕНИЙ

Гешель И.В., Сидорова Е.В.

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии»

249032 Калужская область, г. Обнинск, Киевское шоссе, 109 км, Российская Федерация

e-mail: igeshel@yandex.ru

В вегетационном опыте на дерново-подзолистой почве изучалось влияние различных видов и доз азотных удобрений на урожайность и накопление радиостронция в зеленой массе ячменя. Установлено, что применение нитрата натрия в дозах 25, 50, 100, 200 мг/кг приводит к снижению содержания радионуклида в биомассе. В то время как повышенные дозы (100, 200 мг/кг) серноокислого и нитратного аммония способствуют увеличению содержания ^{90}Sr в зеленой массе.

Ключевые слова: *азотные удобрения; ^{90}Sr ; радионуклид; дерново-подзолистая почва; нитрат аммония; серноокислый аммоний; нитрат натрия*

Введение

В результате аварии на Чернобыльской АЭС выпадения ^{90}Sr в основном имели место в ближней зоне АЭС, а также на отдельных участках в прилегающих областях Беларуси и Украины [1]. Эти территории представляют собой преимущественно дерново-подзолистые почвы и характеризуются низкой обеспеченностью элементами минерального питания и, в первую очередь, азотом, вследствие чего, без применения азотных удобрений возделывание сельскохозяйственных культур на этих почвах невозможно. Однако, в ряде исследований было показано, что применение азотных удобрений приводит к увеличению перехода стронция в сельскохозяйственную продукцию [2-4]. В связи с этим на радиоактивно-загрязненных территориях должны быть определены виды удобрений, наиболее эффективно снижающие переход радионуклида, а также установлены их оптимальные дозы.

Целью работы являлось изучение влияния в вегетационном опыте различных видов и доз азотных удобрений на продуктивность растений и накопление ^{90}Sr в зеленой массе ячменя.

Материалы и методы

Модельный эксперимент проводился в теплице, в сосудах емкостью 4 кг воздушно-сухой почвы по общепринятой для почвенных культур методике в контролируемых условиях [5]. Повторность опыта 4-х кратная. Опытная культура – ячмень сорта «Владимир» суперэлита. Посев проводился из расчета 25 пророщенных семян на сосуд. Урожай был собран через три месяца после посева семян.

Исследования проводились на дерново-подзолистой легкосуглинистой крупнопылевато-песчаной почве по общепринятым методикам [6] со следующими агрохимическими характеристиками: pH_{KCl} – $4,85 \pm 0,1$; гидролитическая кислотность по Каппену – $2,13 \pm 0,02$ мг-экв/100 г; сумма обменных оснований по Каппену – 2,8 мг-экв/100 г; обменный калий и фосфор по Кирсанову – $77,8 \pm 0,9$ и 258,6 мг/кг соответственно; гумус по Тюрину – $1,44 \pm 0,04$ %.

^{90}Sr в почву был внесен в виде раствора соли SrCl_2 из расчета 1,1 кБк/кг почвы. Далее почва инкубировалась в течение 14 дней для достижения равновесия между ^{90}Sr и ^{90}Y .

В качестве азотных удобрений в различных дозах вносили растворы солей: NH_4NO_3 (N_{aa}); NaNO_3 (N_{c}); $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (N_{a}). Схема опыта: контроль; N_{aa} ; N_{c} ; N_{a} по 25, 50, 100, 200 мг/кг Влажность почвы поддерживали на уровне 60 % ППВ.

В качестве показателя накопления ^{90}Sr в зерне ячменя использовался коэффициент накопления, который определяется как отношение содержания радионуклида в единице массы растений (или части растения) и почвы ($[\text{Бк/кг растения}]/[\text{Бк/кг почвы}]$).

Результаты и обсуждения

Основным показателем, отражающим влияние свойств почвы на развитие растений и эффективность применения удобрения, является урожайность. Результаты опыта показали (табл. 1), что урожайность зеленой массы ячменя повышалась от всех видов и доз азотных удобрений, кроме серноокислого аммония в дозе 25 мг N/кг, где наблюдалось незначительное снижение зеленой массы. Наибольший эффект

был достигнут при применении азотнокислого натрия, где прибавка в урожае достигала 2 раз.

Таблица 1

Влияние различных видов и доз азотных удобрений на урожайность зеленой массы ячменя и коэффициенты накопления ^{90}Sr

Форма азотного удобрения	доза N мг/кг д.в.	Урожайность г/сосуд	КН ^{90}Sr
0	0	8,75±1,14	10,3±2,08
N _c	25	11,82±1,72	9,30±1,51
	50	10,58±1,56	9,46±2,10
	100	13,22±1,45	8,74±0,87
	200	17,60±1,76	9,26±0,19
N _{aa}	25	9,7±1,31	9,41±0,71
	50	11,65±0,83	13,85±1,86
	100	12,75±1,28	16,03±1,07
	200	14,45±0,5	23,51±0,66
N _a	25	8,05±2,14	9,52±0,12
	50	8,85±0,62	7,50±0,80
	100	12,13±0,98	14,56±0,08
	200	14,48±1,98	14,18±2,76

Полученные данные свидетельствуют о том, что азотные удобрения изучаемых видов и доз по-разному влияют на накопление ^{90}Sr в зеленой массе ячменя. Внесение азотнокислого натрия привело к снижению коэффициента накопления в 1,1-1,2 раза. При внесении аммиачной селитры в количестве 25 мг N/кг наблюдается незначительное снижение накопления стронция в зеленой массе, однако с увеличением дозы удобрения увеличивался коэффициент накопления с 1,3 (доза 50 мг N/кг) до 2,3 раза (доза 200 мг N/кг). Применение сернокислого аммония в дозах 25 и 50 мг N/кг снизило переход радионуклида в растения в 1,1 и 1,4 раза соответственно. Дальнейшее же повышение дозы удобрения привело к увеличению накопления радиостронция в 1,4 раза зеленой массой ячменя. Рост накопления ^{90}Sr в биомассе вероятнее всего связан с изменением почвенных характеристик, в частности pH, так как наиболее заметное увеличение этого показателя наблюдается при повышении доз наиболее кислых удобрений – аммония сернокислого и аммония азотнокислого. Увеличение концентрации NH_4^+ в почве так же приводит к увеличению доступности ^{90}Sr для корневых систем растений [7]. Также одной из возможных причин может быть активизация поглотительной функции растений [8,9]. Применение минерального азота способствует увеличению выноса элементов, не требующихся для роста и развития растений [10]. Такое же действие азотные удобрения могут оказывать и на поглощение растениями ^{90}Sr . Увеличение накопления радиостронция в растениях при внесении азотных удобрений, таким образом, вероятно связано не

только с увеличением количества доступного растениям ^{90}Sr , но и с усилением способности растений к его накоплению.

Выводы

Проведенные исследования позволили установить, что на дерново-подзолистых почвах внесение азотнокислого натрия приводит к снижению Кн ^{90}Sr . При внесении аммония сернокислого и аммония азотнокислого наблюдается увеличение накопления радиостронция в зеленой массе ячменя.

При применении всех видов азотных удобрений наблюдалась прибавка в урожае, за исключением сернокислого аммония в дозе 25 мг N/кг, где произошло незначительное снижение продуктивности в 1,1 раз.

Таким образом, при применении азотных удобрений следует учитывать формы удобрений, их дозы, и применять их совместно с фосфорно-калийными удобрениями. Для восстановления почв, загрязненных радиостронцием, необходимо улучшать сорбционные свойства почвы, регулировать состав почвенного раствора и обеспечивать состав и необходимую концентрацию веществ, конкурирующих с радионуклидами при поглощении корневыми системами.

Список литературы

1. Санжарова Н.И. и др. Особенности формирования радиоактивного загрязнения территории в результате аварийных выбросов Чернобыльской АЭС и динамика изменения радиационной обстановки. В

кн.: Радиоэкологические последствия аварии на Чернобыльской АЭС: биологические эффекты, миграция, реабилитация загрязненных территорий / под ред. чл.-корр. РАН Н.И. Санжаровой и проф. С.В. Фесенко. Москва: РАН, 2018. С. 12-40.

2. О поведении радиоактивных продуктов деления в почвах, их поступлении в растения и накоплении в урожае /под ред. В.М.Клечковского. Москва. 1956. 178 с.

3. Маликов В.Г., Жуков Б.И., Перепелятникова Л.В. Влияние минеральных удобрений и промышленных отходов на поступление радиоактивных изотопов в урожай культур в условиях Северного Кавказа // Агрехимия. 1982. №8.С.114-117.

4. Клечковский В.М., Гулякин И.В. Поведение в почвах и растениях микроколичеств стронция, цезия, рутения и циркония // Почвоведение 1958. №3. С. 1-15.

5. Журбицкий З.И. Теория и практика вегетационного опыта. Москва: Наука, 1969. 243с.

6. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. Москва: МГУ, 1970. 487 с.

7. Cremers A., Elsen A., De Preter P., Maes A. Quantitative analysis of radiocaesium retention in soils // Nature. 1988. V.335. № 6187. P. 247-249.

8. Семенов В.М., Мергель А.А., Розонова Л.Н., Кузнецова Т.В., Кудеяров В.Н. Количественная оценка процессов азотного цикла при внесении возрастающих доз азотных удобрений. Сообщение 2 // Агрехимия. 1992. №5. С.3-10.

9. Jenkinson D.S., Fox R.H., Rayner J.H. Interaction between fertilizer nitrogen and soil nitrogen the so-called «priming» effect //J. Soil Sci. 1985. V. 36. №3. P. 425-444.

10. Mitchell L.D., Grant C.A., Racz G.J. Effect of nitrogen application on concentration of cadmium and nutrient ions in soil solution and durum wheat //Can. J. Soil Sci. 2000. V. 80. №1. P. 107-115.

⁹⁰Sr ACCUMULATION IN BARLEY HERBAGE FROM SOD-PODZOLIC SOIL WITH NITROGEN FERTILIZER APPLICATION

Geshel I.V., Sidorova E.V.

Russian Institute of Radiology and Agroecology, 249032 Kaluga region, Obninsk, Kievskoe shosse 109 km, Russian Federation

A greenhouse trial on sod-podzolic soil has studied the influence of various types and rates of nitrogen fertilizers on crop yield capacity and radiostrontium accumulation in barley herbage. It has been found that sodium nitrate application at the rates of 25, 50, 100 and 200 mg/kg leads to a reduction in the radionuclide content in biomass. At the same time, higher rates (100, 200 mg/kg) of ammonium sulfate and nitrate promote an increase in ⁹⁰Sr content in herbage.

Keywords: *ammonium nitrate; ⁹⁰Sr; radionuclide; sod-podzolic soil; nitrogen fertilizers; ammonium sulphate; sodium nitrate*

УДК 631.95:637.05

ПРОГНОЗ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ¹³⁷Cs СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ ЖИВОТНОВОДСТВА НА ТЕРРИТОРИИ БРЯНСКОЙ ОБЛАСТИ, ПОДВЕРГШЕЙСЯ ВОЗДЕЙСТВИЮ АВАРИИ НА ЧАЭС

Гордиенко Е.В.

*ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии»
249032 Калужская область, г. Обнинск, Киевское шоссе, 109 км, Российская Федерация
e-mail: maro-katrin@mail.ru*

Выполнен прогноз изменений радиоактивного загрязнения ¹³⁷Cs продукции животноводства на уровне хозяйств б юго-западных районов Брянской области, из них в наибольшей степени загрязнены Красногорский и Новозыбковский районы, в которых сосредоточено суммарно более 40 % КСХП. В целом по области на данный момент уже можно отнести к категории «чистых» 35 % сельскохозяйственных предприятий по производству молока и 15 % – по производству говядины, к 2030 г. этот показатель возрастет до 51 % и 29 % соответственно. Показана высокая эффективность и целесообразность реабилитационных мероприятий.

Ключевые слова: *Чернобыльская АЭС, прогнозные оценки, радионуклиды, радиоактивное загрязнение, сельское хозяйство, сельскохозяйственные угодья, продукция животноводства*

Авария на Чернобыльской АЭС (ЧАЭС) явилась крупнейшей в истории ядерной энергетики и имела исключительно тяжелые последствия для агропромышленного сектора. Основным нуклидом с точки зрения радиационной опасности в чернобыльских выпадениях является ^{137}Cs . Имея высокую биологическую подвижность, ^{137}Cs интенсивно мигрирует по сельскохозяйственным трофическим цепочкам, что, в конечном счете, оказывает дополнительную дозовую нагрузку на состояние здоровья человека посредством внутреннего облучения за счет поступления в организм радиоактивных веществ с продукцией животноводства, производимой на загрязненной территории.

В Российской Федерации наибольшему радиоактивному загрязнению подверглись 6 юго-западных районов Брянской области (Гордеевский, Злынковский, Климовский, Клинцовский, Красногорский и Новозыбковский), где были выявлены максимальные уровни загрязнения ^{137}Cs . В результате проведения комплекса защитных и реабилитационных мероприятий произошло существенное «оздоровление» радиационной обстановки. Однако, по прошествии более 30 лет, в наиболее пострадавших районах Брянской области до настоящего времени в полной мере не удалось обеспечить производство сельскохозяйственной продукции, соответствующей нормативам в полном объеме.

В связи с этим, производство экологически безопасной продукции животноводства в условиях радиационного загрязнения агроэкосистем в настоящее время является актуальной проблемой. Прогнозирование содержания ^{137}Cs в производимой продукции животноводства позволит заранее спланировать различные защитные мероприятия для обеспечения

уменьшения перехода радионуклидов в продукцию и ее соответствия допустимым уровням загрязнения.

Материалы и методы

Объектом исследования являются 115 коллективных сельскохозяйственных предприятий 6 юго-западных районов Брянской области, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате ЧАЭС. В наиболее загрязненных районах часть сельскохозяйственных (с максимальными уровнями загрязнения ^{137}Cs) угодий выведена из оборота и не используется.

Исходными данными для прогнозирования динамики радиоактивного загрязнения продукции животноводства являлся прогноз уровней загрязнения ^{137}Cs сельскохозяйственных угодий по хозяйствам и районам (включая выведенные из землепользования угодья) для периода 2015-2030 гг., выполненный на основе данных Центра химизации и сельскохозяйственной радиологии в период 2011-2015 гг. (табл. 1).

Уровни загрязнения сельскохозяйственных угодий оценивались с учетом распада ^{137}Cs по формуле 1.

$$\sigma(t) = \sigma_{t_1} \cdot \exp\left(\frac{-0,693 \cdot \Delta t}{T_{1/2}}\right), \quad \text{кБк/м}^2, (1)$$

где σ_{t_1} – плотность загрязнения ^{137}Cs сельскохозяйственных угодий в последний год радиологического обследования, кБк/м²; Δt – время, число лет прошедших с последнего года радиологического обследования до расчетного года; $T_{1/2}$ – период полураспада ^{137}Cs , равный 30,17 года.

Таблица 1

Плотность загрязнения ^{137}Cs сельскохозяйственных угодий Брянской области, кБк/м² (данные 2015 г.) [1]

Район	Всего			Пашня			Сенокосы и пастбища		
	Средневе- шенная	Мин.	Макс.	Средневе- шенная	Мин.	Макс.	Средневе- шенная	Мин.	Макс.
Гордеевский	221	85	422	182	63	340	281	104	570
Злынковский	218	22	655	193	19	581	296	37	873
Климовский	80	7	167	70	19	148	128	11	326
Клинцовский	125	15	348	96	15	222	187	19	500
Красногорский	267	37	1217	224	37	1132	349	37	1606
Новозыбковский	335	130	740	284	118	544	447	163	907

Содержание радионуклидов в сельскохозяйственной продукции зависит не только от плотности загрязнения, но и от типа, гранулометрического состава и агрохимических свойств почв. Состав почвенного покрова сельскохозяйственных территорий

Брянской области в основном представлен почвами легкосуглинистого, супесчаного, песчаного гранулометрического состава. В низинах преобладает торфяно-болотный тип почв (табл. 2) [2, 3].

Основные характеристики почв Брянской области [2, 3]

Группы почв	Гранулометрический состав	Тип (подтип) почв	pHКCl	Гумус, %	Емкость катионного обмена, мг-экв/100 г	Содержание физической глины (<0,01 мм), %
Песчаные	Песчаные, супесчаные	Дерново-подзолистые; дерново-глеявые; дерновые; светло-серые и серые лесные	4,0-6,0	0,3-5,0	3,0-15,0	<20
Суглинистые	Легко-суглинистые, средне-суглинистые	Дерново-подзолистые; дерновые; темно-серые лесные	4,8-6,5	2,0-6,5	5,0-25,0	20-40
Органические		Торфяные; торфяно-болотные; торфяно-глеявые	3,0-5,0	5,0-30,0	20,0-200,0	

Установлено, что гранулометрический состав почв влияет на биодоступность содержащихся в ней радионуклидов Cs. Поглощенный ^{137}Cs сильнее закрепляется тяжелыми почвами, чем легкими, что определяется степенью дисперсности почвенных частиц. Таким образом, с увеличением дисперсности фракции поступление радионуклидов из почвы в растения и далее по пищевым цепочкам снижается.

Для прогнозирования динамики загрязнения ^{137}Cs животноводческой продукции на территории Брянской области, подвергшейся радиоактивному загрязнению до 2030 года, использовались данные расчетов плотностей загрязнения этим радионуклидом сельскохозяйственных угодий, выполненных

отдельно по каждому хозяйству. Расчеты велись для молока и говядины по плотностям загрязнения сенокосов и пастбищ. Прогностические расчеты плотностей загрязнения на каждый год для периода 2015-2030 гг. умножались на коэффициенты перехода (КП) для каждого вида продукции с учетом возможных объемов применения (или отсутствия) защитных и реабилитационных мероприятий (табл. 3). Данные о КП получены для отдаленного периода после аварии на Чернобыльской АЭС [4-6].

Для учета влияния защитных мероприятий на переход ^{137}Cs все сельскохозяйственные угодья разделены на три группы по объемам агрохимических работ [3].

Таблица 3

Коэффициенты перехода ^{137}Cs в продукцию животноводства, (Бк/кг)/(кБк/м²)

Продукция	Песчаные, супесчаные почвы			Легко-, среднесуглинистые почвы			Торфяно-болотные почвы		
	I*	II	III	I	II	III	I	II	III
Молоко	0,10	0,20	0,40	0,05	0,07	0,10	0,40	0,60	0,80
Говядина	0,40	0,60	0,80	0,10	0,25	0,40	1,50	2,00	2,40

* – Варианты применения защитных и реабилитационных мероприятий: I – интенсивное внедрение контрмер, II – умеренное внедрение контрмер, III – отсутствие защитных мероприятий

Результаты и обсуждение

Анализ результатов прогнозных оценок содержания ^{137}Cs в продукции животноводства (молоко и говядина), производящейся в хозяйствах исследуемых 6 юго-западных районов Брянской области, показал общее снижение уровней загрязнения данным радионуклидом сельскохозяйственной продукции на разных типах почв, а также объемах применения защитных мероприятий в среднем на 70 % за 15 лет (табл. 4).

Следует отметить, что наиболее загрязненными на данный момент по-прежнему остаются

Красногорский и Новозыбковский районы Брянской области, где суммарно сосредоточено более 40 % предприятий, производимая продукция которых в среднем при отсутствии контрмер может превышать установленный норматив по содержанию ^{137}Cs в молоке – в 3 раза, в говядине – в 2,8 раз. Даже с учетом умеренных контрмер производство продукции в этих районах невозможно вплоть до 2030 года и далее. При этом наиболее высокое содержание ^{137}Cs в произведенной продукции животноводства Брянской области предсказуемо наблюдается на торфяных типах почв, где в настоящее время в отдельных хозяйствах уровни содержания данного радионуклида составляют: в молоке – более 600 Бк/л и в говядине –

более 1900 Бк/кг, что превышает СанПин [5, 7] почти в 7 и 10 раз соответственно.

Таблица 4

Прогноз содержания ^{137}Cs в продукции животноводства Брянской области на разных типах почв и объемах применения защитных мероприятий

Район	Плотность загрязнения ^{137}Cs (2015 г.)						Плотность загрязнения ^{137}Cs (2030 г.)					
	молоко, Бк/л			говядина, Бк/кг			молоко, Бк/л			говядина, Бк/кг		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
	песчаный тип почвы											
Гордеевский	28	56	112	112	169	225	20	40	79	79	119	159
Злынковский	30	59	118	118	178	237	21	42	84	84	126	168
Климовский	13	26	51	51	77	103	9	18	36	36	54	73
Клинцовский	19	37	74	74	112	149	13	26	53	53	77	105
Красногорский	35	70	140	140	209	279	25	49	99	99	148	197
Новozyбковский	45	89	179	179	268	358	32	63	126	126	190	253
суглинистый тип почвы												
Гордеевский	14	20	28	28	70	112	10	14	20	20	50	79
Злынковский	15	21	30	30	74	118	10	15	21	21	52	84
Климовский	6	9	13	13	32	51	4	6	9	9	23	36
Клинцовский	9	13	19	19	46	74	7	9	13	13	33	53
Красногорский	17	24	35	35	87	140	12	17	25	25	62	99
Новozyбковский	22	31	45	45	112	179	16	22	32	32	79	126
торфяно-болотный тип почвы												
Гордеевский	112	169	225	421	562	674	79	119	159	298	397	477
Злынковский	118	178	237	444	592	711	84	126	168	314	419	503
Климовский	51	77	103	192	256	308	36	54	73	136	181	218
Клинцовский	74	111	149	279	372	446	53	79	105	197	263	316
Красногорский	140	209	279	523	698	838	99	148	197	370	493	592
Новozyбковский	179	268	358	671	894	1073	126	190	253	474	632	759

Рассматривая в отдельности каждый район Брянской области можно выделить сельскохозяйственные предприятия, в которых уже на данный момент производится «чистая» продукция независимо от типа почв и объемов применения защитных мероприятий, доля таких предприятий составляет 35 % и к 2030 году возрастет до 51 %. На территории Климовского района Брянской области располагаются 29 сельскохозяйственных предприятий, в 19 из них уже производится молоко, полностью удовлетворяющее нормативу, установленному СанПин [5].

Таким образом, в результате проведенного анализа была установлена общая тенденция снижения содержания ^{137}Cs в продукции животноводства. Показано, что в настоящее время производство молока и говядины, соответствующих СанПин, возможно в 40 (35 %) и 17 (15 %) КСХП соответственно, а к 2030 г. количество таких предприятий составит 59 (51 %) и 33 (29 %) соответственно.

Также анализ показал высокую эффективность и целесообразность различного рода реабилитационных мероприятий, направленных на оздоровление пострадавшей в результате аварии на ЧАЭС территории Брянской области. Интенсивное внедрение защитных и реабилитационных мероприятий позволит в значительной степени снизить производство молока и мяса с превышением допустимых уровней по содержанию ^{137}Cs .

Список литературы

1. Панов А.В., Гордиенко Е.В., Прудников П.В. Оценка и прогноз уровней загрязнения ^{137}Cs сельскохозяйственных угодий юго-западных районов Брянской области, подвергшихся воздействию от аварии на Чернобыльской АЭС // Агрехимический вестник. 2016. № 5. С. 10-14.
2. Научные основы реабилитации сельскохозяйственных территорий, загрязненных

радиоактивными веществами в результате крупных радиационных аварий: руководство / Под ред. Н.И. Санжаровой. Обнинск: ГНУ ВНИИСХРАЭ, 2009. 150 с.

3. Влияние защитных мероприятий на накопление ^{137}Cs сельскохозяйственными растениями из почвы после аварии на Чернобыльской АЭС / А.В. Панов [и др.] // Почвоведение. 2009. № 4. С. 484-497.

4. Ветеринарно-санитарные требования к радиационной безопасности кормов, кормовых добавок, сырья кормового. Допустимые уровни содержания радионуклидов ^{90}Sr и ^{137}Cs . Ветеринарные правила и нормы ВП 13.5.13/06-01 // Ветеринарная патология. 2002. № 4. С. 44-45.

5. СанПиН 2.3.2.1078-01. Гигиенические требования к безопасности и пищевой ценности пищевых

продуктов: санитарно-эпидемиологические правила и нормы. М.: Минздрав РФ, 2002. 164 с.

6. Иванов Ю.А. Радиоэкологическое обоснование долгосрочного прогнозирования радиационной обстановки на сельскохозяйственных угодьях в случае крупных радиационных аварий (на примере аварии на Чернобыльской АЭС): автореф. на соиск. ученой степ. д-ра биол. наук. Киев, 1997. 50 с.

7. СанПиН 2.3.2.2650-10. Гигиенические требования к безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов: санитарно-эпидемиологические правила и нормативы: дополнения и изменения №18 к СанПиН 2.3.2.1078-01. М.: Минздрав РФ, 2010. 13 с.

FORECAST OF ^{137}Cs CONTAMINATION OF AGRICULTURAL ANIMAL PRODUCTS ON THE TERRITORY OF THE BRYANSK REGION, AFFECTED DUE TO THE ACCIDENT AT THE CHERNOBYL NUCLEAR POWER PLANT

Gordienko E.V.

Russian Institute of Radiology and Agroecology, 249032 Kaluga region, Obninsk, Kievskoe shosse 109 km, Russian Federation

The forecast of changes in ^{137}Cs radioactive contamination of livestock products was made at the farm level in 6 southwestern districts of the Bryansk region, where Krasnogorsk and Novozybkov districts were the most contaminated and which have a total of more than 40 % of collective agricultural enterprises. In general, in the region at the moment, 35 % of agricultural enterprises for milk production and 15 % of enterprises for beef production can already be classified as "clean"; by 2030, this indicator will increase to 51 % and 29 %, respectively. The work shows high efficiency and feasibility of remedial actions.

Keywords: *Chernobyl NPP, forecasting estimates, radionuclides, radioactive contamination, agriculture, agricultural lands, animal products*

УДК 581.524.342:504.5:628.4.047

ВЕРТИКАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ РАДИОНУКЛИДОВ В ЛЕСНЫХ ПОЧВАХ, ПОВРЕЖДЕННЫХ ПОЖАРАМИ

Дворник А.А.¹, Шамаль Н.В.¹, Бачура Ю.М.², Сеглин В.Н.¹, Король Р.А.¹

¹ *Государственное научное учреждение «Институт радиобиологии Национальной академии наук Беларуси», 246007 Гомель, Федюнинского 4, Республика Беларусь
e-mail: aadvornik@gmail.com*

² *Учреждение образования «Гомельский государственный университет имени Ф. Скорины», 246019 Гомель, ул. Советская, 104, Республика Беларусь*

В работе приведены промежуточные данные выполнения проекта о роли радиационно-экологических факторов в сукцессионных процессах после лесных пожаров. Показано распределение ^{137}Cs в лесных почвах, поврежденных пожарами. Воздействие пирогенного фактора на почву приводит к высвобождению радионуклидов из фиксированных форм и способствует их переходу в доступные для растений фракции. На горельниках в верхнем слое почвы концентрация ^{137}Cs выше, чем в почве аналогичного слоя на контрольных участках.

Ключевые слова: *лесные пожары, горельники, доступные формы, радионуклиды*

Введение

В процессе круговорота веществ в экосистемах происходит биогенная миграция радионуклидов и их

распространение во все элементы экосистемы, в том числе и в растительную биомассу, которая является потенциальным горючим материалом. Полное восстановление первоначального уровня органического материала после пожара занимает около 10 лет [1]. На сегодняшний день каждый лесной пожар на радиоактивно загрязненной территории создает условия для транслокации загрязняющих веществ как в почве, так и в наземно-воздушной среде.

В настоящее время остаются практически не изученными миграционные процессы радионуклидов на постпирогенных территориях (гари и горельники). Пожары в лесах приводят к образованию пирогенно-трансформированных почв, существенно отличающихся своими характеристиками от ненарушенных огнем почв [2]. Верхние почвенные горизонты на радиоактивно загрязненных землях являются основным депо радионуклидов, сконцентрировавшихся в виде простых оксидов после сгорания лесных горючих материалов. Изменение свойств почв на таких территориях после крупных природных лесных пожаров приводит к образованию доступных физико-химических форм радионуклидов, миграционная способность которых существенно выше, чем у изотопов, прошедших естественный путь почвенной трансформации [3].

Цель работы – изучить особенности распределения долгоживущих радионуклидов Чернобыльского генезиса на пирогенно-трансформированных и ненарушенных лесных почвах. Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований на 2018-2020 гг.

Материалы и методы

Объектом исследования являлись лесные почвы на участках, поврежденных пожарами, и контрольные участки со схожими экологическими условиями. Постоянные пробные площади выбирались с учетом плотности радиоактивного загрязнения территории, типа леса и возраста насаждений, а также в зависимости от постпирогенных характеристик территории – тип и давность пожара.

Для исследования были подобраны две пробные площади. Первый участок находится на территории Ветковского спецлесхоза (Гомельская область), поврежденный низовым пожаром средней интенсивности с общей площадью 1,5 га. Второй участок расположен на территории Полесского государственного радиационно-экологического заповедника (ПГРЭЗ), в районе бывшего населенного пункта Кошушки. Участок был повержен воздействию верхового пожара сильной интенсивности с общей площадью до 10 тыс. га. Характеристика площадок представлена в таблице 4.

Отбор почвенных образцов проводился стандартным пробоотборником почвы диаметром 5 см на глубину 20 см на учетной площадке размером 50 ×

50 см, закладываемой в наиболее характерном для данного участка месте. Количество площадок варьировало от 10 до 15. Одинаковые по глубине слои смешивались и готовились объединенные пробы почвы.

Выделение форм ^{137}Cs проводили по модифицированной методике [4]. Массу навески почвы для анализа брали с учетом, чтобы ее активность (на пробу) составляла 100-400 Бк. Извлечение форм ^{137}Cs осуществлялось в следующей последовательности: обменная и подвижная формы → форма, связанная с оксидами железа и марганца → форма, связанная с органическими соединениями → кислоторастворимая форма → нерастворимая форма.

Результаты и их обсуждение

Анализ данных показал, что удельная активность почв с горельников по ^{137}Cs была выше в сравнении с почвами контрольных участков. Плотность загрязнения почвы с горельника после низового пожара увеличилась на 15 %, почва с горельника после верхового пожара – на 20 %. Для горельников низового пожара увеличение удельной активности ^{137}Cs и соответственно плотности загрязнения отмечено по всему горизонту почвы (0-20 см), для горельника верхового пожара – для органического горизонта (0-5 см).

Анализ почвы (слой 0-5 см) контрольных участков показал, что около 75 % общей активности ^{137}Cs находится в почве в недоступной для растений форме (IV-V формы). Доля обменного и подвижного ^{137}Cs составляет менее 0,5 % (I форма). 2 % и 3,5 % составляет форма ^{137}Cs , связанного с оксидами железа и марганца (II форма) соответственно для контрольных почв Ветковского района и ПГРЭЗ. Около 21 % ^{137}Cs связано с органическим веществом почв (III форма).

Пожары на этих участках привели к изменению соотношения физико-химических форм ^{137}Cs в почвах по сравнению с почвами контрольных участков. Общим для двух участков отмечено увеличение формы, связанной с оксидами металлов (II форма), и уменьшение активности нерастворимой формы (V форма).

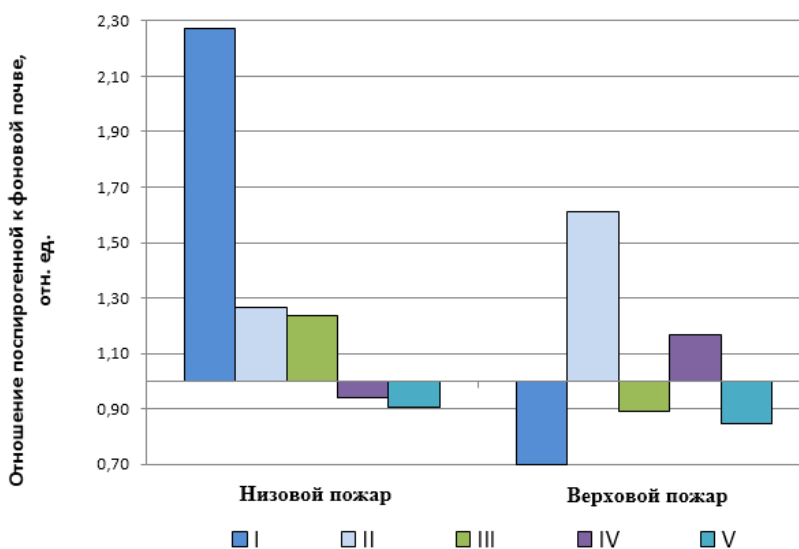
На рисунке 1 приведены данные распределения физико-химических форм по верхним слоям почвенного профиля.

В горизонте почв 5-10 см контрольных участков доля недоступной для растений формы (IV-V формы) незначительно снижается по сравнению с верхним слоем (5-10 см) и варьирует в границах 70 % общей активности ^{137}Cs . Доля обменного и подвижного ^{137}Cs составляет менее 0,7 % (I форма). 3,6 % и 2,7 % составляет форма ^{137}Cs , связанная с оксидами железа и марганца (II форма) соответственно для контрольных почв Ветковского района и ПГРЭЗ. Около 26 % ^{137}Cs связано с органическим веществом почв (III форма).

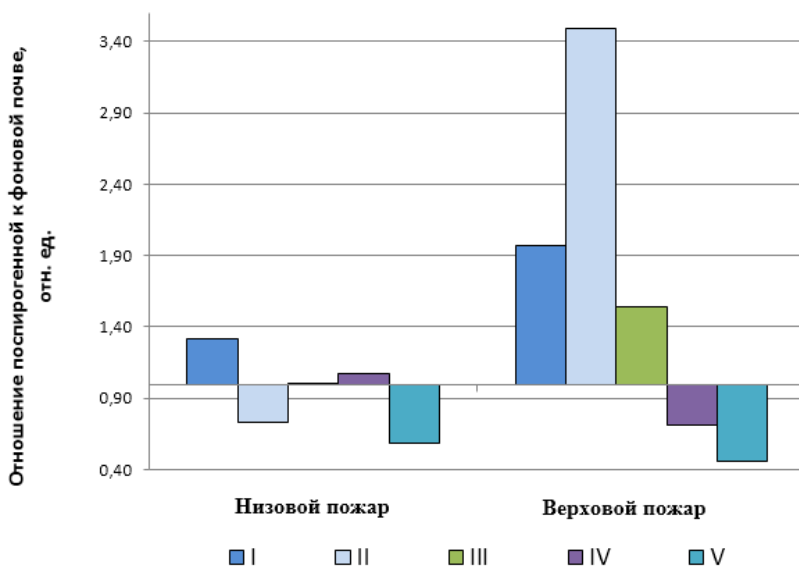
На постпирогенном участке, образованном после низового пожара, установлено увеличение форм доступных для растений и фиксированной на минеральной компоненте (I-IV формы). Предположительно это связано с увеличением подвижности радионуклидов верхнего слоя почвы. Это предположение подтверждается при сравнении долевого распределения ^{137}Cs между формами контрольного и постпирогенного участков (Рисунок 1Б).

На постпирогенном участке, образованном после верхового пожара, наблюдается схожая тенденция.

Установлено увеличение форм доступных для растений (I-III формы). При сравнении долевого распределения ^{137}Cs также было отмечено увеличение доли этих форм в общем запасе радионуклида в данном горизонте. Это может быть следствием не только вымывания подвижных форм радионуклида из верхнего горизонта, но температурным воздействием на этот горизонт.



А)



Б)

Рисунок 1 – Влияние пожаров разного типа на изменение содержания форм ^{137}Cs в почвенных слоях 0-5 см (А) и 5-10 см (Б). I – обменная и подвижная; II – связанная с оксидами железа и марганца; III – связанная с органическим веществом; IV – кислоторастворимая форма; V – нерастворимый остаток

Заклучение

Таким образом, Почвы горельников характеризуются повышением радиационного фона и более высокими значениями плотности радиоактивного загрязнения. На горельниках в верхнем слое почвы концентрация ^{137}Cs выше, чем в почве аналогичного горизонта на контрольном участке. По почвенному профилю распределение активности ^{137}Cs варьирует в зависимости от типа пожара.

В верхнем слое почвы 0-10 см около 72 % активности ^{137}Cs находится в фиксированной форме (IV-V формы). На долевое распределение форм ^{137}Cs в почве горельников влияет интенсивность теплового воздействия в ходе пожара. Для слоя 0-5 см почв постпирогенных участков установлено увеличение активности формы ^{137}Cs , связанной с оксидами металлов (II форма), за счет уменьшения активности нерастворимой формы (V форма). Для горизонта 5-10 см отмечено увеличение биологически доступных для растений форм радионуклида (I-III формы), что

является следствием их вымывания из верхнего горизонта

Список литературы

1. Johnson D.W., Curtis P.S. Effects of forest management on soil C and N storage: meta analysis // For. Ecol. Manage. 2001. Vol. 140. 227-238.
2. Almendros G., Gonzalez-Vila F.J., Martin F. Fire-induced transformation of soil organic matter from an oak forest: an experimental approach to the effects of fire on humic substances // Soil Sci. 1990. Vol. 149. 158-168.
3. Investigation of the vertical distribution and speciation of ^{137}Cs in soil profiles at burnt and unburnt forest sites in the Belarusian Exclusion Zone / M. Dowdall [et al.] // Journal of Environmental Radioactivity. 2017. Vol. 175-176. 60-69.
4. Chemical speciation in the environment. Second edition / Ed. by A. M. Ure, C. M. Davidson. – Wiley, 2002. 452 p.

VERTICAL DISTRIBUTION OF RADIONUCLIDES IN FOREST SOILS DAMAGED BY FIRE

Dvornik A.¹, Shamal N.¹, Bachura Y.², Seglin V.¹, Korol R.¹

¹ Institute of radiobiology of NAS of Belarus, 246007 Gomel, Fedyuninsky 4, Belarus

² Gomel State University, 246019 Gomel, Soviet st., 104, Belarus

The paper presents interim data on the project about the influence of environmental radioactivity on succession after forest fires. The data on distribution of ^{137}Cs in forest soils damaged by fires is shown. The impact of the pyrogenic factor on the soil leads to the extrication of radionuclides from fixed forms and contributes to its transfer into plants. On the burnt territories in the top layer of the soil, ^{137}Cs concentration is higher than in the soil of the control plots.

Keywords: forest fires, burnt territories, available forms, radionuclides

МОНИТОРИНГ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ СЕВЕРНЫХ ТЕРРИТОРИЙ В РАМКАХ РОССИЙСКО-НОРВЕЖСКОЙ ПРОГРАММЫ СОТРУДНИЧЕСТВА

Епифанов А.О., Вакуловский С.М., Уваров А.Д., Ромашин Д.В., Тарасенко А.О.

ФГБУ «Научно-производственное объединение «Тайфун» Росгидромета РФ

249031 Калужская обл., Обнинск, Победы, 4, Российская Федерация

e-mail: epifanov@rpatyphoon.ru

Представлены некоторые результаты реализации единой мониторинговой программы специалистов из Норвегии и ФГБУ «НПО «Тайфун», полученные при изучении содержания техногенных радионуклидов в воде, донных отложениях и биоте Баренцева моря.

Ключевые слова: Баренцево море, техногенные радионуклиды, радиоэкологический мониторинг, АПЛ «Комсомолец», дистанционно управляемый подводный манипулятор ROV Egir 6000

Изучение радиоэкологического состояния арктических морей ассоциируется, в первую очередь, с исследованием Баренцева моря: по сравнению с другими морями Северного Ледовитого океана оно подвержено наиболее сильному влиянию потока вод из

Северной Атлантики, который в настоящее время является основным источником радиационного загрязнения в данном регионе [1]. Регулярные наблюдения, проводимые с 1963 г., позволили получить большой объем данных о содержании техногенных

радионуклидов в компонентах морской среды, определить вклады различных источников поступления радионуклидов [2]. Проблема контроля радиозологической ситуации в Баренцевом море является актуальной не только для специалистов России, но и для коллег из государств Северной Европы, в частности, Норвегии.

Многолетние совместные исследования радиозологической обстановки в Баренцевом море и его прибрежных районах проводятся радиозологами из Норвегии и специалистами ФГБУ «НПО «Тайфун». Целью выполняемых работ является разработка и реализация единой мониторинговой программы с общими объектами наблюдений и одинаковыми методическими принципами для обеспечения возможности отслеживать тренды в радиационной обстановке как в прибрежных районах Баренцева моря, так и в районах открытого моря. В рамках этих программ на морских и береговых станциях ведется контроль содержания техногенных радионуклидов в компонентах морской экосистемы. Экспериментальные исследования выполняются на трех станциях в открытом море, а также в окрестностях п. Териберка (побережье Кольского полуострова) – Рисунок 1. Проводятся следующие научно-исследовательские работы:

- мониторинг радиоактивного загрязнения морской воды в Баренцевом море и российской береговой станции: отбор проб морской воды, предварительная обработка; анализ содержания отдельных искусственных (^{137}Cs , ^{90}Sr , $^{239,240}\text{Pu}$, тритий) радионуклидов;

- исследование уровней содержания отдельных радионуклидов в пробах биоты (водоросли, рыба, мидии, донные отложения, почва, грибы, ягоды, лишайник) в районе российской береговой станции;

- определение на основании полученных результатов некоторых экспериментальных параметров, необходимых для радиозологического моделирования экосистемы Баренцева моря [3].

К настоящему времени в рамках программы получены временные ряды данных о содержании радионуклидов в морской воде, донных отложениях и различных видах биоты Баренцева моря. Приоритетным является контроль техногенных радионуклидов (^{137}Cs , ^{90}Sr , $^{239+240}\text{Pu}$, тритий). Получены данные о содержании некоторых естественных радионуклидов (^{226}Ra , ^{228}Ra и ^{210}Pb) в пробах морской воды.

Норвежская сторона передает данные в тематический центр данных АМАП (AMAP Thematic Data Center). Некоторые результаты наблюдений в период 2006-2018 гг. приведены ниже, а также представлены на рисунках 2 и 3.

Суммарное содержание радионуклидов $^{239+240}\text{Pu}$ в фильтрате морской воды за период наблюдений 2006-2018 гг. на станции прибрежного мониторинга п. Териберка находилось в диапазоне $3,9 \div 7,5$ мБк/м³; на взвеси величины определяемой удельной активности были, как правило, на порядок ниже. Содержание трития в морской воде (п. Териберка) составляло

$360 \div 940$ Бк/м³, а на станциях в открытом море – $220 \div 920$ Бк/м³.

Суммарная неопределенность результатов измерений ^{137}Cs и ^{90}Sr , представленных на рисунках 2 и 3, составляет не более 50 % ($P = 0,95$).

В 2019 г. Норвежским агентством по радиационной и ядерной безопасности (DSA) и Институтом морских исследований (IMR) была организована экспедиция для мониторинга радиационной обстановки на месте затопления АПЛ К-278 «Комсомолец» с участием специалистов Норвежского университета естественных наук и ФГБУ «НПО «Тайфун». Экспедиция проводилась 6-10 июля на НИС «G.O. Sars». Для обследования корпуса К-278, отбора проб воды, донных отложений, биоты, а также для сопутствующих измерений параметров дна и воды был использован норвежский передовой глубоководный робот – дистанционно управляемый манипулятор (ROV) Egir 6000.

Установленная на ROV аппаратура позволила составить модель состояния корпуса АПЛ и дна в районе её затопления, а также визуально в высоком качестве зафиксировать состояние корпуса и процесс отбора проб. Особое внимание при проведении обследования было уделено отбору проб и визуальным наблюдениям в районе шахты подачи воздуха к дизельным генераторам и компрессорам системы ВВД (далее шахта). У верха шахты наблюдалось явление «облака» – видимый по взвешенным частицам шлейф, визуальное распространение которого на некоторое расстояние от верха шахты также фиксировалось.

Пробы морской воды, взятые из шахты (около 30 см внутрь от её верха) и рядом с металлической решёткой рядом с шахтой, были взяты с помощью пробоотборника объемом 1 л. Этот метод отбора проб позволил отобрать воду из очень дискретной точки. Также были взяты образцы с бутылками Niskin (2 л или 10 л). Экспресс-анализ образцов гамма-спектрометрическим методом выполнен на борту НИС «G.O. Sars» на системе NaI Lorakon с временем измерения 1 час в геометриях 200 мл. Ниже представлены предварительные результаты измерений, полученные таким способом норвежскими специалистами.

Исходные пробы морской воды, взятые из шахты, дали уровни обнаружения <8 Бк/л по ^{137}Cs . Образцы морской воды, взятые по обе стороны от реакторного отсека одновременно, показали те же пределы обнаружения. Проба морской воды, взятая на 3 метра выше отверстия шахты несколько часов спустя, показала тот же предел обнаружения. В основном, образцы морской воды, взятые из шахты, когда наблюдалось явление «облака», дали результат для ^{137}Cs около (90 ± 10) Бк/л. Пробы, взятые в «облаке» чуть выше отверстия шахты, дали пределы обнаружения $<8,4$ и $<8,2$ Бк/л по ^{137}Cs . При наблюдении явления «облака», выходящего из металлической решётки рядом с отверстием шахты, образец воды, собранный рядом с решёткой, дал самое высокое наблюдаемое значение по ^{137}Cs : (867 ± 60) Бк/л. Некоторое

количество материала в виде частиц было собрано с решётки по окончании отбора этого образца. Поэтому позднее данный образец морской воды был отфильтрован и повторно проанализирован. Последующий результат для ^{137}Cs составил (840 ± 60) Бк/л, что указывает на нахождение ^{137}Cs в растворимой фазе.

В соответствии с [4] фоновую удельную активность одного из основных естественных радионуклидов ^{40}K в месте затопления АПЛ можно оценить как

$$A = 9,1 \cdot S \quad (1)$$

где 9,1 - эквивалент солёности 1‰ океанской воды (пКи/л); S – солёность воды, ‰.

В соответствии с [5] солёность воды в месте затопления АПЛ составляет 35‰. Используя (1), получаем значение удельной активности ^{40}K около 12 Бк/л. Таким образом, предварительные результаты измерений удельной активности по ^{137}Cs проб из «облака» непосредственно рядом с верхом шахты оценочно в 10–100 раз превосходят фоновое значение естественных радионуклидов в районе затопления АПЛ «Комсомолец». Окончательное заключение о состоянии радиоактивного загрязнения морской среды в обследованном районе и прилегающих районах будет сделано позднее на основе детального анализа отобранных проб в лабораторных условиях.

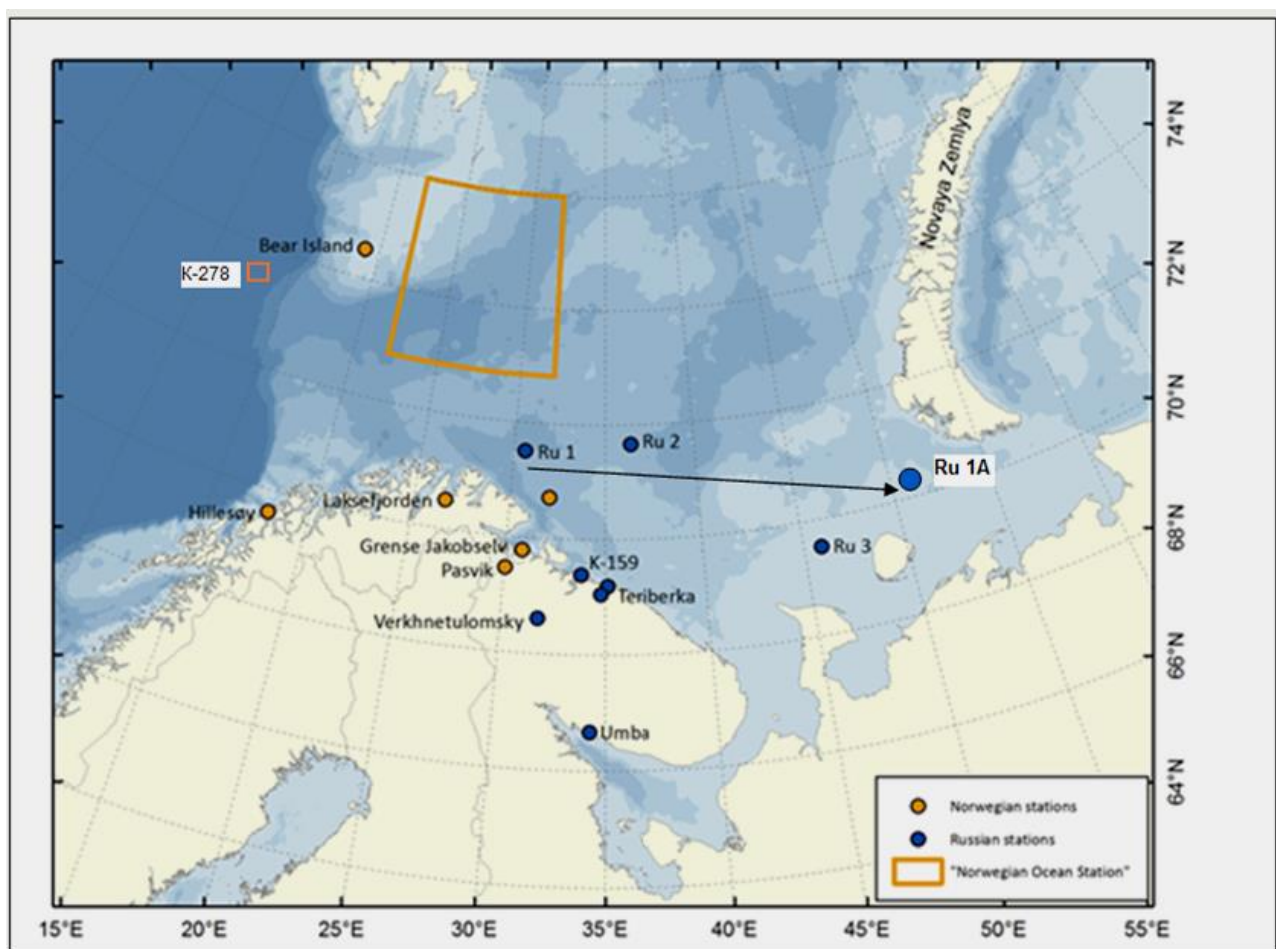


Рисунок 1 – Станции, участвующие в совместной программе мониторинга

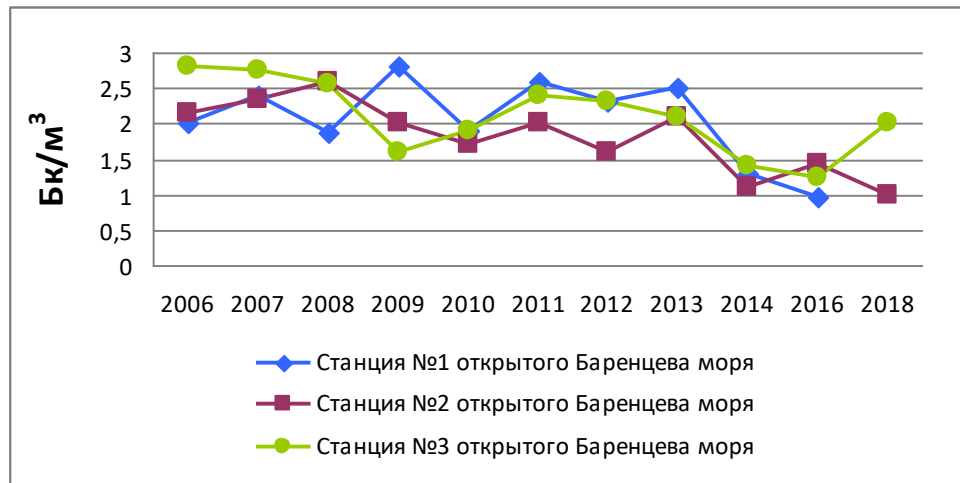


Рисунок 2 – Объёмная активность ¹³⁷Cs в морской воде на станциях Баренцева моря

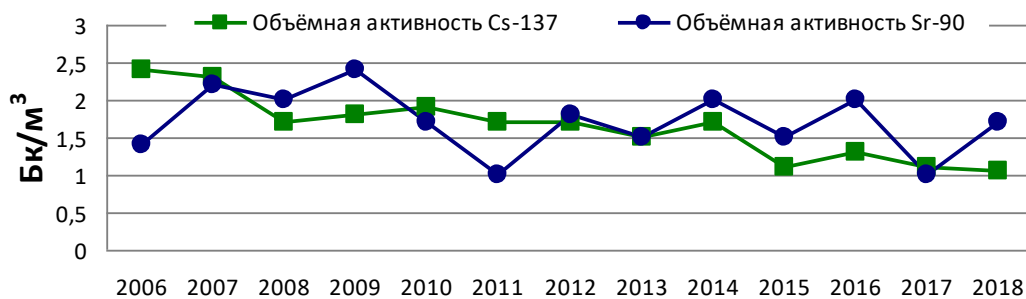


Рисунок 3 – Объёмная активность ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr в воде (станция прибрежного мониторинга)

Таким образом, несмотря на наличие к настоящему времени значительного объема информации о радиозоологическом состоянии морской среды Баренцева моря, целесообразно продолжение проведения систематических радиологических исследований в этом регионе для выявления возможных радиозоологических рисков.

Список литературы

1. Ильин Г.В. Содержание техногенного изотопа ¹³⁷Cs в Западной части Баренцева моря по результатам экспедиций 2017 года / Ильин Г.В., Усягина И.С., Валуйская Д.А. и др.// Труды Кольского научного центра РАН. 2018. Т.9.№ 4-5. С.131-139.

2. Вакуловский С.М. Техногенные радионуклиды в Баренцевом море // Атомная энергия. 2013. Т. 114. Вып. 5. С. 296-299.

3. Отчет о выполнении НИР по совместному российско-норвежскому проекту «Исследование радиоактивного загрязнения морской среды Баренцева моря» между ФГБУ «НПО «Тайфун» Росгидромета и Норвежским агентством по радиационной защите. - Обнинск, 2015. 33 с.

4. Перцов Л.А. Биологические аспекты радиоактивного загрязнения моря. М: Атомиздат. 1978. 160 с.

5. Атлас океанов. Северный Ледовитый океан. М: Минобороны СССР. Военно-морской флот. Под ред Горшкова С.Г. 1980.

MONITORING OF RADIOACTIVE CONTAMINATION OF NORTHERN TERRITORIES IN THE FRAMEWORK OF RUSSIAN-NORWEGIAN COOPERATION PROGRAMM

Epifanov A.O., Vakulovsky S.M., Uvarov A.D., Romashin D.V., Tarasenko A.O.

Research and Production Association «Typhoon» of Roshydromet RF, 249031 Kaluga Region, Obninsk, Pobedy, 4, Russian Federation

Some results of researching technogenic radionuclides content in Barents Sea water, sediments and biota realized with specialists from Norway and RPA «Typhoon» in the framework of joint monitoring program are presented.

Keywords: *Barents Sea, technogenic radionuclides, radioecological monitoring, NPS «Komsomolets», remote operated vehicle (ROV) Egir 6000*

УДК 504.4.054: 539.16

ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМ НАХОЖДЕНИЯ РАДИОНУКЛИДОВ В ВОДНЫХ ОБЪЕКТАХ ПЛОЩАДКИ «ДЕГЕЛЕН» МЕТОДОМ КАСКАДНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ

Жапашева Ж.Е., Айдарханова А.К.

Филиал «Институт радиационной безопасности и экологии» РГП НЯЦ РК

071100 Восточно-Казахстанская область, г. Курчатов, улица Бейбіт атом, 2Б, Республика Казахстан

Zhapasheva_zh@nnc.kz

Исследованы формы нахождения радионуклидов ^{90}Sr , ^{137}Cs , $^{239+240}\text{Pu}$ и ^{238}U в зависимости от размера частиц в водотоках припортовых участков штолен 104, 165, 504 и 609 площадки «Дегелен» методом каскадной фильтрации. Определено распределение исследованных радионуклидов в водах площадки «Дегелен» по формам нахождения.

Ключевые слова: *формы нахождения, каскадная фильтрация, радионуклиды, коллоид, площадка «Дегелен»*

Изучение форм нахождения радионуклидов в воде, в значительной степени определяющих их биологическую доступность, представляет научную и практическую значимость при составлении оценки и прогнозов миграции радионуклидов в экосистемах.

Вследствие проведения ядерных испытаний на территории Семипалатинского испытательного полигона (СИП) произошло значительное радиоактивное загрязнение окружающей среды, в том числе и поверхностных вод. При этом формы нахождения радионуклидов в воде и их распределение изучены достаточно слабо, что может повлечь за собой некорректную оценку загрязненных водоемов, как источников радиационной опасности для природной среды и человека.

В настоящее время существует ряд методов, которые позволяют определить формы нахождения радионуклидов и других микрокомпонентов природных вод. Лабораторный анализ определения форм нахождения прикладными методами состоит из фракционирования, выделения, идентификации и количественного определения отдельных радионуклидов в объектах окружающей среды [1]. В основе методологии данного исследования лежит метод каскадной фильтрации, который позволяет выделять взвешенные, коллоидные и растворенные формы радионуклидов.

Для выделения различных форм выбран каскад из 6 фильтров (рисунок 1). В ходе фракционирования воду последовательно пропускали через фильтры с различным диаметром пор – от 8 мкм до 0,003 мкм. На последних ступенях фильтрации, для определения коллоидных форм нахождения, использовались ультрафильтрационные мембраны. После каждой ступени фракционирования отбиралась аликвота для определения содержания радионуклидов в каждой фракции.

Для проведения исследования выбраны водные объекты СИП, расположенные на площадке «Дегелен» в которых, согласно ранее полученным результатам, фиксировались численные значения содержания радионуклидов в воде [2-3]. Изученные поверхностные водные объекты площадки «Дегелен» – это водотоки припортовых участков штолен 104, 165, 504 и 609, характеризующиеся динамичной средой.

В результате проведенных работ изучено распределение радионуклидов по формам нахождения в водотоках припортовых участков штолен площадки «Дегелен» методом каскадной фильтрации. Установлено, что основной формой нахождения ^{90}Sr во всех изученных водах с припортовых участков штолен является растворенное вещество. Но также наблюдается распределение до 10 % от общего содержания данного радионуклида в воде штольни 165 в коллоидной форме. Преимущественной формой нахождения ^{137}Cs в исследованных водах является растворенная форма, однако распределение данного радионуклида отмечается в виде грубой взвеси до 5 % в воде штольни 609. Для $^{239+240}\text{Pu}$ свойственно нахождение в различных формах, с преобладанием растворенных и взвешенных, при этом соотношение форм нахождения зависит от изучаемого объекта. Определены формы нахождения ^{238}U в исследованных водах. Установлено, что преимущественной формой нахождения данного радионуклида в водах с водотоков штолен площадки «Дегелен» является растворенная форма (до 60 % от общего содержания). Также наблюдается распределение в виде грубой взвеси, взвешенного вещества и псевдоколлоидов.

Полученные результаты позволяют судить о миграционной способности радионуклидов в наиболее загрязненных водных объектах площадки «Дегелен» с целью выполнения прогнозных оценок радиационной ситуации на загрязненных территориях.



Рисунок 1 – Схема последовательной каскадной фильтрации для определения форм нахождения радионуклидов

Список литературы

1. Salbu B., Skipperud L. Speciation of radionuclides in the environment // Journal of Environmental Radioactivity 100. 2009. PP. 281–282
2. Айдарханова А.К., Лукашенко С.Н. Современные уровни загрязнения и характер распределения радионуклидов в системе «вода-донные отложения» водных объектов территории Семипалатинского

испытательного полигона и прилегающих территорий // Радиационная биология. Радиоэкология. М., 2017. Т. 57 (№3). С. 286-296

3. Aidarkhanova A.K., Lukashenko S.N., Larionova N.V., Polevik V.V. Radionuclide transport in the “sediments – water – plants” system of the water bodies at the Semipalatinsk test site // Journal of Environmental Radioactivity. 2018. Vol. 184–185. PP. 122-126

RESEARCH OF THE RADIONUCLIDES SPECIATION IN SURFACE WATER OF THE «DEGELEN» TEST SITE USING THE CASCADE FILTRATION METHOD

Zhapasheva Zh.Ye., Aidarkhanova A.K.

Branch 'Institute of Radiation Safety and Ecology' RSE NNC RK
071100 East-Kazakhstan region, Kurchatov, 2B Beibit Atom Str., Kazakhstan

The speciation of ^{90}Sr , ^{137}Cs , $^{239+240}\text{Pu}$ and ^{238}U radionuclides depending on the particle size in the streamflows in tunnels 104, 165, 504 and 609 of the «Degelen» test site using cascade filtration method were studied. The distribution of radionuclides by the speciation in the studied water bodies of the Degelen test site was determined.

Keywords: speciation, cascade filtration, radionuclides, colloid, «Degelen» test site

УРОВНИ СОДЕРЖАНИЯ ТРИТИЯ В ПОВЕРХНОСТНОЙ И ПИТЬЕВОЙ ВОДЕ ГОРОДА ОБНИНСКА И ЕГО ОКРЕСТНОСТЕЙ

Зубачева А.А., Каткова М.Н., Тарасенко А.О., Шестерикова Е.М.

ФГБУ «Научно-производственное объединение «Тайфун» Росгидромета РФ

249031 Калужская обл., Обнинск, Победы, 4, Российская Федерация

e-mail: sapozhnikova@rpatyphoon.ru

Оценка состояния окружающей природной среды и уровень ее загрязнения является важной задачей мониторинга в современном мире. Особенно это касается радиоактивного воздействия, обнаружение которого должно быть своевременным для минимизации негативного воздействия. Высокое содержание трития – представляет собой потенциальную опасность для окружающей среды и здоровья человека, благодаря подвижности и высокой биологической активности радионуклида. В данной работе приводятся данные о современных уровнях концентрации трития в поверхностной и питьевой воде в городе Обнинске и его окрестностях, которые необходимы для отслеживания тенденций в изменении уровней загрязнения.

Ключевые слова: *тритий, метод жидкостной сцинтилляции, питьевая вода, изотопное обогащение, Quantulus-1220, Обнинск.*

Введение

Тритий – радиоактивный изотоп водорода, имеющий период полураспада 12,3 года. Естественным источником поступления трития является атмосфера, в которой он образовывается в процессе взаимодействия комического излучения с ядрами атомов азота, кислорода и аргона. Тритий претерпевает распад с максимальной энергией β - частиц 18,6 кэВ. При нахождении вне организма тритий серьезной угрозы не представляет, так как обладает невысокой проникающей способностью. При внутреннем облучении он оказывает пагубное влияние на здоровье человека, это связано с тем, что попадая в организм, тритий замещает водород во всех его соединениях с азотом и кислородом, при этом нарушая генетическую составляющую клеток при испускании β - частиц.

Еще одним источником поступления трития в окружающую природную среду является эксплуатация предприятий ядерно-топливного цикла. В г. Обнинске работают несколько предприятий, которые используют в своей деятельности ядерную энергию. Наибольший интерес в рамках нашей работы представляет АО «ГНЦ РФ ФЭИ им. А.И. Лейпунского». На территории института расположено хранилище твердых радиоактивных отходов, в которых находится большое количество тритиевых мишеней. Мишени использовались на ускорительных установках для получения потока нейтронов. При хранении мишеней идут разнообразные процессы выхода трития в окружающую среду. Попадание влаги в емкости увеличивает выход трития.

Материалы и методы

Отбор проб поверхностной и питьевой воды производился в г. Обнинске и в его окрестностях в мае

2019 года. Было отобрано 23 пробы природной воды. Объемная активность трития в пробах воды определялась методом жидкостной сцинтилляции с помощью радиометра Quantulus-1220. Определение активности трития в воде основано на измерении суммарного бета счета в энергетическом диапазоне 0-18,6 кэВ. Радиометр Quantulus-1220 является уникальным, низкофоновым жидко-сцинтилляционным счетчиком, который позволяет измерять объемную активность трития в водной пробе на уровне 1 Бк/л без изотопного обогащения.

Проба, отобранная вблизи промплощадки ГНЦ РФ ФЭИ, была проанализирована путем прямого измерения. Для остальных проб проводилось обогащение тритием методом электролиза. Предварительно воду фильтровали с целью очистки ее от взвешенных частиц, а затем дистиллировали пробы в специально сконструированной установке с добавлением азотнокислого свинца и марганцовокислого калия для осаждения солей и окисления органики. Пробы смешивались со сцинтилляционной жидкостью в пластиковых виалах [1].

Результаты и их обсуждения

Вопрос, о содержании трития в поверхностной и питьевой воде на территории города Обнинска представляет большой интерес, так как в подземных водах в течение ряда лет наблюдалось повышенное содержание трития. Поступление трития в подземные воды связано с нарушением герметичности хранилищ твердых радиоактивных отходов АО «ГНЦ-ФЭИ» [2].

Исследования, проводимые специалистами ФГБУ «НПО «Тайфун», показали, что максимальное значение объемной активности трития в водных пробах, отобранных в роднике вблизи промплощадки АО «ГНЦ РФ ФЭИ» составляло 50400 Бк/л (период

исследования 1995-2003 гг.), что почти в 7 раз превышает уровень вмешательства [3]. В последующие годы также был проведен ряд эпизодических исследований по уровню содержанию трития в природных водах города, которые показали, что содержания трития в пробах воды было выше фоновых значений, а в некоторых точках превышало уровень вмешательства [4].

В мае 2019 года сотрудниками ФГБУ «НПО «Тайфун» был произведен отбор проб поверхностной и питьевой воды в г. Обнинске, а также в г. Белоусово и д. Потресово. Места отбора водных проб с измеренной объемной активностью трития приведены в таблице 1.

Таблица 1

Объемная активность трития в отобранных образцах воды

№	Место отбора проб	Объемная активность трития, Бк/л
1	Белкинский пруд	2,02
2	Ручей возле лыжероллерной трассы	2,08
3	Сток возле дворца спорта «Олимп»	1,10
4	Ручей возле дворца спорта «Олимп»	1,11
5	Родник возле дворца спорта «Олимп»	1,10
6	Сток справа от горнолыжной трассы	1,74
7	Родник у р.Протва	14,66
8	Ручей рядом с р. Протва, пляж у ангара	3,21
9	Р. Протва, пляж у ангара	0,73
10	Ручей Репинка, за мостом	2,00
11	Р. Протва, городской пляж	1,68
12	Ручей у «поплавка»	0,43
13	Болото вблизи промплощадки АО «ГНЦ РФ ФЭИ»	275,02
14	Ручей возле мототрассы	4,85
15	Плотина, р. Протва	1,52
16	Скважина в д. Потресово	0,43
17	Колодец д. Потресово	2,14
18	Водопроводная вода на территории экспериментального корпуса МРНЦ им. А.Ф. Цыба	0,78
19	Водопроводная вода ул. Гагарина д.24	3,72
20	Водопроводная вода АО «ПИК – Индустрия»	1,74
21	Водопроводная вода ул. Маркса д.79	4,26
22	Скважина г. Белоусово	1,72
23	Водопроводная вода г. Белоусово	2,65

Как видно из таблицы 1, наибольшее значение объемной активности трития из отобранных проб зафиксировано в болоте вблизи промплощадки ГНЦ РФ ФЭИ и составило 275,02 Бк/л, что превышает уровень техногенного фона, который составляет 1-5 Бк/л, но ниже уровня вмешательства в 27,6 раза (7600 Бк/л). Также повышенное значение, по сравнению с фоновым содержанием, наблюдалось в пробе, отобранной в роднике рядом с р. Протва, и составило 14,66 Бк/л. В 2018 году было отобрано несколько проб воды для анализа из трех скважин на территории ГНЦ РФ ФЭИ, максимальная измеренная объемная активность составила 3338 Бк/л, а в 2010 году в пробах воды, отобранных на площадке, объемная

активность трития двукратно превысила уровень вмешательства и составила 14990 Бк/л [5].

В водных пробах, отобранных в окрестностях города Обнинска, а именно, в г. Белоусово и д. Потресово объемная активность трития колеблется в пределах 0,43-2,65 Бк/л, что соответствует среднему значению объемной активности трития для пресной воды рек Европейской территории России в 2018 году (1,70 Бк/л). В водопроводной воде в различных точках города объемная активность трития находилась на уровне или ниже среднего значения по городу за предыдущий год (3,77 Бк/л).

Динамика изменения среднегодового содержания трития в водопроводной воде, отобранной на территории ФГБУ «НПО «Тайфун», с 2005 г. по 2018

г. представлена на рис. 1. Из рисунка видно, что содержание трития в воде постепенно снижается. За указанный период оно уменьшилось примерно в 30 раз.

Максимальное измеренное разовое содержание трития в водопроводной воде г. Обнинска за весь период наблюдения было зарегистрировано в 1999 г. и составляло 150 Бк/л, минимальное – 0,86 Бк/л зарегистрировано в 2017 г. [6]

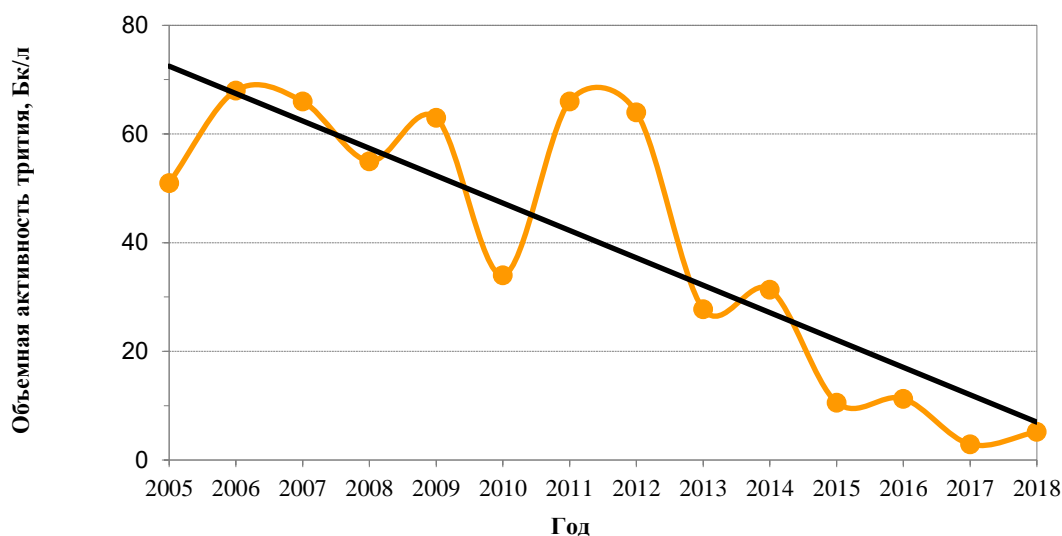


Рисунок 1 – Динамика содержания трития в водопроводной воде на территории ФГБУ «НПО «Тайфун»

Следует также отметить, что отбор проб был произведен в засушливое время (до отбора несколько недель не было осадков), а, как известно, одним из путей выхода радионуклида является контакт захороненных мишеней с водой, при этом усиливаются обменные реакции трития и радикалов воды. Поэтому данная работа будет продолжена для получения целостной картины миграции трития в природных водах при различных погодных условиях.

Заключение

В ходе данного исследования была получена информация о современных уровнях содержания трития в поверхностной и питьевой воде в г.Обнинске и его окрестностях. Анализ полученных данных, а также многолетние наблюдения за уровнем содержания трития в водопроводной воде в ФГБУ «НПО «Тайфун», позволяет сделать вывод о том, что в последние годы интенсивность поступления трития в природные воды снизилась по сравнению с предыдущим десятилетием. Но следует помнить, что мониторинг данного радионуклида необходим, для выявления нештатных ситуаций на территории захоронения радиоактивных отходов и своевременного предотвращения негативных последствий, связанных с загрязнением грунтовых вод.

Список литературы

1. МВИ 7.5.2-15 Методика измерений объемной активности трития в пробах природных вод с применением радиометра «Quantulus-1220» в ФГБУ «НПО «Тайфун», 2015. 37 с.
2. Старков О. В., Моисеева О. В. Пространственно-временная миграция трития на территории промплощадки ГНЦ РФ – ФЭИ и ее окрестностях. Информационный бюллетень. Ядерная и радиационная безопасность России. М.: ЦНИИАтоминформ, 2002. С. 64-75.
3. Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств в 2003 г. Под ред. С.М.Вакуловского. СПб.: Гидрометеиздат, 2004. 274 с.
4. Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств в 2005 году. Ежегодник. Под ред. С.М.Вакуловского. М.: Метеоагентство Росгидромета, 2006. 274 с.
5. Момот О.А., Лаврентьева Г.В., Сынзыныс Б.И., Силин И.И. Природно-техногенные гидрохимические аномалии в подземных водах севера Калужской области // Проблемы региональной экологии. 2012. №1. С.46-52.
6. Шершаков В.М., Булгаков В.Г., Крышев И.И. и др. // Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств в 2017 году: Ежегодник. Нижний Новгород. 2018. 321 с.

LEVELS OF TRITIUM IN SURFACE AND DRINKING WATER OF THE CITY OF OBNINSK AND THE SURROUNDING AREA

Zubacheva A.A., Katkova M.N., Tarasenko A.O., Shesterikova E.M.

Research and Production Association «Typhoon» of Roshydromet RF, 249031 Kaluga Region, Obninsk, Pobedy, 4, Russian Federation

Assessment of the state of the environment and its level of pollution is an important task of monitoring in the modern world. This is especially true of radioactive exposure, the detection of which must be timely in order to minimize the negative impact. High content of tritium - represents a potential danger to the environment and human health, thanks to the mobility and high biological activity of the radionuclide. This paper presents data on current levels of tritium concentration in surface and drinking water in the city of Obninsk and its surroundings, which are necessary for tracking trends in pollution levels.

Keywords: tritium, liquid scintillation method, drinking water, isotope enrichment, Quantulus-1220, Obninsk

УДК: 574:2:539.1.04

ИЗУЧЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ CS-137 ПО ВЫСОТНОМУ ПРОФИЛЮ В КОРЕ МОДЕЛЬНОГО ДЕРЕВА СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ (*PINUS SYLVESTRIS* L.)

Карпов А.Д.¹, Горбунов И.Ю.^{1,2}, Калнин В.В.¹, Радин А.И.¹, Раздайводин А.Н.¹

¹ ФБУ Всероссийский НИИ лесоводства и механизации лесного хозяйства

141202 Московская обл., г. Пушкино, ул. Институтская, 15, Российская Федерация

e-mail: info@roslesrad.ru

² МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал)

141005 Московская область, г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, д. 1

Рассматривается распределение Cs-137 по высотному профилю модельного дерева сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) 30-летнего возраста, отобранного в зоне радиоактивного загрязнения в Брянской области. Описана методика отбора и анализ распределения Cs-137 в коре модельного дерева. Показано изменение удельной и валовой (общей) активности радионуклида в коре в зависимости от высоты ствола.

Ключевые слова: радиоактивное загрязнение лесов, радиоэкология, Cs-137, сосна обыкновенная, кора, распределение радионуклидов, радиационный мониторинг лесов

Загрязнение окружающей среды радионуклидами искусственного происхождения связано с ядерными испытаниями, радиационными авариями и инцидентами на предприятиях и организациях, использующих радиоактивные материалы. Многие из них привели к радиоактивному загрязнению лесов. На сегодняшний день в Российской Федерации загрязнено около 1 млн. га земель лесного фонда [1].

Радиоактивное загрязнение компонентов лесных экосистем, в том числе структурных элементов основных лесообразующих пород, представляет комплексную проблему, связанную с получением нормативно-чистой лесной продукции, обеспечением радиационной безопасности в лесах и предотвращением вторичного загрязнения вследствие лесных пожаров и других природных и антропогенных процессов

Настоящая работа является продолжением работы, начатой в 2015 году [2] и исследует вертикальное распределение Cs-137 по стволу сосны обыкновенной.

Многими авторами отмечается значительное внешнее радиоактивное загрязнение коры за счет первичных выпадений в момент аварии [3], а также существенные различия удельной активности радионуклидов в коре и древесине в зависимости от высоты ствола, с которой отбираются пробы [4, 5] и возраста отбираемых тканей [6].

Методика

Нами был произведен отбор дерева сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в Злынковском лесничестве Брянской области (урочище «Заипутские грунты»). Модельное дерево отбиралось в августе 2015 г. на лесном участке с плотностью загрязнения почвы Cs-137 740 кБк/м² (20 Ки/км²) [2]. Возраст модельного дерева – 30 лет, т.е. у данного дерева загрязнение коры должно быть обусловлено корневым поступлением Cs-137 и последующим нисходящим током от ассимилирующего аппарата по флоэме к корням. При отборе дерева было зафиксировано положение ствола относительно сторон света, в

корнеобитаемой зоне произведен отбор проб почвы для определения плотности радиоактивного загрязнения.

Отбор проб коры проводился на отрезе ствола от корневой шейки до 10 м. прямоугольными фрагментами длиной 10 см и шириной, равной 1/8 от периметра ствола на уровне отбора пробы. Для настоящего анализа отбирались пробы коры только юго-юго-восточного сегмента. Кора вместе с лубом отделялась от древесины, высушивалась до воздушно-сухого состояния, взвешивалась, измельчалась для получения однородной счётной пробы. Разделение на внешнюю и внутреннюю часть, отделение луба не проводилось.

Измерение активности Cs-137 производилось на полупроводниковом (детектор на основе особо чистого германия HPGe GCD-40190 с размером чувствительной области 59x65 мм) гамма-спектрометре Гамма-1П с ПО SpectraLine, обеспечивающим высокое разрешение спектра и позволяющим проводить измерения с минимальной измеряемой активностью пробы (МИА) не более 0,3 Бк. Ошибка измерения активности в пробах не превышала 11 %.

Результаты измерений обрабатывались с помощью пакета Statistica v.13.

Результаты и обсуждение

Результаты измерения активности коры, взятой в юго-юго-восточном секторе, по высотному профилю представлены на рисунке 1. На графике хорошо виден тренд увеличения удельной активности радионуклида вверх по стволу. Коэффициент корреляции достаточно высокий, но при использовании линейной аппроксимации наблюдается большой разброс значений относительно расчетных.

Модельное дерево отобрано в зоне радиоактивного загрязнения по Cs-137 555-1480 кБк/м² (15-40 Ки/км²), что вполне объясняет высокие значения удельной активности радионуклида в коре. Однако они не достигают критерия отнесения к радиоактивным отходам. Непосредственно в корнеобитаемой зоне плотность загрязнения почвы на момент отбора модели составляла 492,9 кБк/м² (13,3 Ки/км²). Средний коэффициент перехода Cs-137 из почвы для коры равен $4,1 \text{ м}^2\text{кг}^{-1}\cdot 10^{-3}$.

В отличие от удельной активности, валовое содержание Cs-137, увеличивается в сторону комлевой части ствола (рис. 2).

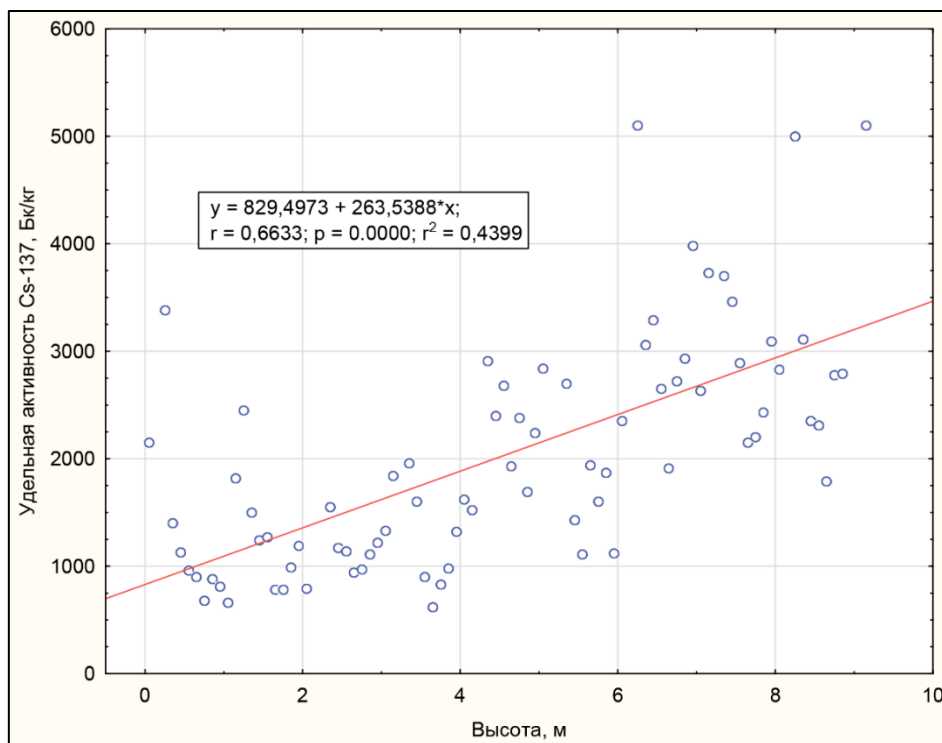


Рисунок 1 – Зависимость удельной активности Cs-137 в коре сосны обыкновенной от высоты по стволу

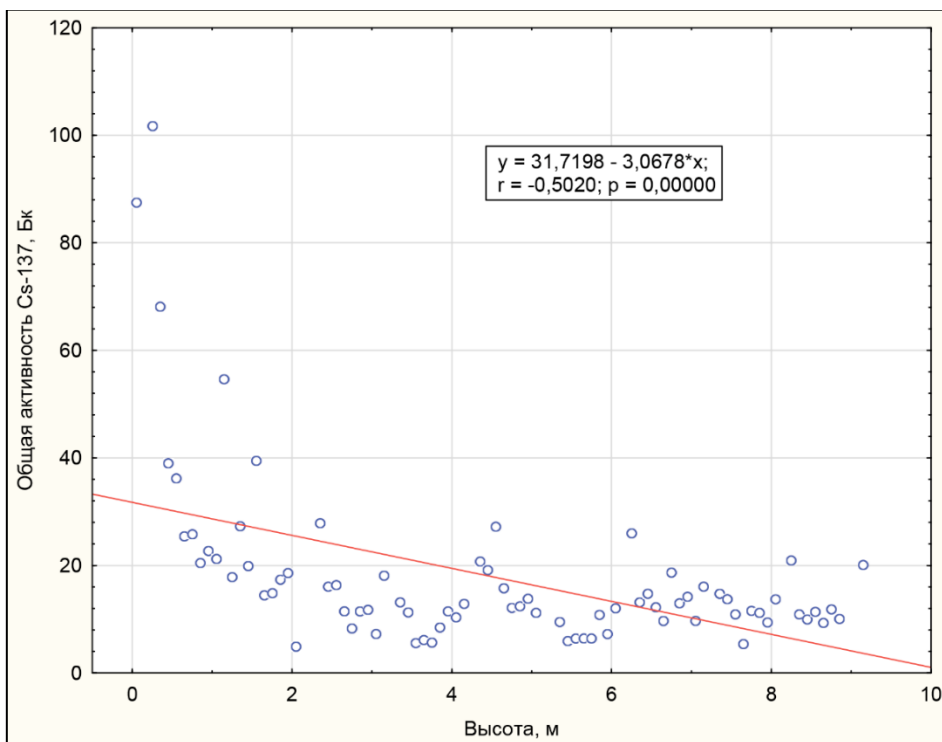


Рисунок 2 – Зависимость общей активности Cs-137 в коре сосны обыкновенной от высоты по стволу

Отчасти это увеличение можно объяснить увеличением массы коры в этом направлении. Изменение массы коры по высотному профилю ствола модельного дерева хорошо описывается логарифмической функцией (рис. 3).

По графикам, представленным на рисунках 1 и 2, можно предположить наличие периодичности изменения значений удельной и общей активности Cs-137 по высоте ствола.

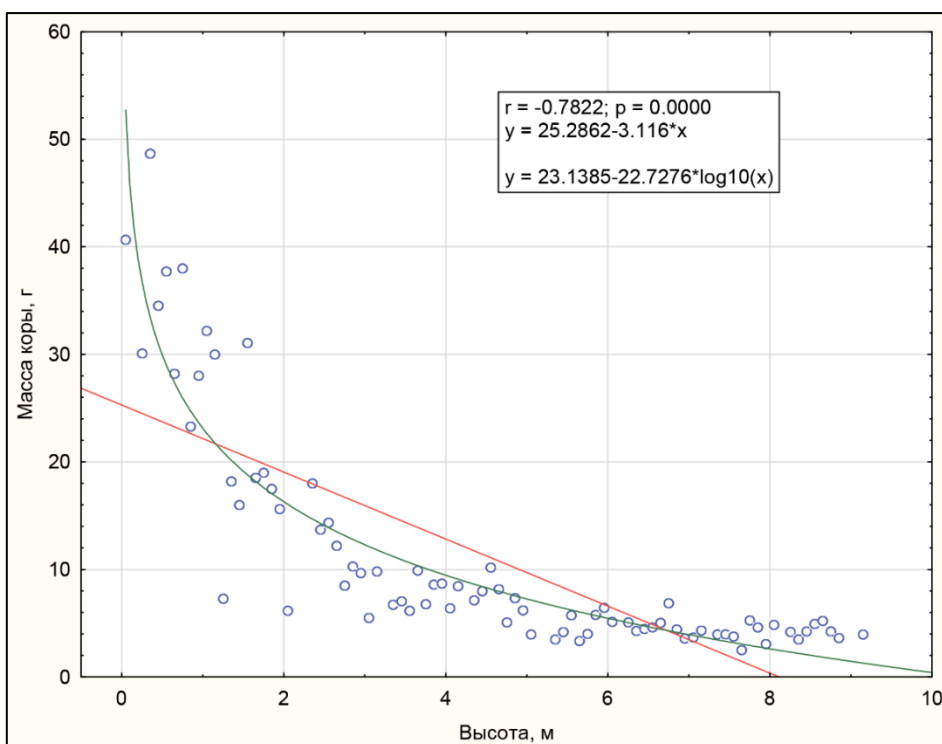


Рисунок 3 – Изменение массы коры по высотному профилю ствола модельного дерева

Выводы

Содержание Cs-137 в коре модельного дерева обусловлено исключительно корневым поступлением Cs-137 и последующим нисходящим током от ассимилирующего аппарата по флоэме к корням, внешнее загрязнение отсутствует в силу возраста модельного дерева.

Удельная активность Cs-137 в коре увеличивается по высоте ствола, при этом валовая (общая) активность увеличивается в направлении комлевой части. Увеличение общей активности может быть частично объяснено увеличением общей массы коры в сторону комля.

По имеющимся данным можно предположить наличие периодичности изменения значений удельной и общей активности Cs-137 по высоте ствола, что требует дальнейших исследований.

Список литературы

1. Раздайковин А.Н., Марадудин И.И. Современные аспекты радиационной безопасности в лесах Российской Федерации // ВНИИЛМ – 80 лет научных исследований: сборник статей, посвященный 80-летию ВНИИЛМ. М.: ВНИИЛМ, 2014. С. 167–183.

2. Карпов А.Д., Калнин В.В., Радин А.И., Раздайковин А.Н. Особенности распределения ^{137}Cs в стволе сосны обыкновенной в зонах радиоактивного

загрязнения // Взгляд молодых учёных на современные проблемы развития радиобиологии, радиозологии и радиационных технологий: сб. докладов молодежной конференции с международным участием, посвященной 45-летию образования ФГБНУ ВНИИРАЭ, Обнинск, 7-8 сентября 2016 г. Обнинск: ФГБНУ ВНИИРАЭ. С 116-122.

3. Мамихин С.В., Манахов Д.В., Щеглов А.И. Сравнительный анализ распределения Cs-137, Sr-90 и их химических аналогов в компонентах наземной части древесных растений в квазиравновесном состоянии // Радиационная биология. Радиозология, 2008, Том 48, № 6 С. 654-659

4. Переволоцкий А.Н. Распределение ^{137}Cs и ^{90}Sr в лесных биогеоценозах. Гомель, 2006. 256 с. ил.

5. Щеглов А.И., Цветнова О.Б., Касацкий А.А. Динамика загрязнения Cs-137 различных компонентов лесных экосистем Брянского полесья // Вестник Московского университета. Сер.17. Почвоведение, 2014, №3, С. 17-23.

6. Голяка Д. М. Розподіл питомої активності ^{90}Sr і ^{137}Cs в стовбурній деревині сосни звичайної у ближній зоні випадень ЧАЕС / Голяка Д.М., Кашпаров В.О., Левчук С.Є., Процак В.П., Йощенко Л. В., Павлюченко В. В. // Проблеми Чорнобильської зони відчуження, науково-технічний збірник, Славутич, 2018. Вип. 19 С. 33-45.

STUDY OF THE DISTRIBUTION OF CS-137 BY THE ALTITUDE PROFILE IN THE BARK OF THE MODEL TREE OF SCOTCH PINE (*Pinus sylvestris* L.)

Karpov A.D.¹, Gorbunov I.Yu.^{1,2}, Kalnin V.V.¹, Radin A.I.¹, Razdayvodin A.N.¹

¹ Russian Research Institute of Silviculture and Mechanization of Forestry, 141202 Moscow region, Pushkino, Institutskaya st., 15, Russian Federation

² BMSTU (Mytishchi branch), 141005 Moscow reg., Mytishchi, 1st Institutskaya st. 1, Russian Federation

The distribution of Cs-137 by the altitude profile of a model pine tree (*Pinus sylvestris* L.) 30 years old, selected in the radioactive contamination zone in the Bryansk region, is considered. The selection technique and analysis of the distribution of Cs-137 in the bark of a model tree are described. The change in the specific and gross (total) activity of the radionuclide in the cortex depending on the height of the trunk is shown.

Keywords: radioactive contamination of forests, radioecology, Cs-137, scotch pine, bark, radionuclide distribution, radiation monitoring of forest

УДК 336.211.1

ВЛИЯНИЕ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ НА КАДАСТРОВУЮ СТОИМОСТЬ ПОЧВ ЗЕМЕЛЬ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ БРЯНСКОЙ ОБЛАСТИ

Клеутина Е.А.

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Факультет почвоведения
119991 Москва, Ленинские горы, д.1, стр. 12, Российская Федерация
e-mail: Ya.zhenia98@yandex.ru

Показано влияние загрязнения радионуклидами на кадастровую оценку почв земель сельскохозяйственного назначения Брянской области. Для этого территория была разделена на 3 района: с минимальным, соответствующим норме допустимого значения и выше нормы допустимого радиоактивного загрязнения. И с учетом этих данных рассчитана кадастровая стоимость почв радиоактивно загрязнённых земель сельскохозяйственного назначения.

Ключевые слова: Чернобыльская авария, Брянская область, радионуклиды, расчет кадастровой стоимости почв

26 апреля 1986 года произошла авария на Чернобыльской атомной электростанции. В окружающую среду было выброшено большое количество радиоактивных веществ. В Российской Федерации больше всего пострадала Брянская область, в частности ее западная часть (Красногорский, Гордеевский, Клиновский, Стародубский (часть), Климовский, Злынковский, Новозыбковский, Дятьковский (часть) районы).

Для расчета кадастровой стоимости земель было произведено деление Брянской области на районы, в зависимости от уровня загрязнения. Деление производилось на основе прогнозного загрязнения территории по картам из «Атласа современных и прогнозных аспектов последствий аварии на Чернобыльской АЭС на пострадавших территориях России

и Беларуси [1]. На карте Брянской области за 2016 год были найдены районы с разными уровнями загрязнения.

Территория Брянской области разделена на 3 зоны, в зависимости от загрязнения радионуклидами. 1 зона - загрязнение цезием-137 менее 3,7-10 кБк/м² (менее 0,1-0,2 Ки/км²) – минимальное загрязнение, площадь - 10016 км². 2 зона - загрязнение цезием-137 10-37 кБк/м² (0,2-1 Ки/км²) – соответствует норме допустимого значения, площадь -13024 км². 3 зона - загрязнение цезием-137 более 37 кБк/м² (более 1 Ки/км²) – выше нормы допустимого значения, площадь – 11820 км². Это представлено на рисунке 1. Для них выбраны почвы: дерново-подзолистая, серая лесная, торфяно-глебовая болотная низинная (осушенная) и аллювиальная дерновая кислая [4].

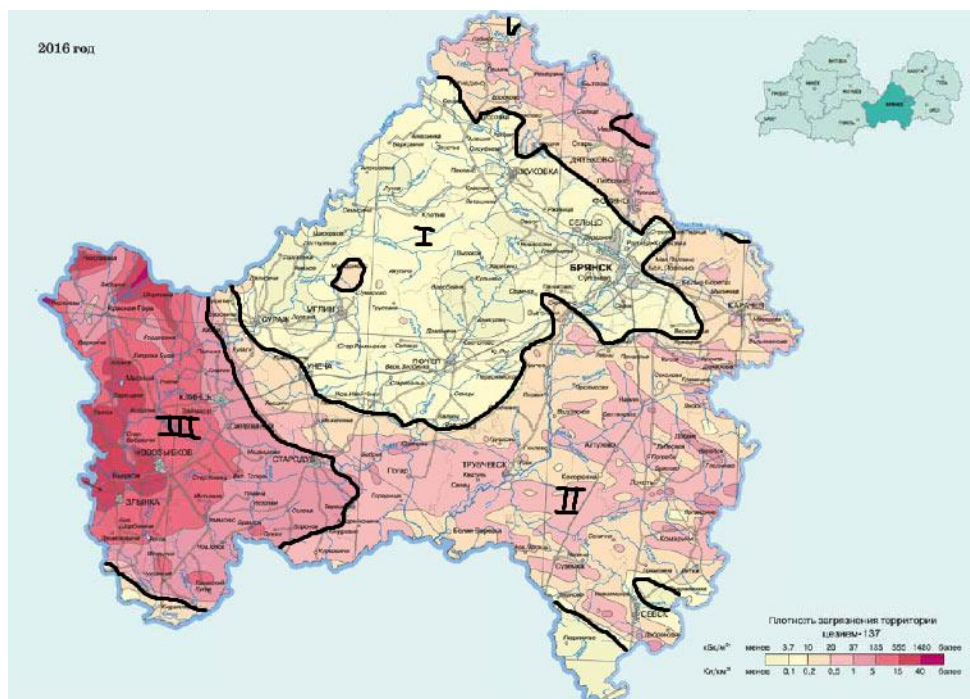
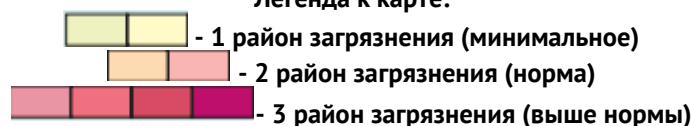


Рисунок 1. Карта, разделенная на районы

Легенда к карте:



С помощью специальной программы в Microsoft Access была посчитана нормативная урожайность сельскохозяйственных культур и удельные показатели кадастровой стоимости (УПКС)[2]. Для этого

были внесены в нее все необходимые данные. На первом этапе расчета была получена нормативная урожайность сельскохозяйственных культур. Данные представлены в таблице 1.

Нормативная урожайность с/х культур Брянской области

Почвы	Нормативная урожайность с/х культур, ц/га					
	зерновые	картофель	многолетние травы	однолетние травы	улучшенные се- нокосы	пастбища
дерново-подзоли- стые	18,3	110,7	35,6	31,2	28,5	9,1
серые лесные	28,7	145,7	52,5	45,9	42,0	13,4
Торфяно- глеевые болотные низинные (осушенные)	20,0	101,4	36,5	31,9	29,2	23,4
аллювиальные дер- новые кислые	22,1	83,7	60,3	47,4	48,2	15,4

После расчета нормативной урожайности были посчитаны УПКС. Они вычисляются путем вычитания из удельного валового дохода затрат на поддержание плодородия почвы и на возделывание с/х культур, а также затрат на реабилитационные мероприятия. За реабилитационные мероприятия были взяты внесение известковых и калийных удобрений, которые снижают поступление Cs^{137} в растения. В зависимости от уровня загрязнения вносили следующие дозы извести: минимальное загрязнение – 3 т/га, соответствует норме допустимого значения – 5 т/га, выше нормы загрязнения – 7 т/га [3].

После внесения всех данных были рассчитаны удельные показатели кадастровой стоимости почв

земель Брянской области в трех районах, имеющих разные уровни загрязнения радионуклидами. Результаты представлены в таблице 2.

На основе полученных данных наблюдается зависимость изменения показателей нормативной урожайности от свойств почвы (содержания гумуса, физической глины, мощности гумусового горизонта, присутствия дополнительных свойств, а также уклона) и произрастания различных культур.

УПКС на территориях, имеющих разный уровень загрязнения радионуклидами не одинаков. С увеличением затрат на реабилитационные мероприятия уменьшается кадастровая стоимость почв.

Таблица 2

УПКС на почвах Брянской области, загрязненных радионуклидами.

Почвы	УПКС, Рубль/Квадратный метр			
	минимальное загрязнение	соответствует норме допустимого значения	выше нормы допустимого значения	Снижение кадастровой стоимости, %
дерново-подзолистые	1,68	1,28	0,63	62,5
серые лесные	5,66	3,37	2,72	51,9
Торфяно- глеевые болотные низинные (осушенные)	2,51	1,33	0,78	68,9
аллювиальные дерновые кислые	4,86	4,47	3,82	21,4

На территории с минимальным загрязнением (менее 3,7-10 кБк/м²) наибольшая кадастровая стоимость у серых лесных -5,66 р./кв.м, а наименьшая у дерново-подзолистых – 1,68 р./кв.м. На территории с нормой допустимого значения загрязнения (10-37 кБк/м²): наибольшая у аллювиальных дерновых кислых – 4,47 р./кв.м., а наименьшая у дерново-подзолистых – 1,28 р./кв.м. В зоне, соответствующей сильно загрязненным районам (более 37 кБк/м²) прослеживается аналогичная зависимость соответственно: 3,82 р./кв.м. и 0,63 р./кв.м.

На дерново-подзолистых почвах процент снижения кадастровой стоимости на территории с высоких

уровнем загрязнения составил – 62,5 %; на серых лесных – 51,9 %; на торфяно-глеевых болотных низинных – 68,9 %, что соответствует максимальному проценту снижения кадастровой стоимости по почвам; на аллювиальных дерновых кислых отмечен самый низкий процент – 21,4 %.

Список литературы

1. Атлас современных и прогнозных аспектов последствий аварии на Чернобыльской АЭС на пострадавших территориях России и Беларуси (АСПА Россия-Беларусь). Москва-Минск: МЧС России, МЧС Республики Беларусь, 2009. 139 с.

2. Государственная кадастровая оценка земель сельскохозяйственного назначения Российской Федерации (под общей редакцией: Сапожникова П.М., Носова С.И.). Москва: ООО «НИПКЦ Восход - А», 2012. 160 с.

3. Методические указания по оценке кадастровой стоимости радиоактивно загрязненных земель

сельскохозяйственного назначения. Обнинск: ГНУ ВНИИСХРАЭ, 2013, 31 с.

4. Шкалы классификации земель сельскохозяйственного назначения (сельскохозяйственных угодий) по их пригодности для использования в сельском хозяйстве (Шкалы, 2005 г.) Брянской области.

THE EFFECT OF RADIOACTIVE CONTAMINATION ON THE CADASTRAL VALUE OF SOILS OF AGRICULTURAL LANDS OF THE BRYANSK REGION

Kleutina E.A.

Moscow State University, Faculty of Soil Science, 119991, Moscow, Leninskie gory, 1, p.12, Russian Federation

Show the effect of radionuclide pollution on the cadastral valuation of soils of agricultural lands of the Bryansk region. For this, the territory was divided into 3 districts: with a minimum, corresponding to the norm of the permissible value and above the norm of the permissible pollution. And taking into account these data, the cadastral value of the soils of the radioactively contaminated lands of the Bryansk region has been calculated.

Keywords: *Chernobyl accident, Bryansk region, radionuclides, calculation of cadastral value of soil*

УДК 614.876:621.039.586

СОВРЕМЕННАЯ РАДИАЦИОННАЯ ОБСТАНОВКА В НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТАХ, РАСПОЛОЖЕННЫХ НА ЗАГРЯЗНЕННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ 6-ТИ ЮГО-ЗАПАДНЫХ РАЙОНОВ БРЯНСКОЙ ОБЛАСТИ

Кречетников В.В., Шубина О.А., Титов И.Е.

*ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии»
249032 Калужская область, г. Обнинск, Киевское шоссе, 109 км, Российская Федерация
e-mail: viktorkrechetnikov@mail.ru*

Выполнена оценка средней годовой эффективной дозы облучения критических групп населения, проживающего на радиоактивно загрязненных территориях шести юго-западных районов Брянской области. Показано, что в 134 населенных пунктах СГЭД превышает 1 мЗв/год.

Ключевые слова: *СГЭД, авария на ЧАЭС, Брянская область, оценка доз, критическая группа*

В результате аварии на ЧАЭС в Российской Федерации наиболее высокие уровни радиоактивного загрязнения были зафиксированы в 6 юго-западных районах Брянской области. После аварии было проведено зонирование загрязненных территорий в соответствии с Распоряжением Правительства РСФСР от 18 декабря 1997 г. №1582 и Распоряжением Правительства Российской Федерации от 07 апреля 2005 г. №197. В этих документах в качестве критериев зонирования территорий Российской Федерации, устанавливаются плотности радиоактивного загрязнения и эффективная доза.

Согласно этим правовым документам, был выделен перечень населенных пунктов (НП), относящихся к территориям радиоактивного загрязнения. Данный перечень составлен согласно распоряжению Правительства РСФСР от 17 декабря 1997 г. № 1582.

В Брянской области в зону отчуждения были включены 4 населенных пункта Красногорского района. В зону отселения вошло 236 населенных пунктов, к зоне с правом на отселение отнесено 280 НП, а к зоне с льготным социально-экономическим статусом – 221.

По прошествии времени с момента аварии радиационная обстановка на этих территориях значительно улучшилась. На 01.01.2019 г. на территории Гордеевского, Злынковского, Климовского, Клинцовского, Красногорского и Новозыбковского районов зарегистрировано как действующие 435 населенных пунктов. Из этих населенных пунктов согласно постановлению правительства РФ от 08.10.2015 № 1074 «Об утверждении перечня населенных пунктов, находящихся в границах зон радиоактивного загрязнения вследствие катастрофы на Чернобыльской

АЭС», в зону отчуждения по-прежнему входят 4 населенных пункта Красногорского района. В зону отселения вошло 27 населенных пунктов, в зоне с правом

на отселение - 191, а в зоне с льготным социально-экономическим статусом – 213 (рис. 1).

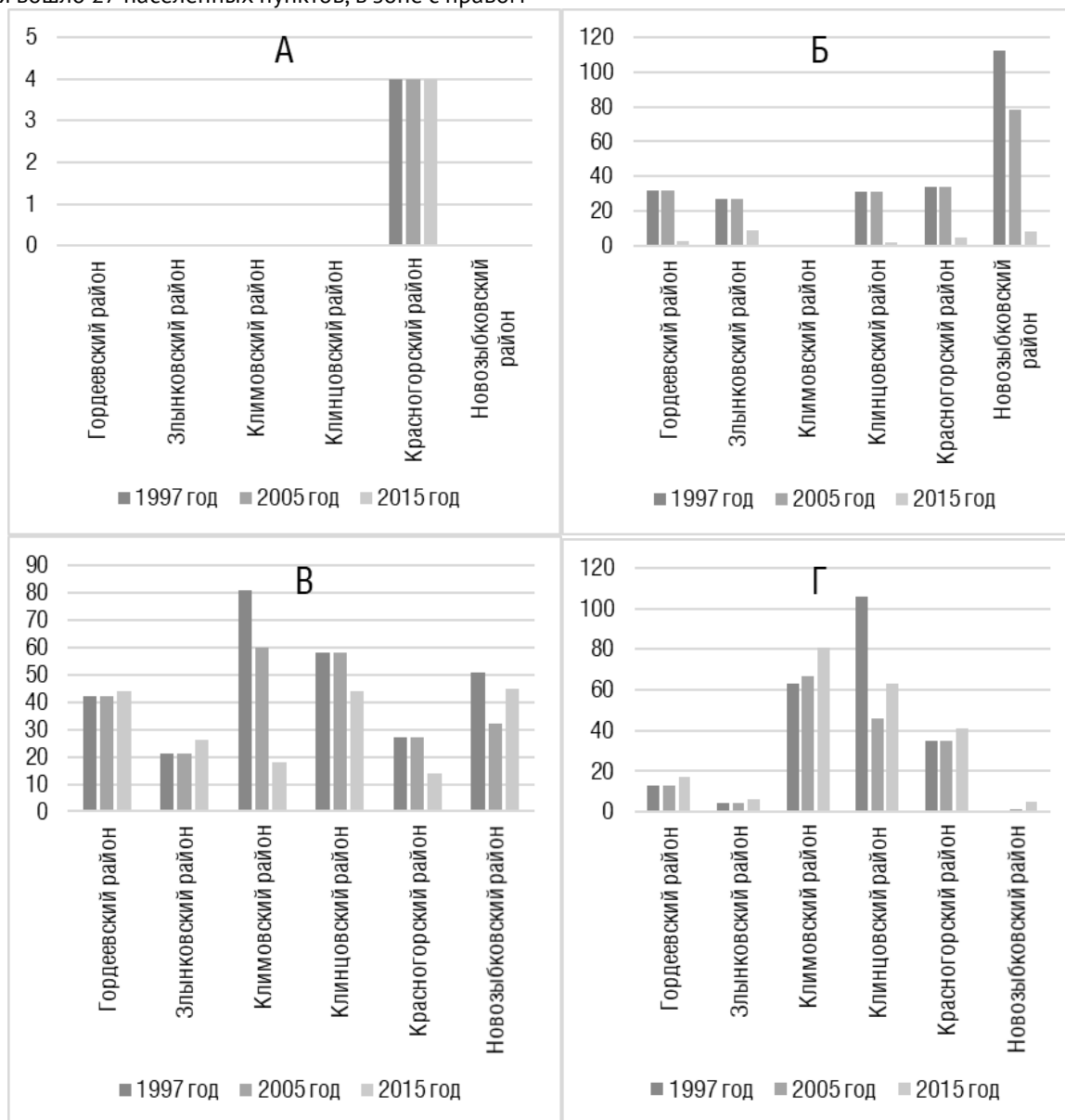


Рисунок 1 – Динамика изменения количества НП, входящих в: А – зону отчуждения; Б – в зону отселения; В – в зону проживания с правом на отселение; Г – в зону проживания с льготным социально-экономическим статусом

В ряде этих населенных пунктов средняя годовая эффективная доза облучения критических групп населения не превышает значение в 1 мЗв/год. Это означает, что статус данных населенных пунктов может быть пересмотрен.

Для оценки возможности изменения статуса населенных пунктов, расположенных в зоне радиоактивного загрязнения, были рассчитаны дозы облучения для критических групп населения. Расчеты проводились с использованием методических указаний МУ 2.6.1.2003-05 с поправками от 20 декабря 2013 г. При расчете учитывался тип населенного

пункта, поскольку от него зависит как расчет внешней дозы облучения, так и рацион питания.

Практически все населенные пункты юго-западных районов Брянской области, относятся к I-му типу за исключением 6-ти населенных пунктов: г. Злынка и пос. Вышков в Злынковском районе, пос. Климово в Климовском районе, г. Клинцы, пос. Красная Гора и г. Новозыбков. В ряде населенных пунктов каменных строений не наблюдается. Поэтому допущение о том, что в населенных пунктах I типа 60 % населения проживает в деревянных строениях, а 40 - в каменных, для них не применимо. В тех населенных пунктах, для которых отсутствовали статистические данные,

выбор коэффициента делался из учета количества населения. Для пунктов с населением меньше 30 человек брался коэффициент, учитывающий лишь деревянные постройки, для остальных коэффициент брался из учета усреднения, согласно методическим указаниям.

Расчеты показали, что в 301 населенном пункте, в которых общей сложностью проживает 76202 человека, средняя годовая эффективная доза облучения критических групп населения не превышает 1 мЗв/год. В их число входит 24 населенных пункта с численностью населения более 500 человек. В 7-ми

из них проживает более 1000 человек. Однако в 134 населенных пунктах доза облучения крит. групп населения превышает 1 мЗв/год. Наибольшее доля таких населенных пунктов наблюдается в Новозыбковском районе (79 % от общего количества НП), на втором месте Злынковский район, доля таких НП в нем составляет 61 %. В Гордеевском и Красногорском районах 37 % и 28 % соответственно. В Клинцовском – 19 %. Наименьшая доля таких НП наблюдается в Климовском районе и составляет всего лишь 2 %.

ACTUAL RADIATION SITUATION IN SETTLEMENTS LOCATED IN THE CONTAMINATED TERRITORIES OF 6 SOUTH-WESTERN DISTRICTS OF THE BRYANSK REGION

Krechetnikov V.V., Shubina O.A., Titov I.E.

Russian Institute of Radiology and Agroecology, 249032 Kaluga region, Obninsk, Kievskoe shosse 109 km, Russian Federation

The average annual effective dose of critical populations living in the radioactively contaminated territories of six south-western regions of the Bryansk region was estimated. It has been shown that in 134 settlements the effective dose exceeds 1 mSv/year.

Keywords: *average annual effective dose, Chernobyl accident, Bryansk region, dose assessment, critical group*

УДК 577.4:631.41:581.5:614.876:539.16

ОСОБЕННОСТИ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВЕННО-РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА ПЛОЩАДКИ «САРЫ-УЗЕНЬ» НА СЕМИПАЛАТИНСКОМ ИСПЫТАТЕЛЬНОМ ПОЛИГОНЕ

Кривицкий П.Е., Ларионова Н.В., Айдарханов А.О., Умаров М.А., Мустафина Е.В.

Филиал «Институт радиационной безопасности и экологии» РГП НЯЦ РК

071100 Восточно-Казахстанская область, г. Курчатов, улица Бейбіт атом, 2Б, Республика Казахстан

e-mail: Krivitskiy@nnc.kz

В статье представлены результаты радиоэкологического обследования площадки «Сары-Узень» на Семипалатинском испытательном полигоне (СИП). Рассмотрены особенности радиоактивного загрязнения почвенно-растительного покрова, как на всей территории площадки, так и в местах проведения подземных ядерных испытаний. Проведена типизация всех объектов на площадке, предложен ряд реабилитационных мероприятий для каждого типа объектов.

Ключевые слова: *Семипалатинский испытательный полигон (СИП), подземные ядерные взрывы, почвенно-растительный покров, радиоактивное загрязнение*

Семипалатинский испытательный полигон (СИП) – место, где Союз Советских Социалистических Республик (СССР) провел большую часть от всех ядерных испытаний в период 1949 по 1990 гг. [1]. Испытания ядерного оружия проводились не на всей территории, а на специализированных технических площадках. С 1949 по 1962 гг. в основном проходили атмосферные и наземные испытания на площадке «Опытное поле», но после вступления в силу международного договора о запрете проведения ядерных испытаний в космосе, воздухе и воде стали проводиться

под землей. Одной из площадок, где проводились подземные ядерные испытания, является площадка «Сары-Узень», расположенная в западной части СИП.

По историческим данным в период с 1965 по 1980 годы на территории площадки «Сары-Узень» проводились различные испытания, в основном подземные ядерные взрывы в скважинах. Всего по официальным данным существует информация по 24 ядерным испытаниям в 25 скважинах, различие в количестве обусловлено проведением группового испытания в скважинах №№109 и 2803 [2]. Однако по

данным исследований, проведенных в 2006 г., на территории площадки обнаружено еще 3 скважины: X-2, X-3, X-4 [3]. В общей сумме на территории площадки «Сары-Узень» обнаружено 28 испытательных скважин, из которых 3 представляют собой воронки.

Для определения радиоэкологического состояния почвенного покрова всей территории площадки «Сары-Узень» проводился отбор проб почвы по сети 1x1 км. Всего отобрано порядка 300 проб. Глубина отбора составляла 5 см, площадь отбора – 200 см². Оценка особенностей пространственного распределения радионуклидов на территории приустьевых площадок испытательных скважин осуществлялась в два этапа. На первом этапе проведена общая оценка площадного распределения радиоактивного загрязнения. Для этого применен метод пешеходной гамма-спектрометрической съемки. Для измерений использовался гамма-спектрометр со сцинтилляционным детектором на основе кристалла бромидом лантана (LaBr₃(Ce)). Детектор располагался на высоте 50 см от поверхности почвы, время экспозиции составляло 10 с. Второй этап заключался в определении количественных характеристик радиоактивного загрязнения. По результатам первого этапа, в точках с повышенными значениями отобраны пробы почвы для радионуклидного анализа. Для оценки радионуклидного загрязнения растительного покрова выполнен отбор проб растений в районе отдельных боевых скважин, в местах проведения экспериментов и на следе от испытания 24.09.51 на «Опытном поле». Исследуемыми видами растений стали представители степного разнотравья (полынь (*Artemisia gracilescens*), ковыль (*Stipa capillata*)), а также тростник (*Phragmites australis*), произрастающий в местах расположения воронок от ядерных испытаний. Измерение удельной активности радионуклидов ¹³⁷Cs и ²⁴¹Am проводили методом гамма-спектрометрии, ⁹⁰Sr и ²³⁹⁺²⁴⁰Pu – методом радиохимического выделения с последующей бета- и альфа-спектрометрией. Содержание ¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr, ²⁴¹Am и ²³⁹⁺²⁴⁰Pu в растениях определялось в золе с последующим пересчетом на сухое вещество.

По полученным данным можно отметить, что радиоактивное загрязнение площадки обусловлено 2 типами загрязнения. Первый обусловлен выпадениями радиоизотопов из атмосферы, вследствие взрыва 24.09.51 на площадке «Опытное поле». След выпадений протянулся от северо-западной части площадки до самого юга. Диапазон значений удельной активности для ²⁴¹Am в почве варьирует от <0,3

до 390 Бк/кг, при среднем значении 5 Бк/кг; для ¹³⁷Cs от <1,1 до 330 Бк/кг, при среднем значении 55 Бк/кг. Вторым фактором является выпадение радиоизотопов вследствие проведения подземных ядерных испытаний с радиоактивным выбросом, которые прошли в скважинах №№ 101, 125, 215 и 1003. Самую большую область загрязнения имеет след от выпадений после испытания на скважине № 101 (протяженность около 8 км). На данных участках имеется довольно высокое содержание техногенных радионуклидов: для ²⁴¹Am – от <1,5 до 4,4·10⁶, для ¹³⁷Cs – от <0,8 до 4,9·10⁴, для ⁹⁰Sr – от <100 до 1,2·10⁴, ¹⁵²Eu – от <0,8 до 1,6·10³.

Наиболее высокие значения удельной активности радионуклидов ¹³⁷Cs (до 80 Бк/кг), ⁹⁰Sr (до 4,0·10³ Бк/кг) и ²³⁹⁺²⁴⁰Pu (до 1,4·10³ Бк/кг) зафиксированы в растительном покрове в районе боевой скважины 101. Количественные значения ¹³⁷Cs и ²⁴¹Am также отмечаются на участке прохождения следа от испытания 24.09.51 на «Опытном поле». Максимальные концентрации ²⁴¹Am (до n·10³ Бк/кг) зафиксированы в местах проведения специфических экспериментов.

На основе полученных данных все объекты на площадке «Сары-Узень» разделены на 2 основные группы. К первой группе относятся объекты, на которых имеется радиоактивное загрязнение (17 объектов). Ко второй группе относятся объекты, на которых радиоактивного загрязнения превышающего фоновые значения нет (11 объектов), то есть проведенные испытания относятся к взрывам камуфлета полного. Также первую группу можно подразделить на объекты, имеющие существенную антропогенную нарушенность и без таковой (рис. 1).

По проведенной типизации предложен ряд реабилитационных мероприятий для каждого типа объектов. На объектах без антропогенной нарушенности основная часть радиоактивного материала сконцентрирована в приповерхностном слое. В связи с этим наиболее эффективным действием по реабилитации таких объектов является изъятие загрязненного слоя с последующей его ликвидацией. Ситуация с объектами с антропогенной нарушенностью сложнее. Связано это с тем, что большая часть радиоактивного материала находится не в приповерхностном слое почвы, а в зоне навала, на глубине до нескольких десятков метров. В связи с чем, предложено проведение концентрированию радиоактивного материала в воронке и созданием физической защиты в виде бетонного колпака.

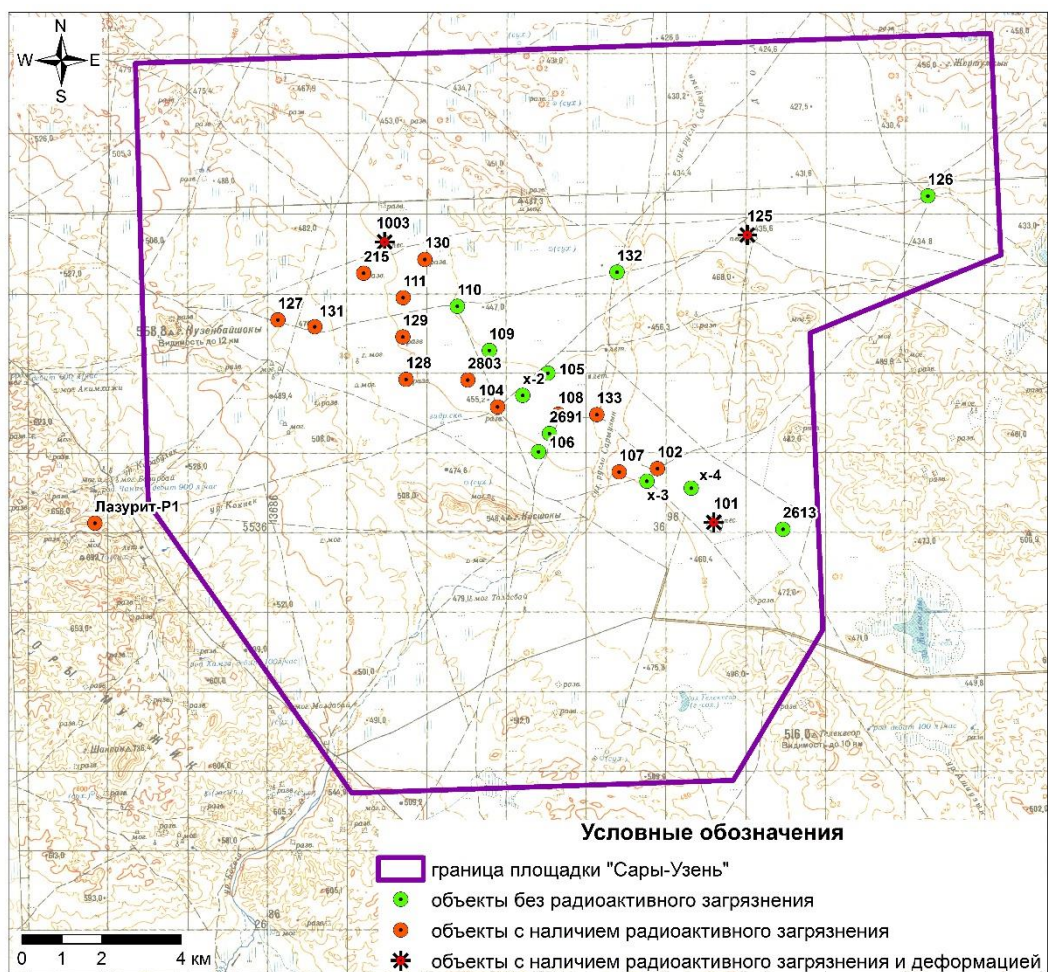


Рисунок 1 – Карта-схема площадки «Сары-Узень» с обозначением скважин

Список литературы

1. Ядерные испытания в СССР. Цели. Общие характеристики. Организация ядерных испытаний. Первые ядерные испытания / состав ред. И. А. Андрушин, В. В. Богдан, С. А. Зеленцев. Т.1. Саров: РФЯЦ – ВНИИЭФ.

2. Catalog of worldwide nuclear testing / editor-in-chief V.N. Mikhailov. U. 264. 1999. 38 с.

3. Актуальные вопросы радиоэкологии Казахстана: сб. тр. Национального ядерного центра Республики Казахстан за 2011-2012 гг. / под рук. Лукашенко С. Н. Павлодар: Дом печати, 2013. Т. 1. Вып. 4. 396 с. ISBN 978-601-7112-74-5.

FEATURES OF RADIOACTIVE CONTAMINATION IN THE LAND COVER OF 'SARY-UZEN' SITE AT SEMIPALATINSK TEST SITE

Krivitskiy P.Ye., Larionova N.V., Aidarkhanov A.O., Umarov M.A., Mustafina Ye.V.

Branch 'Institute of Radiation Safety and Ecology' RSE NNC RK
071100 East-Kazakhstan region, Kurchatov, 2B Beibit Atom Str., Kazakhstan

The article provides results of radioecological survey at 'Sary-Uzen' site of Semipalatinsk Test Site (STS). Features of radioactive contamination of the land cover have been addressed both all over the site and in venues of underground nuclear tests. All of the objects at the site have been typified, a number of rehabilitation measures suggested for each type of object.

Keywords: Semipalatinsk Test Site (STS), underground nuclear explosions, land cover, radioactive contamination

РЕАКЦИЯ РАДИАЛЬНОГО ПРИРОСТА *PINUS SYLVESTRIS* НА РАДИАЦИОННОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ В ЗОНЕ ВОСТОЧНО-УРАЛЬСКОГО РАДИОАКТИВНОГО СЛЕДА

Кукарских В.В., Дэви Н.М., *Шималина Н.С., Модоров М.В., Позолотина В.Н.

Институт экологии растений и животных Уральского отделения РАН

620144 г. Екатеринбург, ул. 8 Марта 202, Российская Федерация

*e-mail: nadia_malina@mail.ru

Исследован радиальный прирост *Pinus sylvestris*, выжившей после Кыштымской аварии 1957 г. В зоне Восточно-Уральского радиоактивного следа (ВУРСа) было выбрано две площадки на удалении 5 и 16 км от места взрыва. Согласно измерениям 2007 г. плотность загрязнения почв ^{90}Sr на участке ВУРС-5 составляла от 30 до 60 Ки/км², а на участке ВУРС-16 от 150 до 300 Ки/км². Две фоновые площадки находились вне зоны загрязнения. Керны были отобраны с 8–10 живых деревьев. Анализ динамики ширины годичных колец сосны на участке ВУРС-16 показал трехкратное снижение прироста в 1958 г., у 15% деревьев в 1959–1961 гг. рост прекратился полностью, что свидетельствует о катастрофическом влиянии радиации на рост деревьев. В последующие годы наблюдалось плавное восстановление прироста. Синхронизация изменчивости ширины годичных колец на этом загрязненном и фоновых участках произошла только через 10 лет после аварии. На участке ВУРС-5 после аварии наблюдалось лишь плавное снижение радиального прироста с быстрым восстановлением в течение трех лет.

Ключевые слова: Восточно-Уральский радиоактивный след, радиоактивное загрязнение, *Pinus sylvestris*, радиальный прирост

Восточно-Уральский радиоактивный след (ВУРС) сформировался в 1957 г. в результате аварии на ПО «Маяк» (Кыштымская авария). В настоящее время основным загрязнителем зоны ВУРСа является ^{90}Sr . Дополнительное загрязнение территории произошло в 1967 г. в результате переноса ила и песка с берегов обмелевшего озера Карачай – открытого хранилища радиоактивных отходов. Основным загрязнителем был ^{137}Cs [Radioactive inventories..., 1997]. В настоящее время интегральные запасы ^{90}Sr в почвах головной части ВУРСа составляют около 570×10^{12} Бк [Атлас, 2013; Current Assessment..., 2014]. В 5 км от эпицентра аварии максимальные запасы ^{90}Sr в почвенном покрове оси следа достигают 70000 кБк/м², ^{137}Cs – 1500 кБк/м² и $^{239,240}\text{Pu}$ – 170 кБк/м². По мере удаления от эпицентра аварии наблюдается снижение запасов радионуклидов в почвах, которое с высокой степенью достоверности аппроксимируется экспоненциальной функцией [Радиоэкологическое исследование..., 2011; Current Assessment..., 2014]. В связи с высоким содержанием долгоживущих радионуклидов в почвах, длительностью радиационного воздействия ВУРС является уникальным полигоном для радиоэкологических исследований.

В первые годы после аварии облучение вызвало массовую гибель хвойных, а затем и лиственных пород, в составе и структуре фитоценозов появились сильные изменения [Тихомиров, Карабань, 1993]. Через 1-2 года после лучевого поражения в лесах

начались восстановительные процессы. У частично пораженных деревьев березы и сосны восстановление шло за счет прироста побегов, а также путем образования из спящих почек и межхвойной меристемы новых побегов. Спустя 8-10 лет основная масса морфозов исчезла, и по внешнему виду большинство восстановленных деревьев не отличалось от необлученных.

Цель работы – оценить влияние аварийного выброса радионуклидов в 1957 г. на ширину годичного прироста у выживших деревьев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*).

В пределах центральной оси следа в непосредственной близости от эпицентра аварии сосны погибли полностью. Небольшие участки леса и отдельные деревья сохранились только на периферии следа. В головной части ВУРСа было выбрано две площадки (рис. 1) на удалении 5 и 16 км от места взрыва (ВУРС-5 и ВУРС-16 соответственно).

В последующие годы наблюдалось плавное восстановление прироста. На наиболее загрязненном участке ВУРС-16 произошло более чем трехкратное снижение величины прироста, свидетельствующее о катастрофическом влиянии ионизирующей радиации на рост сосны обыкновенной. Крайней формой реакции на резкое радиационное воздействие стало полное прекращение радиального роста у 15 % деревьев на участке ВУРС-16 в 1959–61 гг.

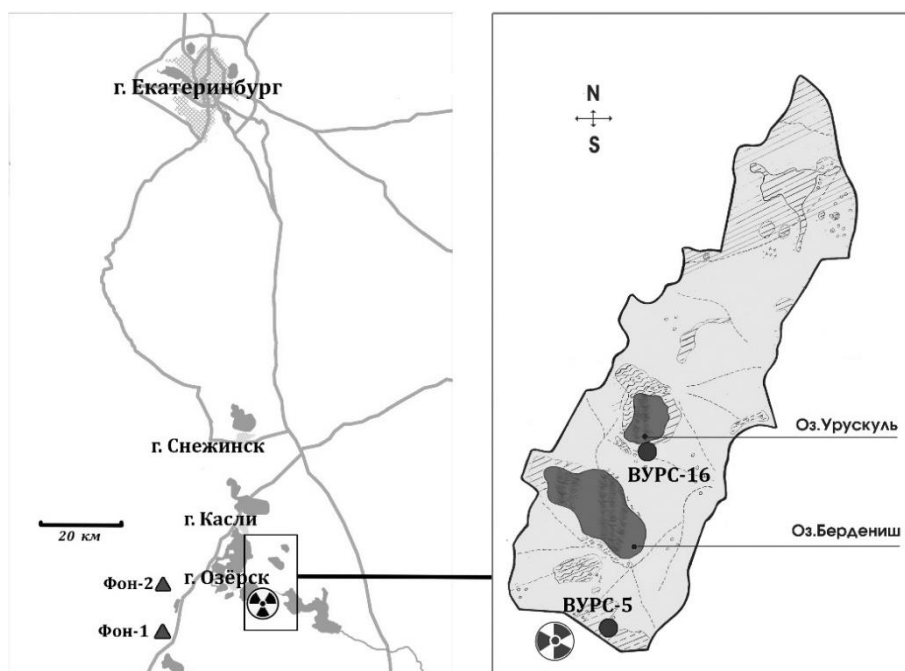


Рисунок 1– Карта-схема района исследования

Как показано в работе [Current Assessment..., 2014], плотность загрязнения почв резко снижается от центральной оси следа к периферии, участок ВУРС-5 расположен близко к месту аварии, но на границе периферийной зоны. Согласно измерениям 2007 г. плотность загрязнения почв ^{90}Sr на участке ВУРС-5 составляла от 30 до 60 Ки/км², а на участке ВУРС-16 от 150 до 300 Ки/км² [Атлас..., 2013]. Две фоновые площадки (Фон-1 и Фон-2) находились вне зоны радиоактивного загрязнения.

В пределах каждого участка были отобраны керны с 8–10 живых деревьев сосны обыкновенной. Измерение ширины годичных колец и перекрестная датировка индивидуальных серий прироста осуществлены согласно общепринятым методикам [Методы дендрохронологии..., 2000]. Качество датировки статистически проверено в программе COFESHA [Holmes, 1983]. Обобщенные древесно-кольцевые хронологии получены усреднением индивидуальных серий. В результате было построено 4 обобщенных ряда прироста.

Поскольку авария произошла осенью 1957 г., когда годичный прирост текущего года был уже сформирован, проявление влияния загрязнения на

радиальный прирост можно ожидать не ранее 1958 г. Анализ динамики ширины годичных колец сосны на участках, подвергшихся радиоактивному загрязнению (рис. 2А), показывает, что снижение прироста началось в 1958 г. и особенно резким было в 1959–1961 гг.

На фоновых территориях в этот же период сохраняется естественная динамика радиального прироста (рис. 2Б). Синхронизация изменчивости ширины годичных колец на фоновых и загрязненных участках наблюдается с 1967–68 гг, т.е. примерно через 10 лет после аварии. Помимо изменений в ширине годичного прироста обнаружены нарушения в анатомической структуре годичных колец, образовавшихся в 1958–60 гг., выраженное в виде несимметричных трахеид и искажений рядов клеток.

Таким образом, только на наиболее загрязненных ^{90}Sr участках с плотностью загрязнения более 150 Ки/км² наблюдается значительное подавление ростовых процессов сосны обыкновенной в течение четырех лет после аварии. При уровнях порядка 30–60 Ки/км² наблюдается лишь плавное снижение ширины радиального прироста с быстрым восстановлением в течение трех лет.

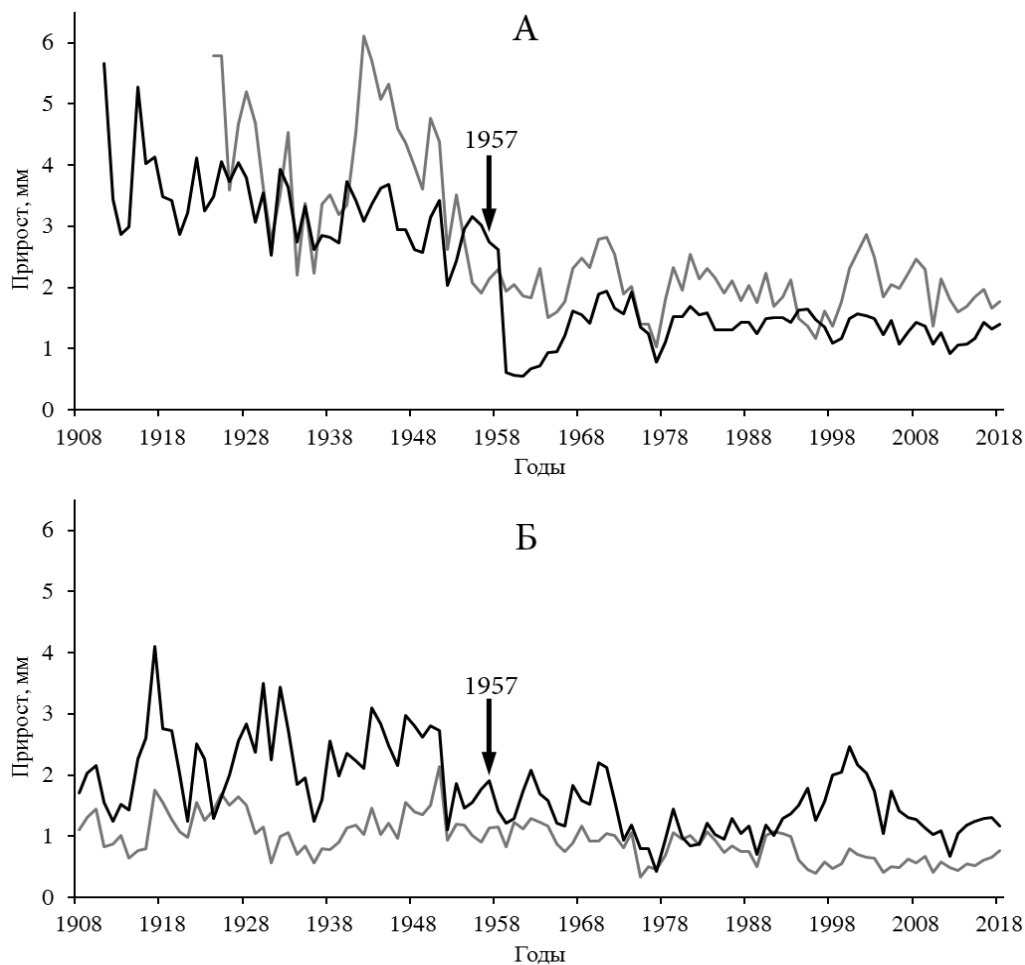


Рисунок 2 – Динамика радиального прироста сосны обыкновенной в зоне радиационного загрязнения – А (черная линия – участок ВУРС-16, серая линия – участок ВУРС-5) и на контрольной территории – Б (черная линия – участок Фон-1, серая линия – участок Фон-2).

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант № 19-05-00469-19.

Список литературы

1. Атлас Восточно-Уральского и Карачаевского радиоактивных следов, включая прогноз до 2047 года / Под ред. Ю.А. Израэля. М.: ИГКЭ Росгидромета и РАН, Фонд «Инфосфера» – НИА-Природа, 2013. 140 с.
2. Методы дендрохронологии. Часть I. Основы дендрохронологии. Сбор и получение древесно-кольцевой информации: Учебно-методич. пособие. / С.Г. Шиятов, Е.А. Ваганов, А.В. Кирдянов [и др.] Красноярск: КрасГУ, 2000. 80 с.
3. Радиоэкологическое исследование почвенного покрова Восточно-Уральского государственного заповедника и сопредельных территорий / Михайловская Л.Н. [и др.] Радиационная биология. Радиоэкология. 2011. Т. 51. № 4. С. 476–482.
4. Тихомиров Ф.А. Лучевое поражение леса в условиях радиоактивного загрязнения / Тихомиров Ф.А., Карабань Р.Т. // Экологические последствия радиоактивного загрязнения на Южном Урале. М.: Наука, 1993. С. 85–96.
5. Current Assessment of Integrated Content of Long-Lived Radionuclides in Soils of the Head Part of the East Ural Radioactive Trace / Molchanova I. [et al.] // J. of Environm. Radioact. 2014. V. 138. P. 238–248.
6. Holmes R.L. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. // Tree-Ring Bull. – 1983. V 43. P. 69–78.
7. Radioactive inventories from Kyshtym and Karachay accidents: estimates based on soil samples collected in the South Urals (1990–1995) / Aarkrog A. [et al.] // Science of The Total Environment. 1997. V. 201. P. 137–154.

RESPONSE OF *PINUS SILVESTRIS* RADIAL GROWTH TO RADIATION EXPOSURE IN THE EAST URAL RADIOACTIVE TRACE ZONE

Kukarskih V.V., Devi N.M., *Shimalina N.S., Modorov M.V., Pozolotina V.N.

*Institute of Plant and Animal Ecology, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences
620144 Yekaterinburg, st. March 8, 202, Russian Federation*

The radial growth of *Pinus sylvestris*, which survived after the Kyshtym accident of 1957, was investigated. Within the East-Ural radioactive trace (EURT) two sites were selected at a distance of 5 and 16 km from the explosion epicenter. According to measurements in 2007, the density of soil contamination by ^{90}Sr in the EURT-5 site was from 30 to 60 Ci/km², and in the EURT-16 site, from 150 to 300 Ci/km². Two background sites were situated outside the contaminated area. Cores were selected from 8–10 live trees. An analysis of the dynamics of the annual rings width of Scots pine on the EURT-16 site showed a threefold decrease in growth in 1958, in 15 % of trees in 1959–1961 growth stopped completely, indicating a catastrophic effect of radiation on the growth of trees. In subsequent years, a smooth recovery of growth was observed. The synchronization of the variability of the width of the annual rings on this contaminated and background sites occurred only 10 years after the accident. At the EURT-5 site, there was only a gradual decrease of the radial growth after accident with a rapid recovery within three years.

Keywords: *East Ural radioactive trace, radioactive contamination, Pinus sylvestris, radial growth*

УДК 631.41:614.876:504.064:539.16

ФОРМЫ НАХОЖДЕНИЯ ИСКУССТВЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ В ПОЧВАХ ПЛОЩАДКИ ИСПЫТАНИЯ БОЕВЫХ РАДИОАКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ НА СЕМИПАЛАТИНСКОМ ИСПЫТАТЕЛЬНОМ ПОЛИГОНЕ

Кундузбаева А.Е., Кабдыракова А.М., Бакирова Г.А., Паницкий А.В.

*Филиал «Институт радиационной безопасности и экологии» РГП НЯЦ РК
071100 Восточно-Казахстанская область, г. Курчатов, улица Бейбіт атом, 2Б, Республика Казахстан
e-mail: kunduzbaeva@nnc.kz*

В работе приведены результаты исследования форм нахождения искусственных радионуклидов ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{241}Am , $^{239+240}\text{Pu}$, в почвах площадки испытаний боевых радиоактивных веществ.

Ключевые слова: *Семипалатинский испытательный полигон (СИП), испытания боевых радиоактивных веществ, площадка «4а», формы нахождения искусственных радионуклидов, последовательное экстрагирование*

На СИП испытания боевых радиоактивных веществ (БРВ) проводили в 1954-1956 гг. на двух специально выделенных площадках – «4» и «4а», расположенных на северо-западной части полигона и имевших форму неправильных четырехугольников [1, 2]. Из двух площадок наибольшему загрязнению подверглась площадка «4а». Содержание искусственных радионуклидов на различных участках данной площадки достигает величин для ^{90}Sr – 590 МБк/кг, $^{239+240}\text{Pu}$ – 800 КБк/кг, ^{241}Am – 30 КБк/кг, ^{137}Cs – 320 КБк/кг. Основным загрязнителем почвенного покрова площадки является радионуклид ^{90}Sr , существенный вклад в радиационное загрязнение площадки вносят также изотопы плутония. Радиоактивное загрязнение участков неоднородное, значения удельной активности радионуклидов в почве может отличаться друг от друга на несколько порядков. Различное изотопное соотношение на участках

позволяет сделать вывод о том, что участки радиоактивного загрязнения образованы от ряда независимых друг от друга испытаний. [4, 5].

Объектами исследования на площадке «4а» стали 10 участков, на территории которых непосредственно проводили испытания БРВ.

Отбор точечных проб почвы проводили в точках с максимальными уровнями радиоактивного загрязнения, на глубину 0-10 см с площади 100 см².

Основной вклад в радиоактивное загрязнение почв исследуемых участков вносит радионуклид ^{90}Sr , его содержание в исследованных образцах почвы колеблется в пределах от $3,1 \times 10^5$ до $1,7 \times 10^7$ Бк/кг [4].

Результаты исследования представлены в таблицах 1-4.

Основное содержание радионуклида ^{137}Cs в почвах всех рассматриваемых участков приходится на долю прочносвязанных форм, достигая

максимальных значений, равных 97,8 %. До 3,4 % достигает содержание обменной формы, до 2 % - содержание кислоторастворимой формы ^{137}Cs . Для территории СИП подобные уровни содержания радионуклида ^{137}Cs являются максимальными и сравнимы лишь с луговыми почвами площадки «Дегелен», подверженных влиянию радиоактивно загрязненных штольневых водотоков. На других основных объектах СИП (площадка проведения наземных и воздушных испытаний – пл. «Опытное поле», экскавационных взрывов – объект «Атомное озеро», территории, подверженные глобальным и местным выпадениям - условно фоновые территории СИП), как правило, содержание обменных и кислоторастворимых форм находится на уровнях менее предела обнаружения радионуклидов.

Содержание водорастворимой и обменной форм радионуклида ^{241}Am находится на уровнях менее предела обнаружения используемой методики. Доля органической формы ^{241}Am значительна и в среднем составляет 5,3 %, что для территории СИП является максимальным показателем. Второй по значимости является прочносвязанная форма (17,3 %).

Преобладает в почвах кислоторастворимая форма ^{241}Am , в то время как как в почвах других основных объектов СИП преобладает прочносвязанная форма. Для сравнения на площадке «Дегелен» доля кислоторастворимой формы в среднем составляет лишь 39 %.

Преобладающей формой нахождения радионуклида $^{239+240}\text{Pu}$, как и для ^{137}Cs , в почвах исследуемых участков является прочносвязанная, содержание которой варьирует в диапазоне от 90 % до 98 %. Содержание водорастворимой и обменной форм минимально и достигает в среднем 0,1 и 0,03 %, соответственно. Более значительное содержание кислоторастворимой формы $^{239+240}\text{Pu}$ – 1,1 %. Доля органической формы по значимости занимает второе место и достигает 4 %. Для СИП характерным является значимых концентраций $^{239+240}\text{Pu}$ в органической форме. При этом уровень содержания органической формы $^{239+240}\text{Pu}$ в почвах исследуемой площадки является для СИП максимальным. Для сравнения в почвах площадки «Дегелен» доля органической формы составляет 1,3 %, в почвах площадки «Опытное поле» - всего 0,13 %.



Рисунок 1 – Схема расположения загрязненных участков и точек отбора проб на площадке «4а»

Таблица 1

**Формы нахождения радионуклида ¹³⁷Cs в почве площадки «4а»
(Бк/кг, % от суммарного содержания всех форм, n=8)**

№ п/п	№ участка	Содержание форм радионуклида ¹³⁷ Cs, Бк/кг, %									
		Водорастворимая (Н ₂ O дист.)		Обменная (1М CH ₃ COONH ₄)		Органическая (0,1н NaOH)		Кислоторастворимая (1М HCl)		Прочносвязанная (почва)	
		Бк/кг	%	Бк/кг	%	Бк/кг	%	Бк/кг	%	Бк/кг	%
1	уч.1	<5,0	<0,59	22±4	2,6	<7,5	<0,88	<15	<1,8	800±80	94,1
2	уч.3	<6,5	<0,59	50±10	4,6	<10	<0,91	30±5	2,7	1000±100	91,2
3	уч.20	11±2	1,1	48±4	4,9	4,0±1	0,40	26±3	2,6	900±100	91,0
4	уч.21	250±25	0,12	7500±1000	3,5	550±50	0,26	5000±500	2,3	20000±2000	93,8
5	уч.22	22±2,5	0,20	470±5	4,3	34±1	0,31	295±30	2,7	10000±1000	92,4
6	уч.23	<7,0	<0,39	60±5	3,1	<2,5	<0,13	46±6	2,4	1800±200	93,9
7	уч.24	32±2	0,10	1015±10	3,2	70±5	0,22	615±50	1,9	30000±3000	94,5
8	уч.25	<5,0	<0,07	90±5	1,3	5,5±1,0	0,08	50±5	0,73	6700±700	97,8
Диапазон, %		<0,07–<1,1		1,3–4,9		<0,08–<0,91		<1,8–>2,7		91,0–97,8	
Среднее, %		0,40		3,4		0,40		2,2		93,6	

Примечание: в расчетах относительного содержания (%) результаты менее предела обнаружения методики принимались равными данному пределу

Таблица 2

**Формы нахождения радионуклида ²⁴¹Am в почве площадки «4а»
(Бк/кг, % от суммарного содержания всех форм, n=8)**

№ п/п	№ участка	Содержание форм радионуклида ²⁴¹ Am, Бк/кг, %									
		Водорастворимая (Н ₂ O дист.)		Обменная (1М CH ₃ COONH ₄)		Органическая (0,1н NaOH)		Кислоторастворимая (1М HCl)		Прочносвязанная (почва)	
		Бк/кг	%	Бк/кг	%	Бк/кг	%	Бк/кг	%	Бк/кг	%
1	уч.1	<6,0	<1,5	<20	<5,0	18±4	4,5	275±30	68,9	80±8	20,1
2	уч.3	<12,5	<1,4	<40	<4,5	55±5	6,1	650±50	72,4	140±10	15,6
3	уч.17	<5,0	<2,6	<15	<7,7	18±2	9,5	135±15	69,1	22±4	11,3
4	уч.20	<13,5	<0,92	<30	<2,0	70±5	4,8	1160±150	78,7	200±20	13,6
5	уч.21	<9,0	<0,39	<25	<1,1	150±15	6,5	2100±200	91,5	11±2	0,49
6	уч.22	<3,0	<1,6	<10	<5,3	13±1	6,9	145±5	76,7	18±2	9,5
7	уч.24	<2,5	<0,72	<10	<2,9	10±2	2,9	265±5	76,3	60±6	17,3
8	уч.25	<10	<0,76	<30,5	<2,3	35±5	2,7	795±10	60,7	440±40	33,6
Диапазон, %		<0,39–<2,6		<1,1–<7,7		2,7–9,5		60,7–91,5		0,48–33,6	
Среднее, %		<1,2		<3,8		5,5		74,3		15,2	

Примечание: в расчетах относительного содержания (%) результаты менее предела обнаружения методики принимались равными данному пределу

**Формы нахождения радионуклида $^{239+240}\text{Pu}$ в почве площадки «4а»
(Бк/кг, % от суммарного содержания всех форм, n=8)**

№ п/п	№ участка	Содержание форм радионуклида $^{239+240}\text{Pu}$, Бк/кг, %									
		Водорастворимая (H_2O дист.)		Обменная (1М $\text{CH}_3\text{COONH}_4$)		Органическая (0,1н NaOH)		Кислоторастворимая (1М HCl)		Прочносвязанная (почва)	
		Бк/кг	%	Бк/кг	%	Бк/кг	%	Бк/кг	%	Бк/кг	%
1	уч.1	4,6±0,8	0,10	1,95±0,2	0,04	0,44±0,02	0,01	80±10	1,7	4500±500	98,1
2	уч.3	<2,2	<0,01	2,35±0,2	0,01	1000±10 0	6,2	180±20	1,1	15000±2000	92,7
3	уч.17	2,2±0,3	0,06	1,65±1,2	0,04	350±35	9,0	33±4	0,8	3500±400	90,0
4	уч.19	1,4±0,2	0,05	<0,5	<0,02	40±5	1,4	26±4	0,9	2700±300	97,5
5	уч.20	20±2	0,09	6,0±1,5	0,03	400±20	1,9	125±5	0,6	21000±2000	97,4
6	уч.21	25±3	0,02	35±5	0,03	6750±50 0	5,2	1350±350	1,0	121000±1400	93,7
7	уч.22	10,5±2	0,17	3,5±0,5	0,06	480±5	7,6	115±5	1,8	5700±600	90,3
8	уч.23	4,0±1	0,14	0,55±0,02	0,02	105±5	3,7	11±2	0,4	2700±300	95,7
Диапазон, %		<0,01–0,17		0,01–0,06		0,01–9,0		0,39–1,8		90,0–98,1	
Среднее, %		0,08		0,03		4,4		1,1		94,4	
<i>Примечание: в расчетах относительного содержания (%) результаты менее предела обнаружения методики принимались равными данному пределу</i>											

Таблица 4

**Формы нахождения радионуклида ^{90}Sr в почве площадки «4а»
(Бк/кг, % от суммарного содержания всех форм, n=5)**

№ п/п	№ участка	Содержание форм радионуклида ^{90}Sr , Бк/кг, %									
		Водорастворимая (H_2O дист.)		Обменная (1М $\text{CH}_3\text{COONH}_4$)		Органическая (0,1н NaOH)		Кислоторастворимая (1М HCl)		Прочносвязанная (почва)	
		Бк/кг	%	Бк/кг	%	Бк/кг	%	Бк/кг	%	Бк/кг	%
1	уч.1	1,6×10 ⁴ ± 0,8×10 ³	0,83	12,1×10 ⁵ ± 4,0×10 ⁵	63,1	1,8×10 ⁴ ± 0,8×10 ³	0,93	5,1×10 ⁵ ± 2,3×10 ³	26,2	1,7×10 ⁵ ± 1,8×10 ⁴	9,9
2	уч.3	7,4×10 ⁴ ± 3,5×10 ²	0,87	48,8×10 ⁵ ± 1,4×10 ⁴	57,6	16,0×10 ⁴ ±8,0×10 ³	1,9	2,5×10 ⁶ ± 3,1×10 ³	29,9	8,3×10 ⁵ ± 8,7×10 ⁴	9,8
3	уч.17	5,4×10 ⁴ ± 2,5×10 ³	1,0	26,7×10 ⁵ ± 8,0×10 ³	51,7	8,6×10 ⁴ ± 4,0×10 ³	1,7	1,2×10 ⁶ ± 2,0×10 ³	24,3	1,1×10 ⁶ ± 1,2×10 ⁵	8,8
4	уч.19	2,0×10 ⁴ ± 1,0×10 ³	0,52	23,8×10 ⁵ ± 7,0×10 ³	61,9	5,8×10 ⁴ ± 3,0×10 ³	1,5	1,0×10 ⁶ ± 1,5×10 ³	26,2	3,8×10 ⁵ ± 4,1×10 ⁴	12,2
5	уч.20	1,0×10 ⁴ ± 0,5×10 ³	0,82	7,3×10 ⁵ ±2, 0×10 ³	59,0	1,2×10 ⁴ ± 0,6×10 ³	0,93	3,3×10 ⁵ ± 1,5×10 ³	27,1	1,5×10 ⁵ ± 1,6×10 ⁵	21,3
Диапазон, %		1,0- 7,4×10 ⁴	0,52- 1,0	7,3- 48,8×10 ⁵	51,7- 63,1	1,2- 16,0×10 ⁴	0,93- 1,9	3,3×10 ⁵ - 2,5×10 ⁶	24,3- 29,9	1,5- 8,3×10 ⁵	8,8-21,3
Среднее, %		0,82		58,6		1,4		26,8		12,4	
<i>Примечание: в расчетах относительного содержания (%) результаты менее предела обнаружения методики принимались равными данному пределу</i>											

Из всех исследованных объектов в почве площадки «4а» ^{90}Sr характеризуется максимальными параметрами биологической доступности. Максимальное значение относительного содержания

водорастворимой формы радионуклида достигает 1 %, что в значениях удельной активности содержание водорастворимой формы радионуклида соответствует десяткам тысяч Беккерелей на килограмм

почвы. Учитывая, что водорастворимые формы радионуклидов в почвах являются наиболее доступными растениям, ожидается высокое распределение радионуклида ^{90}Sr из почвы в растения, произрастающие на площадке «4а». И это подтверждается соответствующими исследованиями [6]. Наиболее высокими значениями содержания радионуклида отмечается обменная форма, достигающая в среднем 59 %.

Таким образом, по характеру радиоактивного загрязнения почвенного покрова площадку «4а» можно отнести к неблагоприятным, не только по данным уровней радионуклидного загрязнения, но и по результатам оценки биологической подвижности радионуклидов, характеризующим ее как потенциально опасную для живых организмов – растения, живые организмы за счет корневого и внутреннего поступлений. И если для площадки «Опытное поле», являющейся наиболее загрязненным участком территории СИП, результаты исследования форм нахождения являются смягчающим фактором при общей оценке характера радиоактивного загрязнения почвенного покрова, то для площадки «4а», влияние данного фактора становится первостепенным [7].

Список литературы

1. Логачев, В. Радиоэкологические последствия испытаний БРВ на Семипалатинском полигоне // Бюллетень по атомной энергии. 2002. № 12. с.62-67.

2. Логачев, В. Радиоэкологические последствия испытаний БРВ на бывшем Семипалатинском

испытательном полигоне // Вестник НЯЦ РК. 2002. Вып. 3. С. 62-67.

3. Ларин В.И. Комбинат «Маяк» - проблема на века. 2-е изд. Перераб. М.: Макс, 2001. 504 с.

4. Осинцев, А.Ю., Сальменбаев С.Е. Исследование характера и уровней радиоактивного загрязнения площадки испытаний боевых радиоактивных веществ // Фундаментальные исследования, 2014. № 6. С. 279-287.

5. Осинцев, А.Ю., Нефедов Р.А. О характере поверхностного загрязнения искусственными радионуклидами испытательной площадки 4 и 4 «А», расположенных в пределах Семипалатинского испытательного полигона // Современные проблемы науки и образования, 2014. № 2. 518 с.

6. Ларионова Н.В., Лукашенко С.Н., Санжарова Н.И. Параметры накопления радионуклидов растениями в местах испытания боевых радиоактивных веществ на территории бывшего Семипалатинского испытательного полигона // Бюллетень Радиация и риск. 2013. № 4 С. 85-64.

7. Кундузбаева А.Е. и др. Формы нахождения искусственных радионуклидов в почвах испытательной площадки боевых радиоактивных веществ // Актуальные вопросы радиоэкологии Казахстана / Под ред. С.Н. Лукашенко. Павлодар: Дом печати, 2013. Т.2. Вып. 4. С. 167–180.

SPECIATION OF ARTIFICIAL RADIONUCLIDES IN SOILS OF THE TESTING SITE FOR WARFARE RADIOACTIVE AGENTS OF SEMIPALATINSK TEST SITE

Kunduzbayeva A.Ye., Kabdyrakova A.M., Bakirova G.A., Panitskiy A.V.

Branch 'Institute of Radiation Safety and Ecology' RSE NNC RK
071100 East-Kazakhstan region, Kurchatov, 2B Beibit Atom Str., Kazakhstan

The work provides results of investigations of artificial radionuclides ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{241}Am , $^{239+240}\text{Pu}$ in soils of the testing site for warfare radioactive agents of Semipalatinsk test site.

Keywords: Semipalatinsk test site (STS), WRA testing, «4a» test site, speciation of artificial radionuclides in soils, sequential extraction

УДК 502.2

МОНИТОРИНГ ПРИЗЕМНОГО АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА В РЕГИОНЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ АЭС «РУППУР»

Курбаков Д.Н., Панов А.В.

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии»
249032 Калужская область, г. Обнинск, Киевское шоссе, 109 км, Российская Федерация
e-mail: Kurbakov007@gmail.com

Создана система радиационно-экологического мониторинга атмосферного воздуха и атмосферных выпадений в районе размещения АЭС «Руппур». Заложены мониторинговые площадки для отбора воздуха и атмосферных выпадений. Исследования проводились с 2014 по 2017 год на разных этапах строительства АЭС в муссонный и засушливый периоды года. Определен перечень контролируемых показателей, включающих естественные и техногенные радионуклиды (^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{90}Sr , ^{137}Cs), газы (CH_4 , H_2S , Cl_2 , C_2H_4 , CO , O_3 , NH_3 , C_4H_{10} , SO_2 , C_2H_4 , NO_2 , C_3H_8 , F_2), тяжелые металлы (Pb , Cd , Hg , As , Ni , Cr , Co , Cu , Zn , Al , Mn , Fe), а также запыленность воздуха.

Ключевые слова: АЭС, мониторинг, атмосферный воздух, радионуклиды, тяжелые металлы, химическое загрязнение

При работе АЭС радионуклиды поступают в окружающую среду с выбросами вытяжного воздуха из зданий станции через высотные вентиляционные трубы (высотой более 100 м). Образующиеся при работе АЭС газы и аэрозоли, содержащие микрочастицы твердых веществ и микрокапли жидкостей, в обязательном порядке проходят очистку. Попадая в окружающую среду, загрязняющие вещества в разрешенных количествах, постепенно накапливаются в различных ее компонентах, что может привести к нарушению экологического равновесия в различных экосистемах и снижению их адаптационных возможностей [1]. В связи с этим, необходим постоянный комплексный радиоэкологический мониторинг территорий, прилегающих к АЭС.

Основной решаемой задачей при проведении радиоэкологического мониторинга зоны воздействия АЭС на начальных этапах строительства станции является получение исходных данных для изучения протекающих в окружающей среде процессов миграции поллютантов с целью установления соотношения между качественным и количественным составом загрязнителей, присутствующих в компонентах окружающей среды, и их специфической реакцией на это загрязнение. Результаты радиоэкологического мониторинга на разных этапах строительства и эксплуатации АЭС могут быть использованы для оценки и прогноза изменений состояния окружающей среды с целью выработки рекомендаций по совершенствованию природоохранной системы в районах расположения станции [1].

Настоящая работа содержит описание и результаты выполненных работ ФГБНУ ВНИИРАЭ по радиоэкологическому мониторингу атмосферного воздуха в 30-км зоне АЭС «Руппур» в Народной Республике Бангладеш.

В 2011 г. было подписано соглашение России и Народной Республики Бангладеш о строительстве АЭС «Руппур» (NPP Rooppur) с двумя энергоблоками ВВЭР. В 2013-2016 гг. проведены инженерно-экологические изыскания и получена лицензия на строительство АЭС. Начиная с 2017 г. начался основной этап строительства атомной электростанции. Проект АЭС «Руппур» осуществляется в рамках развития ядерно-энергетической программы Бангладеш в соответствии с рекомендациями и под контролем МАГАТЭ. Площадка АЭС «Руппур» расположена в районе Раджшахи на восточном берегу реки Падма (Ганг), в 160 км к северо-западу от столицы г. Дакка,

в 21 км к северо-западу от г. Пабна, в 5,6 км к юго-западу от железнодорожной станции Ишурди. В период 2014-2017 гг. специалистами ФГБНУ ВНИИРАЭ на основе комплексного обследования создана и ведется система радиационно-экологического мониторинга атмосферного воздуха, наземных природно-антропогенных и аграрных экосистем, а также водных экосистем в 30-км зоне АЭС «Руппур». Целью представленной работы являлось наблюдение за изменением состава атмосферного приземного воздуха в процессе строительства АЭС «Руппур».

Продолжительность отбора проб для определения среднесуточных концентраций вредных химических веществ (ВХВ) при дискретных наблюдениях по полной программе составлял 30 минут через равные промежутки времени в сроки 1, 7, 13 и 19 часов. Отбор проб атмосферного воздуха проводился на открытой местности вне зоны ветровой тени от застройки и лесных насаждений, а также вне зоны влияния автомагистралей. Определения концентрации вредных химических веществ в воздухе проводится на высоте от 1,5 до 3,5 м от поверхности земли. Отбор проб проводился на разном удалении от АЭС (рис. 1) [2-4].

Мониторинговые работы проводились на этапах:

1) 2014-2015 гг. – стадия ОВОС и получение лицензии;

2) 2016-2017 – стадия строительство АЭС.

Измерения, обработка результатов наблюдений и оценка загрязненности воздуха выполняются в соответствии с ГОСТ 17.2.3.01-86, ГОСТ 17.2.1.03-84, ГОСТ 17.2.4.02-81, ГОСТ 17.2.6.02-85.

Согласно расширенному перечню контролируемых параметров и веществ в воздухе необходимо наблюдать за [2]:

- метеорологическими параметрами (температурой, влажностью, атмосферным давлением,
- запыленностью,

- содержанием радионуклидов (^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{90}Sr , ^{137}Cs),

- тяжелых металлов (Pb , Cd , Hg , As , Ni , Cr , Co , Cu , Zn , Al , Mn , Fe),

- газовым составом (CH_4 , H_2S , Cl_2 , C_2H_4 , CO , O_3 , NH_3 , C_4H_{10} , SO_2 , $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}$, NO_2 , C_3H_8 , F_2 , $\text{C}_{20}\text{H}_{12}$). Полный перечень ВХВ необходимо контролировать не на всех стадиях строительства и эксплуатации АЭС, а лишь для обоснования приоритетных загрязнителей.



Рисунок 1 – Точки отбора проб атмосферного воздуха в регионе АЭС «Руппур». Масштаб 1:4000

В результате мониторинговых наблюдений, в атмосферном воздухе было обнаружено наличие повышенных концентраций H_2S , периодически отмечалось присутствие CO и NO_2 . Обнаруженные концентрации, за исключением разовых замеров сероводорода, крайне низки и не представляют опасности [5]. Среднее значение H_2S в воздух составляет $0,12 \text{ мг/м}^3$, минимальное значение $0,1 \text{ мг/м}^3$, максимальное $0,4 \text{ мг/м}^3$. Среднее значение содержания CO равняется $0,57 \text{ мг/м}^3$, минимальное значение $0,2$, максимальное – $1,1 \text{ мг/м}^3$. Среднее значение NO_2 в воздух составляет $0,39 \text{ мг/м}^3$, минимальное значение 0 , максимальное $0,9 \text{ мг/м}^3$. Наличие сероводорода в атмосферном воздухе вероятно обусловлено особенностями климата (большая влажность и испарения, что способствует разложению белков). Наличие угарного газа

обусловлено тем, что в районе размещения мониторинговых площадок работает большое количество строительной техники с двигателями внутреннего сгорания (ДВС) и местное население отапливает жилища твердым топливом. Путем ветрового переноса вредные вещества попадали на измерительные приборы. Так же стоит отметить, что утром наблюдалась максимальная концентрации CO .

Данные о содержании тяжелых металлов (ТМ) в пробах приземного слоя воздуха с 2014 по 2017 гг. значительно не отличались. Всего на ТМ отбиралось 53-70 проб в год. Отбор проб проводился на воздухофильтрующие установки «Аспиратор ПУ-3Э» (рис. 2).

Среднее значения ТМ по постами наблюдения представлены в таблице 1.

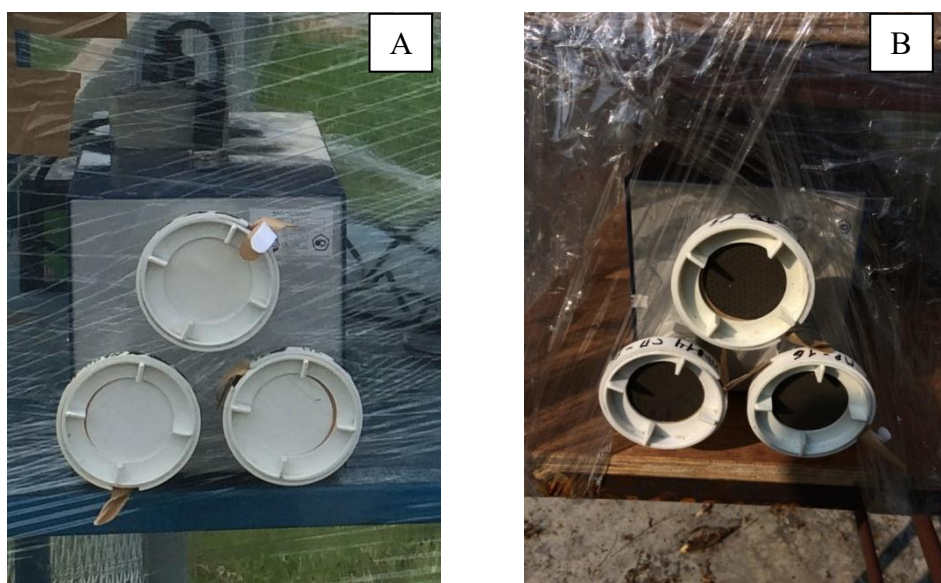


Рисунок 2 – Воздухофильтрующие установки «Аспиратор ПУ-3Э»: А – чистые фильтры и В - запыленные

Таблица 1

Среднее содержание ТМ по постам наблюдения в районе строящейся АЭС «Руппур» для периода 2014-2017 гг., мг/м³.

Пост наблюдения	Pb	As	Ni	Cd	Hg
AP-1	$8 \cdot 10^{-5}$	10^{-5}	$2 \cdot 10^{-5}$	10^{-5}	$2 \cdot 10^{-6}$
AP-2	10^{-5}	$7 \cdot 10^{-5}$	10^{-5}	10^{-5}	$4 \cdot 10^{-6}$
AP-3	$2 \cdot 10^{-4}$	$8 \cdot 10^{-5}$	$3 \cdot 10^{-5}$	$7 \cdot 10^{-5}$	$3 \cdot 10^{-6}$

Выявлено загрязнение ТМ приземного атмосферного воздуха в отдельные даты:

AP-1: Cd 10.06.2017 и 15.06.2017 с превышением в 1,6 и 2,3 раза, Pb 10.06.2017 с превышением в 1,6 раза;

AP-2: Cd 10.06.2017 с превышением в 1,6 раза;

AP-3: Pb 10.06.2017 с превышением в 1,6 раза.

Анализ полученных данных показал, что наиболее «чистым» по содержанию ТМ в атмосферном приземном воздухе является пост AP-2 (рис. 3). Это связано с тем, что в районе постов AP-1 и AP-3 активно ведется строительство и работает строительная техника, поднимающая большое количество пыли в воздух (табл. 2). На поступление пыли в

приземный атмосферный воздух влияет сезонность. Так, декабрь более засушливый месяц с отсутствием каких-либо осадков и, соответственно, с более высоким содержанием пыли в воздухе. Так же на поступление ТМ в атмосферный приземный воздух влияют цементные заводы, размещенные в районе постов AP-1 и AP-3 на расстоянии до 500 м. Цементное производство, является одним из основных источников выбросов в атмосферу пыли, содержащей ТМ. В атмосферу поступают Cd, Pb, Zn, Ni, Cu, Cr [6, 7]. Полученные результаты показывают, что экологическая обстановка в 2017 году после начала активной фазы строительства АЭС несколько ухудшилась по отношению к показателям 2014-2016 года (рис. 3).

Таблица 2

Запыленность воздуха в зоне наблюдения АЭС «Руппур» 2014-2017 гг.

Пост наблюдения	Среднесуточные значения запыленности, мг/м ³			
	2014 (сентябрь)	2015 (апрель)	2016 (декабрь)	2017 (июнь)
AP-1	0,08	0,07	0,15	0,07
AP-2	-	0,07	0,13	0,05
AP-3	-	0,06	0,14	0,05

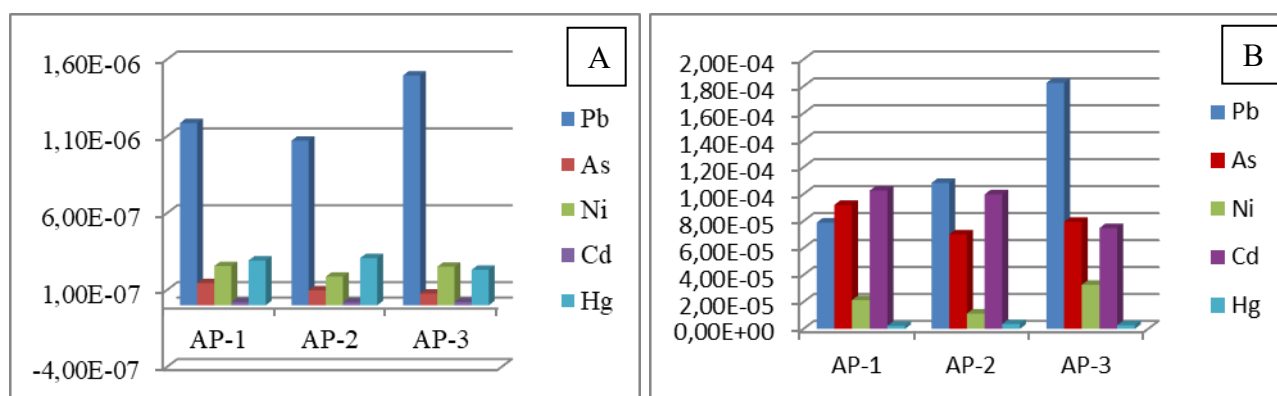


Рисунок 3 – Средние значения содержания ТМ в приземном атмосферном воздухе по постам наблюдения: А – в декабре 2016 г., мг/м³; В - июнь 2017.

Исследование аспираторных фильтров на содержание радионуклидов (⁴⁰K, ²²⁶Ra, ²³²Th, ⁹⁰Sr, ¹³⁷Cs) в атмосферном воздухе показало, что удельная активность радионуклидов ниже порога определения приборами ¹³⁷Cs <0,001; ⁴⁰K <0,041; ²²⁶Ra <0,014; ²³²Th <0,014; ⁹⁰Sr <1,2·10⁻⁵ Бк/м³. Превышений

концентрации радионуклидов в приземном атмосферном воздухе, согласно НРБ-99/09, не обнаружено.

Выводы

1. По данным проведённых мониторинговых исследований на трех постах наблюдения в регионе строительства АЭС «Руппур» не были обнаружены превышения содержания пыли в атмосферном приземном воздухе (ГОСТ 17.2.4.05-83, РД 52.04.186-89). Среднесуточная концентрация пыли для недифференцированных по составу взвешенных частиц допускается по ПДК не выше: максимальной разовой – 0,5 мг/м³ среднесуточной – 0,15 мг/м³. Максимальные значения запыленности в июне 2017 г. на трех постах наблюдения в регионе строительства АЭС «Руппур» составили 0,14, 0,08 и 0,11 мг/м³. Так же следует отметить, что запыленность в 2014, 2015 и 2017 г. была ниже примерно в 2 раза по сравнению с 2016 г. Связано это с разными сезонами: декабрь более засушливый месяц с отсутствием каких-либо осадков и, соответственно, с большей запыленностью воздуха.

2. Выявлено периодическое загрязнение ТМ приземного атмосферного воздуха на разных постах наблюдения: АР-1: Cd 10.06.2017 и 15.06.2017 с превышением в 1,6 и 2,3 раза; Pb 10.06.2017 с превышением 1,6 раза; АР-2: Cd 10.06.2017 с превышением в 1,6 раза; АР-3: Pb 10.06.2017 с превышением в 1,6 раза. Так же, проведенный анализ полученных результатов показал, что наиболее «чистой» является площадка с постом наблюдения АР-2. Это связано с тем, что в районе расположения постов АР-1 и АР-3 ведется строительство и в приземный воздух поднимается достаточно большое количество пыли. По отношению к показателям 2016 г. экологическая обстановка несколько ухудшилась, что связано с интенсивной работой строительной техники. Так же на поступление ТМ в атмосферный приземный воздух могли повлиять цементные заводы, размещенные в районе постов АР-1 и АР-3 на расстоянии до 500 м.

3. В результате мониторинговых наблюдений в атмосферном воздухе обнаружено наличие H₂S, а также периодически наличие повышенных концентраций СО и NO₂. Обнаруженные концентрации, за исключением разовых замеров сероводорода, крайне низки и не представляют опасности (ГН 2.1.6.1338-03). Среднее значение H₂S в воздухе составляет 0,12 мг/м³, минимальное значение 0,1 мг/м³, максимальное 0,4 мг/м³. Среднее значение содержания СО равняется 0,57 мг/м³, минимальное значение 0,2, максимальное – 1,1 мг/м³. Среднее значение NO₂ в воздухе составляет 0,39 мг/м³, минимальное значение 0,1, максимальное 0,9 мг/м³. Наличие сероводорода в атмосферном воздухе вероятно обусловлено

особенностями климата (большая влажность и испарения – это способствует гниению белков). Наличие угарного газа обусловлено тем, что в районе размещения датчиков на метеостанции работает большое количество техники, либо разжигались костры и путем ветрового переноса вредные вещества попадали на датчик.

4. Исследование фильтров на содержание радионуклидов (¹³⁷Cs, ⁴⁰K, ²²⁶Ra, ²³²Th, ⁹⁰Sr) в атмосферном воздухе показало, что их содержание ниже порога обнаружения приборами. Превышений концентрации радионуклидов в приземном атмосферном воздухе согласно НРБ-99/09 не обнаружено.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (соглашение №18-19-00016).

Список литературы

1. Рязанов С.В. Разработка экологического мониторинга окружающей среды в районах расположения атомных станций с использованием непараметрических статистических методов: дисс. канд. техн. наук: 03.02.08. [Место защиты: Междунар. независимый эколого-политол. ун-т]. Саратов, 2012. 205 с.: ил. РГБ ОД, 61 12-5/2418.

2. РД 52.04.186-89 Руководство по контролю загрязнения атмосферы М.: 1991

3. ОСТ 95.10150-85 Охрана природы. Атмосфера. Гамма-спектрометрический метод определения активности радионуклидов в препаратах при анализе выбросов промышленных предприятий и приземного слоя М.: 1985.

4. СП 151.13330.2012 Инженерные изыскания для размещения, проектирования и строительства АЭС. Часть 1, Часть 2. М.: 2012.

5. ГН 2.1.6.1338-03 Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест М.: 2003.

6. Коугия М.В., Беляева В.И. Редкие элементы в материалах цементного производства // Цемент. 1996. 432 с.

7. Хоботова Э.Б., Уханева М.И., Семенович Т.А. Изучение распределения тяжелых металлов по дисперсным фракциям цементной пыли // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. 2005.

MONITORING SURFACE ATMOSPHERIC AIR IN THE REGION OF EXPOSURE OF NPP "RUPPUR"

Kurbakov D.N., Panov A.V.

Russian Institute of Radiology and Agroecology, 249032 Kaluga region, Obninsk, Kievskoe shosse 109 km, Russian Federation

A system of radiation and environmental monitoring of atmospheric air and atmospheric precipitation has been created in the area where Ruppur NPP is located. Monitoring sites for air and atmospheric precipitation have been laid. Studies were conducted from 2014 to 2017 at different stages of the construction of nuclear power plants in the monsoon and dry periods of the year. A list of controlled indicators was determined, including natural and technogenic radionuclides (^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{90}Sr , ^{137}Cs), gases (CH_4 , H_2S , Cl_2 , C_2H_4 , CO , O_3 , NH_3 , C_4H_{10} , SO_2 , C_2H_4 , NO_2 , C_3H_8 , F_2), heavy metals (Pb , Cd , Hg , As , Ni , Cr , Co , Cu , Zn , Al , Mn , Fe), as well as dustiness of air.

Keywords: *nuclear power plants, monitoring, atmospheric air, radionuclides, heavy metals, chemical pollution*

УДК: 574:2:539.1.04:630.181:630.4:631.438

ЛЕСОПАТОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ЗОНАХ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ – НОВЫЙ МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД

Кучук В.А.¹, Калнин В.В.², Радин А.И.², Раздайводин А.Н.²

¹ филиал ФБУ «Российский центр защиты леса» «Центр защиты леса Калужской области»,
241050 г. Брянск, ул. Калинина, д.34, Российская Федерация
e-mail: kuchyukva@rcfh.ru

² ФБУ Всероссийский НИИ лесоводства и механизации лесного хозяйства, Российская Федерация
141202, Московская обл., г. Пушкино, ул. Институтская, 15
e-mail: info@roslesrad.ru

Предлагается использование нового методологического подхода для оценки влияния радиоактивного загрязнения на очаги вредителей и болезней леса на основе статистического анализа больших выборок. Привлекаются многолетние данные лесопатологических и радиационных обследований. Установлено наличие влияния радиоактивного загрязнения на возникновение очагов вредных организмов, носящего нелинейный и разнонаправленный характер в зависимости от вида вредителя или болезни и уровней радиоактивного загрязнения. Предложено выделить лесопатологические исследования в зонах радиоактивного загрязнения в новое направление радиационной экологии леса – радиационную лесопатологию.

Ключевые слова: *радиоактивное загрязнение лесов, радиоэкология, радиационная лесопатология, защита леса, лесозащитные мероприятия, лесопатологический мониторинг, радиационный мониторинг лесов*

Аварии и инциденты, связанные с использованием атомной энергии, привели к загрязнению окружающей среды радионуклидами искусственного происхождения. Большинство этих аварий носили характер «сельских» [1], в том числе приведших к радиоактивному загрязнению лесных экосистем. На территории России по состоянию на 2019 г. к зонам радиоактивного загрязнения отнесено около 1 млн. га земель лесного фонда.

Авария на Чернобыльской АЭС послужила стимулом к развитию прикладных исследований в области лесной радиационной экологии. Большинство ранних лесопатологических исследований в зонах радиоактивного загрязнения затрагивали отдельные виды или группы видов, либо общее санитарное состояние насаждений. Не было выявлено специфических изменений в видовом составе и популяционных характеристиках вредителей. Было установлено значимое влияние на вредные организмы изменения режимов хозяйственной деятельности [2-4]. После выхода работы А.М. Жукова «Динамика лесопатологического состояния древостоев на загрязненных радионуклидами территориях» [4] крупных исследований по защите леса в зонах радиоактивного загрязнения не публиковалось.

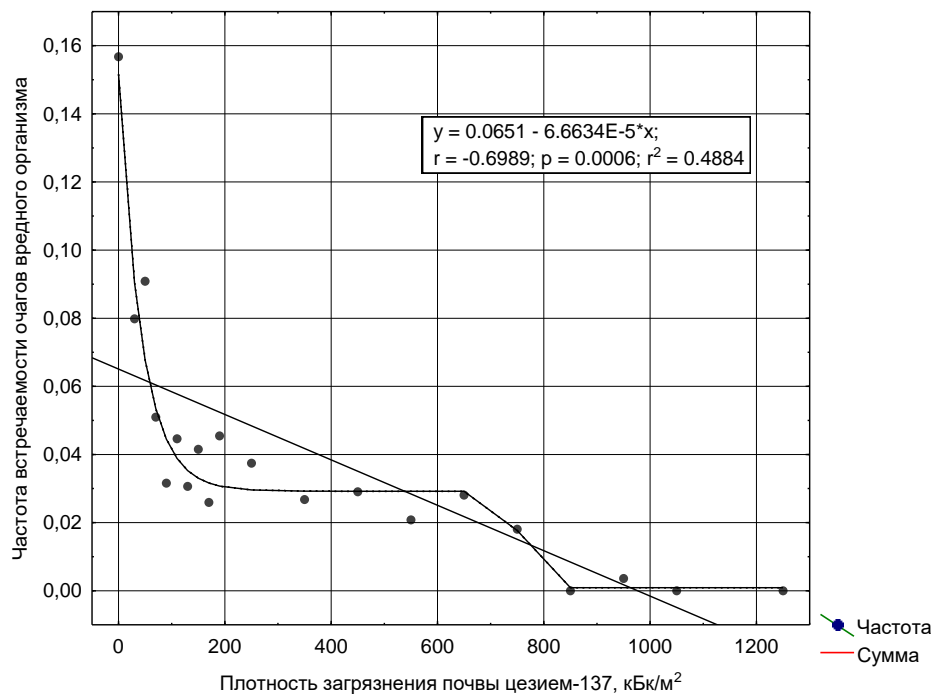
Из литературных источников известно, что при воздействии малых доз радиации может наблюдаться явление гормезиса – стимулирующего эффекта умеренных доз стрессоров [5, 6]. Кроме того, наши исследования воздействия радиации на фитопатогенные грибы показали наличие картины общего адаптационного синдрома (ОАС) и изменения стрессовой реакции организма (СРО) по Г. Селье [7].

Осуществляемые в соответствии с Лесным кодексом РФ лесопатологические обследования предусматривают выявление очагов вредных организмов [8]. В процессе основной деятельности филиалов ФБУ «Рослесозащита» накапливаются многолетние данные о выявленных очагах. Это позволило объединить данные об очагах вредных организмов и радиоактивном загрязнении лесных участков на примере лесов Брянской области. Объем использованной базы данных составил более 80 000 записей с глубиной наблюдений более 10 лет.

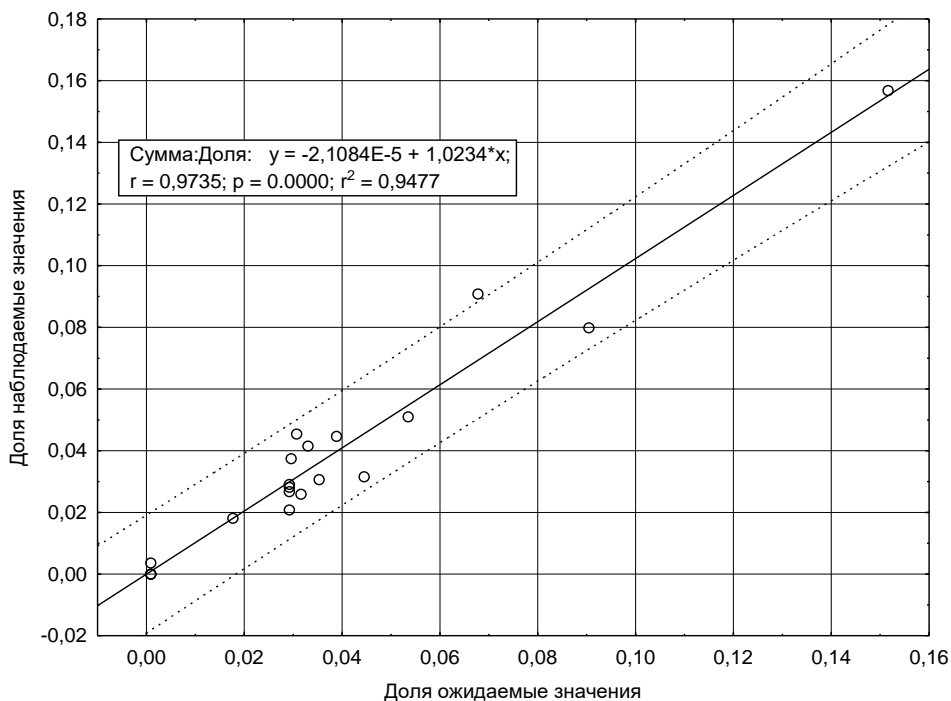
Предварительный анализ объединенных данных лесопатологических и радиологических обследований с использованием непараметрических методов показал наличие большого количества достоверных связей между плотностью радиоактивного загрязнения и повреждающими факторами для основных

лесообразующих пород. Далее на большом объёме выборки были установлены достоверные связи и устойчивые тренды между возникновением очагов ряда хозяйственно-значимых видов насекомых-вредителей и болезней с плотностью загрязнения почвы лесных участков цезием-137.

Рассмотрим поведение некоторых вредных организмов, поражающих сосну обыкновенную. Смоляной рак сосны (*Peridermium pini* (Willd.) Kleb.) показывает устойчивый отрицательный тренд возникновения очагов на градиенте плотности загрязнения почвы цезием-137 (рис. 1).



А



Б

Рисунок 1 – Распределение частот встречаемости очагов смоляного рака сосны (*Peridermium pini* (Willd.) Kleb.) в зависимости от плотности радиоактивного загрязнения почвы:
А – Кривая двухкомпонентной зависимости доза – эффект;
Б – Корреляция между ожидаемой (расчетной) и фактической вероятностью.

Распределение очагов по плотности загрязнения хорошо описывается кривой двухкомпонентной зависимости доза – эффект (рис. 1А):

$$S_1 = 554.31 * 0.99 / (1 + 10^{((-364.35 - v_1) * (-0.01))})$$

$$S_2 = 554.31 * (1 - 0.99) / (1 + 10^{((751.84 - v_1) * (-0.09))})$$

$$S = 8.99E + S_1 + S_2, \text{ где:}$$

v_1 – плотность загрязнения почвы цезием-137, кБк/м²;

S – Частота встречаемости очагов *Peridermium pini* (Willd.) Kleb. относительно к общему количеству обследованных участков, на которых присутствует повреждаемая порода.

Как видно из рис. 1Б, полученная кривая хорошо описывает экспериментальные данные. Корреляция между ожидаемой (расчетной) и фактической вероятностью возникновения очагов очень высока – коэффициент детерминации $r^2 = 0,9477$, уровень значимости $p < 1 * 10^{-4}$.

На графике (Рис. 1А) наблюдаются две ступени, при плотности загрязнения почвы около 100 кБк/м² (2,7 Ки/км²) и свыше 800 кБк/м² (21,6 Ки/км²). Что позволяет сделать вывод о значимом влиянии радиационного фактора уже вблизи нижней границы официально выделяемой зоны радиоактивного загрязнения – 37 кБк/м² (1 Ки/км²).

Корневая губка на сосне демонстрирует устойчивую положительную связь возникновения очагов с плотностью радиоактивного загрязнения лесных участков (рис. 2).

Рыжий сосновый пилильщик показывает устойчивый обратный тренд. Поскольку линейный тренд не достигает порога достоверности (рис. 3), дополнительно был проведен расчет с использованием натурального логарифма почвенного загрязнения:

$$y = 0,122 - 0,0191 * \ln(x); r = -0,5821; p = 0,0089; r^2 = 0,3389$$

Звездчатый ткач пилильщик не выявлен в условиях радиоактивного загрязнения. Сосновая губка демонстрирует индифферентность к фактору загрязнения.

Предложенный методический подход основывается на большом количестве (десятки тысяч) данных многолетних наблюдений, осуществляемых в ходе лесопатологических и радиационных обследований лесов. Он позволяет оценить влияние и значимость радиационного и других факторов на возникновение очагов патогенных организмов.

Установлено наличие связей между плотностью загрязнения цезием-137 почв лесных участков и развитием патогенных организмов. Исследуемая выборка хорошо отражает генеральную совокупность, выявленные связи с большой вероятностью (95 %) могут рассматриваться как реально существующий факт (уровень р-значимости менее 5 % (0,05)). Эти связи могут носить нелинейный и разнонаправленный характер в зависимости от уровня загрязнения. Анализ литературных данных, результаты наших полевых наблюдений и характер выявленных связей позволяет предположить, что радиационный фактор оказывает значимое влияние на формирование очагов вредных организмов и реализуется через прямое воздействие ионизирующего излучения (на организм и популяцию патогена), косвенное влияние (через воздействие излучения на другие виды лесных экосистем и их связи) и влияние через изменения режима хозяйственной деятельности.

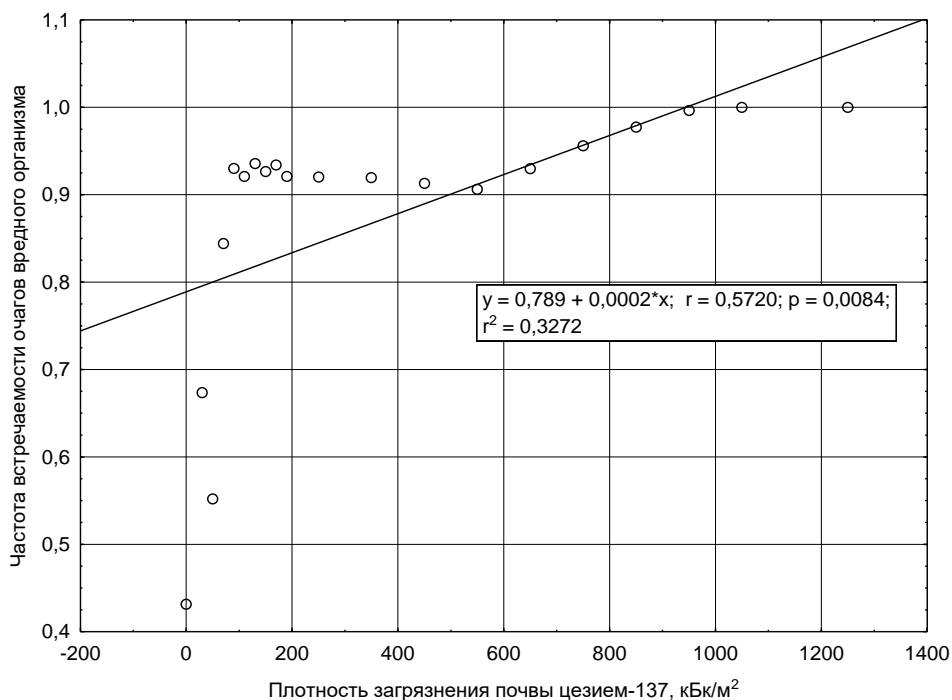


Рисунок 2 – Зависимость формирования очагов корневой губки (*Heterobasidion annosum* Fr.) на территории Брянской области от плотности загрязнения почвы цезием-137

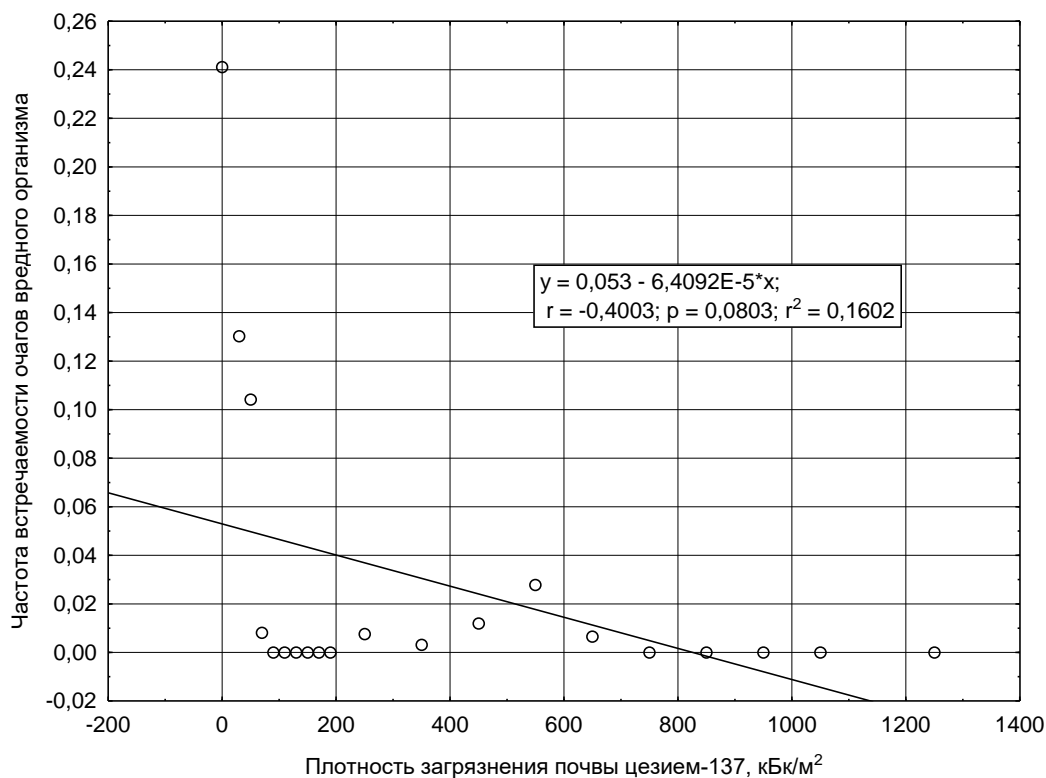


Рисунок 3 – Зависимость формирования очагов рыжего соснового пилильщика (*Neodiprion sertifer* Geoffr) на территории Брянской области от плотности загрязнения почвы цезием-137

Полученные результаты позволяют выявить взаимодействие живых организмов лесных экосистем между собой и с окружающей средой в условиях техногенного радиоактивного загрязнения. Они должны учитываться при осуществлении санитарно-оздоровительных мероприятий в лесах, а также позволяют предложить выделить новое направление лесной радиоэкологии, изучающее влияние радиоактивного загрязнения и ионизирующих излучений на санитарное состояние лесных экосистем и развитие очагов патогенных организмов – радиационную лесопатологию.

Список литературы

1. Крупные радиационные аварии: последствия и защитные меры / Р.М. Алексахин, [и др.] Под общей ред. Л.А. Ильина и В.А. Губанова. М., ИздАТ, 2001. 752 с.
2. Панфилов А. В. Действие радиоактивного загрязнения на санитарное состояние насаждений // Основы организации и ведения лесного хозяйства в условиях радиоактивного загрязнения. Гомель, 1990. 10 с.
3. Панфилов А.В. Майские хрущи и сопутствующие вредители корней в условиях радиоактивного

загрязнения – Дисс. ... степени канд. биол. наук, Москва – 1998, 24 с.

4. Жуков А.М. Динамика лесопатологического состояния древостоев на загрязненных радионуклидами территориях // В кн.: Вопросы лесной радиоэкологии. Под ред. А.И. Чилимова. Москва, 2000, с. 137-169.
5. Southam C.M. and Ehrlich J. (1943). Effects of extracts of western red-cedar heartwood on certain wood-decaying fungi in culture. *Phytopathology* 33: 517-524.
6. Luckey T.D. Radiation hormesis. Tokyo: Boca Raton Publisher, CRC Press, 1991.
7. Раздайводин А.Н., Радин А.И., Калнин В.В., Павлов А.Н., Рябинков А.П., Карпов А.Д., Пророков А.А. Влияние ионизирующего излучения на развитие патогенных грибов рода *alternaria* на семенах ясеня обыкновенного (*Fraxinus excelsior* L.) // Радиационные технологии в сельском хозяйстве и пищевой промышленности: состояние и перспективы: сборник докладов международной научно-практической конференции, Обнинск, 26-28 сентября 2018 г. Обнинск: ФГБНУ ВНИИРАЭ, 2018. – С 114-117.
8. ГОСТ Р 57973-2017

FOREST PATHOLOGICAL RESEARCH IN THE ZONES OF RADIOACTIVE CONTAMINATION – NEW METHODOLOGICAL APPROACH

Kuchuk V.A. ¹, Kalnin V.V. ², Radin A.I. ², Razdaivodin A.N. ²

¹ Branch office FBI 'Russian Centre of Forest Health' 'Kaluga Centre of Forest Health', 241050, Bryansk, Kalinina str., 34, Russian Federation,

² Russian Research Institute of Silviculture and Mechanization of Forestry
141202 Moscow region, Pushkino, Institutskaya st., 15, Russian Federation

It is proposed to use a new methodological approach to assess the impact of radioactive contamination on the foci of forest pests and diseases based on statistical analysis of large samples. Used long-term data from forest pathological and radiation surveys. The influence of radioactive contamination on the occurrence of foci of harmful organisms that are non-linear and multidirectional depending on the type of pest or disease and levels of radioactive contamination established. It was proposed to highlight forest pathological research in the zones of radioactive contamination in the new direction of forest radiation ecology – radiation forest pathology.

Keywords: *radioactive contamination of forests, radioecology, radiation forest pathology, forest protection, forest protection measures, forest pathological monitoring, radiation monitoring of forest*

УДК:574:539.1.04:614.73

ОЦЕНКА ДОЗ ОБЛУЧЕНИЯ НАСЕЛЕНИЯ, ПРОЖИВАЮЩЕГО В РАЙОНЕ РАЗМЕЩЕНИЯ БЕЛОЯРСКОЙ АЭС ОТ ЕСТЕСТВЕННОГО РАДИАЦИОННОГО ФОНА

Микаилова Р.А., Нуштаева В.Э., Спиридонов С.И.

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии»

249032 Калужская область, г. Обнинск, Киевское шоссе, 109 км, Российская Федерация

e-mail: mik_r_a@rirae.ru

Проведена оценка доз облучения населения от естественного радиационного фона на основе данных радиозоологического обследования региона размещения Белоярской АЭС. Выполнена оценка годовой эффективной дозы, сформированной за счет поступления естественных радионуклидов с продуктами питания и водой, ингаляции и внешнего облучения. Дозовая нагрузка от естественного радиационного фона достигает 2,1 мЗв/год для сельского и 1,9 мЗв/год для городского населения.

Ключевые слова: *оценка дозовых нагрузок, Белоярская АЭС, радиозоологическое обследование, годовая эффективная доза облучения, естественный радиационный фон*

Естественный радиационный фон является неотъемлемым компонентом окружающей среды. Превалирующую часть облучения человек получает за счет природных источников радиации. По результатам радиозоологического обследования территории размещения Белоярской АЭС (БАЭС), проведенного специалистами ФГБНУ ВНИИРАЭ и РИ им. Хлопина в 2013 г. выполнена оценка доз облучения населения от естественного радиационного фона.

Расчёт доз облучения населения, проживающего в 30-километровой зоне наблюдения БАЭС выполнен на основе [1]. При расчёте дозовых нагрузок от природного радиационного фона оценивали дозы внешнего облучения за счет содержания естественных радионуклидов в поверхностном слое почвы и приземном слое воздуха, а также дозы внутреннего облучения городского и сельского населения, различающихся рационом питания и источниками поступления питьевой воды. Расчёт проведён для городского и сельского населения

старше 17 лет с учётом их режимов поведения и защитных свойств зданий и сооружений от внешнего γ -излучения. Принято, что доля местных продуктов в годовом рационе составляет 100 %.

Доза внутреннего облучения от естественных радионуклидов в основном формируется за счет ингаляции. Преимущественный вклад вносит непосредственный продукт распада ^{226}Ra – радон (^{222}Rn). Вычисления на основе соотношения, указанного в [2], показали, что средняя доза внутреннего облучения за счет ингаляции радона достигает 0,83 мЗв/год. Вклад других радионуклидов в дозу внутреннего облучения по ингаляционному пути незначителен. Доза внутреннего облучения за счет потребления продуктов питания от естественных радионуклидов формируется преимущественно ^{40}K , значения дозы для городского и сельского населения составляют 0,39 и 0,42 мЗв/год соответственно.

Доза внешнего облучения от естественных радионуклидов согласно данным радиозоологического

обследования составляет 0,24 мЗв/год для городского населения и 0,36 мЗв/год для сельского

населения. На рисунке 1 представлены вклады различных путей облучения в суммарную дозовую нагрузку.

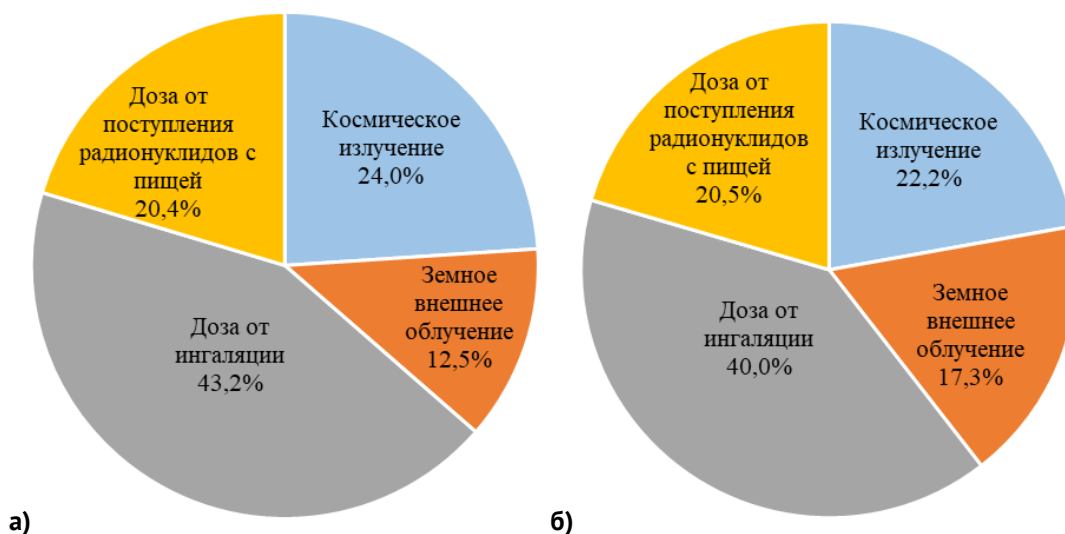


Рисунок 1 – Вклад путей облучения в годовую эффективную дозу облучения городского (а) и сельского (б) населения от естественного радиационного фона (%)

Суммарная годовая доза от естественного радиационного фона для городского населения составляет 1,9 мЗв/год, а для сельского – 2,1 мЗв/год, что соответствует средним значениям годовой эффективной дозы в России и мире [3, 4].

Список литературы

1. МР 2.6.1.0063-06. Контроль доз облучения населения, проживающего в зоне наблюдения радиационного объекта, в условиях его нормальной эксплуатации и радиационной аварии: Методические рекомендации. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2013. 55 с.

2. Спиридонов С.И., Алексахин Р.М., Спиринов Е.В. Интегральные показатели радиационного воздействия объектов открытого и замкнутого топливного цикла на население // Атомная энергия. 2015. Т. 118. Вып. 1. С. 47-54.

3. Крышев И.И., Рязанцев Е.П. Экологическая безопасность ядерно-энергетического комплекса России. М.: ИздаАТ, 2010. 496 с.

4. Ojovan M. I., Lee W. E., Kalmykov S.N. An Introduction to Nuclear Waste Immobilisation, 3rd Edition. Elsevier, 2019. 493 p.

ASSESSMENT OF THE RADIATION DOSE FROM THE NATURAL RADIATION BACKGROUND FOR THE MEMBERS OF THE PUBLIC RESIDING IN THE VICINITY OF BELOYARSK NPP

Mikhailova R.A., Nushtaeva V.E., Spiridonov S.I.

Russian Institute of Radiology and Agroecology, 249032 Kaluga region, Obninsk, Kievskoe shosse 109 km, Russian Federation

The radiation doses on the population from the natural radiation background were estimated basing on the data of a radioecological survey in the vicinity of the Beloyarsk NPP. An assessment of the annual effective dose formed due to ingestion of radionuclides with food and water, inhalation and external exposure was performed. The total effective dose from natural radiation background reached 2.1 mSv/a for rural residents and 1.9 mSv/year for urban population.

Keywords: *dose assessment, Beloyarsk NPP, radioecological survey, total effective dose, natural radiation background*

ОЦЕНКА РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ НАЗЕМНЫХ ЭКОСИСТЕМ В ЗОНЕ СТРОИТЕЛЬСТВА КУРСКОЙ АЭС-2

Новикова Н.В., Кузнецов В.К., Белова Н.В., Андреева Н.В.

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии»

249032 Калужская область, г. Обнинск, Киевское шоссе, 109 км, Российская Федерация

e-mail: N7K7N7@yandex.ru

Представлены результаты радиационно-экологического мониторинга аграрных экосистем в зоне воздействия Курской АЭС-2. Установлено, что удельная активность ^{137}Cs в почвах сельскохозяйственных угодий 30 км зоны Курской АЭС-2 составляет в среднем $24,2 \pm 14,8$ Бк/кг. Суммарная активность искусственных радионуклидов в урожае растений определяется долгоживущими ^{137}Cs и ^{90}Sr . Максимальным размером накопления радионуклидов характеризуется природный травостой и многолетние бобовые культуры, минимальным – зерновые и овощные культуры. Вклад естественных радионуклидов в суммарную активность продукции сельского хозяйства полностью определяется ^{40}K . Ни в одной из проб растительного происхождения превышения нормативов, регламентируемых СанПиН 2.3.2. 2650 – 10 по содержанию радионуклидов, не обнаружено.

Ключевые слова: агроэкосистема, мониторинг, АЭС, радионуклиды

Перспективы развития ядерной энергетики напрямую зависят от решения экологических проблем. Во всех странах, располагающих ядерно-энергетическими установками, идет активное обсуждение путей развития ядерной энергетики и проблемы воздействия АЭС на окружающую среду и человека. В Российской Федерации в настоящее время определены перспективы развития энергетического комплекса в целом и на период до 2030 г, планируется достройка начатых и освоение 10 новых площадок АЭС [1,2].

На территории Курской области предполагается размещение четырех энергоблоков станции замещения АЭС-2, в 30-км зоне которой сельскохозяйственными угодьями занято до 90 % сухопутной части. В связи с этим контроль радиационной обстановки на сельскохозяйственных территориях является одним из важных элементов обеспечения экологической безопасности региона АЭС, а организация системы радиоэкологического мониторинга агроэкосистем в районе размещения АЭС-2 является необходимым условием обеспечения безопасного проживания населения и снабжения его продуктами питания, соответствующими санитарно-гигиеническим нормативам.

Целью данной работы является проведение радиоэкологического мониторинга и оценка агро- и радиоэкологического состояния наземных экосистем в 30 км зоне строящейся Курской АЭС-2.

Обследование территории 30 км зоны Курской АЭС-2 проводилось на основе картографического материала по расположению сельскохозяйственных угодий вокруг Курской АЭС-2.

В соответствии с поставленными задачами состав и содержание радионуклидов определялся в почвенном покрове агроэкосистем и в сельскохозяйственной продукции, выращиваемой в регионе (зерновые культуры, кормовые культуры, овощи).

При проведении мониторинга агроэкосистем определяли мощность дозы γ -излучения и удельную или объемную активность радионуклидов в объектах сельского хозяйства.

Обязательным условием отбора проб растений являлась сопряженность. Пробы растений отбирались одновременно на тех же участках, что и пробы почвы, разделяя отдельно основную и побочную продукцию. В зависимости от вида сельскохозяйственных культур размер пробных площадок составлял 1x1 м (культуры сплошного сева) или 1x2 м (пропашные культуры). Масса пробы зависит от вида культуры и содержания в ней контролируемого радионуклида, но должна быть не менее 2 кг. Для получения объединенной пробы растений отбирались не менее 8-10 точечных проб.

Определение содержания ^{137}Cs и ^{90}Sr в почвах и растениях осуществлялось в стационарных условиях. Измерения проводились гамма-спектрометрическим и радиометрическим методами в соответствии с официально утвержденными методиками измерения активности радионуклидов в различных образцах [3, 4].

Агрохимические показатели почв определяли общепринятыми методами: $\text{pH}_{\text{КСЛ}}$ и $\text{pH}_{\text{водный}}$ - потенциометрическим методом; гидролитическую кислотность - методом Каппена; гумус – методом Тюрина; подвижный фосфор (P_2O_5) и обменный калий (K_2O) вытесняли из почвы методом Чирикова с последующим определением в вытяжке фосфора по Дениже (коллометрически), а калия – на атомно-абсорбционном спектрофотометре Perkin-Elmer [5].

В результате обследования установлено, что радиоактивность почв сельскохозяйственных угодий 30 км зоны Курской АЭС-2 обуславливается содержанием искусственных и естественных радионуклидов. Спектр искусственных радионуклидов определяется долгоживущими ^{137}Cs и ^{90}Sr . Следует отметить, что удельная активность ^{137}Cs в почвах

сельскохозяйственных угодий 30 км зоны Курской АЭС-2 составляет в среднем $24,2 \pm 14,8$ Бк/кг.

При этом удельная активность ^{137}Cs в почвах определяется не только абсолютными значениями, но и зависит от характера его распределения по слоям почвы (таб. 1).

На пахотных угодьях за счет многократно проводимых механических обработок почвы все суммарное количество ^{137}Cs достаточно равномерно

распределено в слое 0-25 см. На целинных же участках, напротив основное количество радионуклидов находится в верхнем 0-10 см слое почвы, что оказывает влияние как на размеры накопления ^{137}Cs в растениях, так и на характер определяемой в момент отбора проб эквивалентной дозы, что указывает на важность учета при проведении обследования вида сельскохозяйственных угодий.

Таблица 1

Распределение ^{137}Cs по профилю почв разных видов сельскохозяйственных угодий, Бк/кг

Место отбора	Вид угодий	Слой почвы, см				
		0-5	5-10	10-15	15-20	20-25
Иванино, Курчатовского района	прирусловый пойменный луг	137	34,7	5,0	3,9	2,6
Д. Быки Курчатовского района	пойменный луг центральной поймы	86,4	85,7	29,7	3,1	1,5
Д. Макаровка Курчатовского района	пашня	21,4	22,1	23,2	25,2	28,1

Определение содержания радионуклидов проводили в различных видах сельскохозяйственных культур. При этом принимались во внимание тип травостоя и вид сельскохозяйственных культур, тип почвы, их механический состав и гидрологический режим.

В результате обследования установлено, что суммарная активность искусственных радионуклидов в

урожае растений определяется долгоживущими ^{137}Cs и ^{90}Sr . Следует также отметить, что вклад естественных радионуклидов в суммарную активность продукции полностью определяется ^{40}K . Ни в одной из проб растительного происхождения превышения нормативов, регламентируемых СанПиН 2.3.2. 2650 – 10 по содержанию радионуклидов, не обнаружено (таб. 2).

Таблица 2

Содержание радионуклидов в сельскохозяйственных культурах, Бк/кг

С/х культура	Определяемый радионуклид, Бк/кг				
	^{137}Cs	^{90}Sr	^{132}Th	^{226}Ra	^{40}K
Капуста	**0.40/0,027	0.7/0,047	н.п.о.*	н.п.о.	740
Помидоры	0.27/0,011	0.4/0,017	н.п.о.	н.п.о.	1459
Картофель	0.08/0,019	0.1/0,024	н.п.о.	н.п.о.	462
Лук	0.77/0,118	0.8/0,12	н.п.о.	н.п.о.	458
Лук шелуха	2.0/0,95	1,5/0,65	н.п.о.	н.п.о.	210
Перец	0.46/0,030	0.5/0,033	н.п.о.	н.п.о.	935
Морковь	0.67/0,086	0.8/0,10	н.п.о.	н.п.о.	1074
Допустимый уровень по СанПиН 2.3.2. 2650 – 10					
		^{90}Sr		^{137}Cs	
Овощи		40		80	
Картофель		40		80	

*- н.п.о. – ниже предела обнаружения; ** - данные по овощам представлены в числителе на воздушно-сухую массу, в знаменателе – на сырую

Определение содержания радионуклидов в пробах овощных культур на частных подворьях показало, что уровни загрязнения соответствуют фоновым значениям. Максимальное содержание ^{137}Cs выявлено в моркови – 0,086 Бк/кг, минимальное в помидорах (0,011 Бк/кг) (таб. 2). При этом их значения по содержанию ^{137}Cs в овощах в 930-7270 раз ниже предельно-допустимых значений.

Содержание радионуклидов в сельскохозяйственных растениях существенно варьирует, что

обуславливается влиянием свойств почв, видовых особенностей растений, погодных условий и проводимых агротехнических и агрохимических мероприятий. В зависимости от типа и соответственно свойств почв прослеживается тенденция большего накопления радионуклидов в растениях из более легких по механическому составу почв. Максимальным размером накопления радионуклидов характеризуется природный травостой и многолетние бобовые культуры, минимальным – зерновые и овощные культуры.

Для получения информации, необходимой для оценки состояния агроэкологического состояния аграрных экосистем были определены агрохимические свойства почв сельскохозяйственных угодий.

Результаты определения химических свойств почв сельскохозяйственных угодий показали, что почвенный покров сельскохозяйственных угодий в обследованных хозяйствах довольно однородный. В основном представлены черноземные и серые лесные почвы в комплексе с разновидностями интродуцированных почв. Гранулометрический состав преимущественно тяжело- и среднесуглинистый.

Содержание гумуса в почвах черноземного типа варьирует от 3,3-4,1 %, в серой лесной от 1,5 до 2,9 %, рН почвенного раствора составляет 5,2-6,1 для черноземов и 4,2-5,5 для серых лесных почв. Уровень гидролитической кислотности достаточно низкий и составляет 1,3-2,2 мг-экв на 100 г почвы, сумма обменных оснований изменяется от 20,0 до 40,0 мг-экв/100 г.

Содержание подвижных форм фосфора и калия в обследованных почвах определяется плодородием и окультуренностью почв. При этом различия в содержании P_2O_5 в разных типах и видах почв достигают 10 раз и варьируют в пределах 53,2-535,0 мг/кг почвы, содержание K_2O также было контрастным для разных участков: 45,2-467,0 мг/кг.

Полученные результаты могут в дальнейшем служить основой для оценки динамики изменения химических свойств почв под влиянием антропогенных воздействий. Эти данные необходимо рассматривать как базовые, что позволит в будущем провести сравнительную оценку с результатами последующих исследований.

Список литературы

1. Концептуальные положения стратегии развития ядерной энергетики России в XXI веке. - М.: ОАО «НИКИЭТ». 2012. 62 с
2. Энергетическая стратегия России до 2030 г. (утв. распоряжением Правительства Российской Федерации от 13 ноября 2009 г. №1715-р.)
3. ОСТ 10 071-95 «Стандарт отрасли. Почвы. Методика определения ^{137}Cs в почвах сельхозугодий», М.: Минсельхозпрод России 1995. 11 с.
4. ОСТ 10 071-95 «Стандарт отрасли. Почвы. Методика определения ^{90}Sr в почвах сельхозугодий», М.: Минсельхозпрод России 1995. 24 с.
5. Агрохимические методы исследования почв. М.: «Наука», 1975.

ASSESSMENT OF RADIOECOLOGICAL STATE OF TERRESTRIAL ECOSYSTEMS IN THE KURSK NPP-2 CONSTRUCTION ZONE

Novikova N.V., Kuznetsov V.K., Belova N.V., Andreeva N.V.

Russian Institute of Radiology and Agroecology, 249032 Kaluga region, Obninsk, Kievskoe shosse 109 km, Russian Federation

The results of radiation and environmental monitoring of agricultural ecosystems in the impact zone of Kursk NPP-2 are presented. It is established that the specific activity of ^{137}Cs in soils of agricultural lands of 30 km of the Kursk NPP zone is on average $24,2 \pm 14,8$ Bk/kg. The total activity of artificial radionuclides in the crop is determined by long-lived Cs and Sr. The maximum size of accumulation of radionuclides is characterized by natural herbage and perennial legumes, the minimum-grain and vegetable crops. The contribution of natural radionuclides to the total activity of agricultural products is fully determined by ^{40}K . None of the samples of plant origin exceed by SanPin 2.3.2. 2650-1- on the content of radionuclides was not detected.

Keywords: *Agricultural ecosystems, monitoring, NPP, radionuclides*

УДК 621.311.25; 574

ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ АТМОСФЕРНЫХ ВЫБРОСОВ БЕЛОЯРСКОЙ АЭС НА РЕФЕРЕНТНЫЕ ОРГАНИЗМЫ БИОТЫ

Нуштаева В.Э., Микаилова Р.А., Нуштаев С.Н., Карпенко Е.И., Спиридонов С.И.

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии»

249032 Калужская область, г. Обнинск, Киевское шоссе, 109 км, Российская Федерация

e-mail: victoria.ed@rirae.ru

Выполнен прогноз дозовых нагрузок на референтные организмы биоты, полученных в результате воздействия атмосферных выбросов энергоблоков БН-600 и БН-800 Белоярской АЭС. Показано, что дозы облучения наземной

биоты в результате воздействия выбросов реактора БН-800 ожидаются вдвое меньше дозовых нагрузок от реактора БН-600. К 2030 году при совместной эксплуатации энергоблоков дозы облучения наземной биоты не будут превышать $6,4 \cdot 10^{-3}$ мкГр/ч.

Ключевые слова: Белоярская АЭС, реакторы БН-600 и БН-800, атмосферные выбросы, референтные организмы биоты, дозовые нагрузки

Белоярская АЭС расположена на территории городского округа Заречный Свердловской области Российской Федерации, на восточном берегу Белоярского водохранилища, созданного в качестве водоема-охладителя. Атмосферные выбросы Белоярской АЭС в настоящий момент определены действующими энергоблоками БН-600 и БН-800, введенными в эксплуатацию в 1981 и 2016 годах, также работами по выводу из эксплуатации остановленных энергоблоков с водографитовыми канальными реакторами АМБ-100 и АМБ-200.

Для расчета дозовых нагрузок на референтные организмы использовали усредненные данные по атмосферным выбросам энергоблока №3 БН-600, а также информацию, характеризующую проектные выбросы энергоблока №4 БН-800 [1,2]. Оценка доз облучения референтных представителей наземных экосистем проводилась с использованием международного программного кода ERICA [3]. Прогноз рассеивания радионуклидов в атмосфере выполнен на основе модели атмосферной дисперсии, представленной в документе МАГАТЭ SRS №19 [4]. Дозовые нагрузки на биоту от инертных радиоактивных газов рассчитывали с использованием коэффициентов дозового преобразования для внешнего облучения [5]. В качестве референтных представителей наземной биоты были выбраны референтные организмы в соответствии с рекомендациями МКРЗ [6]: аннелиды (дождевой червь), крупные млекопитающие (олень), мелкие млекопитающие (крыса), насекомые (пчела), дикорастущие травы, деревья (сосна).

Мощности доз облучения представителей наземных экосистем в результате атмосферных выбросов БН-600 при длительной эксплуатации реактора находятся в пределах одного порядка и не будут превышать $4,2 \cdot 10^{-3}$ мкГр/ч. Основной вкладчик в суммарную активность выброса БН-600 – ^3H (96 %). Вследствие этого дозовые нагрузки на биоту в основном будут сформированы внутренним облучением от ^3H (99 %).

Дозовые нагрузки на биоту спустя 50 лет эксплуатации энергоблока БН-800 не будут превышать $2,2 \cdot 10^{-3}$ мкГр/ч (таблица 3). Основным дозообразующим радионуклидом в течение всего срока эксплуатации БН-800 будет являться тритий (93-98 %).

Дозовые нагрузки на наземную биоту при совместной эксплуатации энергоблоков к 2030 году ожидаются ниже $6,4 \cdot 10^{-3}$ мкГр/ч (рисунок 1). В результате ввода в эксплуатацию БН-800, дозы облучения представителей наземных экосистем увеличиваются на 50 %. Вследствие того, что эксплуатация энергоблока №3 запланирована до 2025 года, суммарные дозовые нагрузки на биоту после вывода из эксплуатации не будут превышать рассчитанных значений.

В результате радиационного воздействия энергоблоков БН-600 и БН-800 Белоярской АЭС, дозовые нагрузки ожидаются значительно ниже референтных уровней облучения [6], следовательно, негативных эффектов у биоты наблюдаться не будет.

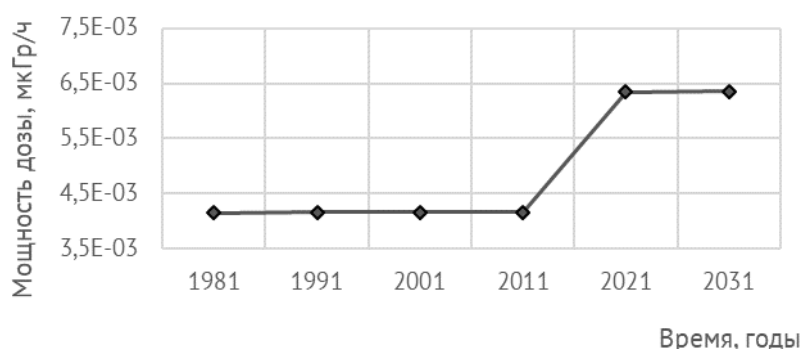


Рисунок 1 — Динамика мощности дозы облучения крупных млекопитающих при совместной эксплуатации энергоблоков БН-600 и БН-800, мкГр/ч

Список литературы

1. Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств в 1991 – 2017 годы. Ежегодники Росгидромета. Обнинск, НПО «Тайфун».

2. Белоярская АЭС. Энергоблок № 4. Оценка воздействия на окружающую среду. Том 1. Книга 1, 2. БЛ.4-0-0-ОВОС-001/1, БЛ.4-0-0-ОВОС-001/2, ОАО «СПбАЭП», 2012.

3. Brown J.E., Alfonso B., Avila R., Beresford N.A., Copplestone D., Hosseini A. New version of the ERICA tool to facilitate impact assessments of radioactivity on wild plants and animals // *Journal of Environmental Radioactivity*. 2016. V. 153. P. 141–148.

4. Generic models for use in assessing the impact of discharges of radioactive substances to the environment. Safety Reports Series No. 19. Vienna: International Atomic Energy Agency, 2001.

5. Vives I Batlle J., Jones S.R., Copplestone D. A method for estimating ^{41}Ar , $^{85,88}\text{Kr}$ and $^{131\text{m}}, ^{133}\text{Xe}$ doses to non-human biota // *Journal of Environmental Radioactivity*. 2015. V. 144, P. 152–161.

6. Environmental protection - the concept and use for reference animals and plants. ICRP Publication 108 // *Annals of the ICRP*. 2008. V. 38, N 4–6.

ASSESSMENT OF RADIATION EXPOSURE TO REFERENCE ORGANISMS FROM ATMOSPHERIC RELEASES OF THE BELOYARSK NPP

Nushtaeva V.E., Mikailova R.A., Nushtaev S.N., Karpenko E.I., Spiridonov S.I.

Russian Institute of Radiology and Agroecology, 249032 Kaluga region, Obninsk, Kievskoe shosse 109 km, Russian Federation

The paper presents the forecast of radiation doses to biota reference organisms resulted from the exposure to the atmospheric emissions of the BN-600 and BN-800 power units of the Beloyarsk NPP. It shows that doses to terrestrial biota from the exposure to BN-800 reactor emissions are expected to be half the dose from BN-600 reactor. By 2030, with the joint operation of both power units, biota radiation doses will not exceed $6.4 \cdot 10^{-3} \mu\text{Gy/h}$.

Keywords: *Beloyarsk nuclear power plant, BN-600 and BN-800 reactors, atmospheric releases, reference organisms, radiation dose rates*

УДК 621.311.25; 574

ПРОГНОЗ ДОЗ ОБЛУЧЕНИЯ БИОТЫ В РЕЗУЛЬТАТЕ ГАЗОАЭРОЗОЛЬНЫХ ВЫБРОСОВ И ЖИДКИХ СБРОСОВ БАЛТИЙСКОЙ АЭС

Нуштаева В.Э., Нуштаев С.Н., Карпенко Е.И., Спиридонов С.И.

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии»

249032 Калужская область, г. Обнинск, Киевское шоссе, 109 км, Российская Федерация

e-mail: victoria.ed@rira.ru

Выполнен прогноз радиационного воздействия планируемых атмосферных выбросов и жидких сбросов Балтийской АЭС на природные экосистемы. Дозовые нагрузки оценивали для набора референтных организмов, предложенных МКРЗ. Наибольшему радиационному воздействию станции будут подвергаться придонные рыбы и крупные млекопитающие. Эти группы организмов можно рекомендовать в качестве “критических” объектов биоты при организации радиоэкологического мониторинга. Основными дозообразующими радионуклидами при атмосферных выбросах Балтийской АЭС для наземных организмов будут являться ^3H и ^{14}C . Для гидробионтов наиболее значимые, с точки зрения формирования дозовой нагрузки, радионуклиды при жидких сбросах станции — ^{137}Cs , ^{134}Cs , ^3H . Дозовые нагрузки на биоту ожидаются ниже референтных уровней облучения.

Ключевые слова: *Балтийская АЭС, радиоактивные выбросы и сбросы, референтные организмы биоты, дозовые нагрузки*

При планировании радиационно-опасного объекта необходимо определить дозы облучения биоты, которые будут сформированы атмосферными радиоактивными выбросами и жидкими сбросами радионуклидов в водную среду в результате эксплуатации объекта. Результаты оценки позволят идентифицировать “критические” природные организмы, наиболее подверженные риску облучения, и основные дозообразующие радионуклиды для оптимизации радиоэкологического мониторинга природных экосистем.

Площадка строительства Балтийской АЭС (БтАЭС) расположена в Европейской части России, на приграничной территории с Польшей и Литвой, вблизи Белоруссии, в пределах водосборного бассейна Балтийского моря. Проект БтАЭС предусматривает сооружение двух энергоблоков типа ВВЭР-1200. Предполагаемый срок эксплуатации энергоблока составляет 50 лет.

Дозовые нагрузки оценивали для набора референтных организмов, предложенных МКРЗ [1].

Расчет ожидаемых доз облучения биоты выполнен на основе данных о проектных атмосферных выбросах и жидких сбросах Балтийской АЭС [2]. Оценку дозовых нагрузок референтных представителей биоты проводили с помощью международного программного кода ERICA [3]. Прогноз рассеивания радионуклидов в атмосфере и водной среде выполнен на основе моделей, представленных в документе МАГАТЭ SRS №19 [4]. Дозы облучения биоты от инертных радиоактивных газов (ИРГ) рассчитаны с использованием коэффициентов дозового преобразования для внешнего облучения от ИРГ [5].

Согласно прогностическим оценкам дозовых нагрузок на биоту от выбросов и сбросов Балтийской АЭС, максимальные дозы облучения будут характерны для водных растений реки Неман. В то же время, учитывая радиочувствительность рассматриваемых объектов биоты, наибольшему радиационному воздействию будут подвергаться придонные рыбы. Среди представителей наземных экосистем наиболее подверженными влиянию радиоактивных выбросов станции будут являться млекопитающие. Эти группы организмов можно рекомендовать для организации радиоэкологического мониторинга в качестве “критических” объектов биоты.

Несмотря на то, что максимальные значения активности радионуклидов в составе проектных атмосферных выбросов характерны для ИРГ (более 80 %), основными дозообразующими радионуклидами для наземных организмов при газоаэрозольных выбросах станции будут являться ^3H и ^{14}C . Основная доля в суммарной мощности дозы облучения наземных организмов в течение эксплуатации АЭС будет приходиться на внутреннее облучение. Основной вклад в облучение млекопитающих, трав и деревьев будет вносить ^{14}C (52–70 %). Тритий (^3H) будет являться основным дозообразующим радионуклидом для почвенной мезофауны и насекомых (45–56 %).

Содержание ^3H в проектных жидких сбросах станции составляет 99,9 % от суммарной активности радионуклидов, несмотря на это дозовые нагрузки на гидробиоты в основном будут сформированы за счет изотопов цезия. Так, придонные рыбы и водные растения будут получать наибольшую дозу в

результате внешнего облучения от ^{137}Cs (~54 %) и ^{134}Cs (~32 %), аккумулируемых в донных отложениях. Основной вклад в суммарную дозу облучения амфибий, пелагических рыб и водоплавающих птиц будет вносить внутреннее облучение, обусловленное содержащимися в воде ^{137}Cs , ^{134}Cs , ^3H (вклад ^{137}Cs – 35–43 %, ^{134}Cs – 24–30 %, ^3H – 29–37 %).

Дозы облучения биоты ожидаются ниже референтных уровней облучения [1], следовательно, у представителей природных экосистем не следует ожидать таких эффектов, как снижение репродуктивности, увеличение заболеваемости и смертности. Полученные результаты позволяют сделать вывод, что планируемые выбросы и сбросы Балтийской АЭС не окажут значимого влияния на природные экосистемы.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (соглашение №18-19-00016).

Список литературы

1. ICRP. Environmental protection - the concept and use for reference animals and plants. ICRP Publication 108 // Annals of the ICRP. 2008. V. 38, N 4–6.
2. IAEA. International peer review of the environmental impact assessment performed for the licence application of the Baltic-1 nuclear power plant, Kaliningrad, Russian Federation. Vienna: International Atomic Energy Agency, 2017.
3. Brown J.E., Alfonso B., Avila R., Beresford N.A., Copplestone D., Hosseini A. New version of the ERICA tool to facilitate impact assessments of radioactivity on wild plants and animals // Journal of Environmental Radioactivity. 2016. V. 153. P. 141–148.
4. IAEA. Generic models for use in assessing the impact of discharges of radioactive substances to the environment. Safety Reports Series No. 19. Vienna: International Atomic Energy Agency, 2001.
5. Vives I Batlle J., Jones S.R., Copplestone D. A method for estimating ^{41}Ar , $^{85,88}\text{Kr}$ and ^{131}m , ^{133}Xe doses to non-human biota // Journal of Environmental Radioactivity. 2015. V. 144, P. 152–161.

THE FORECAST OF RADIATION DOSES TO BIOTA FROM ATMOSPHERIC RELEASES AND LIQUID DISCHARGES OF THE BALTIC NPP

Nushtaeva V.E., Nushtaev S.N., Karpenko E.I., Spiridonov S.I.

Russian Institute of Radiology and Agroecology, 249032 Kaluga region, Obninsk, Kievskoe shosse 109 km, Russian Federation

This paper provides the prediction of radiation exposure to the natural environment from planned atmospheric and liquid radioactive discharges by the Baltic Nuclear Power Plant (NPP). Radiation doses were estimated for a set of reference animals and plants identified by the ICRP. Benthic fishes and large mammals will be the most exposed to radiation impact of the NPP. These groups of organisms can be recommended as “critical” non-human biota objects during organizing radioecological monitoring. The most significant radionuclides in the case of atmospheric releases by the Baltic NPP for terrestrial organisms will be ^3H and ^{14}C . For aquatic organisms, the main contributors to dose from liquid discharges of

this NPP will be ^{137}Cs , ^{134}Cs , ^3H . Predicted dose rates for reference organisms with the total discharges is much lower than the derived consideration reference levels.

Keywords: *Baltic nuclear power plant, atmospheric releases and liquid discharges, reference organisms, radiation dose rates*

УДК504.3.064.36:546.42:621.039.58

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ^{90}Sr В АТМОСФЕРНОМ ВОЗДУХЕ ВБЛИЗИ РАДИАЦИОННО-ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ

Олейник А.В.¹, Зубачева А.А.², Прякина А.И.²

1 Обнинский институт атомной энергетики – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ»
249040 Калужская область, г. Обнинск, Студгородок, д.1, Российская Федерация
e-mail: cool-girls1996@mail.ru

2 ФГБУ «Научно-производственное объединение «Тайфун» Росгидромета РФ
249031 Калужская обл., Обнинск, Победы, 4, Российская Федерация
e-mail: sapozhnikova@rpatyphoon.ru

В данной работе приведена оценка полученных экспериментальных данных радиохимического анализа содержания ^{90}Sr в атмосферном воздухе, отобранного вблизи радиационно-опасных объектов (РОО). Была выполнена обработка полученных результатов измерения объёмной активности счётных образцов, с территорий различных федеральных округов Российской Федерации.

Ключевые слова: *объёмная активность, оценка неопределённости, радиостронций, атмосферный воздух, радиационно-опасные объекты, радиохимический анализ*

Химические соединения стронция хорошо растворимы и легко усваиваются растениями, что позволяет им гораздо легче попадать в организм человека, чем радионуклидам естественного происхождения. Также поступления радиостронция в организм человека возможно ингаляционным путем вместе с аэрозолями в районах расположения РОО. Как известно, ^{90}Sr является химическими аналогом кальция, соответственно, данный радионуклид откладывается в костях человека, интенсивно облучая красный костный мозг и клетки надкостницы. И для обеспечения безопасности населения, проживающего вблизи РОО, необходим контроль радионуклида в объектах окружающей среды.

Среди аэрозольных выбросов радиационно-опасных объектов радионуклиды ^{90}Sr и ^{89}Sr занимают особое место – первый является чистым β -излучателем, и его распад не сопровождается испусканием γ -излучения, а второй – почти чистым β -излучателем, выход γ -квантов в котором составляет менее 0,01 % на каждый распад. Остальные радионуклиды, заметные в выбросах, имеют характерные γ -линии, и их содержание достаточно хорошо может быть определено по γ -излучению. Поэтому, вопрос об определении ^{90}Sr в объектах окружающей среды является актуальным на сегодняшний день.

Материалы и методы

Радиохимическое определение ^{90}Sr основано на переводе радионуклида в растворимое состояние

путем последовательных обработок пробы растворами карбоната аммония и соляной кислоты с последующей очисткой от мешающих радионуклидов путем осаждения гидроокиси железа, карбонатов щелочноземельных металлов, а в случае необходимости и хроматов бария.

Метод основан на переводе в раствор большинства элементов, составляющих пробу, путем обработки навески воздушно-сухой золы раствором HCl (6 моль/л) и на разделении редкоземельных элементов, в том числе стронция и иттрия, от щелочных элементов осаждением оксалатов при $\text{pH}=4$. Прокаливанием осадка добиваются перевода в окислы, причем железо и алюминий образуют труднорастворимые полутвердые окислы

При осаждении гидроокиси происходило разделение ^{90}Sr от его дочернего изотопа ^{90}Y . Весь образовавшийся иттрий являлся продуктом распада радиостронция, выделенного в ходе анализа. Измерение радиоактивности ^{90}Sr проводилось по его дочернему ^{90}Y после накопления и выделения последнего с носителем стабильного иттрия. Выход носителя стронция определялся пламенно-фотометрическим методом.

Данная методика позволила определить радиоактивное загрязнение воздуха приземного слоя атмосферы радионуклидом ^{90}Sr . В качестве измеряемой величины использовалась объёмная активность ^{90}Sr в воздухе ($\text{Бк}/\text{м}^3$). Непосредственно измеряемой

величиной является активность (Бк) ^{90}Sr в регламентированных счётных образцах (СОБ) [1].

В процессе работы были проанализированы пробы аэрозолей на определение содержания в них ^{90}Sr , поступивших в лабораторию №1 «Научно-методического обеспечения сети радиационного мониторинга Росгидромета» ИПМ ФГБУ «НПО «Тайфун». Для вычисления объемной активности ^{90}Sr в счётном образце использовалась следующая формула (уравнение 1):

$$A_1 = \frac{N}{\eta \cdot a \cdot b \cdot K \cdot (1 - e^{-\lambda t_1}) \cdot e^{-\lambda t_2} \cdot 60}, \frac{\text{Бк}}{\text{м}^3} \quad (1)$$

где N – количество импульсов в минуту за вычетом фона; η – эффективность счета установки, доли единицы; a – выход носителя ^{90}Sr , доли единицы; b – выход носителя иттрия, доли единицы; K – коэффициент, учитывающий самопоглощение излучения в слое образца, доли единицы; t_1 – время накопления ^{90}Y (от момента отделения гидроокиси железа до первого отделения гидроокиси иттрия); t_2 – время распада ^{90}Y (от момента первого отделения гидроокиси иттрия до первого измерения бета-активности); λ – постоянная распада ^{90}Y .

Активность СОБ вычислялась с помощью программного обеспечения (ПО), сопряженного с бета-радиометром RISO-GM 25-5. После получения результатов активности СОБ, расчет содержания ^{90}Sr в пробах аэрозолей производился по формуле 2:

$$A = \frac{A_1 \cdot m_{об}}{m_{пр} \cdot Q}, \frac{\text{Бк}}{\text{м}^3} \quad (2)$$

где $A_{сч.об.}$ – активность счетного образца, Бк; Q – объем воздуха, прошедшего через фильтр ВФУ за время экспозиции, м^3 ; $m_{об.}$ – общая масса пробы, объединенная за полугодие, г; $m_{пр.}$ – масса пробы, взятая на анализ, г.

Относительная суммарная стандартная неопределенность u_q объемной (удельной) активности ^{90}Sr в

водных пробах (пробах донных отложений, почвы и биоматериалов) рассчитывалась по формуле 3:

$$u_q = \sqrt{\sigma^2 + \frac{1}{3} \cdot (U_\eta^2 + U_m^2 + U_a^2 + U_b^2 + U_{дон}^2)}, \%, \quad (3)$$

где σ – стандартная статистическая неопределенность измерения активности СОБ; U_η – относительная неопределенность ($P=0,95$) эффективности регистрации бета-частиц радиометром; U_m – относительная неопределенность (максимальная или для $P=0,95$) массы пробы; U_a – суммарная неопределенность (максимальная или для $P=0,95$) выхода носителя стронция; U_b – суммарная неопределенность (максимальная или для $P=0,95$) выхода носителя иттрия; $U_{дон}$ – возможные дополнительные максимальные неопределенности удельной активности ^{90}Sr . Для приведения неопределенностей к доверительной вероятности 0,95 – U_q , использовался коэффициент расширения, равный 2: $U_q = 2u_q$.

Анализ содержания ^{90}Sr в приземном слое атмосферы в районах РОО

Северо-Западный федеральный округ (СЗФО). Радиационный мониторинг в 100-км зоне вокруг РОО г. Северодвинска осуществляет Северное УГМС (Архангельский ЦГМС-Р), а в СЗЗ и ЗНН РОО – службы радиационной безопасности самих объектов.

Рассмотрим динамику объемной активности радионуклида ^{90}Sr в пунктах расположения РОО Северо-западного федерального округа, выполненной программным пакетом Microsoft Excel, и сравним со средневзвешенным значением объемной активности ^{90}Sr в аэрозолях по округу в период с 2008 по 2018 гг. (рис. 1).

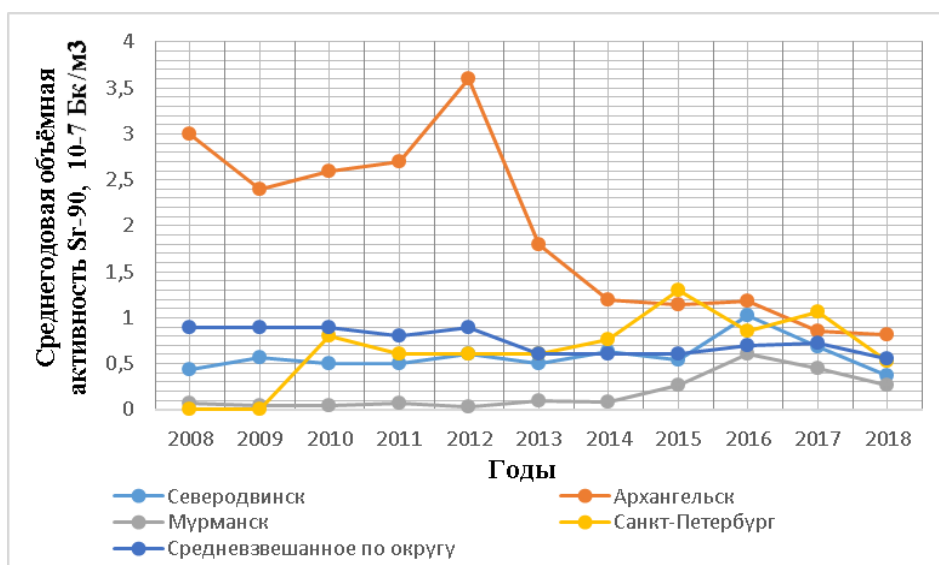


Рисунок 1 – Динамика объемной активности радионуклида ^{90}Sr в пунктах расположения РОО СЗФО

Исходя из полученных данных видно, что средневзвешенное значение объемной активности ^{90}Sr на протяжении 10 лет находилось на одном уровне и варьировалось от $0,56 \cdot 10^{-7}$ Бк/м³ до $0,90 \cdot 10^{-7}$ Бк/м³. Значения среднегодовой объемной активности ^{90}Sr в городах Мурманск и Северодвинск на протяжении исследуемого периода находились на уровне значений средневзвешенной активности по СЗФО. Значение среднегодовой объемной активности ^{90}Sr в приземном слое атмосферы в г. Архангельск выше значений средневзвешенной активности за весь рассматриваемый период в 1,2 - 4 раза, кроме значений последних двух лет.

Центральный федеральный округ (ЦФО). Согласно [2], на территории ЦФО расположено 27 РОО, в состав которых входят особо радиационно-опасные объекты и ядерно-опасные производства и объекты: 19 РОО находятся непосредственно в Москве, 6 в Московской области, 2 в Калужской области. По одной АЭС расположены в Смоленской, Курской, Воронежской и Тверской областях.

Рассмотрим динамику объемной активности радионуклида ^{90}Sr в пунктах расположения РОО ЦФО

(рис. 2). Из рисунка 2 видно, что средневзвешенное значение объемной активности радионуклида ^{90}Sr на протяжении 10 лет находилось примерно на одном уровне и варьировалось от $0,47 \cdot 10^{-7}$ Бк/м³ до $1,01 \cdot 10^{-7}$ Бк/м³. Значения среднегодовой объемной активности в городах Курчатов, Курск и Брянск на протяжении исследуемого периода находились в области средневзвешенного значения объемной активности по Центральному федеральному округу, лишь иногда выходя из области значений. В г. Обнинск с 2009 по 2017 года среднегодовая объемная активность радионуклида ^{90}Sr в воздухе была выше средневзвешенной объемной активности в 1,9-2,2 раза. Максимальные значения за рассматриваемый период наблюдались в г. Обнинск в 2013 и 2015 годах ($7,9 \cdot 10^{-7}$ Бк/м³; $3,4 \cdot 10^{-7}$ Бк/м³, соответственно), также отметим, что в эти годы наблюдалось повышенное содержание других техногенных радионуклидов в приземном слое атмосферы. Связано это, непосредственно, с деятельностью радиационно-опасных объектов, находящихся на территории города [2,3].

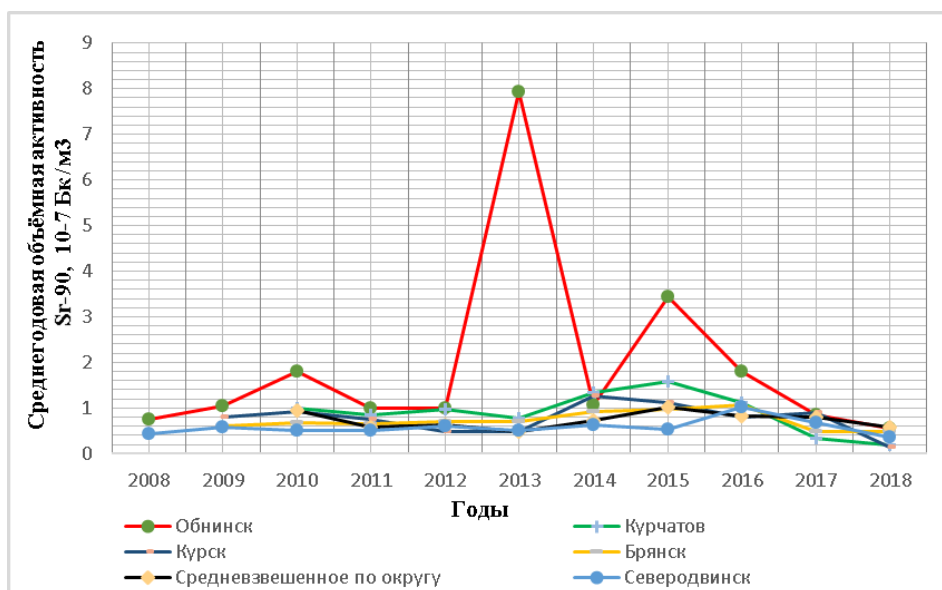


Рисунок 2 – Динамика объемной активности радионуклида ^{90}Sr в пунктах расположения РОО ЦФО

Сибирский федеральный округ (СФО). Рассмотрим динамику значений объемной активности радиостронция в отдельных пунктах СФО (рис. 3). Из Рисунка 3 видно, что средневзвешенное значение объемной активности ^{90}Sr на протяжении 10 лет находилось на одном уровне и варьировалось от $0,95 \cdot 10^{-7}$ до $2,0 \cdot 10^{-7}$

7. Значения среднегодовой объемной активности ^{90}Sr в г. Барнаул находится ниже средневзвешенной объемной активности на территории СФО. В г. Иркутск с 2009 по 2018 года среднегодовая объемная активность ^{90}Sr в воздухе была выше средневзвешенной объемной активности в 1,95-3,83 раза.

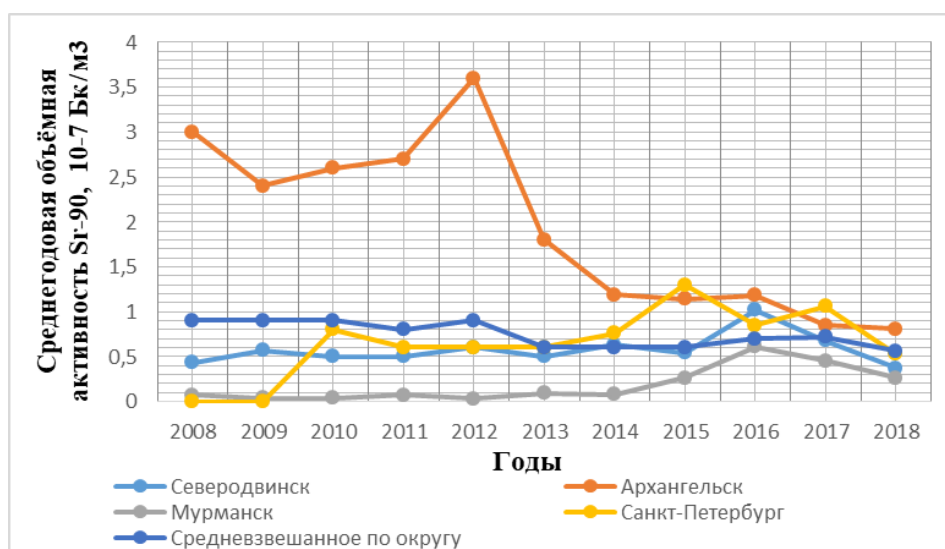


Рисунок 3 - Динамика объёмной активности радионуклида ^{90}Sr в пунктах расположения РОО СФО

Проведенный анализ содержания радионуклида ^{90}Sr , оказывающего влияние на загрязнение приземного слоя атмосферы в районах радиационно-опасных объектов, позволил обнаружить незначительные превышения в отдельных населённых пунктах, входящих в 100-км зоны вокруг РОО. Значения объёмной активности радиостронция в приземном слое атмосферы этих городов были выше средневзвешенных значений для федеральных округов, но на семь порядков ниже допустимых уровней в соответствии с НРБ99/2009 (2,7 Бк/м³). В целом, рассматриваемые федеральные округа характеризуются стабильной радиационной обстановкой в городах с радиационно-опасными объектами.

Список литературы

1. МВК 6.1.10-15-2015 «Методика контроля радиоактивного загрязнения приземного воздуха и выпадений на поверхность земли в ФГБУ «НПО «Тайфун».
2. УДК 504.054 045 Ежегодник «Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств в 2013 году» – Обнинск: ФГБУ «НПО «Тайфун». – 2014. – 358 с.
3. УДК 504.054 ББК - 20.18 Р-15 Ежегодник «Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств в 2015 году» – Обнинск: ФГБУ «НПО «Тайфун». – 2016. – 348 с.

DETERMINATION OF THE CONTENTS OF ^{90}Sr IN ATMOSPHERIC AIR NEAR RADIATION-HAZARDOUS OBJECTS

Oleynik A.¹, Zubacheva A.², Pryakina A.²

¹ Obninsk Institute of Nuclear Power Engineering - branch of the National Research Nuclear University "MEPhI"

249040 Kaluga region, Obninsk, Studgorodok st, b. 1, Russian Federation

² Research and Production Association «Typhoon» of Roshydromet RF, 249031 Kaluga Region, Obninsk, Pobedy, 4, Russian Federation

This article provides an assessment of the experimental data obtained from a radiochemical analysis of the content of ^{90}Sr in atmospheric air, taken near radiation-hazardous objects (RHO). The obtained results of measuring the volumetric activity of counting samples obtained in the territories of various federal districts of the Russian Federation were processed.

Keywords: volumetric activity, uncertainty assessment, radiostrontium, atmospheric air, radiation-hazardous objects, radiochemical analysis

РАДИАЦИОННЫЙ РЕЖИМ ПОЧВ ЗЕМЕЛЬ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ СИБИРИ

Орлов П.М. Аканова Н.И.

*Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова
127434, г.Москва, ул. Прянишникова, 31а, Российская Федерация
e-mail: N_Akanova@mail.ru*

Представлены результаты локального радиационного мониторинга почв сельскохозяйственных угодий Сибири. На уровне субъектов РФ типов почв оценены мощность экспозиционной дозы гамма-излучения (МЭДГ), содержание техногенных и естественных радионуклидов в почвах Сибири. МЭДГ изменяется в пределах 8,0 – 12,2 мкр/час, содержание ^{137}Cs изменяется в интервале 4,3-9,9 Бк/кг, ^{90}Sr – 1,0 – 5,4 Бк/кг, ^{226}Ra – 15-37 Бк/кг, ^{232}Th – 16-40 Бк/кг. Проведено сравнение полученных параметров с аналогичными параметрами, которые характеризуют радиационную ситуацию в почвах сельскохозяйственных угодий России. МЭДГ, содержание ^{90}Sr и содержание естественных радионуклидов в почвах Сибири соответствуют таковым для России, содержание ^{137}Cs в 1,7-2,6 раза ниже. Содержание ^{137}Cs в растениеводческой продукции, выращенной в Сибири, 1,6-2,3 раза ниже, чем по России. Содержание естественных радионуклидов в почвах Сибири близко к содержанию в почвах России и планеты. По данным локального мониторинга радиационная обстановка на полях сельскохозяйственных угодий России характеризуется как стабильная и благополучная.

Ключевые слова: *почвы, локальный радиационный мониторинг, мощность экспозиционной дозы гамма излучения, содержание в почве ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{226}Ra , ^{232}Th . загрязнение ^{137}Cs и ^{90}Sr сельскохозяйственных растений*

Сибирь является одним из важнейших регионов России. Сохранение экологического благополучия Сибири является условием ее дальнейшего экономического развития. Наличие в Сибири крупных радиохимических производств обуславливает возможность загрязнения почв сельскохозяйственных угодий техногенными радионуклидами, а добыча полезных ископаемых – природными радионуклидами ^{238}U (^{226}Ra), ^{232}Th и продуктами их распада.

Важнейшим показателем радиационного благополучия региона и радиационной безопасности населения является уровень загрязнения почвы сельскохозяйственных угодий техногенными радионуклидами. В отличие от Европейской части России [1-3], Сибирь не подверглась радиоактивному от Чернобыльской аварии из радиоактивных облаков. Поэтому радиационная обстановка на сельскохозяйственных угодьях Сибири существенно отличается от таковой, характерной для Европейской части России и страны в целом.

Изучение радиационной обстановки на сельскохозяйственных угодьях Сибири проводится в настоящей работе. В ней использованы данные локального мониторинга на реперных участках сельскохозяйственных угодий государственных агрохимических центров и станций Агрохимической службы. Проведена оценка уровней загрязнения почвы техногенными радионуклидами ^{137}Cs и ^{90}Sr , естественными радионуклидами ^{226}Ra и ^{232}Th и мощности экспозиционной дозы гамма-излучения (МЭДГ). На уровне субъектов РФ и типов почв оценены средние значения, типичные интервалы содержания и погрешности в определении средних значений. Данные о мощности экспозиционной дозы гамма-излучения и

содержании ^{137}Cs и ^{90}Sr представлены в таблице 1. Они получены из 11 субъектов РФ с 259 реперных участков. Статистические расчеты проведены с уровнем доверия 0,95.

Мощность экспозиционной дозы гамма-излучения в регионе находится в пределах 8,0-12,2 мкр/час. Максимальное значение наблюдается в Алтайском крае (16,2 мкр/час), а минимальное в Иркутской области (4,1 мкр/час). Мощность экспозиционной дозы на сельскохозяйственных угодьях Сибири несколько ниже, чем в целом по России.

Содержание техногенных радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr в почве сельскохозяйственных угодий Сибири находится на уровне глобального загрязнения почвы. Максимальное загрязнение ^{137}Cs наблюдается в Бурятии (7,3-17,7 Бк/кг) и Омской области (8,1-14,1 Бк/кг). В остальных субъектах среднее содержание ^{137}Cs в почве менее 10 Бк/кг. Содержание ^{90}Sr в почве субъектов не превышает глобальный уровень загрязнения почв этим радионуклидом. В целом по Сибири оно ниже, чем среднее загрязнение по России [4, 5].

Мощности экспозиционной дозы и содержание ^{137}Cs и ^{90}Sr в основных типах почв Сибири представлено в таблице 2. Для сравнения там же дано значение этих же параметров в основных типах почв России. В черноземных почвах Сибири среднее значение мощности экспозиционной дозы несколько ниже, чем в среднем по России. Среднее значение содержания ^{137}Cs в черноземах Сибири в 2,1 раза, чем таковое для черноземов России. Среднее содержание ^{90}Sr в черноземах Сибири также ниже, чем в черноземах России. Однако, различие менее значительно по сравнению с ^{137}Cs .

Таблица 1

Содержание техногенных радионуклидов в почвах сельскохозяйственных угодий Сибири в 2016 г.

Субъект РФ, (количество участков)	МЭДГ, мкр/час		Содержание, Бк/кг			
			¹³⁷ Cs		⁹⁰ Sr	
	среднее	стандарт. интервал	среднее.	стандарт. интервал	среднее	стандарт. интервал
Алтай (65)	13,4± 0,4	10,6-16,2	8,1± 0,3	5,9-10,3	6,6± 0,5	2,2-11
Бурятия (8)	10,2±0,05	10,1-10,3	12,5± 1,8	7,3-17,7	5,8± 1,1	2,2-9,0
Иркутская (16)	5,0±0,6	4,1-5,9	4,3±0,6	1,6-5,2	3,4±0,5	0,5-9,5
Кемеровская (10)	10,3±0,6	8,5-12,1	5,8±0,3	4,8-6,8	1±0,2	0,7-1,7
Красноярский край (52)	8,6±0,2	7,2-10,0	7,0±0,3	4,6-9,4	1,8±0,2	0,4-3,2
Новосибирская (18)	9,9±0,3	9,1-10,7	9,0±0,8	5,6-12,4	6,3±0,4	4,5-8,1
Омская (20)	10,5±0,2	9,5-11,5	11,1±0,7	8,1-14,1	2,7±0,1	2,3-3,1
Томская (10)	11,7±0,3	10,8-12,6	5,2±0,4	3,9-6,5	1,3±0,2	0,8-1,8
Тыва (22)	9,7±0,2	8,7-10,7	4,3±0,3	3,2-5,4	3,6±0,5	1,3-5,9
Тюменская (19)	12,0±0,9	8,1-15,9	5,7±0,6	2,9-6,5	2,5±0,3	1,2-3,8
Хакасия (19)	10,3±0,3	9,0-11,6	5,2±0,7	2,1-8,3	0,4±0,1	0,1-0,7
Сибирь в целом по субъектам	10,1±0,6	8,0-12,2	7,1±0,8	4,3-9,9	3,2±0,6	1,0-5,4
Россия в целом	11,1±0,1	8,4–13,8	12,0±0,4	< 26	4,7±0,1	1,0-8,4

Таблица 2

Мощность экспозиционной дозы и содержание ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr в основных типах почв Сибири и России

Параметр	МЭДГ, мкр/час	Содержание, Бк/кг	
		¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr
Сибирь			
черноземные почвы			
среднее	10,4	7,5	4,7
стандартное отклонение	3,3	3,2	4,2
погрешность среднего	0,3	0,2	0,3
количество участков	135	166	153
дерново-подзолистые			
среднее	6,0	6,9	-
стандартное отклонение	2,1	2,6	-
погрешность среднего	0,7	0,8	-
количество участков	10	10	-
серые лесные			
среднее	9,2	6,5	4,0
стандартное отклонение	2,5	2,7	3,1
погрешность среднего	0,4	0,4	0,5
количество участков	44	44	37
каштановые			
среднее	11,8	7,1	4,0
стандартное отклонение	2,8	4,7	2,2
погрешность среднего	0,5	0,8	0,4
количество участков	36	36	33
Россия			
черноземные почвы			
среднее	11,6	15,9	5,1
стандартное отклонение	2,4	16,0	3,8

Параметр	МЭДГ, мкр/час	Содержание, Бк/кг	
		¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr
погрешность среднего	0,1	0,7	0,2
количество участков	496	550	486
дерново-подзолистые			
среднее	10,5	8,4	4,1
стандартное отклонение	3,0	9,1	3,1
погрешность среднего	0,2	0,5	0,2
количество участков	262	282	274
серые лесные			
среднее	10,8	12,1	5,6
стандартное отклонение	2,8	20,5	5,4
погрешность среднего	0,3	1,9	0,5
количество участков	102	111	105
каштановые			
среднее	10,7	8,1	4,0
стандартное отклонение	2,8	3,5	2,3
погрешность среднего	0,2	0,3	0,2
количество участков	134	136	132

Для дерново-подзолистых почв Сибири характерны пониженные уровни мощности экспозиционной дозы и загрязнения почв ¹³⁷Cs по сравнению с дерново-подзолистыми почвами России. Содержание ⁹⁰Sr в дерново-подзолистых Сибири меньше нижнего предела обнаружения этого радионуклида (1 Бк/кг) методами, применяемыми в агрохимической службе. Данные о содержании ⁹⁰Sr в дерново-подзолистых почвах Сибири поступила из 1 субъекта РФ с 4 реперных участков. Этой информации недостаточно для оценки содержания ⁹⁰Sr в дерново-подзолистых почвах Сибири. По косвенной оценке, основанной на загрязнении дерново-подзолистых почв Сибири ¹³⁷Cs и соотношением ¹³⁷Cs/⁹⁰Sr, можно предположить, что среднее содержание ⁹⁰Sr в почвах Сибири находится в интервале 3-4 Бк/кг, а верхняя граница не превышает 7 Бк/кг.

Для серых лесных почв Сибири среднее значение мощности экспозиционной дозы равно 9,2 мкр/час, оно на 1,6 мкр/час меньше, чем аналогичный показатель для России. Среднее содержание ¹³⁷Cs в серых лесных почвах в 1,9 раза ниже, чем в серых лесных почвах России. Содержание ⁹⁰Sr в серых лесных почвах Сибири меньше, чем таковое для России на 1,6 Бк/кг. Мощность экспозиционной дозы и параметры радиоактивного загрязнения каштановых почв Сибири по сравнению с почвами России незначительно и существенно отличаются друг от друга.

На рисунке 1 представлена зависимость средних значений параметров радиоактивного загрязнения почв Сибири от времени. Среднее значение МЭДГ по годам изменяется в интервале 10-12 мкр/час. Максимальное значение наблюдалось в 1992-1994 г (~12 мкр/час). Далее произошло его снижение и стабилизация до уровня ~ 10 мкр/час.

Следует отметить, МЭДГ является сложной величиной, она определяет дозу внешнего облучения человека и формируется под действием нескольких факторов. На ее численное значение влияют:

- содержание естественных радионуклидов в почве (⁴⁰K, ²³²Th, ²³⁸U, ²²⁶Ra);
- вторичное космическое излучение;
- солнечная активность;
- содержание техногенных гамма-излучающих радионуклидов;
- радиоактивные эманации из почвы.

Поэтому численное значение мощности дозы зависит не только от радиоактивного загрязнения почвы, но и от ряда природных факторов и погодных условий. Для сравнения на рис. 2 приведена зависимость мощности экспозиционной дозы в этом же временном интервале для России. Интервалы, в которых происходят изменения, и ход кривых не существенно отличаются друг от друга.

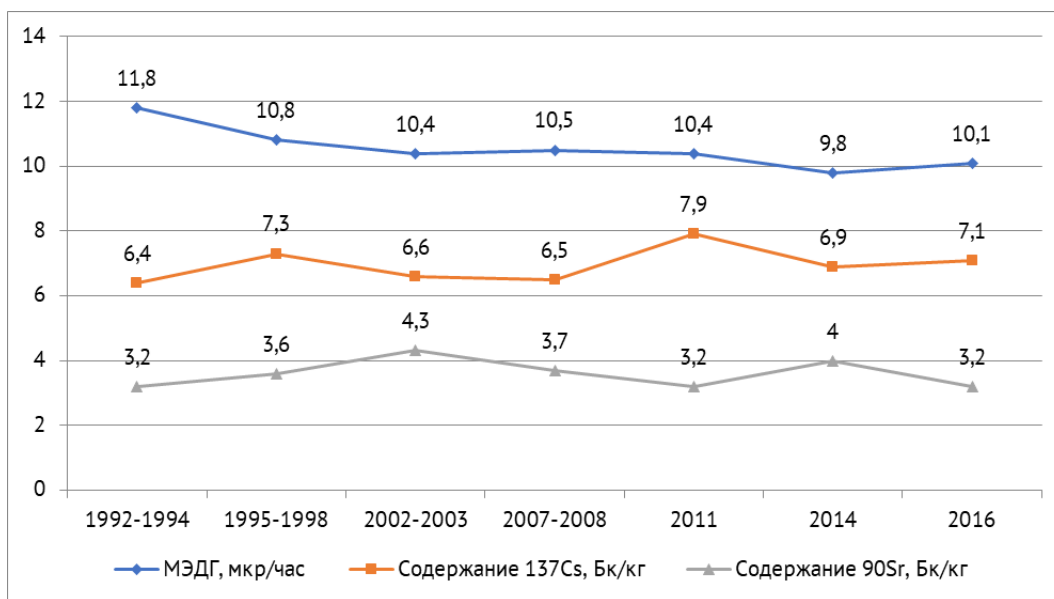


Рисунок 1 – Мощность экспозиционной дозы и содержание ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr в почве сельскохозяйственных угодий Сибири

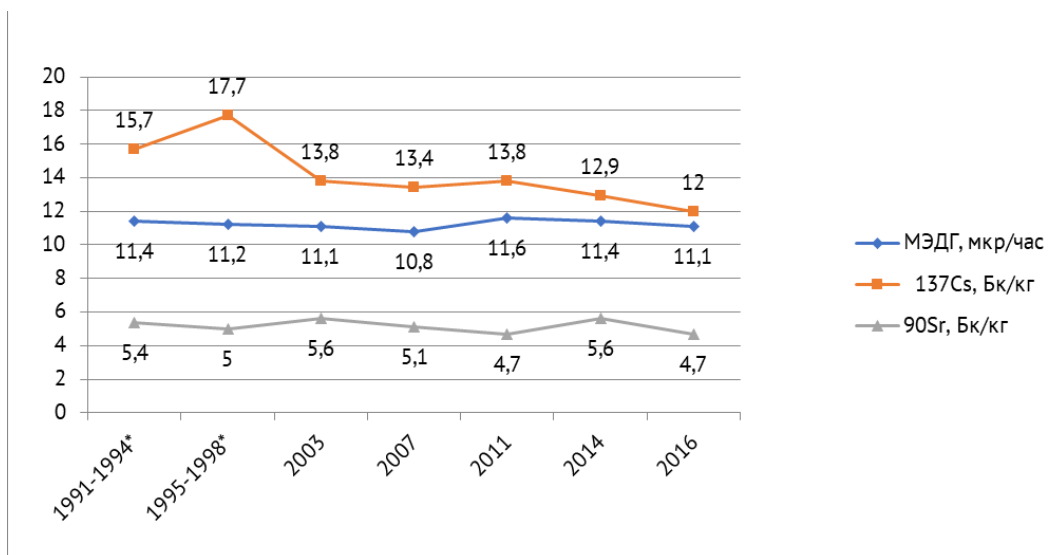


Рисунок 2 – Мощность экспозиционной дозы и содержание ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr в почве сельскохозяйственных угодий России в целом

Примечание. При расчетах кривых рис.2 в совокупность анализируемых результатов не включены данные по загрязнению ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr почв Брянской, Тульской, Калужской и Орловской области, подвергшихся интенсивному загрязнению от Чернобыльской аварии

Интервал, в котором происходит изменение содержания ¹³⁷Cs в почвах Сибири с 1992 по 2016 г, составляет 6-8 Бк/кг. В России в целом он равен 12-18 Бк/кг. При этом ход кривых для Сибири и России друг от друга практически не отличается, в обоих случаях наблюдаются максимумы в 1992-94 г и 2011 г. Максимум 2011 года связан с аварией на АЭС «Фукусима», поэтому на Сибирских почвах он более отчетливо виден по сравнению с почвами России в целом. Как нами было указано ранее [5,6] наряду с процессом загрязнения почв из радиоактивных облаков, протекает процесс загрязнения почв из верхних

слоев атмосферы, который обуславливает относительное равномерное загрязнение почвы. Уровень загрязнения почв по данному механизму на 1-2 порядка ниже по сравнению с загрязнением из радиоактивного облака, но при этом охватываются большие территории.

Содержание ⁹⁰Sr в почве сельскохозяйственных угодий Сибири с 1992 по 2016 год изменяется в интервале 3-4 Бк/кг, для России эта величина находится в интервале 4-6 Бк/кг. Ход кривых временных изменений содержания ⁹⁰Sr в почве сельскохозяйственных угодий Сибири и России достаточно хорошо

согласован между собой. Загрязнение почвы сельскохозяйственных угодий Сибири техногенными радионуклидами ^{137}Cs и ^{90}Sr ниже по сравнению с сельскохозяйственными угодьями России. Радиоактивные выпадения от Чернобыльской аварии практически не затронули Сибирь.

В таблице 3 представлено содержание ^{137}Cs и ^{90}Sr в растительной продукции, производимой на сельскохозяйственных угодьях Сибири и России по данным локального мониторинга (2014, 2016 г). Расчеты проведены по методике работы [4]. Статистические данные получены с уровнем доверия 0,95.

Таблица 3

Содержание ^{137}Cs и ^{90}Sr в растительной продукции по данным локального мониторинга (2014, 2016 г)

Территория	Содержание, Бк/кг (среднее значение/верхняя граница)							
	пшеница (зерно)		естественные и многолет. травы				картофель (клубни)	
	^{137}Cs	^{90}Sr	сено		зеленая масса		^{137}Cs	^{90}Sr
	^{137}Cs	^{90}Sr	^{137}Cs	^{90}Sr	^{137}Cs	^{90}Sr	^{137}Cs	^{90}Sr
Сибирь:	2,1/4,6	2,4/5,9	5,6/12,5	4,7/11,6	3,2/7,6	5,2/13,5	4,2/10	3,7/8,7
Россия	3,5/11	2,4/6,9	10/29	5/12	5/16	5/14	7/22	4/9

Загрязнение ^{137}Cs растениеводческой продукции, произведенной на сельскохозяйственных угодьях Сибири ниже, чем по России (среднее значение в 1,6-1,8 раза, верхняя граница в 2,1-2,3раза). Уровни загрязнения ^{90}Sr растениеводческой продукции для России и Сибири практически совпадают. Пониженное содержание ^{137}Cs в сельскохозяйственных растениях, выращенных в Сибирском регионе, обусловлено удаленности Сибири от Чернобыльской аварии. Следует ожидать, что в будущем содержание названных радионуклидов в растениеводческой продукции, произведенной в Сибирском регионе, будет снижаться медленнее, чем аналогичные показатели по РФ.

Основной вклад в формирование годовой эффективной дозы облучения человека для Сибири вносят естественные радионуклиды. Содержание естественных радионуклидов в почве формирует естественный радиационный фон и является основой для расчета средних годовых доз облучения населения.

В таблице 4 приведены средние значения и стандартные интервалы содержания ^{226}Ra , ^{232}Th и ^{40}K в почвах субъектов Сибирского региона, Сибири, России [7] и Мира [8]. Статистические оценки проведены с уровнем доверия 0,9.

Таблица 4

Содержание ЕРН в почвах Сибири

Субъект РФ, (количество участков)	Содержание, Бк/кг					
	^{226}Ra		^{232}Th		^{40}K	
	среднее	стандарт. интервал	среднее	стандарт. интервал	среднее	стандарт. интервал
Алтай (84)	23	15-31	28	20-36	570	490-650
Кемеровская (21)	25	17-33	28	24-32	380	340-420
Красноярский край (52)	15	7-23	33	21-45	450	320-570
Новосибирская (18)	32	20-44	29	20-38	470	390-550
Омская(20)	50	33-67	46	39-53	550	440-660
Тыва(22)	15	10-20	22	18-26	470	400-540
Тюменская (19)	27	22-32	23	16-30	360	250-470
Хакассия (19)	25	18-32	26	19-33	520	420-620
Сибирь в целом по субъектам	26±4	15-37	29±3	21-37	470±30	390-550
Россия в целом (1100)	22	11-33	28	16-40	460	280-640
По Миру	26	11-52	28	17-40	460	270-630

Максимальное содержание ^{226}Ra наблюдается в почве сельскохозяйственных угодий Омской области

(50 Бк/кг – среднее, 67 Бк/кг – верхняя граница). В целом в почвах Сибири содержание ^{226}Ra находится

в интервале 15- 37 Бк/кг со средним значением 26 Бк/кг. Это несколько больше, чем аналогичные данные по России. Превышение незначительно и не может вносить существенного вклада в формировании годовой эквивалентной дозы облучения населения Сибири от источников естественной радиации (в том числе и для жителей Омской области). Максимальное содержание ^{232}Th наблюдается в почве Омской области (среднее - 46 Бк/кг, верхняя граница - 53 Бк/кг. Эти значения также незначительно превышают среднестатистические российские показатели. Содержание ^{232}Th в почвах Сибири соответствует содержанию названного радионуклида в почвах России.

Содержание ^{40}K целиком и полностью определяется присутствием стабильного калия в почве. В окружающей среде ^{40}K находится в равновесии с химическим элементом. Внесение калийных удобрений увеличивает содержание ^{40}K , в то же время калий выносится из почвы с урожаем сельскохозяйственных культур. В целом содержание ^{40}K в почвах Сибири соответствует его содержанию в почвах России и Мира. Максимальное содержание наблюдается на Алтае, а минимальное в Тюменской области. Содержание ^{40}K в почвах нормами радиационной безопасности не нормируется.

Сельское хозяйство в Сибири более развито в южных районах. Центральная и северная Сибирь в основном занята тайгой, лесотундрой и тундрой. Поэтому полученные нами данные характеризуют радиационную обстановку юга Сибири. За время наблюдения (1992-2016 г) радиационная ситуация на сельскохозяйственных угодьях Сибирского региона оставалась стабильной и благополучной. Она значительно лучше, чем в целом по России.

Список литературы

1. Атлас современных и прогнозных аспектов последствий аварии на Чернобыльской АЭС на пострадавших территориях России и Беларуси (АСПА Россия- Беларусь) / Под ред. Ю.А. Израэля и И.М. Богдевича. Москва – Минск: Фонд «Инфосфера» - НИА-Природа, 2009. 140 с.

2. Данные по радиоактивному загрязнению территории населенных пунктов Российской Федерации ^{137}Cs , ^{90}Sr , $^{239+240}\text{Pu}$. / Под редакцией С.М. Вакуловского. Обнинск, ФГБУ «НПО «Тайфун», 2015 - 225 с.

3. Государственный доклад «О состоянии окружающей природной среды Российской Федерации в 1993 году». С. 64-69. Утв. Постановл. Прав. РФ от 24.01. 93 г. №53.

4. Сычев В.Г. Лунев М.И., Орлов М.М. Белоус Н.М. Чернобыль: радиационный мониторинг сельскохозяйственных угодий и агрохимические аспекты снижения последствий радиоактивного загрязнения почв. М.: ВНИИА. 2016. 183 с.

5. Орлов П.М., Аканова Н.И., А. Шхапацев. Радиохимические и агрохимические аспекты снижения последствий радиоактивного загрязнения почв. // Международный сельскохозяйственный журнал. 2017.№2, С. 42-46

6. Орлов П.М., Аканова Н.И. Современная оценка последствий радиоактивного загрязнения почв и растений // Агрехимия, 2018, №1 с.83-90.

7. Орлов П.М., Лунев М.И., Сычев В.Г. Радиационный мониторинг сельскохозяйственных угодий Российской Федерации. М.: ВНИИА. 2015. 175 с.

8. Источники и действие ионизирующей радиации. Научный комитет Организации Объединенных Наций по действию атомной радиации. Доклад за 1977 год Генеральной Ассамблее с приложениями, т.1, с.233, 260. Нью-Йорк. 1978.

RADIATION SOIL MODE OF AGRICULTURAL LANDS OF SIBERIA

Orlov P.M. Akanova N.I.

Russian research institute of agrochemistry after d.n. Pryanishnikov, 127434, Moscow, st. Pryanishnikova, 31a, Russian Federation

The results of local radiation monitoring of soils of agricultural land in Siberia are presented. At the level of subjects of the RF types of soils, the exposure dose rate of gamma radiation, the content of technogenic and natural radionuclides in soils of Siberia were estimated. The exposure dose rate of gamma radiation varies in the range of 8.0 - 12.2 mcr / h, ^{137}Cs content varies in the range of 4.3-9.9 Bq / kg, ^{90}Sr - 1.0 - 5.4 Bq / kg, ^{226}Ra - 15- 37 Bq / kg, ^{232}Th - 16-40 Bq / kg. The obtained parameters are compared with similar parameters that characterize the radiation situation in the soils of agricultural lands in Russia. MEDH, the content of ^{90}Sr and the content of natural radionuclides in the soils of Siberia correspond to those for Russia, the content of ^{137}Cs is 1.7-2.6 times lower. The content of ^{137}Cs in crop products grown in Siberia is 1.6–2.3 times lower than in Russia. The content of natural radionuclides in the soils of Siberia is close to the content in the soils of Russia and the planet. According to local monitoring data, the radiation situation on the fields of agricultural land in Russia is characterized as stable and prosperous.

Keywords: soil, local radiation monitoring, exposure dose rate gamma radiation content in the soil ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{226}Ra , ^{232}Th , contamination of ^{137}Cs and ^{90}Sr agricultural plants

ДИНАМИКА УРОВНЕЙ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВЫ ^{90}Sr В РАЙОНЕ РАСПОЛОЖЕНИЯ РЕГИОНАЛЬНОГО ХРАНИЛИЩА РАО

Подлущий М.С.¹, Удалова А.А.², Лаврентьева Г.В.³

¹ ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии»

249032 Калужская область, г. Обнинск, Киевское шоссе, 109 км, Российская Федерация

e-mail: mr.aggr1k@gmail.com

² Обнинский институт атомной энергетики – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ»

249040 Калужская область, г. Обнинск, Студгородок, д.1, Российская Федерация

e-mail: oudalova@mail.ru

³ Калужский филиал ФГБОУ ВО «МГТУ имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)»,

248000, Калужская область, г. Калуга, ул. Баженова, д. 2, Российская Федерация

e-mail: lavrentyeva_g@list.ru

В данной статье рассмотрена временная динамика изменения уровней содержания ^{90}Sr в почве территории, прилегающей к бывшему хранилищу радиоактивных отходов, на основе данных, полученных за период 2010–2017 гг. Проведено обобщение многолетних данных о содержании ^{90}Sr в почве территории, оценена плотность радиоактивного загрязнения почвы, а также подобраны регрессионные модели, которые способны описать временную динамику уровней загрязнения почвы ^{90}Sr .

Ключевые слова: хранилище радиоактивных отходов, миграция радионуклидов в почве, регрессионный анализ, удельная активность, радиостронций, плотность радиоактивного загрязнения почвы

Объектом настоящих исследований является территория в районе размещения регионального хранилища радиоактивных отходов (РАО), г. Обнинск. В результате аварийной ситуации в 1998 г., вызванной разгерметизацией емкостей РАО, в окружающую среду поступили радионуклиды. Несмотря на то, что авария была локализована и ликвидирована, а впоследствии хранилище было выведено из эксплуатации, в почве сформировался объемный источник радиоактивного загрязнения. С течением времени происходит миграция радионуклида в прилегающие геосистемы, преимущественно с грунтовыми водами. Отмечается, что основным радиологически значимым радионуклидом, влияющим на радиоэкологическую обстановку на данной территории, является ^{90}Sr [1]. На протяжении всего периода времени с момента аварии производится радиоэкологический мониторинг территории, прилегающей к проблемному хранилищу РАО. В частности, работы по оценке содержания радионуклидов в почве прилегающей территории проводились сотрудниками и студентами Обнинского института атомной энергетики (ИАТЭ НИЯУ МИФИ).

Целью настоящей работы являлось изучение временной динамики изменения уровней содержания ^{90}Sr в почве территории, подвергшейся воздействию хранилища РАО, на основе данных, полученных за период 2010–2017 гг.

Материалы и методы

В работе использованы результаты определения удельной активности ^{90}Sr в почве, опубликованные

ранее [1, 2], а также новые данные (60 измерений), полученные в ходе пробоотбора в 2017 г.

На территории бывшего хранилища РАО на севере Калужской области были выделены двадцать локальных участков для отбора проб почвы в 2017 г. (рисунок 1). При этом учитывалось наиболее вероятное распространение радионуклидов от аварийной емкости N4 в направлении уклона местности. С каждого участка с помощью почвенного бура EJKELKAMP P 01.16 отбирали 5 проб «методом конверта», из которых затем готовили смешанную пробу массой более 1 кг. Размер площадки пробоотбора составлял 1 м².

Первичная пробоподготовка почв проводилась в лаборатории ИАТЭ НИЯУ МИФИ и включала три этапа: высушивание полученных проб, извлечение посторонних примесей и измельчение почвы с просеиванием через крупное металлическое сито с отверстиями в 10 мм.

После этого 100 г каждой пробы почвы просеивали через мелкое сито (2 мм), помещали в бумажные пакеты и передавались в аккредитованную лабораторию для последующего определения удельной активности ^{90}Sr .

Определение происходило согласно ГОСТ Р 54041-2010 «Почвы. Метод определения ^{90}Sr ». Масса анализируемой пробы составляла 10 г. Определение происходило по дочернему радионуклиду ^{90}Y . Его извлекали из упаренной исходной почвенной вытяжки методом жидкостной экстракции с использованием реактива HDEHP ($\text{C}_{16}\text{H}_{35}\text{O}_4\text{P}$). Измерения активности

^{90}Sr проводились на β -спектрометре методом жидкостно-сцинтилляционного счета.

Результаты

Удельные активности ^{90}Sr на изучаемой территории. Изучение обобщенных многолетних данных о содержании ^{90}Sr в почве показывает, что поверхностное распределение радиоактивного загрязнения на территории, прилегающей к бывшему хранилищу радиоактивных отходов, носит сложный характер, изменяясь в диапазоне от $9,5 \pm 0,1$ до $5202,7 \pm 15,5$ Бк/кг. Наиболее загрязненными являются точки 7a ($5202,7 \pm 15,5$ Бк/кг), 6с ($2720,3 \pm 6,4$ Бк/кг), 10a

($2233,3 \pm 9,1$ Бк/кг), 11 ($1925,3 \pm 15,1$ Бк/кг) и 7b ($1858,7 \pm 9,1$ Бк/кг).

Уровни загрязнения изучаемой территории ^{90}Sr во времени и пространстве демонстрируют очень неоднородную и временами противоречивую картину из-за наличия комплекса факторов: особенностей исходного источника радионуклидов, сложной структуры рельефа и геологического строения подстилающей поверхности, неоднородности почвенного покрова, распределения потоков поверхностных и грунтовых вод и пр. Однако, анализ динамики изменения уровней ^{90}Sr на изучаемой территории в период 2010-2017 гг. все же позволяет сделать ряд важных выводов рисунок 2.

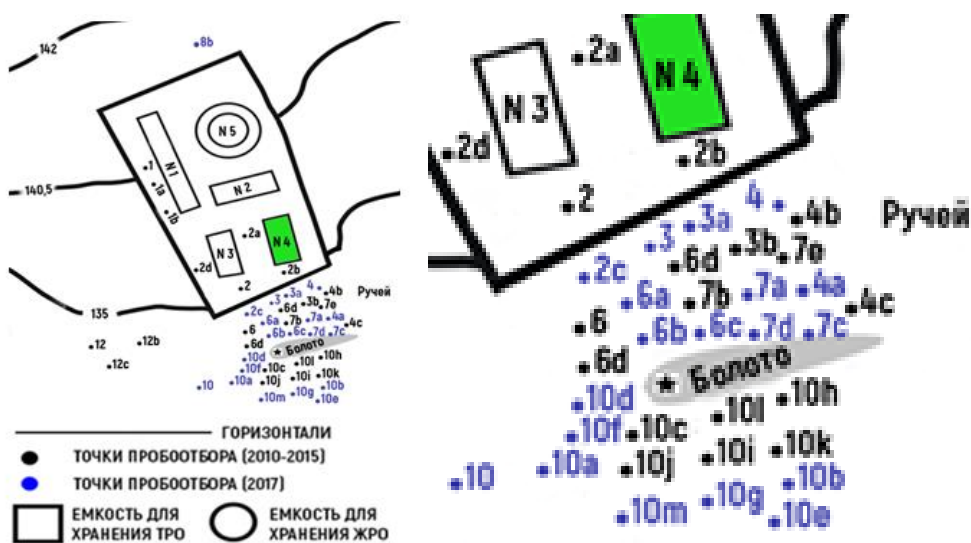


Рисунок 1- Блок-схема изучаемой территории и расположение точек отбора проб почвы

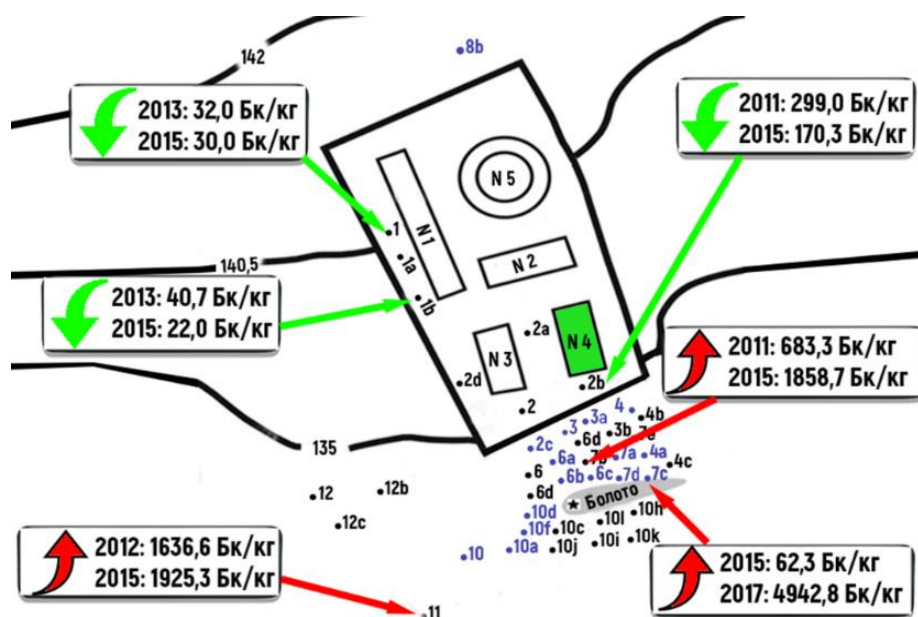


Рисунок 2 – Основные тенденции изменения удельной активности ^{90}Sr в почве со временем

Во-первых, содержание ^{90}Sr в точках, которые расположены в верхней части хранилища постепенно уменьшается. Например, в точке 1 в 2013 г. было зафиксировано значение удельной активности ^{90}Sr , равное $32,0 \pm 4,0$ Бк/кг. По состоянию на 2015 г. оно немного снизилось до уровня $30,0 \pm 1,3$ Бк/кг. В точке 2b наблюдается более значимо уменьшение – с $299,0 \pm 3,3$ Бк/кг (2011 г.) до $170,3 \pm 8,4$ Бк/кг (2015 г.).

Во-вторых, содержание ^{90}Sr в нижней части и за территорией хранилища, наоборот, увеличивается. Например, в точке 7b был зафиксирован рост удельной активности с $683,3 \pm 44,4$ Бк/кг (2011 г.) до $1858,7 \pm 9,1$ Бк/кг (2015 г.). В точке 7d – с $62,3 \pm 2,9$ Бк/кг (2015 г.) до $4942,8 \pm 34,7$ Бк/кг (2017 г.).

Отсюда следует вывод, что существует миграция радионуклидов сверху вниз. Перенос радионуклида может усиливаться дождевыми и грунтовыми водами. Кроме того, точки, расположенные около сформировавшегося в низине болота, показывают более

высокую радиоактивность, что говорит о процессе накопления радионуклида в этом месте. На сегодняшний день эти вполне очевидные результаты, насколько нам известно, недостаточно принимаются в расчет контролирующими органами.

Поверхностная плотность загрязнения почвы.

Расчет поверхностной плотности радиоактивного загрязнения почвы был произведен по данным проб отбора 2017 г. Полученные значения лежат в диапазоне от $0,07$ кБк/м² в точке 8b до $38,3$ кБк/м² в точке 7с (рис. 3). Согласно концепции зонирования радиоактивно загрязненных территорий РФ (О социальной защите граждан, подвергшихся воздействию радиации вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС. Закон РФ от 15.05.1991 N 1244-1), даже максимальные значения плотности загрязнения локальных участков значительно ниже уровней, требующих серьезного вмешательства, и ситуацию на территории можно считать безопасной.

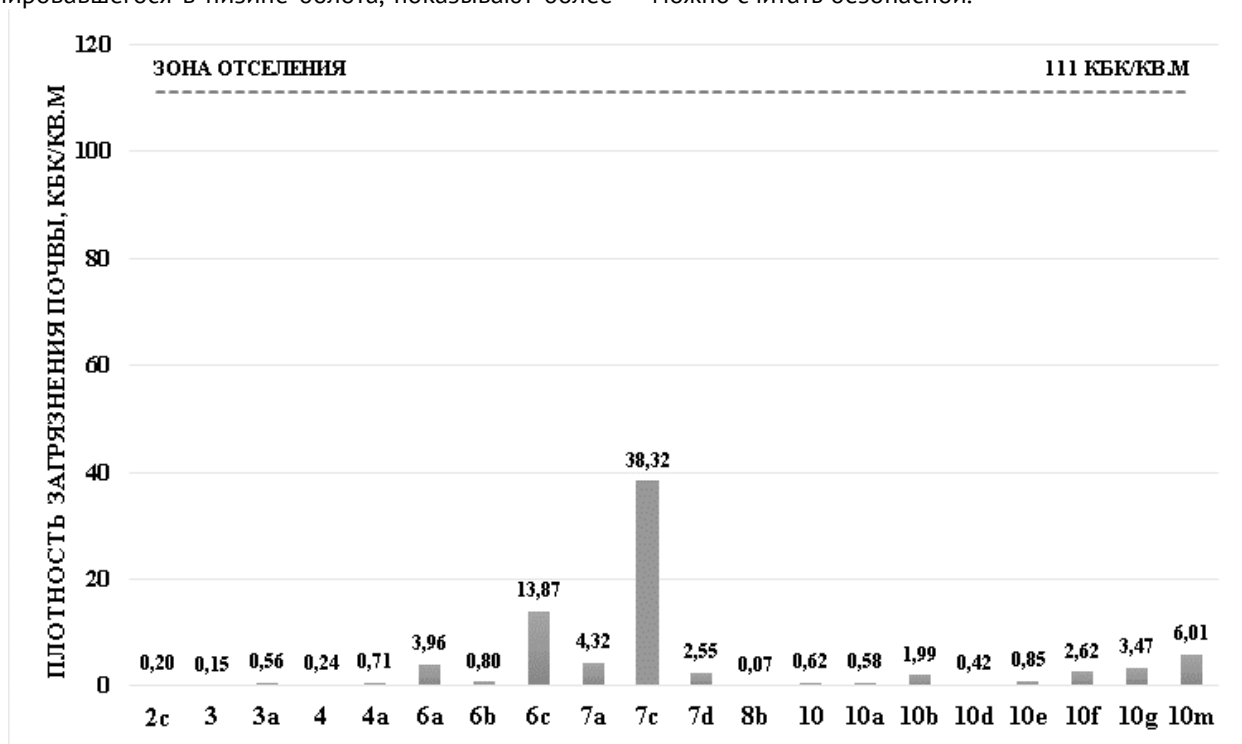


Рисунок 3 – Поверхностная плотность загрязнения почвы ^{90}Sr (2017 г.)

Рассмотрим точку 7с, в которой по данным 2017 г. определена максимальная удельная активность ^{90}Sr и, соответственно, наиболее высокое значение плотности радиоактивного загрязнения ($38,3$ кБк/м²). В этой точке в 2015 и 2017 гг. был зафиксирован быстрый рост удельной активности ^{90}Sr в 79,3 раза (с $62,3 \pm 2,9$ до $4942,8 \pm 34,7$ Бк/кг). В точках 7а, 7d и 4а (ближайшие к точке 7с) наблюдается тенденция снижения значений удельной активности ^{90}Sr в 9,4 (с $5202,7 \pm 15,5$ до $552,4 \pm 5,6$ Бк/кг), 1,7 (с $389,3 \pm 9,5$ до $235,2 \pm 3,4$ Бк/кг) и 1,3 (с $102,0 \pm 4,2$ до $80,0 \pm 0,8$ Бк/кг) раз соответственно. Можно предположить, что в основном в точку 7с происходит перенос радиоактивных веществ и вторичное накопления ^{90}Sr с соседних

участков. Основной путь переноса, по-видимому, – смыв дождевыми стоками.

Регрессионный анализ временной динамики уровней загрязнения почвы.

Удельная активность ^{90}Sr в почве может определяться суперпозицией нескольких динамических процессов, что выражается комплексной регрессионной моделью, включающей несколько слагаемых. Для целей настоящей работы были выбраны следующие регрессионные модели: линейная ($y = a + b \cdot t$), экспоненциальная ($y = c \cdot e^{dt}$), полиномиальная ($y = a + b \cdot t + \dots + c \cdot t^n$) и комплексная ($y = a + b \cdot t + c \cdot e^{dt}$). В данных уравнениях: y – удельная активность ^{90}Sr в почве, Бк/кг; t – время, годы; a, b, c, d – коэффициенты регрессии. Сложное поведение

параметров во времени на разных локальных участках – возрастание уровней загрязнения в одних случаях, снижение в других и существенно нелинейное поведение, в-третьих, – значительно затрудняет математическое описание временной динамики. На рисунке 4 показаны примеры полученных результатов регрессионного анализа для некоторых из точек отбора проб (2а, 6а), которые пригодны для аппроксимации данных.

В конечном итоге выбрать надежную математическую модель для описания зависимостей удельной активности ^{90}Sr от времени во всех точках не удалось. Среди изученных регрессионных моделей комплексная модель и полиномиальная зависимость 2-го порядка показали наиболее высокие способности к аппроксимации экспериментальных данных.

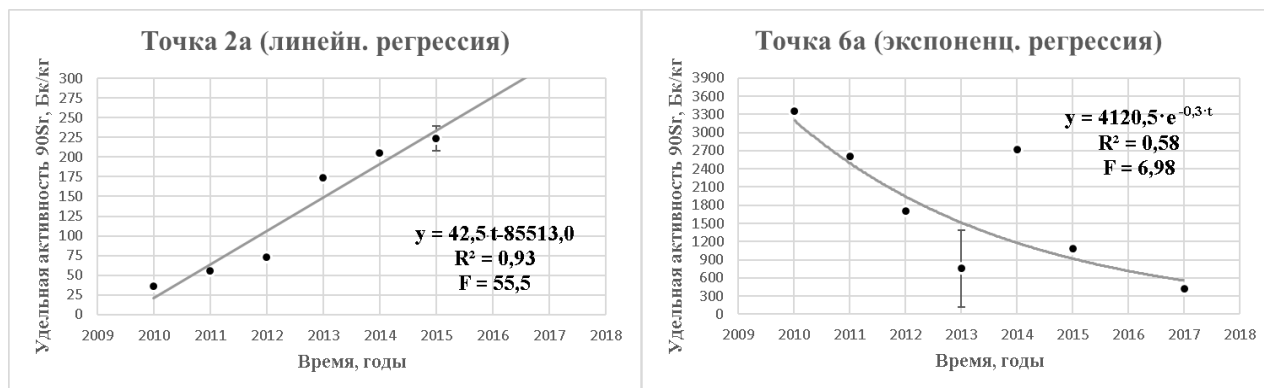


Рисунок 4 - Аппроксимация экспериментальных данных о содержании ^{90}Sr в почве разными регрессионными моделями

Список литературы

1. Лаврентьева Г.В., Шошина Р.Р., Сынзыныс Б.И. Экологическая диагностика территории расположения приповерхностного хранилища радиоактивных отходов // Актуальные вопросы ядерно-химических технологий и экологической безопасности. Севастополь: СевГУ, 2016. С. 180-184.

2. Лаврентьева Г.В. Силин И.И., Сынзыныс Б.И. Загрязнение геосистем радиоактивным стронцием в районе размещения регионального хранилища радиоактивных отходов // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология, М: ФГБУ «Российская академия наук», 2015. С. 36-46

DYNAMICS OF SOIL CONTAMINATION LEVELS WITH ^{90}Sr NEARBY REGIONAL RADIOACTIVE WASTE STORAGE

Podlutskii M.¹, Oudalova A.², Lavrentyeva G.³

¹ Russian Institute of Radiology and Agroecology, 249032 Kaluga region, Obninsk, Kievskoe shosse 109 km, Russian Federation

² Obninsk Institute of Nuclear Power Engineering - branch of the National Research Nuclear University "MEPhI" 249040 Kaluga region, Obninsk, Studgorodok st, b. 1, Russian Federation

³ Bauman Moscow State Technical University (Kaluga Branch), 248000 Kaluga, Bazhenova st. 2, Russian Federation

Temporal dynamics of ^{90}Sr content in the soil is studied at the territory adjacent to the former radioactive waste storage, based on data obtained for the period of 2010-2017. Data from several years of studying the ^{90}Sr content in the soil is summarized, the surface density of radioactive contamination of the soil is estimated, and regression models are selected that are able to describe the temporal dynamics of ^{90}Sr soil contamination levels.

Keywords: radioactive waste storage, radionuclides migration in soil, regression analysis, specific activity, radiostrontium, surface density of soil radioactive contamination

О СРЕДНЕЙ ПЛОТНОСТИ ПОТОКА КОСМИЧЕСКИХ НЕЙТРОНОВ ПО ЗЕМНОМУ ШАРУ

Пономаренко П.А., Фролова М.А.

ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Институт ядерной энергии и промышленности,
г. Севастополь, ул. Курчатова, 7, Российская Федерация
e-mail: frolova-85@mail.ru

Статья посвящена оценке и анализу генерации нейтронов космического происхождения по земному шару и оценке создаваемой при этом мощности эквивалентной дозы.

Ключевые слова: нейтрон, космический нейтрон, плотность потока, энергия

Введение

Первичные космические лучи преобладают на высотах более 30 км. Плотность частиц космических лучей близка к плотности ~ 4 част·см⁻²·с⁻¹. Энергия этих частиц очень велика и встречаются частицы с равной 10^{20} эВ. В атмосфере Земли каждая космическая частица с $E \geq 10^{14}$ эВ генерирует $\sim 10^9$ частиц и более вторичных космических лучей. Поток этих вторичных частиц называется широким атмосферным ливнем. Почти все частицы из этого ливня короткоживущие, то есть период полураспада их составляет $T_{0,5} = 10^{-19} \div 10^{-6}$ с. Сталкиваясь между собой и с ядрами элементов, составляющих атмосферы, они генерируют новые элементарные частицы: электроны, позитроны, протоны, нейтроны, γ -кванты, нейтрино и антинейтрино и др., которые являются космическими лучами.

Эти вторичные космические лучи делят на жёсткую и мягкую составляющие. К жёсткой составляющей относят μ -мезоны, которые проникают до глубины 1 км и более в атмосферу и океанскую воду. Мягкая (легкопоглощаемая) составляющая состоит из β^+ , β^- , ${}^1_1\text{p}$, ${}^1_0\text{n}$, γ . Особо активными в этой составляющей являются ${}^1_1\text{p}$ и ${}^1_0\text{n}$. Под их действием на ядра элементов, составляющих атмосферы, рождаются космогенные радионуклиды: ${}^3_1\text{H}$, ${}^7\text{Be}$, ${}^{10}\text{Be}$, ${}^{14}_6\text{C}$, ${}^{22}\text{Na}$, ${}^{24}\text{Na}$ и др [1].

По данным НКДАР на 1982 г. для средних широт над уровнем моря мощность поглощенной дозы космического излучения на открытой местности на мягкие ткани без учета нейтронной составляющей была равной $0,28$ мГр·год⁻¹. При коэффициенте качества нейтронной компоненты, равному шести, годовая эквивалентная доза на тот период от космического излучения составляла примерно $0,3$ мЗв·год⁻¹. Недавние рекомендации МКРЗ предлагают дозовую нейтронную компоненту по коэффициенту качества увеличить вдвое и принять равной $0,042$ мЗв·год⁻¹. Одновременно предполагается ионизационную компоненту космических лучей принять равной $0,24$ мЗв·год⁻¹. Нейтронная и протонная космическая составляющие оказывают основное влияние на качественный и количественный состав космогенных

радионуклидов на Земле. Активность нейтронной составляющей зависит от энергии нейтронов.

Цель исследования – оценка средней по атмосфере Земли плотности потока космических нейтронов тепловой энергии и их биологической значимости.

Задачи исследования

1. Оценить среднюю плотность потока космических нейтронов тепловых энергий в атмосфере;
2. Оценить годовую эффективную эквивалентную дозу космических нейтронов тепловых энергий ($0,005 \div 0,5$ эВ).
3. Оценить годовую эффективную эквивалентную дозу космических нейтронов надтепловых энергий.

Материалы и методы

Известно, что скорость образования космогенного радиоуглерода составляет 2,5 атома за с на 1 см² поверхности Земли [2].

Физические модели образования радиоуглерода представлены [3] и имеют вид: ${}^{13}_6\text{C}$ (H, γ) ${}^{14}_6\text{C}$, ${}^{14}_7\text{N}$ (H, p) ${}^{14}_6\text{C}$ и ${}^{17}_8\text{O}$ (H, α) ${}^{14}_6\text{C}$. Особенностью этих моделей является то, что они моделируют образование радиоуглерода в поле тепловых космических нейтронов. Это значит, что модели справедливы для количества ${}^{13}_6\text{C}$, ${}^{14}_7\text{N}$ и ${}^{17}_8\text{O}$ в массе атмосферы Земли ниже 30 км. Общая масса атмосферы составляет $5,15 \cdot 10^{15}$ т. В зону атмосферы 30 км входит полностью тропосфера и 0,5 стратосферы. Общую массу атмосферы в тридцати километровой зоне предлагается оцениваться в $4,581 \cdot 10^{15}$ т. Если допустить, что в этом количестве атмосферы сохраняются численные значения процентного состава составляющих для всей атмосферы, то масса азота в ней будет $m_{\text{N}}^{30 \text{ км}} = 1,054 \cdot 10^{15}$ т, а масса углерода $m_{\text{C}}^{30 \text{ км}} = 7,91 \cdot 10^{11}$ т.

В этих количествах азота, кислорода и углерода число ядер ${}^{14}_7\text{N}$, ${}^{17}_8\text{O}$ и ${}^{13}_6\text{C}$, соответственно, будет: $N_{\text{N}-14} = 1,48 \cdot 10^{44}$ ядер, $N_{\text{O}-17} = 1,38 \cdot 10^{40}$ ядер, $N_{\text{C}-13} = 4,03 \cdot 10^{38}$ ядер.

После этого представляется возможность оценить скорости образования ${}^{14}_7\text{C}$ в атмосфере Земли,

используя зависимость $\frac{dN_q}{dt} = \sigma_i \cdot N_i \cdot \bar{\varphi}$ и данные [4], обработав их с использованием зависимости:

$$A_i = \lambda_i \cdot N_i, \quad (1)$$

где в этих зависимостях:

$\frac{dN_q}{dt}$ – скорость образования дочернего нуклида, яд/с; σ_i – эффективное микроскопическое сечение материнского ядра для нейтронов определенной энергии (в данном случае космических нейтронов тепловой энергии), см²; $\bar{\varphi}$ – средняя плотность потока космических нейтронов теплового спектра в толще атмосферы 30 км над уровнем Земли, н/см²с; A_i – активность дочернего радионуклида, Бк; λ_i – постоянная распада радионуклида, с⁻¹; N_i – число радиоактивных ядер радионуклида.

В результате по трем приведенным ранее физическим моделям получим три уравнения для скоростей реакций, образования в тридцатикилометровой толще атмосферы углерода ¹⁴С в нейтронном поле космических нейтронов тепловых энергий:

$$\sigma_{C-13}^{тепл} \cdot N_{C-13} \cdot \overline{\varphi_{тепл}} = 1,37 \cdot 10^{10} \text{ яд/с}, \quad (2)$$

$$\sigma_{N-14}^{тепл} \cdot N_{N-14} \cdot \overline{\varphi_{тепл}} = 1,25 \cdot 10^{19} \text{ яд/с}, \quad (2.1)$$

$$\sigma_{O-17}^{тепл} \cdot N_{O-17} \cdot \overline{\varphi_{тепл}} = 2,88 \cdot 10^{14} \text{ яд/с} \quad (2.2)$$

Подставляя в эти уравнения $\sigma_i^{тепл}$ [5] и определенные ранее N_i для углерода-13, азота-14 и кислорода-17 значения для числа ядер в тридцати километровой толще атмосферы, получим три значения средней плотности потока нейтронов тепловой энергии одного и того же поля нейтронов космического происхождения:

$$\overline{\varphi_{тепл}^{C-13}} = 0,0378 \text{ н/см}^2\text{с}, \quad (3)$$

$$\overline{\varphi_{тепл}^{N-14}} = 0,0482 \text{ н/см}^2\text{с}, \quad (3.1)$$

$$\overline{\varphi_{тепл}^{O-17}} = 0,0435 \text{ н/см}^2\text{с} \quad (3.2)$$

Таким образом, средняя плотность потока космических нейтронов тепловой энергии в приземной атмосфере толщиной 30 км, определяется как среднеарифметическая величина по приведенным трем значениям $\bar{\varphi}$, будет равна:

$$\overline{\varphi_{тепл}^{космич}} = 0,0432 \frac{\text{н}}{\text{см}^2\text{с}} \quad 4)$$

Эквивалентная годовая доза космических нейтронов тепловой энергии на поверхности Земли будет (см. значение удельной максимальной эквивалентной дозы $\text{нм бэр} \cdot \text{см}^2 \cdot \text{н}^{-1}$ [6])

$$\begin{aligned} R_{\text{косм.Н.Т}} &= \overline{\varphi_{тепл}^{космич}} \cdot h_{\text{тепл}} \\ &= 0,0432 \cdot \frac{\text{н}}{\text{см}^2\text{с}} \cdot 9 \\ &\cdot 10^{-10} \frac{\text{бэр} \cdot \text{см}^2}{\text{н}} = \\ &= 3,89 \cdot 10^{-11} \frac{\text{бэр}}{\text{с}} = 0,0122 \frac{\text{мЗв}}{\text{год}} \quad (5) \end{aligned}$$

Рекомендованная МКРЗ годовая эффективная эквивалентная доза космических нейтронов всех энергий составляет 0,042 мЗв·год⁻¹. Таким образом, эффективная годовая эквивалентная доза космических нейтронов надтепловых энергий составляет:

$$R_{\text{косм.Н/Т}} = 0,0298 \frac{\text{мЗв}}{\text{год}} \quad (6)$$

Результаты и обсуждение

В результате проведенного анализа скорости образования космогенного радиоуглерода ¹⁴С оценена:

– средняя плотность потока космических нейтронов тепловых энергий в атмосфере:

$$\overline{\varphi_{тепл}^{космич}} = 0,0432 \frac{\text{н}}{\text{см}^2\text{с}};$$

– годовая эффективная эквивалентная доза космических нейтронов тепловых энергий (0,005÷0,5 эВ [Арцимович]) составляет:

$$R_{\text{косм.Н.Т}} = 0,0122 \frac{\text{мЗв}}{\text{год}};$$

годовая эффективная эквивалентная доза космических нейтронов надтепловых энергий составляет:

$$R_{\text{косм.Н/Т}} = 0,0298 \frac{\text{мЗв}}{\text{год}},$$

Что составляет треть от годовой эквивалентной дозы облучения для населения.

Список литературы

1. Бекман, И. Н. Радиоэкология и экологическая радиохимия: учебник для бакалавриата и магистратуры / И. Н. Бекман. - 2-е изд., испр. и доп. Москва : Юрайт, 2016. 407, [1] с.: ил., табл.
2. Козлов, В.Ф. Справочник по радиационной безопасности. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 1991 352 с.
3. Филиппов, Е. М. Радиационная экология / Е.М. Филиппов. – Севастополь, 2003 – 241 с.
4. Филиппов, Е.М. Возможности использования нейтронов космического фонда для изучения солесодержания морских вод / Е.М.Филиппов // 1984. Авторский оттиск «Атомная энергия» том 56.
5. Саркисов, А.А. Физические основы эксплуатации ядерных паропроизводящих установок / А.А.Саркисов, В.Н.Пучков. – М.: ЭАИ, 1989. – 504с.
6. Гордеев, И.В. Справочник по ядерно-физическим константам для расчета реакторов / И.В.Гордеев, Д.А.

Кардашев, А.В.Малышев. – Москва:Издательство государственного комитета совета министров СССР по использованию атомной энергии, - 1960г. – 278 с.

Справочник по ядерной физике / Перевод с английского под редакцией Л.А.Арцимовича. – М.: Гос.издат физико-математической литературы, 1963. – 632 с.

ON THE AVERAGE DENSITY OF THE COSMIC NEUTRON FLUX AROUND THE GLOBE

Ponomarenko P.A.¹, Frolova M.A.²

Sevastopol State University, Sevastopol, st. Kurchatova, 7, Russian Federation

The article is devoted to the assessment and analysis of the generation of neutrons of cosmic origin across the globe and the assessment of the equivalent dose rate generated during this process.

Keywords: *neutron, cosmic neutron, flux density, energy*

УДК 574+539.16

РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ НА ТЕРРИТОРИЯХ РФ С РАЗЛИЧНЫМ УРОВНЕМ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Рахматуллина Г.И.

ФГБНУ «Федеральный центр токсикологической, радиационной и биологической безопасности»

420075 г. Казань, Научный городок-2, Российская Федерация

e-mail: vnivi@mail.ru)

Радиоэкологический мониторинг включает в себя наблюдение объектов окружающей среды, систематизацию и обобщение массива данных, создание информационного банка данных, оценку общей и локальной радиационной обстановки. В настоящее время разработаны и действуют различные системы мониторинга, которые классифицируются по принципам универсальности, факторам и источникам воздействия, методам наблюдения, системному подходу [1].

Ключевые слова: *экология, радиация, загрязнение, радионуклиды, мониторинг*

Введение

Открытие явления радиоактивности и этапы развития ядерных технологий в нашей стране сопровождались интенсивностью загрязнения биосферы искусственными радиоизотопами и уплотнением их содержания в окружающей среде. Следствием их распространения в природной среде зачастую являются, как экологические бедствия, так и человеческий фактор. После аварии на ПО «Маяк», например, явилось образование «Восточно-Уральского радиационного следа». Вследствие аварии на Чернобыльской АЭС загрязнены значительные Европейские территории [2]. Спустя годы уровень загрязнения в местах антропогенных выпадений значительно снизился, однако во многих регионах РФ требуется контроль за производимой с.-х. продукцией [3].

Материал и методы исследований

В рамках программы «Изучение радиоактивного загрязнения объектов ветнадзора в регионах РФ» в Республиках Башкортостан, Татарстан, а также в Костромской области были проведены радиационно-гигиеническая экспертиза объектов ветнадзора в

отдельных СХП, включающая отбор образцов с.-х. продукции местного производства для радиологических исследований, изучение радиационной ситуации и анализ факторов, влияющих на здоровье населения. Составлена база данных содержания радионуклидов в окружающей среде.

Результаты исследований

Радиометрические исследования кормов для крупного рогатого скота проведены из объектов ветеринарного надзора сельскохозяйственных предприятий Стерлитамакского района республики Башкортостан: ООО "АП им. Калинина", ООО "Авангард" и ООО "Агрофирма Салават". Из полученных данных следует, что содержание цезия-137 в пробах грубых кормов выявлялось в образцах из ООО "Агрофирма Салават": в соломе ячменной (1,90 Бк/кг) и сене разнотравном (4,80 Бк/кг); стронций-90 - в соломе пшеничной из ООО "Авангард" (3,40 Бк/кг) и сене разнотравном из ООО "Агрофирма Салават" (4,30 Бк/кг), что в среднем на два порядка ниже нормативных значений. Следы радиоцезия обнаружены в силосе кукурузном (0,01 Бк/кг), незначительное содержание - в сенаже клеверо-люцерновом (3,30 Бк/кг) из ООО

"Агрофирма Салават" и силосе кукурузном из ООО "Авангард" (4,80 Бк/кг); стронций-90 - 6,00 и 6,50 Бк/кг в силосе кукурузном из ООО "Агрофирма Салават" и ООО "АП им. Калинина"; 54,00 Бк/кг в сенаже клеверо-люцерновом из ООО "Агрофирма Салават". Удельная активность по цезию-137 концентрированных кормов - 0,30-8,50 Бк/кг; значения стронция-90 составляли 0,00-40,40 Бк/кг, в т.ч. в дробленном зернофураже из ООО "Авангард", зернофураже (47,5 %), ячмене плющенном (59,4 %), кукурузе плющенной (62,2 %) из ООО "АП им. Калинина". Содержание радионуклидов цезия (1,80 Бк/кг) и стронция (9,40 Бк/кг) в солодковых ростках не превышало установленные нормативы ВП 13.5.13/06-01.

В объектах ветнадзора Республики Татарстан в 9 районах и в 3 крупных городах отобрано 53 образца растениеводческой продукции и почвы для исследования на загрязнение природными и техногенными радионуклидами. Из результатов исследований следует, что удельная активность сочных кормов по цезию-137 составляет $21,3 \pm 8,0$ Бк/кг; стронцию-90 - $17,0 \pm 4,3$ Бк/кг. В зеленой массе - траве естественной разнотравной содержание естественных и техногенных радионуклидов - Cs-137 - $12,7 \pm 4,8$ Бк/кг; Sr-90 - $21,1 \pm 6,7$ Бк/кг. В сочных кормах, соответственно Cs-137 - $13,1 \pm 9,6$ Бк/кг; Sr-90 - $20,5 \pm 12,9$ Бк/кг. В грубых кормах (сено естественных трав): Cs-137 - $7,7 \pm 5,5$ Бк/кг; Sr-90 - $0,6 \pm 0,3$ Бк/кг. В зернофураже - Cs -137 - $1,3 \pm 0,7$ Бк/кг; Sr -90 - $1,2 \pm 1,2$ Бк/кг. Удельная активность биодобавок (БВД) - Cs -137 - $2,0 \pm 22,0$ Бк/кг; Sr -90 - $4,9 \pm 35,0$ Бк/кг.

Содержание радионуклидов в почве было следующим: цезий-137 - $25,5 \pm 10,4$ Бк/кг; Sr -90 - $35,1 \pm 5,6$ Бк/кг.

Из этого следует, что максимальная концентрация радиоцезия была зарегистрирована в силосе - в 1,85 раза выше среднего значения по сочным кормам, в то же время, 0,07 % от установленной нормы ВП 13.5.13/06-01. Содержание этого радионуклида в сенаже было в 1,24 раза выше среднего значения по сочным кормам и составляло 0,04 % от установленной нормы.

Удельная активность по стронцию-90 в траве естественной была выше среднего значения - в 1,24 раза и равнялась 0,42 % от ВП. В сенаже содержание радиостронция составляло 62,1 % от среднего значения по сочным кормам и 0,13 % от ВП. Удельная активность по всем исследуемым радионуклидам в образцах грубых кормов, сене, естественных травах была ниже, чем в зеленой массе, в том числе по цезию-137 - в 1,65 раза и 0,01 % от нормы ВП 13.5.13/06-01. По стронцию-90 - в 3,5 раза выше, чем в зеленой массе и 0,01 % от ВП. Среднее содержание цезия-137 и стронция-90 в зернофураже составляло 0,02 % от нормы ВП. Удельная активность биодобавок (БВД) по цезию-137 и стронцию-90 не превышала 0,05 и соответственно, 0,10 % от установленных норм.

Радиационная обстановка в Костромской области стабильна, соответствует многогодовым наблюдениям, обусловлена естественными факторами, последствиями глобальных атмосферных выпадений в результате ядерных испытаний прошлых лет и, в минимальной степени, радиоактивными выпадениями вследствие аварии на Чернобыльской АЭС.

Управлением ветеринарии Костромской области из ООО «Агрокомплекс Ветлуга» (поселок Плосково, Шарьинский муниципальный район), СПК «Расловское» (п. Раслово, Судиславский муниципальный район), ОАО «Племзавод Караваяево» (п. Караваяево, Костромской муниципальный район) в испытательный центр ФГБНУ «ФЦТРБ-ВНИВИ» были направлены образцы почвы из района расположения ферм крупного рогатого скота СХП и корма для животных: овес дробленный собственного производства (СПК «Расловское»), овес (ООО «Агрокомплекс Ветлуга») и комбикорм из ОАО «Племзавод Караваяево». Из результатов проведенных радиометрических исследований следует, что содержание цезия-137 в образцах кормов варьирует от 0,0 до 3,9 Бк/кг, стронция-90 - 0,0-16,2 Бк/кг. При этом, радиоцезий в овсе из ОАО «Племзавод Караваяево» (Костромской муниципальный район) и радиостронций в дробленном овсе из ООО «Агрокомплекс Ветлуга» (Шарьинский р-н) и комбикорме из СПК «Расловское» (Судиславский р-н) не выявлен. Все корма для животных соответствуют нормам ВП 13.5.13/06-01. Удельная активность образцов почвы указанных муниципальных районов по цезию-137 составляет 1,2-1,8 Бк/кг, стронция-90 - 10,2-11,6 Бк/кг, что ниже средних данных по загрязнению почвы РФ.

Заключение

Исследованиями проведенными в Республиках Башкортостан, Татарстан и в Костромской области установлено, что вся растениеводческая продукция местного производства соответствует требованиям радиационной безопасности СанПиН 2.3.2.1078-01, КУ-94, НРБ-99/2009 г. и ТР / ТС 2011г. Содержание радиоцезия в почвах указанных регионов не превышает средних значений по РФ.

Список литературы

1. Еремеев И.С. Автоматизированные системы радиационного мониторинга окружающей среды. - Киев : Наук. Думка, 1990.-256с.
2. Пучков, В.А. Российский национальный доклад: 30 лет Чернобыльской аварии. Итоги и перспективы преодоления ее последствий в России 1986-1916 годы»/ под ред. В.А Пучкова / Москва, 2016.- 202 с.
3. Государственный доклад «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения в Российской Федерации в 2016 году» / Москва, 2016.

RADIO-ECOLOGICAL MONITORING ON THE TERRITORIES OF THE RUSSIAN FEDERATION WITH DIFFERENT LEVELS OF RADIOACTIVE CONTAMINATION

Rakhmatullina G.I.

Federal state budgetary scientific institution «Federal centre of toxicological, radiating and biological safety»
420075 Republic of Tatarstan, Kazan, Scientific Town-2, Russian Federation

Radioecological monitoring includes observation of environmental objects, systematization and generalization of the data set, creation of an information data Bank, assessment of the General and local radiation situation. Currently, various monitoring systems have been developed and are in operation, which are classified according to the principles of universality, factors and sources of influence, methods of observation, system approach.

Keyword: ecology, radiation, pollution, radionuclides, monitoring

УДК 582.29:630*187:630*43:631.438.2

ЭПИФИТНЫЙ ЛИШАЙНИК *Hypogymnia physodes* КАК ФАКТОР АККУМУЛЯЦИИ И ПИРОГЕННОЙ ТРАНСЛОКАЦИИ ^{137}Cs

Сеглин В.Н.¹, Храмченкова О.М.²

1 – ГНУ «Институт радиобиологии НАН Беларуси»
246007, г. Гомель, ул. Федюнинского, 4, Республика Беларусь
e-mail: seglinv@mail.ru

2 – УО «Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины»,
246019, г. Гомель, ул. Советская, 104, Республика Беларусь
e-mail: hramchenkova@gsu.by

Приведены результаты определения содержания ^{137}Cs в эпифитном лишайнике *Hypogymnia physodes*, а также величины распределения радиоцезия между дымом и золой из биомассы лишайника. Установлено, что *Hypogymnia physodes* аккумулирует ^{137}Cs от 130 до 3459 Бк/кг сухой массы. Зольность лишайника варьирует от 4,25 до 18,05 %, при этом наибольшей зольностью характеризуются слоевища лесов долгомошного типа. В золе образцов, которые имели более низкую зольность и большую полноту сгорания, наблюдался более высокий уровень концентрации ^{137}Cs . Удельное загрязнение золы во всех случаях больше исходного горючего материала в 5–22 раза. Установлено, что при горении лишайника в лабораторных условиях практически весь ^{137}Cs остается в золе (от 70 до 98 %), загрязняя пожарище.

Ключевые слова: *Hypogymnia physodes*, радионуклиды, аккумуляция, горение, пирогенная транслокация, сосновые насаждения

Лишайники представляют особый интерес как биоиндикаторы пространственных и временных градиентов радиоактивного загрязнения окружающей среды. Ввиду отсутствия кутикулярного слоя и устьиц они способны поглощать радионуклиды активнее других растений. Лишайники пассивно поглощают поллютанты из атмосферы в виде влажного и сухого осаждения аэрозолей и газов [1–3]. Поглощенные радионуклиды долгое время удерживаются в талломах лишайников, так как эти растения не имеют специальных механизмов для экскреции, а выщелачивание изотопов из талломов в связи с длительными периодами обезвоживания сильно замедляется [4].

В настоящее время, в связи с реализацией Государственной программы по развитию лесного хозяйства, идет рост площади лесных угодий Беларуси. В лесном фонде преобладают средневозрастные

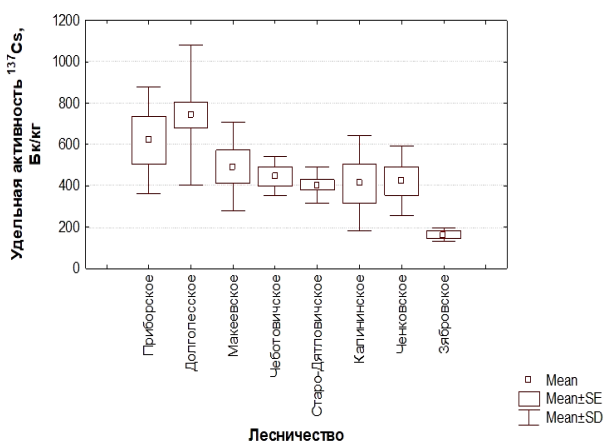
насаждения, характеризующиеся наибольшим запасом лесных горючих материалов, в том числе и лишайников [5]. Это особенно важно на территориях, загрязненных долгоживущими радионуклидами – лесные пожары здесь могут приводить к пирогенной транслокации этих радионуклидов. При этом не изученными остаются вопросы: какой лишайник больше всего накапливает радионуклидов и каких; какая доля радиоактивности выходит из лишайников в аэрозоль и золу при пожарах.

Целесообразность выбора объекта исследования продиктована тем, что в Гомельской области свыше 60 % (лесистость свыше 40 %) лесопокрытой площади занимает сосновая формация, а доминирующим видом на стволах и ветвях сосен во всех климатических зонах является эпифитный лишайник *Hypogymnia physodes*.

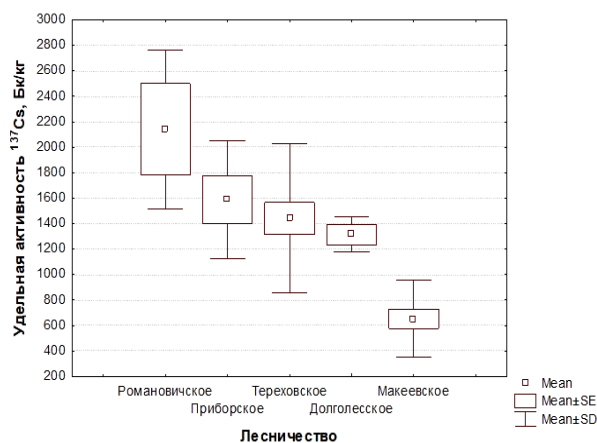
Пробные площади закладывали на территории Гомельского государственного производственного лесохозяйственного объединения в 11 лесничествах. При работе располагали картами лесничеств, таксационными описаниями лесных насаждений. На каждой учетной площадке выбирались 10 деревьев с максимальным проективным покрытием лишайника. С экспозиции ствола сосны на высоте 1,3 м на участке площадью 0,12 м² срезали слоевища лишайников вместе с субстратом. В лабораторных условиях слоевища отделяли от коры, высушивали до воздушно-сухого состояния, измельчали. Измерения содержания ¹³⁷Cs проводили с использованием гамма-спектрометра Ortec с полупроводниковым германиевым детектором GEM-40200B. Для характеристики уровня радиоактивности образцов лишайников использовали величину удельной активности (Бк/кг) в расчете на сухую массу.

Для оценки пирогенной транслокации ¹³⁷Cs в лабораторных условиях образцы лишайника *Hypogymnia physodes* сжигали в муфельной электропечи при температуре 450°C, после чего определяли зольность биомассы и содержание ¹³⁷Cs в золе лишайников. На последнем этапе оценивали величину распределения ¹³⁷Cs между дымом и золой из биомассы лишайников.

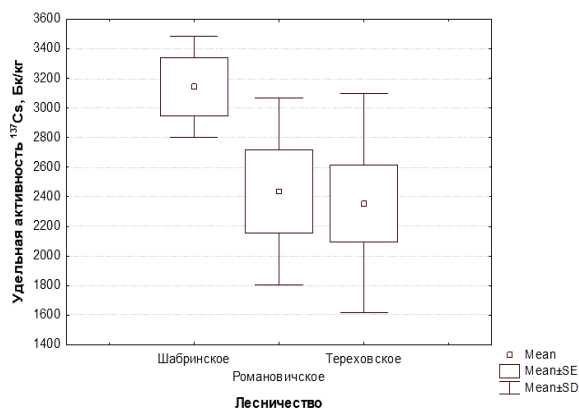
Содержание ¹³⁷Cs в эпифитном лишайнике *Hypogymnia physodes*, произрастающем на территории Гомельского ГПЛХО, составило от 129,69 до 3458,61 Бк/кг сухой массы. Средняя удельная активность ¹³⁷Cs в слоевищах разных лесничеств колеблется от 162,54 ± 18,82 в Зябровском до 3142,36 ± 197,32 Бк/кг в Шабринском. При этом значения содержания радиоцезия в лишайнике различались для лесничеств в пределах территорий, характеризующихся одинаковой степенью радиоактивного загрязнения (рис. 1).



а



б



в

Рисунок 1 – Значения содержания ¹³⁷Cs в лишайнике *Hypogymnia physodes* при различной плотности загрязнения территории радиоцезием: а – < 37 кБк/м²; б – 37–74 кБк/м²; в – 74–185 кБк/м²

Зольность *Hypogymnia physodes*, отобранной на территории Гомельского ГПЛХО, варьирует от 4,25 до 18,05 %. Максимальное значение зольности лишайника отмечено в молодом долгомошном сосняке,

минимальное – в приспевающих сосновых насаждениях мшистого типа.

Согласно литературным данным [6], в среднем зольность лишайников колеблется от 0,7 до 4 % и

различается у разных экологических групп лишайников. Так, накипные виды отличаются большим содержанием, а листоватые и кустистые – меньшим. В нашем исследовании образуется большое количество минерализованной субстанции золы лишайников, что свидетельствует о значительном концентрировании в ней ^{137}Cs .

На рисунке 2 представлена неоднородность распределения зольности лишайника по типам леса независимо от возраста древостоя.

Статистически установлено, что наибольшая зольность лишайника характерна для лесов долгомошного типа (6,1–18,05 %), наименьшая – для мшистого и черничного типов (4,24–9,70 %). Не однородна и вариация изучаемого показателя: наибольшая степень варьирования характерна для багульникового и долгомошного типов, наименьшая – для мшистого и черничного типов леса.

При сжигании лишайников с загрязненных радионуклидами территорий удельная активность золы составила от 2522,03 до 26738,26 кБк/кг (рис. 3).

Более высокий уровень концентрации ^{137}Cs наблюдался в золе тех образцов, которые имели более низкую зольность и большую полноту сгорания. Удельное загрязнение золы во всех случаях больше исходного горючего материала в 5–22 раза. Это связано с эффектом концентрации радионуклидов в минеральной части радиоактивных продуктов сгорания.

Сравнивая удельную активность биомассы лишайника *Hypogymnia physodes* и его золы, приведенных в процентном соотношении, получено, что от 70 до 98 % активности ^{137}Cs остается в золе, загрязняя собой пожарище. Следовательно, до 30 % радиоцеция при горении в лабораторных условиях улетучивается с выбросами дымовых газов, вступая в пирогенную транслокацию долгоживущих радионуклидов. На рисунке 4 отображен процентный вклад ^{137}Cs в золу и дымовые выбросы при горении лишайников, произрастающих в различных экотопических условиях.

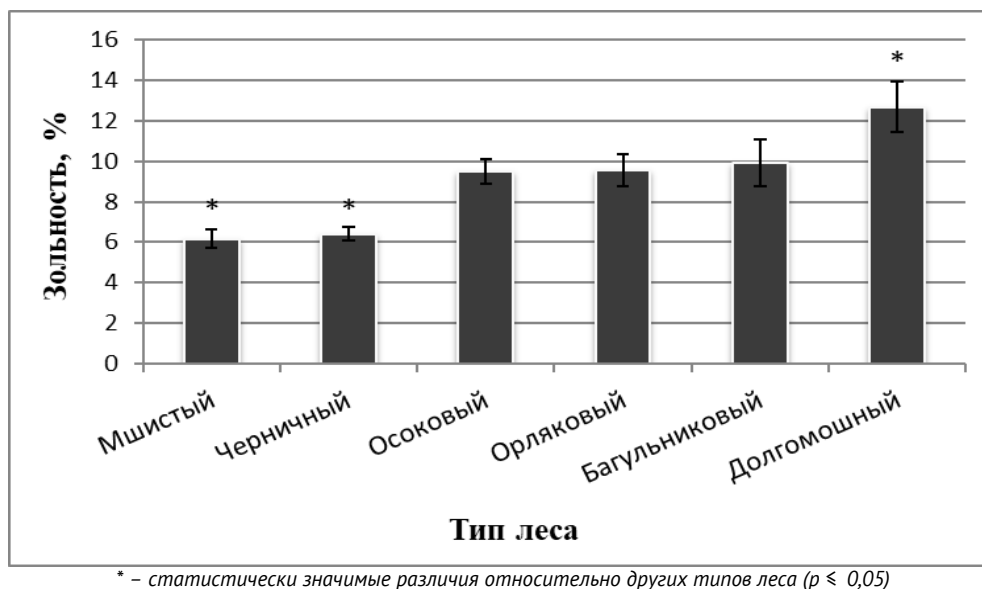


Рисунок 2 – Зольность *Hypogymnia physodes* в сосняках различных типов

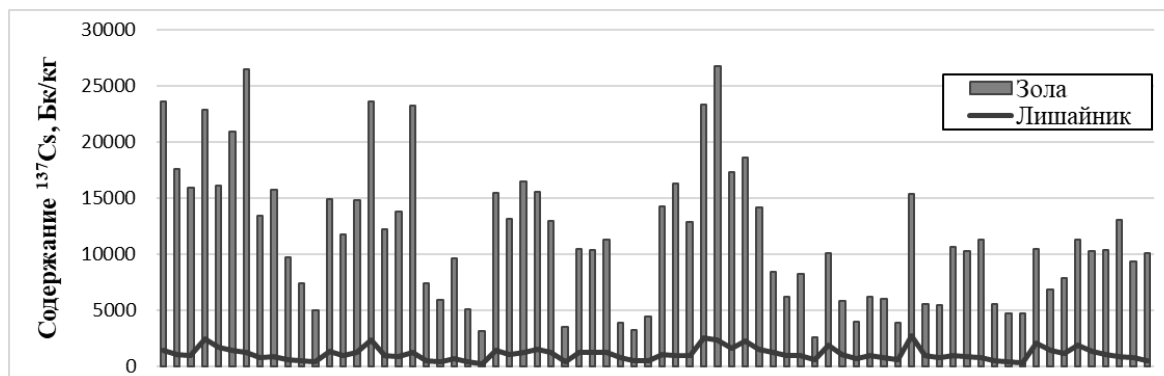
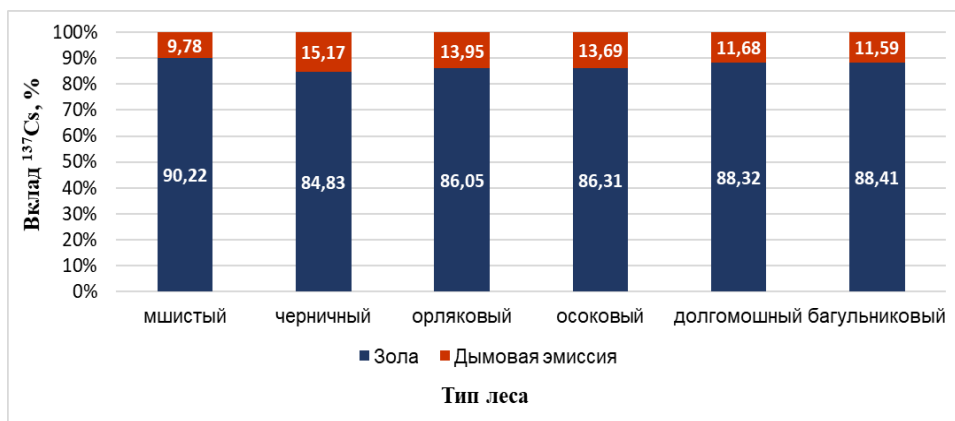
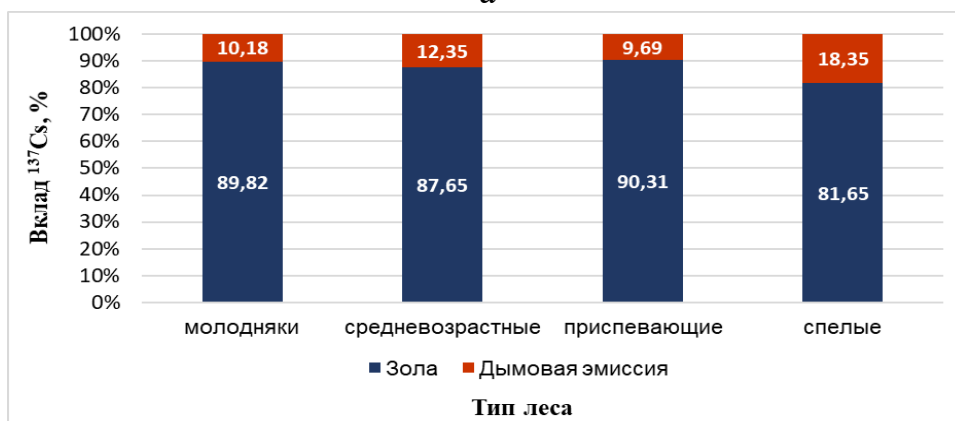


Рисунок 3 – Содержание ^{137}Cs в золе *Hypogymnia physodes*



а



б

Рисунок 4 – Пирогенная транслокация ^{137}Cs в золу лишайников и дымовую эмиссию: а – в различных типах сосняков; б – в сосняках различных возрастов

Наименьшие значения содержания ^{137}Cs , оставшегося в золе при сжигании, были отмечены в спелых сосновых насаждениях черничного и осокового типа (76 и 77 % соответственно). Наибольшие значения характерны для молодых мшистых сосняков и приспевающих долгомошных насаждений (96 и 95 % соответственно).

Полученные результаты свидетельствуют о необходимости дальнейших детальных исследований по последовательному выщелачиванию золы лишайников. Необходимо установить, какова доля растворимого и доступного для вхождения в звено «почва-растение» ^{137}Cs находится в золе лишайников, поскольку практически весь радиоцезий остается на пожарище.

Список литературы

1. Нифонтова, М.Г. Лишайники и мхи в радиозкологическом мониторинге / М.Г. Нифонтова, В.С. Безель, К.А. Рябкова, Г.И. Таршис // Инновационный потенциал естественных наук: труды международной научной конференции. – 2006. – Т. 2. – С. 239–242.

2. Seaward, M.R.D. Lichens as Monitors of Radioelements / M.R.D Seaward, P.L. Nimis, C. Scheidegger, P.A Wolseley // Monitoring with Lichens – Monitoring Lichens. – 2002. – P. 85–96.

3. Бязров, Л.Г. Лишайники – индикаторы радиоактивного загрязнения / Л.Г. Бязров. – М.: Изд-во КМК, 2005. – 476 с.

4. Nash III, T.H. Lichen biology / T.H. Nash III. – Cambridge University Press, 1999. – 486 p.

5. Храменкова, О.М. Оценка запаса лишайника *Hypogymnia physodes* (L.) Nyl. в сосновых лесах юго-востока Беларуси / О.М. Храменкова, А.Г. Цуриков, М.С. Лазарева // Экологический вестник. – 2015. – № 2(32). – С. 95–100.

6. Кураченко, В.П. Возможность использования лишайников для оценки загрязнения тяжелыми металлами различных регионов Антарктиды / В.П. Кураченко, И.А. Багманян, В.Е. Мямин [и др.] // Труды БГУ. – 2016. – № 11 (1). – С. 351–355.

EPIPHYTIC LICHEN HYPOGYMNIA PHYSODES AS A FACTOR OF ACCUMULATION AND PYROGENIC TRANSLOCATION ^{137}Cs

Sehlin V.N.¹, Khranchankova V.M.²

¹ Institute of radiobiology of the NAS of Belarus, 246007, Gomel, 4 Feduninskogo str., Belarus

² Francisk Skorina Gomel State University, 246019, Gomel, 104 Sovetskaya str., Belarus

The results of determining the content of ^{137}Cs in the epiphytic lichen *Hypogymnia physodes*, as well as the magnitude of the distribution of radiocesium between smoke and ash from the lichen biomass, are presented. *Hypogymnia physodes* have been found to accumulate ^{137}Cs from 130 to 3459 Bq kg⁻¹ dry weight. The ash content of the lichen varies from 4.25 to 18.05 %. The highest ash content is characterized by thalli of *Pinetum polytrichosum* forests. In the ash samples, which had a lower ash content and greater combustion efficiency, a higher level of ^{137}Cs concentration was observed. The specific pollution of ash in all cases is 5–22 times larger than the initial combustible material. It was established that during the burning of lichen in the laboratory, almost all ^{137}Cs remains in the ashes (from 70 to 98 %), contaminating a conflagration.

Keywords: *Hypogymnia physodes*, radionuclides, accumulation, burning, pyrogenic translocation, pine plantations

УДК 635.262 (089):631

СОДЕРЖАНИЕ РАДИОНУКЛИДОВ В ЛУКЕ ПОРЕЕ (*ALLIUM PORRUM* L.) В УСЛОВИЯХ МОСКОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Середин Т.М.¹, Солдатенко А.В.¹, Баранова Е.В.¹, Шумилина В.В.², Кривенков Л.В.¹, Агафонов А.Ф.¹

¹ ФГБНУ «Федеральный научный центр овощеводства»

14380 Московская область, Одинцовский район, пос.ВНИИССОК, ул.Селекционная, д.14, Российская Федерация

E-mail: vniissok@mail.ru, timofey-seredin@rambler.ru

² ФГБНУ «ФИЦ Всероссийский институт генетических ресурсов растений им.Н.И.Вавилова (ВИР)»

190000 г.Санкт-Петербург, ул.Б.Морская, д.44 Российская Федерация

В результате проведения эксперимента на коллекционном питомнике лука порея отечественной и зарубежной селекции выявлена сортовая реакция по накоплению радионуклидов 137-цезия и 90-стронция. Выяснено, что лук порей не является активным аккумулятором накопления поллютантов в условиях Центральной Нечерноземной зоны. В среднем по десяти сортам накопление ^{137}Cs составило 13,5 Бк/кг, при ранге 4. Необходимо отметить, что анализ полученных результатов свидетельствует, что при высоком уровне накопления 137-цезия растения сформировали более крупные листья и имели более высокий ложный стебель по сравнению с растениями с низким уровнем накопления элемента (137-цезия). По содержанию ^{90}Sr распределение по группам накопления сортов приближается к нормальному. Наиболее представительна группа со средним уровнем накопления радионуклида (^{90}Sr): от 15,6 до 16,2 Бк/кг. Она содержит два из десяти изученных форм.

Ключевые слова: лук порей, радионуклиды, накопление, 137-цезий, 90-стронций

Лук порей (*Allium porrum* L.) – один из наиболее ценных видов лука по вкусовым качествам, холодоустойчивости, устойчивости к вредителям и болезням. Это очень древняя культура, пришедшая из Средиземноморья. Необходимо отметить, что в настоящее время она стала одной из наиболее распространенных культур в Западной Европе и Америке. В последние 20 лет быстро завоевывает популярность и в России [2, 4].

Объект исследования - лук порей (*Allium porrum* L.).

В качестве материала для исследований были использованы десять сортов лука порея: Премьер, Жи- раф, Коламбус, Бандит, Веста, Летний бриз, Голиаф, Победитель, Камус, Казимир.

Методы исследований

Коллекционное изучение проводили в соответствии с ОСТ 46 71- 78, этап I. Лабораторно-полевые опыты – по общепринятой методике (Доспехов, 1985), «Методических указаний по экологическому испытанию овощных культур в открытом грунте» (1987), «Методических указаний по селекции луковых культур» (1997), «Методических указаний по определению содержания ^{90}Sr и ^{137}Cs (1985). В период вегетации проводили оценку биометрических признаков растений. Измерения листового аппарата (число листьев на растении, длину, ширину листа) проводили в динамике и рассчитывали общую

площадь ассимиляционной поверхности растения с учетом коэффициента поправки 0,67 (Mann, 1952).

Содержание ^{137}Cs и ^{90}Sr в луковицах определяли в лаборатории Испытательного центра пищевой продукции, продовольственного сырья, кормов, почв, грунтов, агрохимикатов и воды ГЦАС «Московский», с помощью гамма – радиометрического метода определения (ГОСТ 10179-96).

Результаты и их обсуждение

В результате проведения эксперимента с десятью сортами лука порея отечественной и зарубежной селекции выявлена сортовая реакция по накоплению радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr (табл. 1).

Как показали результаты исследований коллекционного питомника лука порея по накоплению радионуклидов 90-стронция и 137-цезия есть различия. В среднем по десяти сортам, накопление ^{137}Cs составило 13,5 Бк/кг, при ранге 4. Однако при изучении сортообразцов выделились формы, которые содержали меньшее количество радионуклидов по сравнению с другими.

Наименьший уровень накопления ^{137}Cs определен в сорте Жираф - 10,2 Бк/кг, а по 90-стронцию в сортах Победитель, Жираф и Летний бриз – 14,2 и 14,2 и 14,7 Бк/кг соответственно.

У лука порея выявлены значительные различия распределения образцов по уровню содержания ^{137}Cs и ^{90}Sr . Группа с наиболее низким содержанием 137-цезия от 10,2 до 11,8 Бк/кг содержит два сорта. Это сорта: Жираф Ланцелот. Следует обратить внимание на образцы этой группы с целью выделения их как исходного материала для селекции на стабильно низкий уровень накопления 137-цезия.

По содержанию ^{90}Sr распределение по группам образцов приближается к нормальному. Наиболее представительна группа со средним уровнем накопления радионуклида (^{90}Sr): от 15,6 до 16,2 Бк/кг. Она содержит два из десяти изученных форм.

Минимальное накопление 90-стронция у сортов Жираф и Победитель относительно по сравнению с другими оно у форм Летний бриз, Камус.

Высоким уровнем содержанием ^{90}Sr отличаются сорта: Голиаф и Казмир.

Наши дальнейшие исследования по содержанию в луке порее поллютантов будут продолжены в зоне загрязнения – Брянская область, (Новозыбковский

район). Результаты будут получены по сортообразцам, которые выделились в условиях Московской области, где содержание радионуклидов в луке порее не превышает ПДК.

Биологическая ценность овощных культур состоит главным образом в том, что они служат богатым источником минеральных веществ [1]. При выращивании овощных культур, на сегодняшний день, закономерно возникает вопрос о варьировании их химического состава на фоне естественного изменения экологической обстановки регионов. Сортовые различия наиболее ценных в питании и наиболее распространенных культур по содержанию в них химических элементов, представляют ценность, так как позволяют выделить доноры, обладающие способностью накапливать требуемое количество того или иного элемента в товарной части урожая [3].

Выводы

1. Наименьший уровень накопления 137-цезия определен в сортах Жираф и Ланцелот- 10,2 и 11,4 Бк/кг, а по 90-стронцию в сортах Жираф и Победитель- 14,2 Бк/кг.

2. По содержанию ^{90}Sr распределение по группам образцов приближается к нормальному. Наиболее представительна группа со средним уровнем накопления радионуклида (^{90}Sr): от 15,6 до 16,2 Бк/кг. Она содержит два из десяти изученных форм.

Список литературы

1. Дудченко Н.С. Разработка элементов технологии для селекции на повышенное накопление химических элементов в овощной продукции многолетних луков. Автореф. дисс. ... к.с.-х.н.- М., 2009, 26 с.

2. Каталог мировой коллекции ВИР, выпуск 821.- Род Лук (*Allium L.*)- Санкт-Петербург. 2015. 20 С.

3. Краснолобова О.В. Оценка исходного материала овощных культур для селекции на стабильный уровень накопления химических элементов. Автореф. дисс. ... к. с- х.н. М., 2005, 26 с.

4. Середин Т.М., Солдатенко А.В., Баранова Е.В., Шумилина В.В. Оценка коллекционного питомника лука порея (*Allium porrum L.*) для селекции на стабильно низкий уровень накопления радионуклидов // Ж.Овощи России. №4. С.33-35.

CONTENT OF RADIONUCLIDES IN ONIONS (*ALLIUM PORRUM L.*) UNDER CONDITIONS OF THE MOSCOW REGION

Seredin T.M.¹, Soldatenko A.V.¹, Baranova E.V.¹, Shumilina V.V.², Krivenkov L.V.¹, Agafonov A.F.¹

¹ FPBSI «Federal Scientific Center of Vegetable Growing»»,

143080 Moscow region, Odintsovo district, settlement of VNISSOK,14, Russian Federation

² FPBSI «(VIR) N.I. Vavilov's All-Russian institute of genetic resources of plants»

190000 St. Petersburg, B.Morskaya str., 44, Russian Federation

As a result of experiment on collection nursery of leek of domestic and foreign selection high-quality reaction on accumulation of radionuclides 137-cesiums and 90-strontiums is revealed. It is found out that leek isn't the fissile accumulator of accumulation pollutant in the conditions of the Central Nonchernozem area. On average in ten grades accumulation Cs137 was 13.5 Bq/kg, at a rank 4. It should be noted that the analysis of the received results demonstrates that at a high level of accumulation 137 cesiums of a plant created larger leaves and had higher false stalk in comparison with plants with low level of accumulation of an element (137 cesiums). According to contents ⁹⁰Sr distribution on groups of accumulation of grades approaches normal. The group with the average level of accumulation of a radionuclide is most representative (⁹⁰Sr): from 15.6 to 16.2 Bq/kg. It contains two of ten studied forms.

Keywords: *leek, radionuclides, accumulation, 137-cesium, 90-strontium*

УДК 631.4:504.53:546.11.02.3

ФОРМЫ НАХОЖДЕНИЯ ТРИТИЯ В ПОЧВЕ КАК ФАКТОР ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ РАДИОАКТИВНО-ЗАГРЯЗНЕННЫХ УЧАСТКОВ НА ПРИЛЕГАЮЩИЕ ТЕРРИТОРИИ

Сержанова З.Б., Айдарханова А.К., Ляхова О.Н., Тимонова Л.В.

Филиал «Институт радиационной безопасности и экологии» РГП НЯЦ РК

071100 Восточно-Казахстанская область, г. Курчатов, улица Бейбіт атом, 2Б, Республика Казахстан

e-mail: Serzhanova@nnc.kz

В данной работе представлены результаты по определению форм нахождения трития в почвах вблизи радиоактивно-загрязненных участков Семипалатинского испытательного полигона. Установлено, что в почвах исследуемых территорий преобладают формы ³H, содержащиеся в свободной воде. Полученные результаты позволяют судить о механизмах перераспределения, а также дают оценку миграционной способности и биологической доступности ³H.

Ключевые слова: *тритий, почва, формы нахождения ³H, СИП, миграция*

На территории Семипалатинского испытательного полигона (СИП) и некоторых участках, прилегающих к его радиоактивно-загрязненным объектам, сформировалось тритиевое загрязнение природной среды, где условия радиоактивного загрязнения по уровню содержания трития (³H) схожи с условиями при возникновении аварий на предприятиях ядерного топливного цикла. Данную ситуацию усугубляет расположение в непосредственной близости объектов производственной и хозяйственной деятельности, что может повлечь за собой угрозу не только природной среде, но и здоровью населения, вследствие способности перераспределения ³H в природных экосистемах.

Концентрация ³H как в воде, так и в почве может достигать нескольких сотен тысяч Бк/кг. Благодаря своим миграционным свойствам, ³H может входить в состав многих соединений, в том числе биологически важных. В связи с этим, возникает необходимость более детального изучения ³H и его форм нахождения в почве, так как почва является первичным звеном в биологической цепочке, а формы нахождения ³H -

основной параметр, характеризующий процессы его перераспределения в объектах окружающей среды.

Известно, что водород в минералах почвы может содержаться в составе свободной воды и в структуре кристаллической решетки. В свободной воде водород содержится в 2 формах: в поверхностно-адсорбированной и в межслоевой. Химически (гидроксильный) и органически связанный водород являются связанными формами, входящими в структуру кристаллической решетки [1, 2]. Так как ³H является изотопом водорода, в основе метода лежало предположение, что ³H в почве содержится в тех же формах, что и водород. Однако помимо вышеперечисленных форм в почвах СИП можно ожидать ³H в кристаллически (прочносвязанной) связанной форме. Это тот ³H, который может нарабатываться на легких элементах в результате нейтронно-активационных процессов, имевших место в момент проведения испытаний [3, 4]. В свою очередь, кристаллически связанный ³H, по природе образования, может подразделяться на активационный и конденсационный ³H.

Таким образом, ³H в почве может содержаться в следующих формах (рис. 1):



Рисунок 1 – Формы нахождения ^3H в почве

Все указанные формы ^3H могут присутствовать в почвах СИП, что частично подтверждено ранее проведенными исследованиями [5].

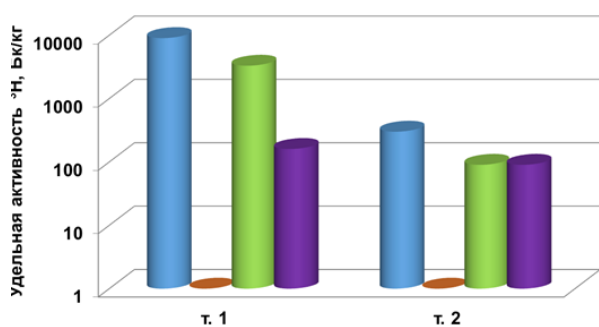
Для проведения исследований выбраны почвы площадок «Дегелен» и «Балапан», в зоне влияния которых находятся производственные и хозяйственные субъекты. Одним из крупных производственных предприятий, находящимся в зоне влияния СИП, является флюоритовое месторождение «Караджал», расположенное на участке, прилегающем к площадке «Дегелен». В пределах площадки «Балапан» расположено несколько хозяйственных субъектов, используемых для постоянного и временного проживания людей и ведения пастбищного скотоводства. На каждой из этих испытательных площадок имеются поверхностные водотоки, способствующие выносу ^3H далеко за пределы испытательных площадок, в том числе к местам ведения производственной и хозяйственной деятельности.

Методология определения форм нахождения ^3H заключалась в поэтапном извлечении каждой из форм. Определение форм нахождения ^3H , содержащихся в свободной воде, проводилось методом дистилляции при температурах соответствующих

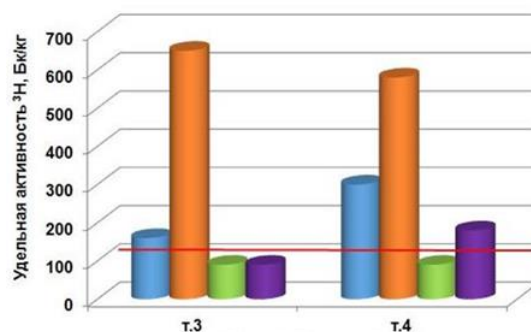
выделению каждой из форм. Связанные формы ^3H определялись методом автоклавного разложения с предварительным извлечением органически связанного ^3H водными растворами.

Из полученных результатов следует, что в почвах исследовательских участков существенно преобладают формы ^3H , содержащиеся в свободной воде. В почве площадки «Дегелен» наибольшее содержание ^3H зафиксировано в поверхностно-адсорбированной воде – от 300 до 10000 Бк/кг. В почве исследовательского участка площадки «Балапан», характеризующимся глинистым типом почв, преобладает содержание ^3H в межслоевой воде – порядка 600 Бк/кг.

Содержание связанных форм ^3H отмечается только на одном участке площадки «Дегелен». На данном участке содержание органически связанного ^3H составляет порядка 2000 Бк/кг, а кристаллически связанного ^3H – 200 Бк/кг. На всех остальных исследовательских участках площадок «Дегелен» и «Балапан» содержание связанных форм ^3H в почвах не зафиксировано. Распределение форм нахождения ^3H в почвах обоих испытательных площадок графически представлено на рисунке (рис. 2).



площадка «Дегелен»



площадка «Балапан»

Рисунок 2 – Распределение форм нахождения ^3H в почве

В целом установлено, что на всех участках исследования существенно преобладают формы ^3H , содержащиеся в свободной воде. Данные формы ^3H обладают высокой миграционной способностью и биологической доступностью, что указывает на возможный прямой переход ^3H не только в растения, но и в воду, и в воздух. Таким образом, в районе производственных и хозяйственных объектов следует ожидать миграцию ^3H по биологической цепочке.

Список литературы

1. Пушкарев, А.В. и др. Кинетика изотопно-водородного обмена в бентонито-песчаной смеси // Сб. тр. Институт геохимии окружающей. Киев, 2007. Вып. 15. С. 27-36.

2. Lopez-Galindo A., FenollHach-Ali P., Pushkarev A.V. et al. Tritium redistribution between water and clay minerals // Applied Clay Science 39. 2008. С. 151-159.

3. Ляхова, О.Н. Тритий как индикатор мест проведения ядерных испытаний // Вестник НЯЦ РК, 2011. Вып. № 3. С. 125–129.

4. Serzhanova, Z.B. et al. Researching of tritium speciation in soils of “Balapan” site // Journal of Environmental Radioactivity. 2018. № 192. P. 621-627.

5. Тимонова Л.В., Ляхова О.Н., Лукашенко С.Н., Айдарханов А.О. Исследование содержания трития в почве в местах проведения ядерных испытаний на территории Семипалатинского испытательного полигона // Радиационная биология. Радиозология. 2015. Т. 55. № 6. С. 667–672.

THE SPECIATION OF TRITIUM IN THE SOIL AS A FACTOR IN THE ASSESSMENT OF THE IMPACT OF RADIOACTIVELY CONTAMINATED SITES IN THE SURROUNDING AREAS

Serzhanova Z.B., Aidarkhanova A.K., Lyakhova O.N., Timonova L.V.

Branch 'Institute of Radiation Safety and Ecology' RSE NNC RK

071100 East-Kazakhstan region, Kurchatov, 2B Beibit Atom Str., Kazakhstan

This paper presents the results of determining the forms of tritium in soils near the radioactive contaminated sites of the Semipalatinsk test site. It was found that in the soils of the study areas dominated by forms of ^3H contained in free water. The results obtained allow us to judge the mechanisms of redistribution, as well as assess the migration ability and biological accessibility.

Keywords: *tritium, soil, forms of finding ^3H , SIP, migration*

УДК 631.4:581.1

ВЕРТИКАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ^{137}Cs В АЛЛЮВИАЛЬНОЙ ПОЧВЕ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ АГРОТЕХНИЧЕСКИХ МЕРОПРИЯТИЙ

Смольский Е.В.

Брянский государственный аграрный университет

243365 Брянская обл., Выгоничский р-н, с. Кокино, ул. Советская 2а, Российская Федерация

e-mail: sev_84@mail.ru

Применение защитных мероприятий на радиоактивно загрязненных территориях способствует возврату потерянных земель в сельскохозяйственный оборот. В ходе исследований установили, что в начальный этап реабилитации радиоактивно загрязненных пойменных лугов необходимо проводить коренное улучшение (применение глубокой двухъярусной вспашки), за счет этого происходит максимальное снижение удельной активности ^{137}Cs в корнеобитаемом слое аллювиальной почвы. На начальном этапе исследования в 1994 году основная часть ^{137}Cs находилась в слое 0-5 см аллювиальной почвы, по прошествии 21 года произошло равномерное распределение радионуклида до глубины 20 см. Выявлена миграция ^{137}Cs в корнеобитаемый слой почвы из нижележащих слоев за счет увеличения массы травостоя.

Ключевые слова: *пойма, аллювиальные почвы, приемы улучшения лугов, радиоактивное загрязнение почв, миграция ^{137}Cs*

Аллювиальные дерновые оглеенные почвы преобладают в поймах рек Брянской области, занимая 133,1 тыс. га или 55,1 %, на них располагаются около 20 % лугов области [1]. Использование для

производства кормов на 491,4 тыс. га естественных кормовых угодий осложнено загрязнением искусственными радионуклидами, которые повышают вероятность получения продукции кормопроизводства, не соответствующей допустимому уровню содержания в них ^{137}Cs [2, 3].

На естественных кормовых угодьях, где не проводилось защитных мероприятий, основная часть ^{137}Cs находится в верхнем горизонте почвенного профиля на глубине до 5 см [4].

Цель работы – обоснование применения агротехнических мероприятий на радиоактивно загрязнённых лугах центральной поймы.

Почва опытного участка – аллювиальная дерновая оглеенная, маломощная, среднегумусная, песчаная на супесчаном аллювии и имеет следующие строение профиля: $A_d(0-5)$, $A_1(5-18)$; $B_1(18-40)$; $B_g(40-60)$; $C_g(60-90)$. Средние показатели агрохимических свойств в 1994 году были следующие: $pH_{\text{KCl}} - 4,8$, содержание гумуса – 3,2 % (по Тюрину), подвижного фосфора – 140 мг/кг, обменного калия – 60 мг/кг (по Кирсанову). Плотность загрязнения ^{137}Cs территории проведения эксперимента в период закладки опыта в 1994 году колебалась в пределах 1221-1554 кБк/м², в период перезалужения в 2008 году – 559-867 кБк/м².

Флористический состав естественного лугового травостоя опыта представлен видами трав семейства мятликовых. На долю разнотравья приходилось около 10-15 % общего состава.

Защитные мероприятия при постановке опыта в 1994 году включали агротехнические приемы, которые предусматривали поверхностное улучшение посредством дискования дисковыми боронами БДФ-2,4 и коренное улучшение посредством вспашки двухъярусным плугом (ПЯ-40) с последующим посевом мятликовой травосмеси типичной для региона. В 2008 году произошла замена изреженного травостоя на опытном участке посредством метода ускоренного залужения. Работы по перезалужению включали в себя следующие операции: известкование почвы, фрезерование в двух направлениях фрезой ФБК-2, предпосевное прикатывание почвы катками ЗКВГ-1,5, посев сеялкой СЗТ-3,6 в конце второй декады августа многолетних мятликовых трав с послепосевное прикатывание почвы.

Отбор почвенных образцов для определения удельной активности ^{137}Cs почвы проводили в 1994, 2007 и 2015 году поздней осенью специально сделанным буром индивидуальные образцы через каждые 5 см до глубины 60 см, которые объединяли в смешанную пробу (1000 г).

Удельную активность ^{137}Cs для каждого 5 сантиметрового слоя почвы измеряли на комплексе универсальном спектрометрическом комплексе «Гамма Плюс» (Россия), основная погрешность измерений не более 10 %

Исследования о вертикальном распределении ^{137}Cs по профилю почвы выявляют зависимость миграции радионуклида от многих факторов, среди

которых главными являются водный режим ландшафта, гранулометрический состав почвы и др. [5]. Необходимость изучения распределение ^{137}Cs в корнеобитаемом слое почвы определяется, в частности для кормовых угодий, прогнозированием его содержания в зелёный и грубых кормах получаемых с луга [6] и далее его миграция пищевой цепи [7].

В 1994 году, через 8 лет после аварии на Чернобыльской АЭС, на пойменном лугу, где до этого не проводили никаких реабилитационных мероприятий, основная масса ^{137}Cs сосредоточена в дернине (56,9 %) далее его концентрация снижалась, при этом в слое 0-15 см его было более 95 % (рис. 1).

Применение поверхностного улучшения на пойменном лугу изменяло удельную активность ^{137}Cs по слоям профиля почвы, установили равномерное распределение ^{137}Cs в слоях 0-5 и 5-10 см, при этом в слое 0-15 см его было более 95 %. Применение коренного улучшения изменяло удельную активность ^{137}Cs по слоям профиля почвы, происходило перераспределение радионуклида из верхних в нижележащие слои, наибольшая удельная активность ^{137}Cs обнаружена в слое 10-15 см (36,5 %), при этом в слое 0-15 см около 70 %.

По прошествии 13 лет под действием природно-климатических ресурсов и агротехнических приемов улучшения и возделывание многолетних трав распределение ^{137}Cs в профиле аллювиальной почвы изменилось. В условиях естественного луга произошло выравнивание ^{137}Cs в слоях 0-5 и 5-10 см. В результате чего в слое 0-15 см удельная активность ^{137}Cs снизилась на 5 %. При поверхностном улучшении произошло выравнивание удельной активности ^{137}Cs в слоях 0-5, 5-10 и 10-15 см, и наблюдали миграцию радионуклида в глубину профиля до 20 см. В результате чего в слое 0-15 см удельную активность ^{137}Cs снизилась на 17 %. На лугу, где проводилось коренное улучшение, произошло выравнивание удельной активности ^{137}Cs в слоях 15-20 и 20-25 см, и миграции некоторых ^{137}Cs количеств в глубину до 30 см. В результате чего в слое 0-15 см концентрация ^{137}Cs снизилась на 34 %.

В 2008 году было проведено ускоренное перезалужение – фрезерование в двух направлениях, с последующим посевом многолетних мятликовых трав. В результате действия природно-климатических факторов и проведенных мероприятий по перезалужению в 2015 году распределение ^{137}Cs в профиле аллювиальной почвы изменилось.

В условиях естественного луга произошло выравнивание удельной активности ^{137}Cs в слоях 0-5, 5-10 и 10-15 см и миграция радионуклида в глубину профиля. В результате в слое 0-15 см удельной активности ^{137}Cs снизилась на 12 % по сравнению в 2007 году. На лугу, где провели поверхностное улучшение, произошло выравнивание удельной активности ^{137}Cs в слоях 0-5, 5-10, 10-15 и 15-20 см, также обнаружили миграцию радионуклида в ниже лежащие слои почвы. В результате чего в слое 0-15 см его

концентрация снизилась на 12 % по сравнению с 2007 годом. На лугу, где провели коренное улучшение, произошло выравнивание ^{137}Cs в слоях 0-5, 5-10, 10-15 и 15-20 см, установили миграцию

радионуклида в ниже лежащие слои почвы. Однако в слое 0-15 см его концентрация увеличилась на 25 % по сравнению с 2007 годом.

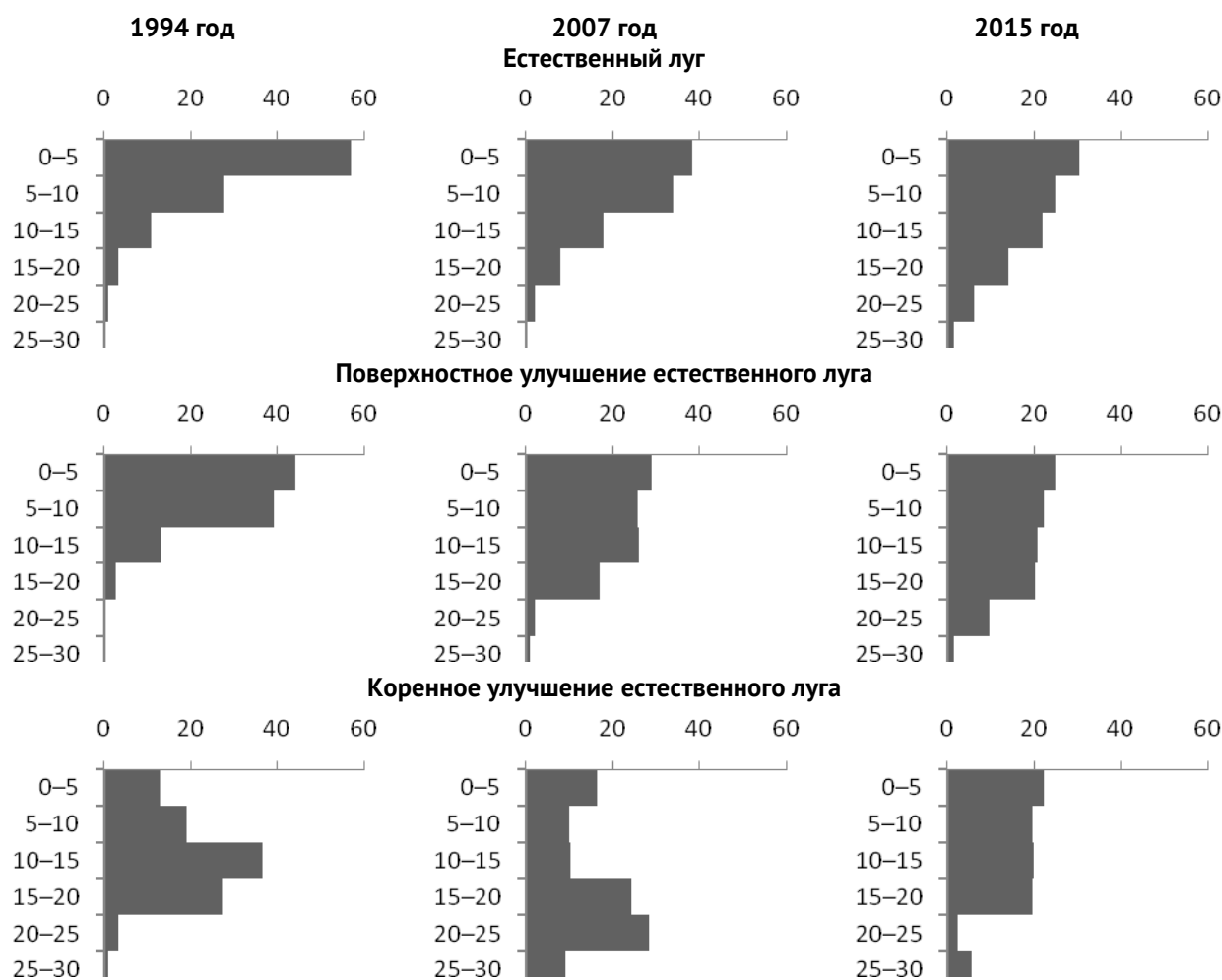


Рисунок 1 – Динамика вертикального распределения ^{137}Cs в аллювиальной почве в зависимости от агротехнических приемов улучшения, % от суммарной удельной активности ^{137}Cs 60-сантиметрового слоя

На рисунке 1 представлены профили аллювиальной почвы 0-30 см, а концентрация в процентах рассматривается в 60 сантиметровом слое, это связано с тем, что основная масса ^{137}Cs сосредоточена в слое 0-30 см, а в слое 30-60 см удельная активность ^{137}Cs почвы на естественном лугу были следующие: 1994 и 2007 – 0,3 %, 2015 – 1,3 %; на поверхностно улучшенном пойменном лугу 1994 – 0,3 %, 2007 – 0,4 % и 2015 – 1,0 %; на пойменном лугу при коренном улучшении 1994 – 0,6 %, 2007 – 2,3 %, 2015 – 10,2 % от суммарной удельной активности 60 сантиметрового слоя.

Реабилитация радиоактивно загрязненных пойменных лугов посредством проведения агротехнических приемов улучшения, изменяет распределения ^{137}Cs по профилю аллювиальной почвы. При этом с годами происходило постепенное выравнивание концентрации ^{137}Cs в пределах корнеобитаемого слоя

0-20 см. На естественном лугу более половины ^{137}Cs сосредоточено в слое 0-10 см, перемещение по профилю происходит очень медленно.

Таким образом, установили, что в начальный этап реабилитации пойменных лугов необходимо проводить коренное улучшение (применение глубокой двухъярусной вспашки), что приводит к максимальному снижению удельной активности в корнеобитаемом слое аллювиальной почвы.

Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ и администрации Брянской области в рамках научного проекта № 18-44-320001.

Список литературы

1. Воробьев Г.Т. Почвы Брянской области: генезис, свойства, распространение. Брянск: Грани, 1993. 158 с.

2. Просянников Е.В., Силаев А.Л. Адаптивный подход к использованию пойменных угодий, загрязненных цезием // Кормопроизводство. 1999. № 2. С. 11–14.

3. Белоус Н.М., Сидоров И.И., Смольский Е.В., Чесалин С.Ф., Дробышевская Т.В. Риск получения молока и кормов не соответствующих нормативам по содержанию цезия-137 // Достижения науки и техники АПК. 2016. № 5. С. 75–77.

4. Просянников Е.В., Кошелев И.А., Силаев А.Л. Радиоэкологические аспекты адаптивного использования естественных пойменных кормовых угодий // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. 2000. № 3. С. 35–38.

5. Шаповалов В.Ф., Силаев А.Л., Чесалин С.Ф., Божин И.А. Пастбищное использование радиоактивно

загрязненных пойменных лугов в отдаленный период после аварии на Чернобыльской АЭС // Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии. 2016. № 2 (54). С. 19–27.

6. Белоус Н.М., Шаповалов В.Ф., Смольский Е.В. Эффективность агротехнических приемов по получению безопасной продукции на пойменных кормовых угодьях // Агро XXI. 2013. №1. С. 41–43.

7. Алексахин Р.М., Спиринов Е.В., Савкин М.Н. Радиационная безопасность населения и агропромышленное производство (к вопросу о нормировании содержания радионуклидов в сельскохозяйственной продукции) // Радиационная биология. Радиоэкология. 1999. Т. 39, № 4. С. 444–450.

VERTICAL DISTRIBUTION ^{137}Cs IN THE ALLUVIAL SOIL IN DEPENDENCE FROM AGROTECHNICAL ACTIONS

Smolsky E.V.

Bryansk state agricultural university, 243365, Russia, Bryansk Region, village of Kokino, Sovetskaya St. 2a, Russian Federation

Application of protective measures on is radioactive the polluted territories promotes return of the lost lands to an agricultural turn. During the researches established that in the initial stage of rehabilitation it is radioactive the polluted inundated meadows it is necessary to carry out radical improvement (application of deep two-story plowing), at the expense of it there is the maximum decrease in specific activity ^{137}Cs in the top layer of the alluvial soil. At the initial stage of a research in 1994 the main Part ^{137}Cs was in a layer of 0-5 cm of the alluvial soil, after 21 year there was a uniform distribution of radionuclide up to the depth of 20 cm. Migration ^{137}Cs in a top soil from underlying layers due to increase in mass of herbage is revealed.

Keywords: *floodplain, alluvial soils, methods of improvement of meadows, radioactive pollution of soils, migration of ^{137}Cs*

УДК 631.95

ГОРИЗОНТАЛЬНАЯ МИГРАЦИЯ ^{137}Cs В ЭРОЗИОННЫХ АГРОЛАНДШАФТАХ ЮГО-ЗАПАДНЫХ РАЙОНОВ БРЯНСКОЙ ОБЛАСТИ

Сопова Е.О., Кузнецов В.К.

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии»

249032 Калужская область, г. Обнинск, Киевское шоссе, 109 км, Российская Федерация

e-mail: sopovaeo93@gmail.com

^{137}Cs является одним из основных долгоживущих радионуклидов, попавших в природную среду в результате аварии на ЧАЭС в 1986 г. Вследствие его прочной фиксации на почвенных частицах, эрозионно-аккумулятивные процессы стали основным механизмом латерального перераспределения ^{137}Cs . Для оценки интенсивности перераспределения ^{137}Cs в природно-ландшафтных комплексах Полесской низменности были проведены исследования по изучению закономерностей горизонтальной миграции ^{137}Cs в агроландшафтах юго-западных районов Брянской области. На основе ландшафтных и эрозионно-морфологических карт были составлены карты-схемы загрязнения агроландшафтов и пространственного распределения ^{137}Cs в эрозионных ландшафтных комплексах с различной плотностью загрязнения и интенсивностью смыва почвы. Суммарная плотность радиоактивного загрязнения средней части и подошвы склона увеличилась после аварии на ЧАЭС в 1,1 и 1,3 раза, соответственно, по сравнению с водораздельными участками.

Ключевые слова: радионуклиды, глобальные выпадения, миграция, эрозионные агроландшафты, Брянская область

Чернобыльская авария стала причиной формирования контрастной картины радиоактивного загрязнения на значительной части Восточно-Европейской равнины. Одним из основных загрязнителей является относительно долго живущий радионуклид ^{137}Cs ($T_{1/2}$ 30,2 лет). После аварии процесс поступления ^{137}Cs на земную поверхность контролировался двумя факторами: направлением миграции воздушных масс в районе ЧАЭС и интенсивностью выпадения жидких осадков. Одной из главных особенностей данного радиоизотопа является его прочная фиксация на минеральных почвенных частицах. В связи с этим, основным фактором, обуславливающим неравномерность загрязнения почв эрозионных ландшафтов, в настоящее время является латеральный массоперенос ^{137}Cs в составе твердого эрозионного стока. [2,5,6]

В Российской Федерации наибольшему радиоактивному загрязнению в результате аварии на Чернобыльской АЭС подверглись агроландшафты Брянско-

Жиздринского Полесья. Вместе с тем в Брянской области наблюдается сложное контрастное чередование полесских и опольских ландшафтов. [1]

Для оценки интенсивности перераспределения ^{137}Cs в природно-ландшафтных комплексах Полесской низменности были проведены исследования по изучению закономерностей горизонтальной миграции ^{137}Cs в агроландшафтах юго-западных районов Брянской области [3], подвергшихся наибольшему радиоактивному загрязнению (Красногорский, Гордеевский, Клиновский, Новозыбковский, Злынковский и Климовский районы). На основе ландшафтных и эрозионно-морфологических карт (рисунок 1) были составлены карты-схемы загрязнения агроландшафтов и пространственного распределения ^{137}Cs в эрозионных ландшафтных комплексах с различной плотностью загрязнения и интенсивностью смыва почвы по территории юго-западных районов Брянской области.

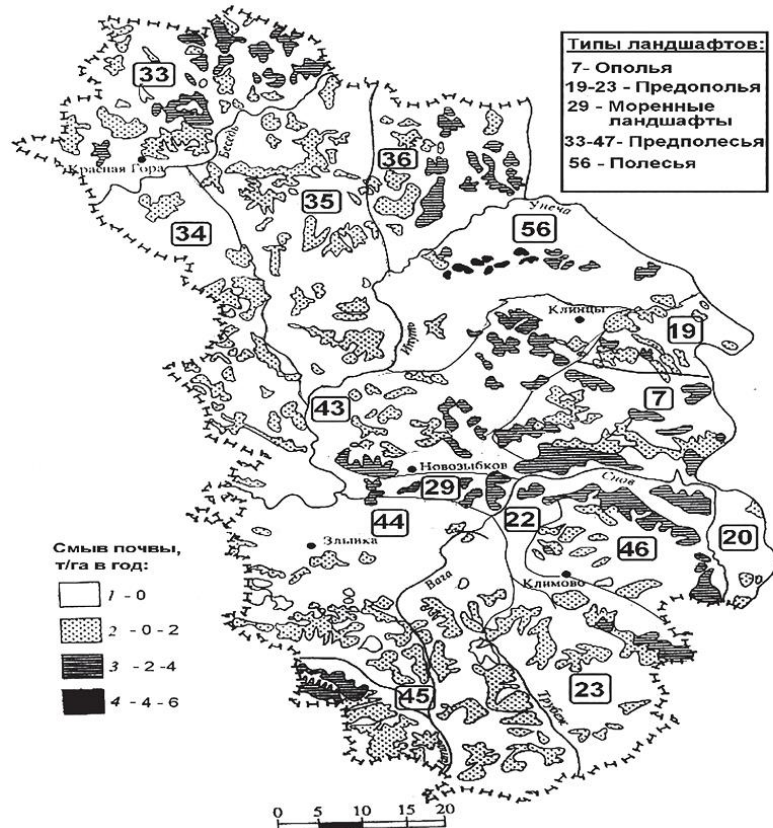


Рисунок 1 – Карта-схема эрозии почв в различных ландшафтах юго-западных районов Брянской области

Слабый смыв в пределах до 2 т/га в год наблюдался на почвах придолинно-террасового комплекса, включающего высокие речные террасы и террасы древних ледниковых потоков с уклонами до 1,5°. Почвы придолинно-склонового комплекса, занимающие более крутые (1,5-2,5°) берега рек и ложбин

стока, сильнее подвергались эрозии по сравнению с почвами придолинно-террасового комплекса.

Наиболее значительная величина смыва с пахотных склонов (3-4 т/га в год) была отмечена для почв правобережья р. Унеча (ландшафтный комплекс 36). Кроме того, территория в пределах Беседыско-

Ипутьского предполесского ландшафтного комплекса 33 выделяется значительным смывом (2-4 т/га в год) почвы на правобережье р. Беседи и на правобережье р. Ипути, расчлененном притоками. В этом природном ландшафтном комплексе большие территории также заняты краевыми наклонными равнинами междуречий, сложенных среднетощими песками и супесями, которые подстилаются моренными суглинками. Почвы здесь дерново-слабо- и среднеподзолистые легкого гранулометрического состава и преимущественно распахиваемые.

В предполесских ландшафтных комплексах 34 и 35 отмечалась незначительная почвенная эрозия со значениями, не превышающими 1-2 т/га в год.

В Клинцовско-Новозыбковском предполесском ландшафтном комплексе (43) агроландшафты характеризуются умеренной эрозионной деятельностью. Смыв почвы находился в пределах 1-2, а в прибрежных речных зонах – 2-4 т/га в год. В моренном ландшафтном комплексе вблизи г. Новозыбкова (29) на ограниченно небольшой территории распространены возвышенные и средневысотные, холмистые, холмисто-грядовые, волнистые, суглинистые и супесчаные комплексы с относительно интенсивной почвенной эрозией в 2-4 т/га. Здесь широко развиты

склоновые поверхности, отличающиеся значительной смытостью почв, которые интенсивно распахиваются.

Более значительный смыв почвы с пахотных склонов наблюдался в Полесском ландшафтном комплексе 56, где для почв водораздельно-плакорно-грядовых комплексов крутизной до 3,5° в междуречье р. Ипути и Унечи отмечен максимальный смыв почв в 4-6 т/га в год. Остальная часть этого ландшафта характеризуется достаточно выровненным рельефом с минимальной эрозионной активностью.

Проведенные исследования показали, что наибольшее количество эрозионных ландшафтных комплексов в юго-западных районах Брянской области имеют уровни радиоактивного загрязнения ^{137}Cs в 185-555 и 555-1480 кБк/м² (5-15 и 15-40 Ки/км²).

Установлено, что наибольшая интенсивность выноса ^{137}Cs с поверхностным твердым стоком отмечается в ландшафтных комплексах бассейна рек Ипути и Беседи (рис. 2). Максимальными размерами темпов смыва ^{137}Cs с почвой (40-60 МБк/га в год) характеризуются Полесские водораздельно-плакорно-грядовые комплексы крутизной до 3, 5° в междуречье р. Ипути и Унечи (56).

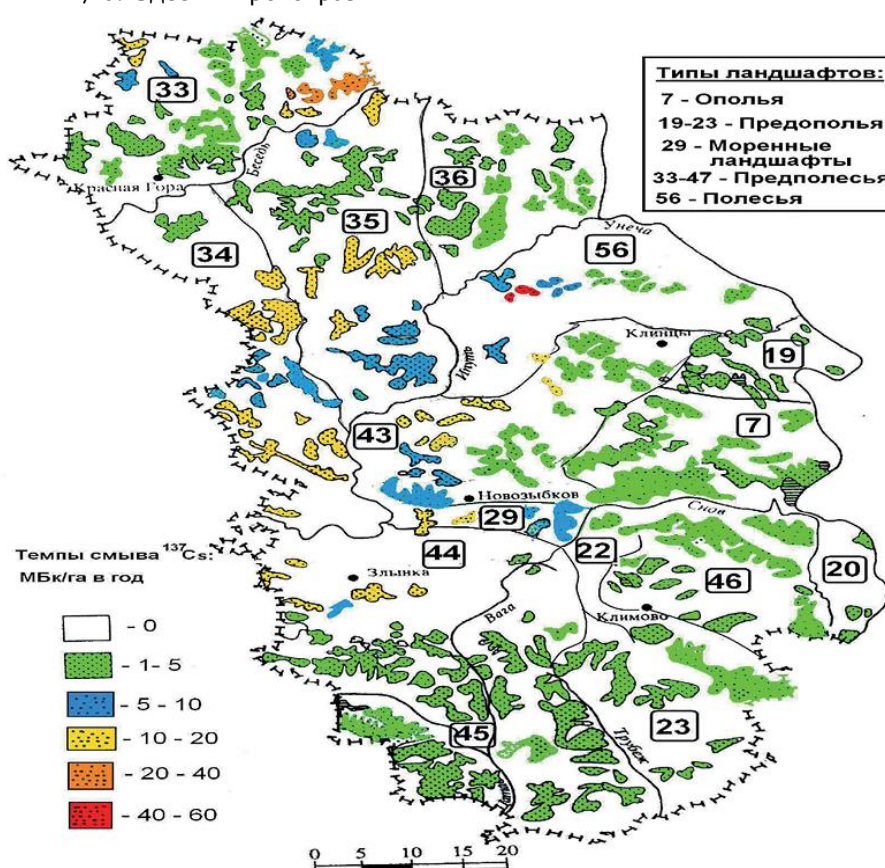


Рисунок 2 – Карта-схема интенсивности поверхностного смыва ^{137}Cs с твердым стоком в различных ландшафтно-эрозионно-морфологических комплексах юго-западных районов Брянской области

Темпы смыва ^{137}Cs в 20-40 МБк/га в год зафиксированы в 33 предполесском ландшафте на склонах

краевых наклонных равнин междуречья р. Беседи, плотность загрязнения ^{137}Cs которых превышает

1480 кБк/м² (40 Ки/км²). Интенсивность смыва ¹³⁷Cs в 10-20 МБк/га в год отмечена в многочисленных эрозионно-морфологических комплексах предполесских ландшафтов 34, 35, 43, а также в моренных ландшафтах 29 вблизи г. Новозыбков. В этих же ландшафтах наблюдается основное количество эрозионных комплексов с интенсивностью смыва ¹³⁷Cs с почвой в 5-10 МБк/га в год. В остальных ландшафтных комплексах темпы смыва ¹³⁷Cs с почвой составляют 1-5 МБк/га в год. Следует отметить, что средние темпы смыва ¹³⁷Cs с почвой за счет эрозионных процессов в юго-западных районах Брянской области составляют 0,1-0,3 % в год от плотности радиоактивного загрязнения угодий. Несмотря на такие низкие значения, в конкретных склоновых эрозионных агроландшафтах интенсивность смыва почвы и, соответственно, переноса радионуклидов может существенно превысить средние показатели для определенного эрозионно-морфологического района.

На наиболее возвышенных холмистых комплексах с уклоном 5-7° наблюдаются интенсивные эрозионные процессы, обуславливающие перенос ¹³⁷Cs с твердым стоком в нижние элементы рельефа. Суммарная плотность радиоактивного загрязнения средней части и подошвы склона увеличилась после аварии на ЧАЭС в 1,1 и 1,3 раза, соответственно, по сравнению с водораздельными участками.

Таким образом, эрозионные процессы в юго-западных районах Брянской области в ряде случаев могут играть важную роль в процессе переноса радионуклидов в склоновых агроландшафтах, что необходимо учитывать при оценке радиоэкологической ситуации, планировании и проведении различных

мероприятий по снижению накопления радионуклидов в сельскохозяйственной продукции.

Список литературы

1. Волкова Н.И. Структурно - генетический ряд ландшафтов полей и ополей // Современные проблемы физической географии: сборник. М., 1989. С. 122-134.
2. Горизонтальная и вертикальная миграция ¹³⁷Cs в склоновых ландшафтах / В.К. Кузнецов [К.Г. Калашников, В.П. Грунская, Н.И. Санжарова] // Радиобиология. Радиоэкология. 2009. № 3. С. 282-290.
3. Кузнецов, В.К. Научные основы и системы мероприятий по реабилитации радиоактивно загрязненных сельскохозяйственных территорий в адаптивно-ландшафтном земледелии: автореф. на соиск. ученой степ. докт. биол. наук. Обнинск, 2014. 50 с.
4. Тюрюканова, Э.Б. Ландшафтно-геохимические аспекты поведения радионуклидов в биосфере /Э.Б. Тюрюканова// Современные проблемы радиобиологии. Т. 2. Радиоэкология; под ред. В.М. Клечковского и др. М.: Атомиздат, 1971. С. 81-143.
5. Экология эрозионно-руслых систем России / М.Ю. Белоцерковский [и др.] // М.: Географический ф-т МГУ, 2002. 163 с.
6. Экспериментальное исследование смыва радионуклидов, выпавших на почву в результате аварии на Чернобыльской атомной электростанции /В.А. Борзилов [и др.] // Метеорология и гидрология. 1988. № 11. С. 43-53.

¹³⁷Cs HORIZONTAL MIGRATION IN EROSION AGROLANDSCAPES OF THE SOUTHWESTERN AREAS OF THE BRYANSK REGION

Sopova E.O., Kuznetsov V.K.

Russian Institute of Radiology and Agroecology, 249032 Kaluga region, Obninsk, Kievskoe shosse 109 km, Russian Federation

¹³⁷Cs is one of the major long-lived radionuclides released into the environment as a result of the Chernobyl accident in 1986. Erosion-accumulative processes have become the main mechanism of lateral redistribution of ¹³⁷Cs due to its strong fixation on soil particles. Researchs were conducted to study patterns of ¹³⁷Cs horizontal migration in the agrolandscapes of the south-western areas of the Bryansk region to assess the intensity of the redistribution of ¹³⁷Cs in the natural landscape complexes of the Poleskaya nizmennost. Maps of the pollution of agrolandscapes and the spatial distribution of ¹³⁷Cs in erosion landscape complexes with different contamination densities and soil washout rates were compiled on the basis of landscape and erosion-morphological maps. The total density of radioactive contamination of the middle part and the bottom of the slope increased after the Chernobyl accident by 1.1 and 1.3 times, respectively, compared with the watershed areas.

Keywords: *radionuclides, global deposition, migration, erosion agrolandscapes, Bryansk region*

Секция

АГРОЭКОЛОГИЯ.

ТЕХНОГЕННОЕ И АГРОГЕННОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПОЧВ

AGROECOLOGY.

TECHNOGENIC AND AGROGENIC SOIL POLLUTION



ИСТОЧНИКИ И ФАКТОРЫ НЕФТЯНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВЫ

Абдулаббас А.Ю.А.

Волгоградский государственный технический университет
400005 г. Волгоград, просп. Ленина, 28, Российская Федерация
e-mail: nefedieva@rambler.ru

Результатом добычи и использования нефти являются загрязнение атмосферы, водоемов и в особенности почвенного покрова. Многократные разливы при транспортировке, в результате аварий на предприятиях нефтепереработки и нефтедобычи приводят к проникновению и накоплению в почве значительного количества компонентов нефти. Результатом является нарушение процессов почвообразования, изменение химического состава, структуры почвы, нарушение физических, физико-химических, водных и других свойств почвы, снижение плодородия, видового разнообразия, а также снижение способности почвы к самовосстановлению.

Ключевые слова: нормирование нефтепродуктов в почве, самоочищение почвы, нефтедеструкторы

Нефть является ценным сырьем для различных отраслей промышленности. С конца XVIII века продукты ее переработки использовали как источник света, а с XIX в она стала основным видом топлива. По сравнению с другими полезными ископаемыми нефть можно достаточно легко добывать и транспортировать. Преимущественно нефть применяют в виде топлива и смазочных материалов, а также нефть используют в органическом синтезе (производство полимеров, синтетических каучуков, ядохимикатов, ПАВ).

Использование нефти наносит вред окружающей среде [0]. Основными источниками нефтяных загрязнений являются: утечка в процессе добычи [0]; разливы в ходе транспортировки нефти [0]; деятельность предприятий химической промышленности, использующих нефть в производстве (выбросы в атмосферу, сточные воды) [0]; загрязнения в результате бытового применения нефтепродуктов (топливо для транспорта) [0]; аварии на нефтедобывающих и нефтеперерабатывающих предприятиях, в том числе утечки из трубопроводов [0].

Результатом добычи и использования нефти являются загрязнение атмосферы, водоемов и в особенности почвенного покрова [0].

Нефть – тяжелая маслянистая жидкость темнокоричневого цвета. Основу нефти составляют углеводороды различного строения, за исключением алкенов [0]. Химический состав нефти не только характеризует ее качество, но и является важной экологической особенностью, так как отдельные компоненты нефти оказывают специфическое токсическое воздействие на окружающую среду [0].

Алканы нормального строения ($C_5 - C_{11}$) составляют основу легкой фракции нефти (температура кипения менее 2000). Они перемещаются горизонтально и вертикально, проникают на значительную глубину и растекаются на большие площади. Низшие алканы способны взаимодействовать с водой и могут мигрировать с грунтовой водой в водоемы. Некоторая часть углеводородов легкой фракции испаряется

в атмосферу с поверхности почвы [0]. Они оказывают токсическое воздействие на микроорганизмы и растения, но некоторые специфические микроорганизмы способны к деструкции низших алканов.

Высокомолекулярные алканы с углеродным скелетом C_{11} и более оказывают менее выраженное токсическое действие на почвенную биоту по сравнению с легкой фракцией. Однако, из-за гидрофобности и незначительной летучести высокомолекулярные алканы, растекаясь по почве, могут закупоривать капилляры.

Циклоалканы – трудноокисляемые, малорастворимые углеводороды [0], но они могут окисляться определенными группами микроорганизмов.

Арены наиболее токсичны для почв. Они инертны, не подвергаются окислению при обычных температурах [0]. Практически не разрушаются микроорганизмами, за исключением некоторых представителей рода *Pseudomonas*. Арены обладают наименьшей подвижностью среди всех компонентов нефти. Наиболее токсичными для почвы являются бензол и его гомологи.

Соединения серы (сероводороды, сульфиды, дисульфиды, меркаптаны и др.) в значительной степени токсичны для микроорганизмов и растений.

Смолы, асфальтены обладают незначительной токсичностью. Концентрируются преимущественно в верхних горизонтах почвы, являются труднодоступными для микроорганизмов. Деструкция протекает длительно. Данные вещества нарушают дыхание почвенной биоты и водный обмен почвы с растениями [0].

Компоненты нефти обычно присутствуют в нефтезагрязненной почве в двух состояниях [0]: легкоподвижном и неподвижном. В первом случае компоненты активно перемещаются по почвенным горизонтам, проникают на значительную глубину, а также растворяются в грунтовых водах и испаряются в атмосферу [0]. Это состояние характерно для легких фракций нефти и нефтепродуктов. Во втором случае компоненты нефти распределяются поверхностно,

медленно улетучиваются с поверхности почвы, закупоривают капилляры почвы, затрудняют водо- и газообмен с растениями и окружающей средой. Такое состояние характерно для тяжелых нефтей и нефтепродуктов [0].

Нефть и нефтепродукты приводят к изменениям в химическом составе, влияют на физические, физико-химические, водные и другие свойства почвы, что снижает плодородие, содержание гумуса и ухудшает качество почвы [0].

Изменения, происходящие в почве при попадании в нее нефти и нефтепродуктов, сводятся к следующим:

- нарушение фотосинтетической функции растений, затруднение поглощения ими минеральных веществ и воды, гибель или стресс у растений [0];
- нарушение экосистемы почвенных микроорганизмов. Микроорганизмы, не устойчивые к нефтяному загрязнению, но необходимые для роста растений и для почвообразовательных процессов, погибают. Одновременно увеличивается численность микроорганизмов – нефтедеструкторов;
- загрязнение гидросферы и атмосферы за счет миграции нефтепродуктов из почвы [0];
- увеличение содержания органического углерода в почве за счет углеводов нефти [0, 0];
- замедление самоочищающей способности почвы из-за присутствия токсиканта [0].

Для оценки влияния нефти и нефтепродуктов на состояние почвы используют следующие показатели: нижний допустимый порог концентрации загрязнителя, при котором почва способна к самовосстановлению, и верхний допустимый порог концентрации, при котором скорость процессов самовосстановления почв замедляется, наступает их деградация [0].

Почвы различных климатических зон имеют разный состав и свойства, поэтому влияние компонентов нефти на почвы разных типов неодинаково. Нельзя говорить о едином показателе загрязнения всех почв на территории России [0]. Отсутствуют ПДК нефти и нефтепродуктов для почвы. Ориентировочно допустимой концентрацией (ОДК) нефти и нефтепродуктов для различных типов почв является нижний допустимый порог концентраций [0].

Процесс самовосстановления почв от нефтезагрязнений включает:

1. Физический процесс (выветривание, вымывание, испарение) [0].
2. Деструкция микроорганизмами, которая сопровождается увеличением численности и видового разнообразия микроорганизмов-нефтедеструкторов [0].
3. Разложение оставшихся после 2-го этапа тяжелых углеводов, например парафинов. Этот процесс очень длительный и может занимать более 40 лет, поэтому требуется разработка способов очистки почв от нефтезагрязнений.

Нефтяные загрязнения оказывают отрицательное воздействие на состояние почвенного покрова.

Многочисленные разливы при транспортировке, в результате аварий на предприятиях нефтепереработки и нефтедобычи приводят к проникновению и накоплению в почве значительного количества компонентов нефти, что приводит к нарушению протекающих в ней процессов, изменению состава, структуры почвы и ее видового разнообразия, а также к снижению способности почвы к самовосстановлению.

Список литературы

1. Алиев С.А., Гаджиев Д.А. Влияние загрязнения нефтяным органическим веществом на активность биологических процессов почв // Изв. АН АзССР. Сер. биол. наук. 1977. № 2. 46-49 с.
2. Бочарникова Е. А., Амосова Я. М. Влияние нефтяного загрязнения на свойства органического вещества серо-бурых почв // Проблемы антропогенного почвообразования: тез. докл. Междунар. конф. М.: 1997. Т.3. С. 135-137.
3. Вальков В. Ф., Казеев К. Ш., Колесников С. И. Экология почв. Часть 3. Загрязнение почв: Учеб. пособие. Ростов-на-Дону: Изд-во РГУ, 2004. 54 с.
4. Гайсин И. А., Гилязов М. Ю. Загрязнение почв предприятиями нефтяной промышленности // Зеленая книга Республики Татарстан. Казань: Изд-во Казанского ун-та, 1993. С. 278-280.
5. Егорова Е. И., Белолипецкая В. И. Биотестирование и биоиндикация окружающей среды: Уч. пособие. Обнинск: ИАТЭ, 2000. 80 с.
6. Картушина Ю.Н., Нефедьева Е.Э., Севрюкова Г.А. Виды и характеристика отходов предприятий строительной промышленности // IV международная научная экологическая конференция на тему: «Проблемы рекультивации отходов быта, промышленного и сельскохозяйственного производства» (24-25 марта 2015 г.). В 2 ч. Ч. 1 / ФГБОУ ВПО «Кубанский гос. аграрный ун-т», Каф. общей биологии и экологии, ФГОУ ВПО «Московский гос. ун-т им. М.В. Ломоносова», Фак-т почвоведения. Краснодар, 2015. С. 646-649.
7. Киреева Н. А., Рафикова Г. Ф., Кузяхметов Г. Г. Микробиологическая активность загрязненных нефтепродуктами лесных почв // Лесоведение. 2009. № 3. С. 52-58.
8. Макеев А.А., Белицкая М.Н., Нефедьева Е.Э., Шайхиев И.Г. Сравнительная оценка состояния зеленых насаждений урбанизированной территории: фоновые территории и санитарно-защитные зоны // Актуальные проблемы безопасности жизнедеятельности и экологии: Сборник научных трудов I Международной научно-практической конференции. Под ред. проф. Пузырева Н.М. 2015. С. 272-276.
9. Нефедьева Е.Э., Белицкая М.Н., Матус Л.И. Оценка состояния зеленых насаждений санитарно-защитной зоны предприятия // Экологическая безопасность и охрана окружающей среды в регионах

России: теория и практика: матер. всерос. науч.-практ. конф. (г. Волгоград, 12-13 окт. 2015 г.) / редкол.: Е.А. Иванцова (отв. ред.); ФГАОУ ВПО «Волгоградский гос. ун-т». Волгоград, 2015. С. 191-193.

10. Обращение с промышленными отходами предприятий строительной промышленности: монография / И.А. Полозова, В.Ф. Желтобрюхов, Ю.Н. Картушина, Е.Э. Нефедьева, Е.Н. Ряскова; ВолгГТУ. - Волгоград, 2013. 115 с.

11. Орлов Д. С., Аммосова Я. М. Методы контроля почв, загрязненных нефтепродуктами // Почвенно-экологический мониторинг. М.: 1994. С. 219-231.

12. Панов Г. Е. Охрана окружающей среды на предприятиях нефтяной и газовой промышленности. М.: Недра, 1986. 374 с.

13. Пиковский Ю. И. Трансформация техногенных потоков нефти в почвенных экосистемах // Восстановление нефтезагрязненных почвенных экосистем. М.: Наука, 1988. С. 7-22.

14. Рамад Ф. Прикладная экология. Л.: Гидрометеоиздат, 1981. 300 с.

15. Рахимова Н.А., Нефедьева Е.Э., Желтобрюхов В.Ф. Ремедиация почв: учеб. пособие. ВолгГТУ. Волгоград, 2016. 95 с.

16. Роль дыхания и брожения в круговороте углерода: учеб. пособие / Т.В. Хохлова, Е.Э. Нефедьева, С.В. Желтобрюхова; ВолгГТУ. Волгоград, 2012. 21 с.

17. Салангина Л. А. Изменение свойств почв под воздействием нефти и разработка системы мер по их реабилитации. Екатеринбург: Элита-Комплекс, 2003. 412 с.

18. Солнцева Н. П., Пиковский Ю. И. Особенности загрязнения почв при нефтедобыче // Миграция загрязняющих веществ в почвах и сопредельных средах. Ленинград: Гидрометеоиздат, 1980. С. 76-82.

19. Татаренко Н.Н., Нефедьева Е.Э. Биологические методы очистки почвы от нефтезагрязнений //

Городу Камышину - творческую молодёжь: матер. IV регион. науч.-практ. студенческой конф., г. Камышин, 14-16 апр. 2010 г. В 7 т. Т. 5 / КТИ (филиал) ВолгГТУ. Волгоград, 2010. С. 71-73.

20. Тонкопий Н. И., Розанова В. Я., Минц И. М. К вопросу о накоплении бенз (а) пирена в почве // Гигиена и санитария. 1973. №4. С. 112-113.

21. Фильченкова В. И. Биологическая активность обыкновенного чернозема при нефтяном загрязнении. Казань: Защита растений и охрана окружающей среды в ТатАССР, 1982. 73 с.

22. Хабибулин Р.А., Коваленко М.В. Состояние исследований по оценке и ликвидации последствий загрязнения почвы нефтью по ее фитотоксичности // Рекультивация земель в СССР: Тезисы Всесоюзной научно-технической конференции М. 1982. Т.2. С. 149-152.

23. Хазиев Ф. Х., Тишкина Е. И., Киреева Н. А. Влияние нефтяного загрязнения на некоторые компоненты агроэкосистемы. М., 1987. 500 с.

24. Химия загрязняющих веществ и экология / В. Н. Вернигорова [и др.] - М.: Палеотип, 2005. 240 с.

25. Черножуков Н. И., Обрядчиков С. Н. Химия нефти и нефтяных газов. М.: Гостоптехиздат, 1946. 254 с.

26. Экологический мониторинг почв: учеб. пособие / Е.Э. Нефедьева, Т.В. Хохлова, С.М. Рогачева, В.Ф. Желтобрюхов. Саратов: Изд-во Саратовского гос. техн. ун-та ; Волгоград, 2013. 59 с.

27. Яковлев В. С. Хранение нефтепродуктов. Проблемы защиты окружающей среды. М.: Химия, 1987. 152 с.

28. Carlile M.J., Watkinson S.C., Gooday G.W. The Fungi. 2nd ed. New York, Boston: Acad, press, 2001. 588 p.

SOURCES AND FACTORS OF OIL CONTAMINATION OF SOIL

Abdulabbas A. U. A.

*Federal state budgetary educational institution of higher education "Volgograd state technical University"
400005 Volgograd, Lenin Ave., 28, Russian Federation*

The result of production and use of oil is pollution of the atmosphere, water and especially soil. Multiple spills during transportation of oil, as well as a result of accidents at oil refineries and oil production enterprises lead to the penetration and accumulation of a significant amount of oil components in the soil. The result is the reduction of soil formation processes, changes in chemical composition, soil structure, violation of physical, physico-chemical, water and other soil properties, decrease of fertility, biodiversity, as well as the reduction of the ability of the soil to self-recovery.

Keywords: rationing of oil products in the soil, self-purification of the soil, oil destructors

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ДЕЙСТВИЯ КАДМИЯ И ЛИТИЯ НА ДРОЖЖЕВЫЕ КЛЕТКИ

Афонин А.А., Ляпунова Е.Р., Комарова Л.Н.

Обнинский институт атомной энергетики – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ»
249040 Калужская область, г. Обнинск, Студгородок, д.1, Российская Федерация
e-mail: lyapunovae@gmail.com, afonin.alekse@gmail.com

Широкое использование кадмия и лития, а также загрязнение ими окружающей среды делают изучение влияния этих металлов крайне актуальным. В данном исследовании показано, что действие кадмия как 1 ОДК, так и 10 ОДК оказывает остротоксическое действие на дрожжевые клетки *Saccharomyces cerevisiae*. Рассчитано среднетоксическое время воздействия, которое составило 7.3 мин для концентрации 1 ОДК и 6.6 мин – для концентрации 10 ОДК. Действие лития на дрожжевые клетки оказалось менее токсичным, по сравнению с кадмием. Рассчитанное среднетоксическое время действия ионов лития для концентраций 1 ПДК и 10 ПДК составило 39.7 мин и 44.9 соответственно.

Ключевые слова: *Saccharomyces cerevisiae*, дрожжевые клетки, литий, кадмий, среднетоксическое время действия

В настоящее время использование аккумуляторов частое явление как в повседневной жизни – в телефонах, ноутбуках, фотоаппаратах, наушниках и других персональных устройствах, так и в медицине, сельском хозяйстве, транспорте. Одним из крупных потребителей являются российские железные дороги [4]. Существуют разнообразные типы аккумуляторов, но одними из самых широко используемых, помимо кислотных, являются литий-ионные (Li-Ion), литий-полимерные (Li-Pol) и никель-кадмиевые (Ni-Cd), содержащие в составе своих электродов кадмий и литий. В большинстве случаев израсходовавшие свой ресурс аккумуляторы утилизируются как бытовые отходы, их не перерабатывают, а захоранивают на полигоне с тоннами других отходов. В большей степени тяжелые металлы накапливаются в почве в виде прочных органоминеральных комплексов, способных к изменению ее физико-химических и биологических свойств, проявляя токсическое действие по отношению к компонентам биоты, как следствие, тормозя процессы, происходящие в почве (аммонификация, нитрификация и т.д.). В связи с этим представляет интерес изучение влияния этих металлов на микроорганизмы.

Объектом исследования в данной работе являются дрожжевые клетки *Saccharomyces cerevisiae* дикий диплоидный штамм XS800. Для культивирования использовали модифицированную среду Сабуро следующего состава: дистиллированная вода – 600 мл, агар – 20 г, глюкоза – 40 г; пептон – 10 г, дрожжевой экстракт – 5 г. Основываясь на гигиенических нормативах ГН 2.1.7.2042-06 ОДК кадмия в почве была принята за 1,5 мг/кг [2]. В связи с отсутствием ПДК

лития в почве, было решено использовать значение ПДК для водных объектов. Основываясь на гигиенических нормативах ГН 2.1.5.1315-03 ПДК лития была принята за 0,03 мг/л [1]. Подсчет выживаемости проводился методом макроколоний после трех суток инкубации при 30°C в трех повторностях, в каждой повторности анализировалось до 300 макроколоний. Достоверность различий определяли с помощью критерия Крамера-Уэлча.

На рисунке 1 представлены эффекты влияния кадмия в концентрациях 1 ОДК (1,5 мг/кг) и 10 ОДК (15 мг/кг), на выживаемость дрожжевых клеток.

Из приведенных данных видно, что выживаемость клеток относительно контроля существенно снижается уже при получасовом воздействии при обеих концентрациях кадмия. Воздействие кадмия в течение 120 мин снижает выживаемость до 1,34 % и 0,54 % относительно контроля в концентрациях 1 ОДК и 10 ОДК соответственно, из чего можно сделать вывод, что кадмий оказывает остротоксическое действие на дрожжевые клетки.

Так как ранее в литературе нам не встречались данные по влиянию ионов кадмия на дрожжевые клетки, нами было определено среднетоксическое время воздействия ионов кадмия в изучаемых концентрациях на клетки. Оно составило 7,3 мин для концентрации 1 ОДК и 6,6 мин – для концентрации 10 ОДК. Полученные данные хорошо сочетаются с данными представленными другими авторами [3; 5] по токсичности кадмия. Влияние лития в концентрациях 1 ПДК (0,03 мг/л) и 10 ПДК (0,3 мг/л) на выживаемость дрожжевых клеток представлены на рисунке 2.

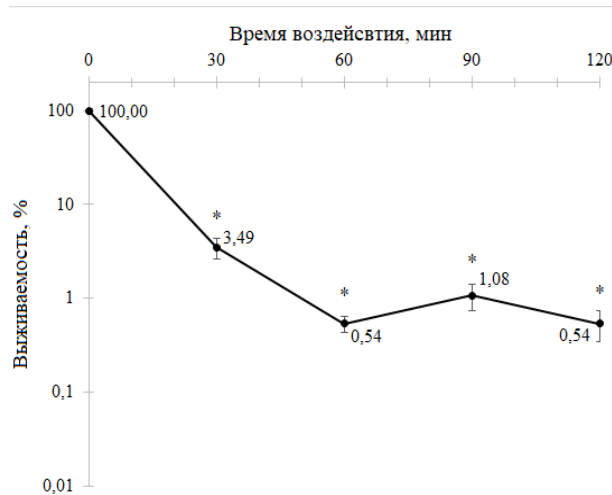
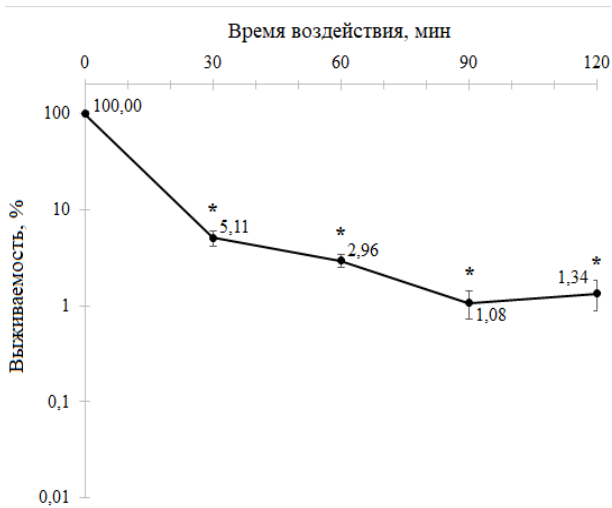


Рисунок 1 – Зависимость выживаемости дрожжей от времени воздействия 1 ОДК (А) и 10 ОДК (Б) кадмия

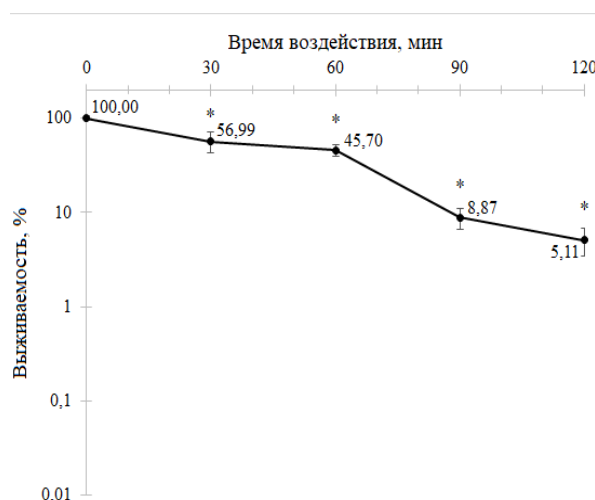
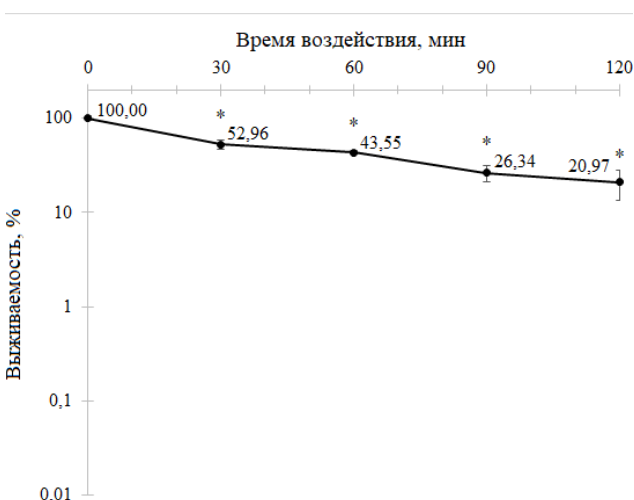


Рисунок 2 – Зависимость выживаемости дрожжей от времени воздействия 1 ПДК (А) и 10 ПДК (Б) лития

Из полученных данных видно, что воздействие лития менее губительно по сравнению с кадмием: при тридцатиминутном воздействии в обеих концентрациях наблюдается сохранение выживаемости больше половины особей. При воздействии концентрацией лития 10 ПДК дольше 60 минут наблюдается резкое снижение выживаемости, а воздействие той же концентрацией в течение 120 минут оказывает эффект, вызываемый 1 ОДК кадмия уже при воздействии в течение 30 минут. Среднетоксичное время действия ионов лития для концентраций 1 ПДК и 10 ПДК составило 39,7 мин и 44,9 соответственно.

В ходе исследования была проведена оценка токсичности и угнетающего действия таких металлов,

как кадмий и литий на выживаемость дрожжевых клеток *Saccharomyces cerevisiae*. Изолированное воздействие каждого из металлов негативно сказалось на выживаемости, а также была обнаружена закономерность, что чем дольше время воздействия, тем больше угнетение выживаемости. Среднетоксическое время воздействия кадмия составило 7.3 мин для концентрации 1 ОДК и 6.6 мин – для концентрации 10 ОДК. Среднетоксичное время действия ионов лития для концентраций 1 ПДК и 10 ПДК составило 39.7 мин и 44.9 соответственно.

Для более детального понимания механизмов воздействия металлов на клетки *Saccharomyces cerevisiae* стоит изучить их комбинированное

воздействие, влияние других металлов как комплексно, так и индивидуально, а также оценить степень поглощения металлов из раствора.

Список литературы

1. ГН 2.1.5.1315-03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. – Взамен ГН 2.1.5.689-98; введ. 27.04.2003. Москва: Минздрав России, 2003. С.59.

2. ГН 2.1.7. 2511-09. Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве. Взамен ГН 2.1.7.2042-06; введ. 01.07.2009. Москва: Федеральный центр Роспотребнадзора, 2009, С.6

3. Богачева, А.С., Шилов, В.В. Полозова, Е.В. Чувствительность цианобактерий *Synechocystis* sp. к токсическому действию солей тяжелых металлов // Актуальные проблемы токсикологии и радиобиологии: Тезисы докладов Российской научной конференции с международным участием. Санкт-Петербург, 2011. С.26.

4. Иванова, Е.А., Бельков, В.М. Эксплуатация и утилизация никель-кадмиевых аккумуляторов // Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. 2011. №2. С.32-34.

5. Маячкина, Н.В. и др. Изменение токсичности почв, загрязненных кадмием в полевом модельном опыте / Маячкина Н.В., Дроздова И. В., Бакина Л.Г., Поляк Ю.М. // Материалы I Всероссийской междисциплинарной научно-практической конференции. Симферополь, 2017. С.161-166.

PATTERNS OF CADMIUM AND LITHIUM ACTION ON YEAST CELLS

Afonin A.A., Lyapunova E.R., Komarova L.N.

*Obninsk Institute of Nuclear Power Engineering - branch of the National Research Nuclear University "MEPhI"
249040 Kaluga region, Obninsk, Studgorodok st, b. 1, Russian Federation*

The widespread use of cadmium and lithium, as well as their environmental pollution, make the study of the effects of these metals extremely important. In this study, it was shown that both 1 APC and 10 APC of cadmium have the acute toxic effect on *Saccharomyces cerevisiae* cells. The toxic exposure time was 7.3 minutes for 1 APC and 6.6 minutes for 10 APC. The effect of lithium on yeast cells was less toxic than cadmium. The toxicity time of lithium ions for 1 MAC and 10 MAC was 39.7 min and 44.9, respectively.

Keywords: *Saccharomyces cerevisiae*, yeast cells, lithium, cadmium, medium toxicity time

УДК: 631.895;633.358;631.438.2

ВЛИЯНИЕ КОМПЛЕКСНОГО ОРГАНО-МИНЕРАЛЬНОГО УДОБРЕНИЯ СУПРОДИТ-М НА ПОДВИЖНОСТЬ ¹³⁷Cs В ПОЧВЕ И НАКОПЛЕНИЕ РАДИОНУКЛИДА В ЗЕРНЕ ГОРОХА

Баланова О.Ю., Попова Г.И., Ратников А.Н.

*ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии»
249032 Калужская область, г. Обнинск, Киевское шоссе, 109 км, Российская Федерация
E-mail: animaleco15@rambler.ru*

В условиях вегетационного опыта на дерново-подзолистой почве внесение органо-минерального удобрения СУПРОДИТ-М повысило урожай зерна гороха на 25 %. Эффективность СУПРОДИТ-М по снижению накопления ¹³⁷Cs в зерне гороха в 1,5-1,8 раза выше, чем минеральных удобрений. Применение СУПРОДИТ-М приводило к снижению количества доступных для растений форм ¹³⁷Cs в почве на 19–29 %.

Ключевые слова: *СУПРОДИТ-М, минеральные удобрения, ¹³⁷Cs, дерново-подзолистая почва, горох, урожайность, накопление, подвижность*

Введение

После аварии на Чернобыльской АЭС в 1986 г. радиоактивному загрязнению подверглись

территории 21 региона РФ. Наиболее высокие уровни загрязнения зарегистрированы в таких областях как: Брянской, Калужской, Орловской и Тульской. Агрохимические приемы в технологиях

возделывания сельскохозяйственных культур на радиоактивно загрязненных территориях направлены на получение стабильных урожаев и создание почвенных барьеров на пути перехода радионуклидов (РН) из почвы в растения за счет их селективной сорбции с минеральной частью почвенно-поглощающего комплекса. Данные мероприятия являются наиболее рациональными для решения проблемы сохранения плодородия почвы и получения продукции с содержанием РН, соответствующим санитарно-гигиеническим нормативам [1, 2, 3]. Усовершенствование технологий возделывания сельскохозяйственных культур в условиях радиоактивного загрязнения с применением препаратов проводится с 2006 г. Такие препараты были разработаны во ВНИИРАЭ.

В 2017 г. для решения этой задачи при возделывании гороха было использовано комплексное органо-минеральное сорбент-удобрение пролонгированного действия СУПРОДИТ-М. Оно состоит из двух компонентов: минерального – высокоселективного комплексного синтетического сорбента (КС) на основе трепела, содержащего элементы минерального питания растений – фосфор и калий, обогащенного Mg, В и Мо; и органического компонента, сырьем для которого служит низинный торф, содержащий азот, фосфор, калий и биологически активные вещества – гуматы калия. СУПРОДИТ-М защищен патентом Российской Федерации [4].

СУПРОДИТ-М имеет повышенную сорбционную способность по отношению к загрязняющим почву веществам. Минералогический состав входящего в его состав КС (%): цеолит – 50, монтмориллонит – 15, мусковит – 4, SiO₂ – 4, аморфные алюмосиликаты – 27. [5].

Элементный состав СУПРОДИТ-а М (%): N – 11,4; P₂O₅ – 12; K₂O – 18; Ca – 0,33; Mg – 0,92; органическое вещество – 30. Содержание микроэлементов (мг/кг): В – 1200; Мо – 1400. Удобрение применяется в дозах 650-1000 кг/га, общепринятых для минеральных удобрений в Нечерноземной зоне РФ [6-7].

Цель исследования: оценка влияния СУПРОДИТ-а М на продуктивность гороха, подвижность ¹³⁷Cs в почве, накопление радионуклида в зерне и его подвижность в условиях вегетационного опыта.

Объекты и методы исследования

В условиях вегетационного опыта выращивали горох (*Pisum sativum* L.) сорт Фараон на дерново-подзолистой супесчаной почве. Схема вегетационного опыта: 1. ¹³⁷Cs; 2. NPK + ¹³⁷Cs; 3. СУПРОДИТ-М + ¹³⁷Cs; 4. Азофоска + ¹³⁷Cs. Повторность опыта 4-х кратная. СУПРОДИТ-М и азофоску (16:16:16) вносили в почву в сопоставимых количествах с дозой внесения минеральных удобрений в виде растворов солей NH₄NO₃, K₂HPO₄, KCl (N₁₀₀P₁₂₀K₁₈₀).

Агрохимическая характеристика почвы: гумус 1,2 %; рН_{KCl} 4,7; Нг – 4,12 и сумма поглощенных оснований – 1,80 смоль(экв)/кг почвы, соответственно; содержание P₂O₅ и K₂O – 124 и 135 мг/кг почвы, Ca и Mg – 1,17 и 0,21 смоль(экв)/кг почвы, соответственно. Агрохимические показатели почвы определяли по методикам в модификации ЦИНАО [8].

Определение форм ¹³⁷Cs в почве проводили методом последовательных вытяжек: 1 н. CH₃COONH₄-буфером pH = 7 (обменная), раствором 1 н. HCl (подвижная), раствором 3 н. HCl (кислоторастворимая) и остаточная (прочносвязанная) при соотношении почва: раствор = 1:10 [9]. Содержание ¹³⁷Cs в почве, растворах и растительном материале измеряли методом полупроводниковой гамма-спектрометрии с использованием детектора из сверхчистого германия (HPGe, ORTEC) и анализатора спектра IN 1200 (GROUPE INTERTECHNIQUE), Франция.

Статистическую обработку результатов экспериментов проводили стандартными методами с использованием программы MS Excel 2007 с 95 %-ным уровнем значимости результатов.

Результаты и их обсуждение

При внесении СУПРОДИТ-а М в дерново-подзолистую почву, содержащую ¹³⁷Cs, урожай зерна гороха повысился на 25 % по сравнению с контролем (без удобрений). Применение азофоски обеспечило рост урожайности на 35 %. Наибольший положительный эффект в повышении урожая зерна гороха получен в варианте с внесением N, P₂O₅, K₂O в легкодоступном виде (табл. 1).

Таблица 1

Влияние СУПРОДИТ-а М и минеральных удобрений на продуктивность гороха и накопление ¹³⁷Cs в зерне. Вегетационный опыт.

Вариант	Урожай зерна гороха, г/сосуд	Kн ¹³⁷ в зерне
Без удобрений + ¹³⁷ Cs - контроль	10,9	0,29
NPK + ¹³⁷ Cs	15,3	0,21
СУПРОДИТ М + ¹³⁷ Cs	13,6	0,14
Азофоска + ¹³⁷ Cs	14,7	0,25
HCP ₀₅	1,0	

Накопление ¹³⁷Cs в зерне гороха. Для прогнозирования накопления ¹³⁷Cs в урожай и сравнительной оценки эффективности агрохимических приемов по

уменьшению перехода радионуклидов из почвы в растения использовали Kн¹³⁷Cs. При выращивании гороха на дерново-подзолистой супесчаной почве

наибольшее количество ^{137}Cs в зерне отмечено на контроле. Применение минеральных удобрений и СУПРОДИТА-М оказывало значительное влияние на переход ^{137}Cs из почвы в растения. Кн ^{137}Cs зерном гороха при внесении солей в растворимом виде снижался в 1,4 раза по сравнению с контролем без удобрений. Использование азофоски менее эффективно, содержание ^{137}Cs в зерне гороха снизилось в 1,2 раза. СУПРОДИТ-М ограничивал поступление ^{137}Cs из почвы в растения в 2 раза по сравнению с контролем. Содержание ^{137}Cs в зерне гороха при внесении СУПРОДИТА-М было в 1,5-1,8 раза ниже, чем в вариантах с минеральными удобрениями.

Подвижность ^{137}Cs в почве. Биологическая доступность ^{137}Cs определяется содержанием радионуклида в обменной форме – наиболее легкодоступной для корневого усвоения растениями [10, 12].

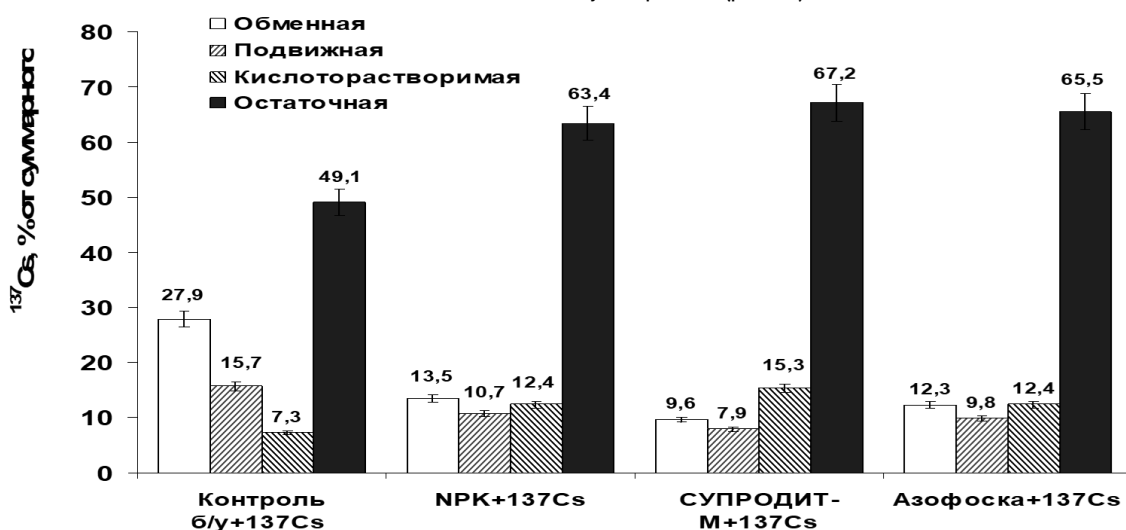


Рисунок 1 – Вегетационный опыт. Содержание форм ^{137}Cs в дерново-подзолистой супесчаной почве после внесения различных видов удобрений

СУПРОДИТ-М оказывал более заметное влияние на подвижность ^{137}Cs , чем минеральные удобрения. Внесение СУПРОДИТА-М в почву способствовало снижению количества обменной и подвижной форм ^{137}Cs на 22–29 и 19–26 %, соответственно, по сравнению с использованием азофоски и НРК. Количество доступного для растений ^{137}Cs (суммарное содержание обменной и подвижной форм) при внесении СУПРОДИТА-М снижалось по сравнению с контролем на 60, а при внесении минеральных удобрений – на 44–49 %. Количество кислоторастворимой формы ^{137}Cs в вариантах применения минеральных удобрений – в 1,7, а СУПРОДИТА-М – в 2,1 раза выше, чем в удобренной почве. Содержание прочносвязанной формы возрастало на 37 % по сравнению с контролем. Величина сорбции ^{137}Cs при внесении СУПРОДИТА-М по сравнению с НРК возросла на 6 %.

Выводы

Проведенные ранее исследования в вегетационном опыте на радиоактивно загрязненной дерново-подзолистой супесчаной почве под кукурузой показали, что внесение СУПРОДИТА-М способствовало снижению количества обменной и подвижной форм ^{137}Cs на 35 и 26 % по сравнению с применением минеральных удобрений. Суммарное количество доступного ^{137}Cs (обменный + подвижный), при внесении СУПРОДИТА-М снижалось по сравнению с контролем на 70 %. Отмечено увеличение доли фиксированной формы ^{137}Cs на 7 % по сравнению с использованием азофоски [11].

Исследования в вегетационном опыте на дерново-подзолистой почве под горохом показали, что содержание обменной формы ^{137}Cs в вариантах с внесением минеральных удобрений было на 52–56, а подвижной – на 32–38 % ниже, чем в контроле без удобрений (рис. 1).

Результаты исследований в вегетационном опыте показали, что применение СУПРОДИТА-М при выращивании гороха на дерново-подзолистой супесчаной почве позволяет получать зерно с наименьшим содержанием ^{137}Cs . Эффективность СУПРОДИТА-М по снижению накопления ^{137}Cs в зерне гороха в 1,8 раза выше, чем азофоски. СУПРОДИТ-М повышал урожайность гороха по сравнению с контролем на 25 %. Удобрение оказывало существенное влияние на подвижность ^{137}Cs в почве и его закрепление в ППК. Внесение СУПРОДИТА-М способствовало снижению количества наиболее доступных для растений обменной и подвижной форм ^{137}Cs на 22–29 и 19–26 %, соответственно, по сравнению с использованием минеральных удобрений.

Список литературы

1. Ветеринарно-санитарные требования к радиационной безопасности кормов, кормовых добавок,

сырья кормового. Допустимые уровни содержания радионуклидов ^{90}Sr и ^{137}Cs . Ветеринарные правила и нормы. ВП 13.5.13/06-01.

2. Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. СанПиН 2.3.2.1078-01, СанПиН 2.3.2.2650-10.

3. Санжарова Н.И., Ратников А.Н., Спиридонов С.И. и др. Технологические приемы, обеспечивающие повышение устойчивости агроценозов, восстановление нарушенных земель, оптимизацию земледелия и получение соответствующей нормативам сельскохозяйственной продукции. Под ред. Н.И. Санжаровой. Обнинск: ВНИИСХРАЭ, 2010. 180 с.

4. Ратников А.Н., Петров К.В., Анисимов В.С. и др. Способ получения органо-минерального комплексного удобрения. Пат. 2426711, РФ // Б.И. 2011. № 23.

5. Анисимов В.С., Петров К.В., Анисимова Л.Н. и др. Определение параметров селективной сорбции одно- и двухвалентных катионов почвами и минеральными сорбентами с использованием радиоизотопов // Мат-лы III Международ. конф. "Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека". Томск, 2009. С. 47-51.

6. Баланова О.Ю., Ратников А.Н., Свириденко Д.Г. и др. Влияние новых комплексных удобрений СУПРОДИТ-М и ГЕОТОН на продуктивность, качество зерна ячменя и биологическую активность почвы // Научные труды КФ РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева.

Юбилейный выпуск (№ 11) к 150-летию РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева. Калуга. 2015. С. 73-78.

7. Ратников А.Н., Санжарова Н.И., Жигарева Т.Л. и др. Разработка и апробация новых комплексных органо-минеральных удобрений // Мат-лы научно-практической конференции: «Новые перспективные комплексные удобрения для сельскохозяйственного производства» (разработка, опыт применения, эффективность) / Под ред. А.Н. Ратникова, В.Н. Мазурова. Обнинск: ГНУ ВНИИСХРАЭ Россельхозакадемии, 2013. С. 7-23.

8. Практикум по агрохимии: уч. пособ. 2-е изд., перераб. и доп. / Под ред. Минеева В.Г. М.: Изд-во МГУ, 2001. 686 с.

9. Павлоцкая Ф.И. Миграция радиоактивных продуктов глобальных выпадений в почвах. М.: Атомиздат, 1974. 216 с.

10. Юдинцева Е.В. и др. Изменение доступности радионуклидов растениям при химизации сельского хозяйства // Агрохимия. 1982. № 5. С. 82-88.

11. Арышева С.П., Попова Г.И., Баланова О.Ю. и др. Влияние новых комплексных органо-минеральных удобрений на продуктивность кукурузы и транслокацию ^{137}Cs в растения // Агрохимия, 2018. № 3, с. 26-33.

12. Sanzharova N.I., Fesenko S.V., Kotik V.A., Spiridonov S.I. Behavior of radionuclides in meadows and efficiency of countermeasures // Radiat. Protect. Dosimetry. 1996.V. 64. № 1-2. P. 43-48.

EFFECT OF COMPLEX ORGANO-MINERAL FERTILISER SUPRODIT-M ON ^{137}Cs MOBILITY IN SOIL AND ACCUMULATION OF RADIONUCLIDE IN PEA GRAIN

Balanova O.Y., Popova G.I., Ratnikov A.N.

Russian Institute of Radiology and Agroecology, 249032 Kaluga region, Obninsk, Kievskoe shosse 109 km, Russian Federation

In the conditions of vegetation experience on soddy-podzolic soil the use of organic-mineral fertilizer SUPRODIT-M increased the yield of pea grain by 25 %. Efficiency SUPRODIT-M to reduce the accumulation of ^{137}Cs in grain of pea 1.5-1.8 times higher than that of mineral fertilizers. The use of SUPRODIT-M led to a decrease in the number of forms of ^{137}Cs available for plants in soil by 19-29 %.

Keywords: SUPRODIT-M, mineral fertilizers, ^{137}Cs , soddy-podzolic soil, peas, yield, accumulation, mobility

УДК 631.423.4

ГУМУС ПОЧВ КАЛАЧЕВСКО-ГОЛУБИНСКОГО ПЕСЧАНОГО МАССИВА

Балкушкин Р.Н.^{1,2,а}, Кулик А.К.^{1,б}, Иванцова Е.А.^{2,с}

Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН

400062 Волгоград, Университетский просп. 97, Российская Федерация

Волгоградский государственный университет,

400062 Волгоград, Университетский просп., 100, Российская Федерация,

e-mail: ^а balroman9612@yandex.ru, ^б kulika@vfanc.ru, ^с ivantsova.volgu@mail.ru

Было произведено маршрутное обследование Калачевско-Голубинского песчаного массива с выявлением основных типов песчаных почв. Определена массовая доля гумуса в почвах с использованием фотометрического метода исследования.

Ключевые слова: гумус, песчаный массив, серопески, черноземовидная почва, фотометрический метод

Введение

Гумус – основное органическое вещество в почве, выполняющее биологические, физические, химически и экологические функции. Являясь показателем плодородия и экологической устойчивости почв к антропогенному воздействию, гумус представляет собой практический интерес для изучения [2].

В пределах Калачевско-Голубинского песчаного массива встречаются несколько типов почв, имеющих разное происхождение, возраст, мощность гумусового горизонта и в значительной степени отличающихся от зональных почв. Эти особенности определяют необходимость изучения песчаных почв, в том числе выявления содержания гумуса.

Объекты и методы

Исследования осуществлялись на территории Калачевско-Голубинского песчаного массива. Было выделено 5 опытных участков, отличающихся почвами и произрастающей растительностью. Отбор образцов почвы осуществлялся до глубины 50 см через каждые 10 см, включая верхний поверхностный слой.

Для определения массовой доли гумуса в почве (%) использовался фотометр фотоэлектрический КФК-03-«ЗОМЗ». Работа осуществлялась по методике фотометрического определения углерода органических соединений Тюрина с модификацией по Орлову и Гриндель [5]. В рамках данной методики было подготовлено свыше 100 почвенных образцов и построен калибровочный график с использованием раствора глюкозы. Количество углерода находилось по градуировочному графику. По результатам определения углерода органических соединений было рассчитано содержание гумуса в почве (таблица 1).

В основу деления почвенного покрова положена классификация песчаных почв А.Г. Гаеля и Л.Ф. Смирновой [1].

Калачевско-Голубинские пески расположены на юго-востоке европейской части России в Калачевском районе Волгоградской области, на левом берегу Дона, имеющем относительно низкие отметки высот. В состав песчаного массива входит две арены: Калачевская и Голубинская, отличительной чертой которой является обширная территория, занятая открытыми и слабозаросшими песками.

На климатической карте Калачевско-Голубинский песчаный массив расположен в пределах атлантико-континентальной европейской (степной) области умеренного пояса. Эта климатическая область характеризуется как теплая и недостаточно влажная [6]. Район исследований относится к полынно-типчково-ковыльным степям. Эдификаторами являются

овсяница валлийская (*Festuca valesiaca*), ковыль Лессинга (*Stipa lessingiana*), ковыль волосатик (*Stipa capillata*), встречается ароматичная белая полынь Лерха (*Artemisia lerchiana*). Из разнотравья – грудница мохнатая (*Linosyris villosa*), кермек сарептский (*Limonium sareptanum*).

Первый ключевой участок расположен близ поселка Пятиморск. Почва дерново-степная мощная (А-В1-ВС-С). Данный тип почв, в пределах песчаного массива, распространен на низких террасах и приурочен к заросшим бугристо-холмистым близководным пескам. Запасы надземной растительной фитомассы составляют 26,28 ц/га.

На ключевом участке №2 произрастают насаждения сосны обыкновенной I и II бонитета в возрасте 25-30 лет. Почва – погребенная дерново-степная глееватая (Аэол1-Аэол2-Аэол3-А-В1-ВС-С).

Третий ключевой участок расположен на прилегающей территории и занят травянистой растительностью, имеющей запас надземной фитомассы около 18,7 ц/га. Почва – дерново-степная среднеспособная глееватая (А-В1-ВС-С). В некоторых местах имеется эоловый нанос мощностью до 60 см. Отбор проб осуществлялся на участке, не имеющего переотложенного песчаного материала.

Четвертый ключевой участок имеет черноземовидную мощную супесчаную почву (А-В1-В2-Вк-С). Данный тип почв распространен на высокой III террасе, реже на II и I, и характерен для равнинного и склонового, слабоувалистого, песчаного и супесчаного глубоководного типа песков. Участок расположен на месте сгоревших 20 лет назад насаждений сосны обыкновенной. Сейчас он занят травостоем, имеющим запасом надземной фитомассы 19,6 ц/га.

Пятый ключевой участок представлен каштановой супесчаной почвой (А-В1-Вк-С). Запас надземной фитомассы составляет 18,7 ц/га.

Результаты исследования

Легкие почвы песчаных массивов азональные. Они отличаются от каштановых тяжелых почв рядом признаков: в 2-3 раза большей мощностью гумусовых горизонтов, но малой их гумусированностью (около 1 %); полной или частичной выщелоченностью от карбонатов кальция; сквозным или не менее чем 1,5-2 м весенним промачиванием тальми водами и отсутствием сухого горизонта. Возраст легких почв также большей частью более молодой, чем почв тяжелых.

На террасовых песках степной зоны выявляют почвы разного происхождения и нескольких генераций. Они достаточно отличаются друг от друга и еще больше от зональных почв на суглинках

водоразделов. Вместе с тем песчаные почвы каждой генерации очень близки между собой даже в пределах нескольких природных зон и подзон, так как от лесостепи до полупустынных степей процесс их формирования протекал под действием преимущественно дерново-злаковой растительности. Все эти разновидности можно рассматривать как генетически самостоятельные почвенные образования, которые, однако, могут быть объединены в одну группу дерново-степных почв.

В соответствии с незначительным количеством минеральных и органических коллоидов пески и легкие почвы бедны поглощенными основаниями.

Гумусом бедны даже легкосуглинистые каштановые почвы. Во всех древних мощных легких почвах содержание гумуса падает сверху вниз. В молодых маломощных почвах гумусовый горизонт довольно резко отличается от более светлого песка эолового происхождения. Содержание гумуса в таких маломощных почвах не превышает 0,2-0,3 % [3]. Следует иметь в виду, что каждая десятая процента гумуса имеет большое значение для жизнедеятельности растений. Кроме того, на легких мощных супесчаных почвах общий запас гумуса мало чем уступает запасу его в зональных суглинистых почвах, особенно при расчете на метровый слой.

Таблица 1

Содержание гумуса в почвах Калачевско-Голубинского песчаного массива

Глубина, см	Дерново-степная мощная (A-B1-BC-C)	Погребенная дерново-степная глееватая (Аэол1-Аэол2-Аэол3-А-B1-BC-C)	Дерново-степная среднемощная глееватая (A-B1-BC-C)	Черноземовидная мощная супесчаная (A-B1-B2-Bк-C)	Каштановая супесчаная (A-B1-Bк-C)
0-5	1,25	0,59	1,01	1,61	1,20
5-10	1,14	0,45	0,97	1,17	1,01
10-20	1,00	0,52	0,65	0,84	0,83
20-30	0,82	0,57	0,57	0,73	0,64
30-40	0,75	0,31	0,31	0,71	0,53
40-50	0,47	0,35	0,30	0,68	0,40

Полученные результаты показали, что содержание гумуса и его изменение определяются экологическими условиями формирования почв (таблица 1). Наибольшее содержание гумуса характерно для черноземовидной почвы, которая приурочена в основном к высокой третьей террасе, имеющей более древнее происхождение по сравнению с другими надпойменными террасами. Формирование данного типа почв происходило в раннюю афитогенную фазу дефляции [1]. Однако озерно-аллювиальные участки, были закреплены растительностью, которая препятствовала развеванию песков и создавали условия развития почвенного покрова.

Дерново-степные почвы распространены на первой и второй надпойменной террасах. Эти почвы, образованные на древне-эоловых песках, почти не переживали гидроморфной стадии развития. Формировались они под сосновыми лесами, которые в позднем голоцене вследствие усиления сухости и континентальности климата исчезли в степной зоне ЕТР. Б.Б. Польшов и А.Н. Маланьин называли эти остепненные почвы «серопесками» [4].

На Калачевско-Голубинском песчаном массиве встречаются почвы, большая часть профиля которых представляет собой стратифицированную толщину. Формирование таких почв связано с эоловой или водной аккумуляцией. В результате почвенный профиль может иметь достаточно много слоев. К тому же нередко встречаются погребенные почвы. На участке № 2 имеется эоловый нанос мощностью около 100 см. В отличие от других почв, здесь не наблюдается постепенного

уменьшения содержания гумуса с глубиной. Это объясняется постепенным засыпанием почвы и наслаиванием песчаного материала, имеющим разное количество остаточного гумуса. На глубине около 100 см залегает светло-коричневый горизонт. По всей видимости, это остатки горизонта А1, который был когда-то подвержен ветровой эрозии и частично переотложен в другом месте. Содержание гумуса в этом горизонте возрастает до 0,69 %. Начиная с этого горизонта, почва остается влажной в течение всего года, вследствие близкого залегания грунтовых вод и капиллярного поднятия влаги, которая участвует в водопитании сосны.

Отдельно стоит упомянуть открытые и слабозаросшие пески II террасы Голубинской арены. Здесь распространены примитивные почвы со слабо развитым гумусовым горизонтом, залегающим непосредственно на песчаной почвообразующей породе. Содержание гумуса в верхнем маломощном горизонте, как правило, не превышает 0,2 %. Участки, лишенные растительности представляют собой геологическую породу, которую нельзя отнести к почвенным образованиям. Только после стабилизации песка растениями начинается формирование примитивной почвы по дерново-степному типу.

Заключение

Полученные данные адекватно отражают специфику почвообразования на Калачевско-Голубинском песчаном массиве. Содержание гумуса в почве на всех исследовательских участках не превышает 2 %.

В среднем в верхнем десятисантиметровом слое его содержание составляет не многим более 1 %. Наблюдается тенденция снижения массовой доли гумуса с глубиной, кроме второго участка, имеющего золотый нанос. Это можно объяснить постепенным засыпанием почвы и наслаиванием песчаного материала, имеющим разное количество остаточного гумуса.

На территории Калачевско-Голубинского песчаного массива распространены в основном почвы легкого гранулометрического состава, имеющие небольшое содержание гумуса. Эти почвы легко подвергаются дефляции, в результате чего утрачивается гумусовый горизонт. При хозяйственном использовании песчаных земель должны использоваться только рациональные методы, препятствующие развеванию легких почв.

Исследования выполнены в рамках Гранта РФФИ и Правительства Волгоградской области № 18-45-340001 р_а «Эколого-социальные проблемы человека в условиях неблагоприятной экологической обстановки песчаных земель Донского бассейна»

Список литературы

1. Гаель, А.Г. Пески и песчаные почвы / А.Г. Гаель, Л.Ф. Смирнова. М.: ГЕОС, 1999. 252 с.
2. Кленов, Б.М. К вопросу об экологической устойчивости в современном учении о почвенном гумусе // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2012. № 3. С. 148-152.
3. Маланьин, А.Н. Бугристые пески сухостепной зоны с начальными стадиями автоморфного почвообразования и опыт их облесения // Биологические науки. 1978. № 3. С. 131-143.
4. Методические указания по изысканиям и проектированию мероприятий комплексного освоения песков юга и юго-востока Европейской части СССР / ВАСХНИЛ, Отделение лесоводства и агролесомелиорации. М.: ВАСХНИЛ, 1985. 78 с.
5. Соколов, А.В. Агрохимические методы исследования почв. М.: Наука, 1975. 656 с.
6. Климатическое районирование // Национальный атлас России (том 2) от 16.01.2019 – Режим доступа: <http://национальныйатлас.рф/cd2/146-150/146-150.html>

HUMUS SOIL OF KALACHEVSKO-GOLUBIN SANDY MASSIF

Balkushkin R.N.^{1,2}, Kulik A.K.¹, Ivantsova E.A.²

¹ Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation RAS
400062 Volgograd, Ave University, 97, Russian Federation

² Volgograd State University, 400062 Volgograd, Ave. University, 100, Russian Federation

A route survey of the Kalachevsky-Golubinsky sand massif was carried out with the identification of the sandy soils main types. The mass humus fraction in soils was determined using a photometric method of investigation.

Keywords: *humus, sandy massif, seropeski, chernozemovidnaya, photometric method*

УДК 637.1:631.95:539.1

К ВОПРОСУ СНАБЖЕНИЯ НАСЕЛЕНИЯ БЕЗОПАСНЫМ И КАЧЕСТВЕННЫМ МОЛОКОМ В УСЛОВИЯХ НАРАСТАЮЩЕГО ТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Бигаева А.В.

*ВНИИ пивоваренной, безалкогольной и винодельческой промышленности – филиал «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН, 119021 Москва, Россолимо, 7 Москва, Российская Федерация
e-mail: ada14-5@yandex.ru*

Сегодня особо актуальны вопросы, связанные с нарастающим техногенным воздействием на окружающую среду. Мирная атомная промышленность, ядерное оружие и другие источники радиоактивного излучения на многие десятилетия загрязняют биосферу, в том числе сельскохозяйственные территории. Повышенный радиационный фон способствует развитию болезней животных, в том числе вирусной этиологии, передаваемых по трофической цепи. С развитием ДНК-технологий стал возможным селекционный отбор животных по устойчивости к наиболее распространенным заболеваниям КРС, связанных с низким иммунитетом или негативным внешним воздействием. Продукт животноводства - сухое молоко призвано решать как проблемы дефицита важных макро- и

микроэлементов, так и обеспечивать потребность в молоке и молочных продуктах районов со сложными климатическими условиями.

Ключевые слова: радиация, болезни, безопасность, качество, сухое молоко

В последние десятилетия в мире резко ухудшилась экологическая обстановка. Различные антропогенные факторы привели к многочисленным проблемам, снижающим качество и продолжительность человеческой жизни. Радиация является одной из них. Она проникает повсеместно, оказывая значительное воздействие на все живые организмы. Особенно заметно ее негативное влияние на высокоорганизованные организмы млекопитающих.

Важно отметить, что человек подвергается естественному радиоактивному излучению всю жизнь. Оно варьируется в зависимости от многих факторов: космического излучения, состояния атмосферы, залегания радиоактивных земных пород и других показателей [1]. о при этом естественная радиация незначительно влияет на человека по сравнению с радиоактивными выбросами от техногенных объектов. К наиболее известным источникам радиационного загрязнения относятся Чернобыльская АЭС, АЭС «Фукусима-1», ПО «Маяк», Долматовское, Шумихинское, Звериноголовское урановые месторождения, Семипалатинский, Новоземельский и Китайский испытательные полигоны и др. [2- 4].

В случае крупных радиационных аварий радионуклиды, такие как цезий-137, стронций-90, йод-131 и др., загрязняют огромные территории, распространяясь с воздушными потоками и осадками. Они неизбежно оседают на деревьях, водных поверхностях, сельскохозяйственных площадях. Соответственно, через крупный рогатый скот, питающийся на зараженных территориях, радионуклиды попадают в пищевую цепочку человека. Продукты животноводства, в первую очередь молоко и мясо, являются важной составляющей нашего пищевого рациона. При высоких уровнях радиоактивного загрязнения затруднительно получить доброкачественное молочное сырье пригодное как для непосредственного употребления, так и для последующей переработки. А без качественного и безопасного сырья исключено получение полноценных молочных продуктов, в том числе продуктов специального назначения [5, 6].

В регионах с повышенным содержанием радиоактивных веществ есть несколько вариантов ведения молочного животноводства. Возможно получение допустимого по радиоактивным показателям молока при условиях кормления животных чистым кормом, либо при добавлении в их рацион сорбентов для выведения радионуклидов [1, 4].

Молоко с повышенным и недопустимым содержанием радионуклидов следует деконтаминировать. Молоко может быть очищено в ходе технологических операций при производстве молочных продуктов, либо с применением дополнительных

технологических этапов, основанных на ионообменных и сорбционных процессах [1, 7].

Также наряду с завозом на пораженные территории чистого корма для крупного рогатого скота, целесообразным является снабжение таких регионов готовым чистым сухим молоком высокого качества [8]. Подходящее под такое описание сухое молоко возможно получить с помощью комплексной оценки исходного сырья, включающей в себя современные методы ДНК-технологии. Молекулярно-генетические методы анализа на сегодняшний день позволяют изучить генотипы животных по различным генам-маркерам, в том числе по показателям молочной продуктивности. Селекционная работа, построенная на таких исследованиях, позволяет прогнозировать качество молока до его получения. Молоко может иметь улучшенные технологические свойства (термоустойчивость, сыропригодность), усовершенствованный состав (больше содержание белка, жира, Са и Р) [9, 10].

При этом стоит отметить, что актуальным вопросом работы с молочными животными на территориях с повышенным радиационным фоном является оценка риска возникновения и распространения опасных инфекционных заболеваний. Из всех инфекционных заболеваний крупного рогатого скота лейкоз является одним из самых распространенных. Поэтому наряду с изучением генов молочной продуктивности животных значительное внимание оказывается изучению ДНК-маркеров их резистентности к лейкозу. Потенциальными показателями устойчивости и чувствительности к вирусу бычьего лейкоза являются гены *iNOS* и *BoLA-DRB3* [11,12].

Исследованиями российских ученых показано, что с ростом загрязненности территории радиоактивными элементами повышается риск заражения животных вирусом бычьего лейкоза и степень распространения заболевания в стаде [13, 14].

Список литературы

1. Донская Г.А. Теоретические и практические основы переработки и деконтаминации загрязненного радионуклидами молока // Молоко. Переработка и хранение / под ред. Г.А. Донской. Москва, 2015. Гл.8. С. 350-376
2. Фукусимские выпадения в сахалинской области России, сообщение 3: ^{137}Cs и ^{134}Cs в коровьем молоке / В.П. Рамзаев, А.Н. Барковский, А.В. Громов, М.В. Кадука // Радиационная гигиена. 2018. №3. Т.11. С. 40-54.
3. Шубина Н.И., Усков Г.Е. Методы снижения радионуклидов в молоке и молочных продуктах // Молодежь и наука. 2016. №1. С. 7.

4. Шкаев А.Э., Шкаева Н.А. Результаты применения ферроционидного сорбента ХЖ-90-Sr-TM для обеспечения безопасности продуктов питания животного происхождения // Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевые биотехнологии». 2015. Т.3. №2. С. 39-46.

5. Теория и практика молочно-консервного производства: монография / под ред. А.Г. Галстяна, А.Н. Петрова, И.А. Радаевой, С.Н. Туровской, В.В. Червецова, Е.Е. Илларионовой, В.К. Семипятного. М.: Издательский дом «Федотов Д.А.», 2016. 181 с.

6. Хуршудян С.А., Орещенко А.В. Качество сырья и потребительские качества пищевого продукта // Пищевая промышленность. 2013. № 6. С.40-41.

7. Пан Л.С., Рожина Д.А. Получение и изучение сорбционных свойств композиционного сорбента на основе ферроцианида железа и биополимерной основы // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Химическая технология и биотехнология. 2013. №1. С.168-179.

8. Способ производства молочного концентрата и способ контроля содержания в нем дигидрокверцетина: пат.2043030 Рос. Федерация. №: 92014711/13 / Радаева И.А., Тюкавкина Н.А., Соколов С.Я., Шулькина С.П., Руленко И.А., Бабкин В.А.; заявл. 28.12.1992; опубл. 10.09.1995. 8 с.

9. Лоретц О. Г. Молочная продуктивность и технологические свойства молока различных генотипов по

каппа-казеину // Ветеринария Кубани. 2014. № 2. С. 6–8.

10. Тюлькин С.В. Влияние генотипов коров на их продуктивность и качество молока // Пищевые системы. 2018. Т.1. № 3. С. 38-43.

11. Гильманов Х.Х. Аллельный полиморфизм гена INOS и его ассоциативная связь с хозяйственно-полезными признаками // Материалы 21-й международной научно-практической конференции, посвященной памяти В. М. Горбатова «Инновационное технологическое развитие промышленности – тенденции, стратегии, вызовы». 2018 С. 59-60.

12. Полиморфизм гена BoLA-DRB3 и генетический статус выборки быков – производителей по отношению к лейкозу крупного рогатого скота / Х.Х. Гильманов [и др.] // Ветеринария, зоотехника и биотехнология. 2018 № 11. С.89-98.

13. Радиозокологические риски распространения лейкоза крупного рогатого скота в челябинской области / Бударков В.А., Книзе А.В., Шкаева Н.А., Шкаев А.Э. // Научный журнал КубГАУ. 2012. №75(01). С. 1-10.

14. Шкаев А.Э. Оценка радиозокологических рисков распространения лейкоза крупного рогатого скота на территории Челябинской области: автореф. на соиск. ученой степ. канд. биол. наук: 03.01.01-К., 2013. 22 с.

TO THE QUESTION OF SUPPLY OF THE POPULATION WITH SAFE AND QUALITY MILK IN THE CONDITIONS OF THE ACCRUING TECHNOGENIC ENVIRONMENTAL POLLUTION

Bigaeva A.V.

All-Russian Scientific Research Institute of the Brewing, Non-Alcoholic and Wine Industry – Branch of the V.M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems of RAS, Moscow, Russian Federation

Today especially the topical issues connected with the accruing technogenic impact on the environment. The peaceful atomic industry, nuclear weapon and other sources of radioactive radiation for many decades pollute the biosphere, including agricultural territories. The raised radiation background contributes also to the development of diseases of animals, including the virus etiology transferred on a trophic chain. With development of DNA technologies selection of animals on resistance to the most widespread diseases of KRS connected with low immunity or negative external impact became possible. Livestock product - powdered milk is designed to solve as a problem of deficiency important macro- and minerals, and to provide the need for milk and dairy products of areas with difficult climatic conditions.

Keywords: *radiation, safety, quality, dry milk*

АГРОЭКОЛОГИЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Войтюк В.А., Кондратьева О.В., Слинько О.В., Федоров А.Д.

ФГБНУ «Росинформагротех»

141261 Московская область, пос. Правдинский, ул. Лесная, 60, Российская Федерация

e-mail: inform-iko@mail.ru

В статье рассмотрены экологические проблемы, а также пути их решения, возникающие с развитием сельскохозяйственного производства для продовольственного обеспечения населения. Дан анализ воздействие техногенных загрязнений на естественные биогеоценозы. Показана роль внедрения новых технологий для сельскохозяйственного производства.

Ключевые слова: агроэкология, окружающая среда, экологические проблемы, наилучшие доступные технологии, техногенное загрязнение

Главными агроэкологическими проблемами России в настоящий момент следует считать те, которые связаны с состоянием самого ресурса, то есть почв, поверхностных и грунтовых вод. Причины деградации ресурсов сельского хозяйства заключаются не только в отсутствии необходимых агроэкологических мероприятий, но и в тенденции к смене деятельности сельского населения. Так, повсеместная истощительная (в поймах, с уничтожением подроста) вырубка лесов в тех районах Нечерноземья, где сельское хозяйство, по существу, прекратилось, приводит к негативным изменениям в ландшафтах - понижению уровня грунтовых вод и эрозии. Лесовосстановительные мероприятия проводятся в недостаточном объеме, а лесозащитные насаждения покрывают только 22 % необходимой площади

Экологические проблемы, возникающие при сельскохозяйственном использовании земель, имеют общий характер. Их различия обусловлены национальными особенностями экономики и характером воздействия. В целом, можно выделить четыре основных источника загрязнения:

Промышленность.

Автомобильный транспорт. Состав выбросов от автотранспорта включает в себя также основные загрязняющие вещества: оксид углерода, углеводорода, оксид азота, сернистый ангидрид, сажа и др.

Сельское хозяйство загрязняет почву – тяжелыми металлами и другими токсинами. Всем известно, что удобрения – это источник питания растений, но удобрения содержат в своем составе примеси тяжелых элементов и тоже являются источниками загрязнения почвы. Среди традиционных удобрений наибольшими загрязнителями являются фосфорные удобрения.

Бытовые отходы. Городские свалки промышленного и бытового мусора занимают большие площади. В составе мусора могут оказаться ядовитые вещества, такие, как ртуть или другие тяжелые металлы, химические соединения, которые растворяются и

попадают в почву, водоемы, грунтовые воды. Могут попасть в мусор и приборы, содержащие радиоактивные вещества. Количество накапливающегося мусора постоянно растет [1].

Так же одной из важнейших проблем агроэкологии является техногенное загрязнение земель – что характеризуется как, привнесение в почву веществ, или возникновение в них новых как правило, не характерных для них компонентов. Такие вещества – соли, нефть и нефтепродукты, некоторые минеральные удобрения, тяжелые металлы, пестициды, радионуклиды, оказывающие вредное воздействие на человека. В результате загрязнения изменяется химический состав почвы, снижается ее качество, а сама почва может стать губительной средой для существования в ней и находящихся с ней в контакте организмов. Загрязнение почв затрагивает и другие природные объекты, может приводить к деградации почв.

В нормальных естественных условиях все процессы, происходящие в почве, находятся в равновесии. В почве постоянно идут процессы самоочищения, когда населяющие почву организмы стремятся переработать попадающие в нее загрязнители. В 1 см³ здоровой почвы содержатся миллионы микроорганизмов, но способность ее к самоочищению не безгранична и при интенсивном загрязнении может быть утрачена [3].

Процесс загрязнения земель может быть естественным, природным (например, загрязнение почв и горных пород вредными токсичными компонентами при извержении вулкана) или искусственным (техногенным, антропогенным). Наибольшие экологические проблемы связаны именно с техногенными загрязнениями.

Во второй половине XX века стала актуальна ещё одна проблема: уменьшение в продукции растениеводства содержания витаминов и микроэлементов и накопление в продукции как растениеводства, так и животноводства вредных веществ (нитратов, пестицидов, гормонов, антибиотиков и т. п.). Причина –

деградация почв, что ведёт к снижению уровня микроэлементов и интенсификация производства, особенно в животноводстве.

Вернуть грунт в первоначальное состояние сложно. Решение проблемы частично предлагается природой. Летом 2018-го швейцарские специалисты сообщили, что почвенные бактерии способны перерабатывать определенное пластиковое сырье – полибутилентерефталат (PBAT). Микроорганизмы успешно использовали углерод материала в качестве источника энергии. Но PBAT – только один тип пластикового сырья. Переработать остальные материалы грунтовыми экосистемам, даже при участии человека, бывает сложно. Эффективные пути решения проблемы включают профилактику. Загрязнители не должны изначально попасть в почву. В этих целях совершенствуются технологии очистки стоков и производственных процессов [4].

Индекс загрязнения почвы помогает снизить и переход на альтернативные виды топлива: электричество, водород или биомассу. Хотя современные технологии их производства ведут к вредным выбросам, ученые стремятся повысить безопасность процессов. В будущем «зеленое» горючее и энергия могут стать по-настоящему экологичными, прекратив оказывать вредные воздействия на грунт, воду и атмосферу. Дополнительные меры включают грамотное применение удобрений, пестицидов и средств от сорняков (по сезонам). Пользователи участков должны учитывать причины и следствия изменения качества грунта. Если его состояние ухудшилось из-за навоза или интенсивного движения транспорта, следует ограничить влияние этих факторов. Инфраструктурным системам, вроде железнодорожных сетей, сложно решить эту проблему.

Невозможность переключиться на герметизированные контейнеры для сыпучих продуктов стоит компенсировать максимальным использованием крытых вагонов. Операторы свалок должны искать пути вторичной переработки поступающего мусора с

минимальными последствиями для окружающей среды. Отходы нельзя сжигать, но можно применить щадящие техники, вроде электролитического расщепления. Борьба с загрязнением грунта необходимо: от его состояния зависит качество жизни человечества. Без плодородной почвы население планеты не получит необходимого объема растительной и животной пищи.

Грунтовые экосистемы помогают в борьбе с глобальным потеплением, захватывая и перерабатывая углерод – ключевой компонент парниковых газов. Попадая из воздушной, водной среды в почву (включая дно океанов), элемент должен задерживаться на столетия или перерабатываться микроорганизмами. Но изменение состава и функций грунта ведет к высвобождению этих веществ, заполняющих объем атмосферных выбросов от человеческой деятельности. Упомянутые факторы указывают на важность роли грунта и профилактических мер по поддержанию его качества. Легче предотвратить загрязнение почвы, чем бороться с нежелательными компонентами.

Список литературы

1. Агроэкология. Под ред. В.А. Черникова, А. И. Чекереса. М: Колос, 2009. 536 с.
2. Буздалов И. Частная собственность на землю – основа эффективного сельского хозяйства // Вопросы экономики, 2009, № 7. С. 35-44.
3. Федоров А.Д., Кондратьева О.В., Слинко О.В., Войтюк В.А. Цифровизация сельского хозяйства – залог успешного развития отрасли // в сборнике конференции «Состояния и перспективы развития агропромышленного комплекса» // 2019г. С. 69-73
4. Назарько М.Д. Щербakov В.Г. Александрова А.В. // Перспективы использования микроорганизмов для биодegradации нефтяных загрязнений почв. // 2016г. С. 1-24.

AGROECOLOGY OF AGRICULTURE OF A PROBLEM AND PROSPECT OF DEVELOPMENT

Voytyuk V.A., Kondratyeva O.V., Slinko O.V., Fedorov to A.D.

FGBN Rosinformagrotekh, 141261 Moscow region, pos. Pravdinsky, st. Lesnaya, 60, Russian Federation

In article environmental problems, and also the ways of their decision arising with development of agricultural production for food supply of the population are considered. The analysis impact of technogenic pollution on natural biogeocenoses is given. The role of implementation of new technologies for agricultural production is shown.

Keywords: *agroecology, environment, environmental problems, the best available technologies, technogenic pollution*

ИССЛЕДОВАНИЕ БИОХИМИЧЕСКИХ ПРИЧИН ФОРМИРОВАНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ РАСТЕНИЙ ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ К ДЕЙСТВИЮ КАДМИЯ МЕТОДОМ ИЗОФЕРМЕНТНОГО АНАЛИЗА

Дикарев А.В., Дикарев В.Г., Дикарева Н.С.

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии»
249032 Калужская область, г. Обнинск, Киевское шоссе, 109 км, Российская Федерация
e-mail: ar.djuna@yandex.ru

Исследованы причины формирования устойчивости или чувствительности сортов ярового ячменя к действию кадмия с помощью изоферментного анализа. Для работы были взяты по 7 сортов ячменя, контрастных по устойчивости к этому тяжелому металлу (ТМ), отобранные путем анализа ответа растений на влияние поллютанта по морфологическим критериям. Выявляли зоны активности ферментных систем, связанных с устойчивостью растительного организма к средовому стрессу. С помощью критерия Фишера оценивали частоты встречаемости всех аллельных вариантов, после чего делались выводы о связи этих аллелей с реакцией на действие кадмия. Был выявлен ряд локусов, связанных с устойчивостью и чувствительностью к Cd^{2+} , что говорит о генетических причинах формирования ответа на негативные воздействия среды. Это подтверждается и тем обстоятельством, что наблюдаемые эффекты выявляются и на интактных проростках. Данные сравнили с таковыми для свинца, и обнаружили, что устойчивость к двум ТМ маркируется различными изозимами.

Ключевые слова: кадмий, ячмень, внутривидовой полиморфизм, контрастные по устойчивости сорта, изоферменты

Кадмий – один из значимых загрязнителей природных и аграрных экосистем. Однако, не смотря на существенное значение проблемы загрязнения агроферы тяжелыми металлами, механизмы воздействия кадмия на сельскохозяйственные растения остаются не вполне ясными [1]. В связи с этим приобретает большое значение задача поиска и мобилизации генетических ресурсов культурных растений с целью выведения таких сортов их, которые бы обладали повышенной устойчивостью к токсическому стрессу. Одним из методов реализации поставленной задачи является изоферментный анализ, позволяющий выявлять специфические аллельные варианты, связанные с устойчивостью или чувствительностью растений к техногенному загрязнению [2]. Ячмень – одна из главных зерновых культур, возделываемых с глубокой древности по всему миру, при этом она хорошо изучена на всех уровнях биологической организации [3]. Это делает ячмень подходящим объектом для работы в плане изучения стрессоустойчивости. В настоящем исследовании из 50 сортов ячменя различного географического происхождения были выбраны группы устойчивых и чувствительных к действию кадмия сортов на основе морфологических критериев. Вместе с тем, было интересно рассмотреть тонкие причины формирования полиморфизма по устойчивости, и для этой цели изоферментный анализ оказывается подходящим методом.

Таким образом, цель этого эксперимента - поиск специфических изоферментных вариантов ряда ферментных систем, которые с большей вероятностью встречаются у контрастных по устойчивости к

кадмию сортов ярового ячменя из мировой коллекции ВИР.

Материалы и методы

Для изучения изоферментного полиморфизма использовали метод электрофореза белков в полиакриламидном геле. Из 50 сортов ячменя на основе анализа морфологических показателей были отобраны 14 контрастных по устойчивости к кадмию (по семь устойчивых и чувствительных) [4]. Процедура исследования их морфологических реакций на влияние ТМ подробно описана нами в опубликованной ранее работе [5]. Для приготовления экстрактов семена проращивали в рулонах фильтровальной бумаги на дистиллированной воде. Сосуды с образцами выдерживали в термостате сутки при 20°C [6]. Семена, у которых появлялись проростки ~ 1 мм длиной, отбирали для получения экстрактов. Дополнительно аналогичное исследование было проведено не только с использованием дистиллированной воды, но и при наличии ТМ в среде. В этом случае семена выдерживали при 20°C в течении 5 дней в чашках Петри с раствором Cd^{2+} 0,35 мг/мл (тестирующая доза, выявленная ранее). Остальные процедуры в этом случае были идентичны таковым для интактных семян. Процедура подготовки проб, получения полиакриламидного геля, загрузки в него белковых экстрактов была аналогична описанной в [7]. После разгона фракций выполняли гистохимические реакции для определения ферментов [8]: супероксиддисмутазы (SOD, К.Ф. 1.15.1.1), пероксидазы (PER, К.Ф. 1.11.1.7), глутаматдегидрогеназы (GDH, К.Ф. 1.4.1.2), алкогольдегидрогеназы (ADH, К.Ф. 1.1.1.1),

малатдегидрогеназы (MDH, К.Ф. 1.1.1.37), глюкозо-6-фосфатдегидрогеназы (G6PD, К.Ф. 1.1.1.49), глутатионредуктазы (GSR, К.Ф. 1.6.4.2) и каталазы (CAT, К.Ф. 1.11.1.6). Фореграммы фотографировали, после чего подсчитывали частоты каждой из обнаруженных аллелей. Каждая из них помечалась определенной величиной в соответствии с электрофоретической подвижностью. Частоты тех изозимов, которые встречались не во всех случаях (факультативных) сравнивались для групп контрастных сортов с помощью критерия углового преобразования Фишера [9] с целью выявить такие, которые бы могли служить маркерами устойчивости или чувствительности к кадмию.

Результаты и обсуждение

По результатам изоферментного анализа белковых экстрактов у рассматриваемых ферментов отмечено следующее количество зон активности. У SOD – 5, PER – 1-2, GDH – 2-4, ADH – 3-4, MDH – 5, G6PD – 3-8, GSR – 8, CAT – 6. При этом изозимы SODII, III, IV+V (встречались вместе); PERI; GDHI; ADHII, III, IV; GSRI, II, III-V (встречались совместно), VI; MDHIII, IV, V; G6PDI, II-III (тоже совместно) отмечали всегда; в то время как SODI, PERII; GDHII, III, IV; ADHI; GSRVII, VIII; MDHI, II; G6PDIV-VIII (встречались совместно); наблюдались от случая к случаю (факультативные изозимы).

На основе анализа фореграмм была произведена оценка частот факультативных зон активности рассматриваемых ферментов: SODI; GDHII, III и IV; ADHI, MDHI, II. Из рассмотрения были исключены PERII; G6PDIV-VIII; GDHIV; GSRVII, VIII ввиду того, что не удалось выявить связи этих изозимов с устойчивостью или чувствительностью сортов и CAT, которая обладала достаточно слабой активностью, и поэтому не удалось собрать достаточной статистики по этому ферменту.

У всех рассмотренных изозимов рассчитанные значения критерия Фишера (F) больше критического значения $F_{кр}^{0,01}$ (2.31), за исключением GDHIII, где он является значимым при $F_{кр}^{0,05}$ (1.64). Таким образом, выделенные в настоящем исследовании редко встречающиеся изоформы исследуемых ферментов можно рассматривать в качестве биохимических маркеров чувствительности или устойчивости к действию кадмия. Изоферменты SODI, GDHII, MDHI с большей вероятностью встречаются у чувствительных сортов, в то время как GDHIII, ADHI, MDHII – у устойчивых. Из полученных результатов следует, что обнаруженный нами при исследовании 50 сортов ярового ячменя полиморфизм по устойчивости к действию кадмия [4] сопряжен с биохимическим полиморфизмом.

Аналогичное исследование, проведенное с использованием семян, пророщенных в растворе $Cd(NO_3)_2$ не выявило значимых закономерностей: в этом случае тоже отмечалось наличие перечисленных изозимов, однако увязать их с устойчивостью или чувствительностью сорта не удалось. Однако

следует отметить, что при действии ТМ отмечался заметный рост активности CAT – если у интактных проростков зачастую не удавалось обнаружить зон активности этого фермента, то при наличии поллютанта в среде этот энзим практически всегда был активен. Впрочем, изоформ, с большей вероятностью встречающихся у той или иной группы контрастных сортов, не было идентифицировано.

При сравнении данных, полученных для двух ТМ – свинца [7] и кадмия – были обнаружены определенные различия: если в случае со свинцом SODI встречался примерно с равной вероятностью у чувствительных и устойчивых сортов, то в случае кадмия этот изозим уверенно определяется как маркер чувствительности к данному ТМ. В то же время изозимы SODIII, IV, V маркировали чувствительность сорта к свинцу, но в случае с кадмием встречались у всех изученных сортов вне зависимости от их принадлежности к группам чувствительных или устойчивых. Аллель PERII, значимо встречавшаяся у чувствительных к свинцу сортов, практически не обнаруживалась в настоящем исследовании. Так же любопытно, что аллель GDHII, уверенно ассоциировавшаяся с устойчивостью к свинцу, неожиданно оказалась связанной с чувствительностью к кадмию. Хотя, в то же время, в нашем текущем исследовании была выявлена еще аллель GDHIII, которой вовсе не отмечалось в проведенной ранее работе со свинцом, и она значимо чаще встречалась у устойчивых сортов. Нами была обнаружена и изоформа GDHIV, но она встречалась слишком редко чтобы можно было делать определенные выводы о ее связи с металлоустойчивостью.

Выводы

Собранные данные свидетельствуют о сложности и неоднозначности в формировании ответа на разные стрессоры, даже если они и имеют сходную природу (как в данном случае – два тяжелых металла). В целом, общие закономерности воспроизводятся для двух ТМ – удается выделить контрастные по устойчивости сорта ячменя и обнаружить связь морфологического и биохимического полиморфизма. Однако, хотя исследованные ферменты так или иначе реагируют на каждый из двух изученных металлов, но состав изоферментных спектров и частота встречаемости каждого компонента спектра могут существенно различаться. При этом, хотя различия между группами контрастных сортов выявляются и у интактных проростков, внесение в среду поллютанта способно заметно и непредсказуемо изменить картину.

Учитывая такие результаты, а также то, что набор контрастных сортов для двух металлов существенно различается, можно с уверенностью заявить, что механизмы устойчивости растений к техногенному стрессу изучены еще недостаточно глубоко. Требуется проведение дополнительных исследований с вовлечением в работу других металлов и, возможно,

иных сельскохозяйственных культур, прежде чем можно будет сделать определенные выводы по этой проблеме и использовать накопленные данные для нужд сельскохозяйственного производства на загрязненных территориях.

Список литературы

1. Seregin I.V., Shpigun L.K., Ivaniov V.B. Distribution and toxic effects of cadmium and lead on maize roots // *Russ. J. Plant Physiol.* 2004. V.51. P. 525–533.
2. Wang C., Wang X., Tian Y., Xue Y., Xu X., Sui Y., Yu H. Oxidative stress and potential biomarkers in tomato seedlings subjected to soil lead contamination // *Ecotoxicology and environmental safety.* 2008. V. 71. P. 685–691.
3. Wu F., Zhang G., Dominy P. Four barley genotypes respond differently to cadmium: lipid peroxidation and activities of antioxidant capacity // *Environ. Exp. Bot.* 2003. V. 50. P. 67–78.
4. Дикарев А.В., Дикарев В.Г., Дикарева Н.С. Контрастные по устойчивости к кадмию сорта ярового двурядного ячменя (*Hordeum vulgare* L.). Достижения молодых ученых в развитии сельскохозяйственной науки и АПК: материалы VII Международной научно-

практической конференции молодых ученых / сост. Н.А. Щербакова, А.П. Селиверстова // *Соленое Займище: ФГБНУ «ПНИИАЗ»*, 2018. С. 185–189.

5. Дикарев А.В., Дикарев В.Г., Дикарева Н.С., Гераськин С.А. Внутривидовой полиморфизм ярового ячменя (*Hordeum vulgare* L.) по устойчивости к действию свинца // *Сельскохозяйственная биология.* 2014. № 5. С. 78–87.

6. ГОСТ 12038-84. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести. М.: Стандартинформ, 2010. 25 с.

7. Дикарев А.В., Дикарев В.Г., Гераськин С.А., Дикарева Н.С. Исследование изозимного полиморфизма у сортов ярового ячменя (*Hordeum vulgare* L.), контрастных по устойчивости к свинцу // *Сельскохозяйственная биология.* 2016. Т. 51. № 1. С. 89–99.

8. Manchenko G.P. Handbook of detection of enzymes on electrophoretic gels. New York: CRC Press, 1994. 268 p.

9. Зыкова Н.Ю., Лапкина О.С., Хлоповских Ю.Г. Методы математической обработки данных. Воронеж: Издательско-полиграфический центр Воронежского Государственного Университета, 2008. 84 с.

THE INVESTIGATION OF BIOCHEMICAL CAUSES OF SPRING BARLEY PLANTS TOLERANCE TO CADMIUM BY THE ISOENZYME ANALYSIS METHOD

Dikarev A.V., Dikarev V.G., Dikareva N.S.

Russian Institute of Radiology and Agroecology, 249032 Kaluga region, Obninsk, Kievskoe shosse 109 km, Russian Federation

The causes of spring barley variants sensitivity and tolerance to cadmium toxic influence were investigated by the method of isoenzyme analysis. For this task a two groups of barley variants were selected (sensitive and tolerant to cadmium; at each group a seven barley variants were included). Cadmium contrasting variants were selected earlier on the base of its reactions to toxic stress on morphological level. At current work activity zones of some enzymes, which have a connection with the stress tolerance, were detected. Appearance frequencies of all ferments activity zones were assessed by the Fisher angle transformation method. After that, we made conclusions about connection of some enzyme locuses with the barley cadmium tolerance. A genetic nature of the plant's organism response to the environmental stress was proven by discovering of some specific alleles, which have a connection with the sensitivity or tolerance to Cd²⁺. A reliability of this assumption was demonstrated by the fact that such effects can be found on intact seedlings also. The collected data was compared with such for lead (it was received at previous research). We discovered that tolerance to two heavy metals is determined by different isozymes.

Keywords: *cadmium, spring barley, intraspecific polymorphism, tolerance to heavy metals, isoferments*

УДК 631.8;631.465;633.16

ВЛИЯНИЕ ОРГАНО-МИНЕРАЛЬНОГО КОМПЛЕКСА ГЕОТОН И МИКРОБНЫХ ПРЕПАРАТОВ НА УРОЖАЙНОСТЬ ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ И ФЕРМЕНТАТИВНУЮ АКТИВНОСТЬ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЫ НЕЧЕРНОЗЕМЬЯ

Ефимова Е.С., Пименов Е.П., Суслов А.А.

*ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии»
249032 Калужская область, г. Обнинск, Киевское шоссе, 109 км, Российская Федерация*

Изучали влияние микробных препаратов и органо-минерального комплекса ГЕОТОН на полевую урожайность семян ячменя сорта «Нур» в зоне Нечерноземья России, на территории Калужской области, а также на активность почвенных ферментов инвертазы, уреазы и дегидрогеназы. Установлено изменение ферментативной активности в почве и урожайности ячменя под действием изученных препаратов.

Ключевые слова: дерново-подзолистая почва, органо-минеральный комплекс ГЕОТОН, яровой ячмень, микробные препараты, ферментативная активность почвы

Перед сельским хозяйством XXI века стоит задача гарантированного получения экологически чистых урожаев сельскохозяйственных культур [1]. Одним из путей обеспечения оптимальных условий роста и развития растений является применение биопрепаратов, стимулирующих функционирование почвенного микробного сообщества [2].

Фундаментальное изучение учеными ФГБУН «НИИСХ Крыма» свойств микроорганизмов прикорневой зоны растений сделало возможным разработку и широкое использование ряда микробных препаратов в технологических схемах выращивания сельскохозяйственных культур [3, 4].

Во Всероссийском научно-исследовательском институте радиологии и агроэкологии (ВНИИРАЭ) создано уникальное удобрение – органо-минеральный комплекс ГЕОТОН, отличительная особенность которого состоит в высоком содержании органического вещества (до 12 %) и наличии минеральных питательных веществ для растений [5-7].

Хорошим индикатором биологической активности почвы является ее ферментативная активность. Почвенные ферменты играют важную роль в метаболических процессах [8]. Ферменты дегидрогеназы относятся к классу оксидоредуктаз, а инвертазы и уреазы - к гидролазам. Эти классы ферментов имеют наибольшее значение в почвенной биодинамике [9].

Цель исследования: изучить влияние органо-минерального комплекса ГЕОТОН и микробных препаратов на урожайность ярового ячменя и

ферментативную активность дерново-подзолистой почвы (дегидрогеназы, инвертазы и уреазы) в период активного потребления элементов питания растениями (фаза цветения – молочная спелость растений).

Эксперименты проводили в период 2015 - 2017 гг. на опытном поле ФГБНУ ВНИИРАЭ. Площадь делянки – 2,25м². Повторность опыта – четырехкратная с рендомизированным размещением вариантов. Сорт ярового ячменя – Нур.

Почва дерново-подзолистая легкосуглинистая: р_{HCl} – 4,7; гидролитическая кислотность – 4,12 мг•экв./100 г почвы; содержание гумуса – 1,2 %; содержание подвижного фосфора и обменного калия – 124 и 135 мг/кг почвы, Ca и Mg – 1,17 и 0,21 мг-экв./100 г почвы, соответственно, сумма поглощенных оснований – 1,80 мг-экв./100 г почвы.

В исследованиях использовали ГЕОТОН в разведениях водой в отношении 1:60 и 1:80, а также микробные препараты, разработанные ФГБУН «НИИСХ Крыма»: ризоагрин на основе ассоциативного азотфиксатора *Agrobacterium radiobacter* 204), фосфоэнттерин (на основе фосфатмобилизатора *Enterobacter nimipressuralis* 32-3), биополицид (на основе антагониста фитопатогенов *Paenibacillus polymyxa* П). Бактеризацию семян суспензиями микробных препаратов проводили в день посева из расчета 0,3 мл препарата (по массе зерна на делянке). Одновременно, согласно схеме опыта (табл. 1), вносили и ГЕОТОН в соответствующих разведениях.

Таблица 1

Урожайность ярового ячменя при использовании ГЕОТОНа и микробных препаратов, ц/га

Вариант	2015 г	2016 г	2017 г	Среднее
Контроль (вода)	13,1	12,3	7,8	11,0
ГЕОТОН 1:60	14,0	10,7	9,3	11,3
ГЕОТОН 1:80	13,9	16,0	7,6	12,5
Биополицид (БСП)	13,7	17,2	8,0	13,0
Фосфоэнттерин (ФМБ)	12,8	14,1	9,8	12,2
Ризоагрин (р/а)	13,8	15,1	9,4	12,8
ГЕОТОН 1:60+БСП	14,3	17,8	8,2	13,4
ГЕОТОН 1:80+БСП	13,8	16,1	7,0	12,3
ГЕОТОН 1:60+ФМБ	17,0	21,1	6,7	14,9
ГЕОТОН 1:80+ФМБ	16,0	22,4	8,5	15,6
ГЕОТОН 1:60+р/а	15,3	24,2	8,2	15,9
ГЕОТОН 1:80+р/а	15,0	24,3	8,1	15,0
НСР ₀₅	0,4	1,3	3,1	3,84

Активность ферментов определяли колориметрическими методами: инвертазу – с динитросалициловой кислотой, уреазу – с нитропруссидом натрия, дегидрогеназу – с трифенилтетразолием хлористым [10].

Отбор растительных и почвенных образцов и статистическую обработку результатов эксперимента проводили по Б.А. Доспехову [11].

Полученные данные урожайности ярового ячменя свидетельствуют об эффективности действия ГЕОТОНа и микробных препаратов, как при отдельном, так и совместном применении (таблица 1). Во всех вариантах наблюдается увеличение урожая растений по сравнению с контролем. При совместном использовании микробных препаратов и ГЕОТОНа в 2015 г. в концентрации 1:60, урожайность ячменя была выше в сравнении с разведением 1:80. Так, в варианте ГЕОТОН 1:60+ФМБ этот показатель составил 17 ц/га, что на 1,0 ц/га выше относительно варианта ГЕОТОН 1:80+ ФМБ.

На основании результатов, приведенных в таблице 2, можно сделать вывод, что как отдельное, так и совместное применение микробных препаратов и геотона положительно влияло на активность инвертазы и дегидрогеназы в почве.

Максимальное значение активности инвертазы отмечено в вариантах ГЕОТОН 1:80+ризоагрин (66,8 мг $C_6H_{12}O_6/1$ г за 4 ч) и ГЕОТОН 1:80+ФМБ (66,7 мг $C_6H_{12}O_6/1$ г за 4 ч), а дегидрогеназы - в варианте с использованием микробного препарата биополицид (122,0 мг ТТХ/10 г за 24 ч).

Активность уреазы превышала контрольный вариант только в варианте с биополицидом (БСП). Во всех вариантах с применением ГЕОТОНа активность фермента была ниже контроля. Возможно, полученные результаты связаны с тем, что в состав ГЕОТОНа входит мочевины, в отношении которой уреазы является строго специфичным ферментом.

Проведенные ранее исследования показали, что как отдельное, так и совместное применение микробных препаратов и ГЕОТОНа способствовало увеличению численности полезных микроорганизмов в почве, а также увеличению доступности основных элементов питания – азота, фосфора и калия [12-13].

Таким образом, использование ГЕОТОНа и микробных препаратов положительно сказывается на урожайности сельскохозяйственных культур, а также значительно увеличивает активность таких почвенных ферментов как инвертаза и дегидрогеназа.

Таблица 2

Ферментативная активность почвы при использовании ГЕОТОНа и микробных препаратов (молочная спелость ярового ячменя, среднее за 2015 – 17 гг.)

Вариант	Активность инвертазы, мг $C_6H_{12}O_6/1$ г за 4 ч	Активность уреазы, мг $NH_4/2$ г за 24 ч	Активность дегидрогеназы, мг ТТХ/10 г за 24 ч
Контроль (вода)	31,4	14,0	43,4
ГЕОТОН 1:60	48,8	6,5	93,4
ГЕОТОН 1:80	60,9	12,1	81,0
Биополицид (БСП)	51,4	16,1	122,0
Фосфоэнтэрин (ФМБ)	44,1	11,8	96,5
Ризоагрин (р/а)	58,0	10,2	115,3
ГЕОТОН 1:60+БСП	36,4	4,8	75,5
ГЕОТОН 1:80+БСП	47,3	8,7	83,3
ГЕОТОН 1:60+ФМБ	54,0	10,2	88,1
ГЕОТОН 1:80+ФМБ	66,7	13,1	67,2
ГЕОТОН 1:60+р/а	51,1	8,1	83,4
ГЕОТОН 1:80+р/а	66,8	9,3	84,4
НСР ₀₅	3,3	1,3	3,0

Список литературы

1. Жученко А.А. Биологизация и экологизация интенсификационных процессов в сельском хозяйстве // Вестник ОрелГАУ. 2009.- №18(3). с. 8-12.

2. Цавкелова Е.А. и др. Микроорганизмы – продуценты стимуляторов роста растений и их практическое применение // Прикладная биохимия и микробиология. 2006. Т. 42. № 2. С. 133-143.

3. Мельничук Т.Н. и др. Биохимические аспекты взаимодействия ризобактерий и растений // Univer-sum: химия и биология. 2014. №7 (7).

4. Сидоренко О.Д. Перспективы использования микробиологических препаратов на основе микроорганизмов // Известия ТСХА.-2012.-№6.- с 707-709.

5. Эффективность использования препарата ГЕОТОН в условиях центрального региона

Российской Федерации / А.Н. Ратников, Н.И. Санжарова, Д.Г. Свириденко [и др.] // Достижения Науки и техники АПК. 2015. Т.29. №5 с. 36-39.

6. Патент 2490241 РФ, МПК C05F 11/02, C05D 9/02. Органо-минеральное комплексное удобрение и способ его получения / Ратников А.Н., Санжарова Н.И., Петров К.В., Жигарева Т.Л., Свириденко Д.Г., Попова Г.И., Бочкарев С.Н., Иванов И.А., Ульрих В.И.; патентообладатель ГНУ Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной радиологии и агроэкологии. № 2012102125/13; заявл. 23.01.2012; опубл. 20.08.2013, Бюл. № 23. 9 с.

7. Ратников А.Н. Применение нового биологически активного органо-минерального комплекса GEOTON в технологиях возделывания зерновых культур и кукурузы / А.Н. Ратников., Н.И. Санжарова, К.В. Петров [и др.]. Обнинск: ФГБНУ ВНИИРАЭ, 2017. 30 с.

8. Хазиев Ф.Х., Гулько А.Е. Ферментативная активность почв агроценозов и перспективы ее изучения // Почвоведение. 1991. № 8. С. 88-103.

9. Щербакова Т.А. Ферментативная активность почв и трансформация органического. Минск: Наука и Техника, 1983. 222 с.

10. Хазиев Ф.Х. Методы почвенной энзимологии. Ин-т биологии Уфим.Н.Ц. М.: Наука, 2005. 252 с.

11. Доспехов Б.А. Методика полевого. М.: Колос, 1985. 336 с.

12. Влияние GEOTONa и микробных препаратов на аммонифицирующие и амилолитические микроорганизмы прикорневой зоны ярового ячменя (*Hordeum vulgare* L.). // А.А. Суслов, Д.Г. Свириденко, С.П. Арышева, [и др.] Проблемы агрохимии и агроэкологии. 2017. № 3. С. 40-44.

13. Влияние GEOTONa и микробных препаратов на олигонитрофильные микроорганизмы в прикорневой зоне ярового ячменя. / А.А. Суслов, Д.Г. Свириденко, Е.П. Пименов, [и др.] Таврический вестник аграрной науки. 2018. №3 (15). С. 112-121.

EFFECT OF THE GEOTON, ORGANIC-MINERAL COMPLEX, AND MICROBIAL PREPARATIONS ON THE YIELD OF SPRING BARLEY AND THE ENZYME ACTIVITIES OF SOD-PODZOLIC SOIL OF THE NON-BLACK EARTH REGION

Yefimova Ye.S., Pimenov E.P., Suslov A.A.

Russian Institute of Radiology and Agroecology, 249032 Kaluga region, Obninsk, Kievskoe shosse 109 km, Russian Federation

The effect of GEOTON, organo-mineral complex, and microbial preparations on the barley yield of varieties of "Nur" in the area of non-Chernozem zone of Russia, in the Kaluga region, as well as on the activity of soil enzymes, invertase, urease and dehydrogenase was studied. The change of enzymatic activity in the soil and barley yield under the action of the studied preparations was established.

Keywords: *sod-podzolic soil, GEOTON - organic-mineral complex, spring barley, microbial preparations, soil enzymatic activity*

УДК 631.4145:574.2

ВЛИЯНИЕ Zn НА НАКОПЛЕНИЕ Cd ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЕЙ ИЗ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЫ

Лохматова А.А., Ефремова М.А., Пинаева А.С.

*Санкт-Петербургский государственный аграрный университет
196601 Санкт-Петербург, Пушкин, Петербургское ш., д.2, Российская Федерация
e-mail: anastasiia.lokhmatova@gmail.com*

В вегетационном опыте изучалась динамика накопления кадмия пшеницей из искусственно загрязненной дерново-подзолистой почвы. В процессе роста пшеницы наблюдалось снижение коэффициентов накопления Cd из почвы, что связано с эффектом биологического разбавления. Динамика накопления Cd пшеницей в период ее роста хорошо описывается обратной линейной зависимостью. Влияние Zn на накопление Cd пшеницей из почвы было рассмотрено на семи временных точках роста данной культуры. В течение вегетационного периода различия в накоплении Cd растениями контрольного варианта и варианта с Zn возрастали. В среднем по опыту загрязнение почвы цинком привело к снижению концентрации Cd в растениях и его коэффициентов накопления в 1,2 раза.

Ключевые слова: *кадмий, цинк, дерново-подзолистая почва, пшеница*

Несмотря на широкую распространённость в окружающей среде, кадмий редкий и довольно рас-сеянный элемент. В земной коре кларк кадмия со-ставляет $1,3 \times 10^{-5} \%$ [1]. К естественным источникам кадмия в почве относят прежде всего горные породы, из продуктов выветривания которых сформировался почвенный покров [2, 3]. Поступление кадмия в окру-жающую среду, связанное с антропогенной деятель-ностью, значительно превышает естественное [4, 5], оно обеспечено выбросами предприятий и транс-порта, применением удобрений. По сравнению с другими тяжёлыми металлами кадмий легко мигри-рует по пищевой цепи, накапливаясь в биологиче-ских организмах. Можно предположить, что уровень накопления растениями кадмия из почвы может за-висеть от концентрации в почве его химического аналога, цинка. Близость химических свойств этих элементов подтверждается тем, что кадмий в виде изоморфной примеси всегда содержится в минера-лах цинка.

Для изучения взаимодействия кадмия и цинка в системе почва-растение нами был заложен вегета-ционный опыт. В опыте выращивалась яровая пшеница сорта Сударыня на дерново-подзолистой почве. Схема опыта состояла из двух вариантов: 1) $N_{0,15}P_{0,10}K_{0,10}+Cd$; 2) $N_{0,15}P_{0,10}K_{0,10}+Cd+Zn$. Повторность опыта – трёхкратная. В качестве фона в почву была внесена азофоска (N:P:K=16:16:16). При закладке опыта вся почва была искусственно загрязнена кад-мием и ртутью, но в данной статье подвижность ртути в системе почва-растение не рассматривается.

Тяжёлые металлы были внесены в почву в виде рас-творов ацетатов кадмия и цинка.

Пшеница выращивалась в сосудах Кирсанова, вмещающих 5 кг почвы. Почва – дерново-подзоли-стая среднесуглинистая, среднеокультуренная, с по-вышенным содержанием органического вещества (4,05 %), близкой к нейтральной реакцией среды ($pH_{KCl} 5,76$), высоким содержанием подвижного фос-фора (153,6 мг P_2O_5/kg) и низким – подвижного калия (51,5 мг K_2O/kg). Влажность почвы в период роста рас-тений поддерживалась на уровне 70 % от полной по-левой влагоемкости. Образцы почвы и растений от-бирались с интервалом в 5 суток на 19, 24, 29, 34, 39, 44, 49 сутки роста пшеницы в трех повторностях. Воз-раст растений отсчитывали от наступления фазы про-ростков. Уборка растений была окончена в фазу начала колошения. В сосуде произрастало 20 расте-ний.

Содержание кадмия в растениях и почвенных об-разцах было определено на атомно-абсорбционном спектрометре с электротермической атомизацией марки Shimadzu AA-7000. Подготовка растительных образцов к измерению проведена методом их мок-рого озоления в смеси азотной и хлорной кислот. Подготовка почвенных образцов заключалась в их обработке 5M азотной кислотой при кипячении в те-чение трех часов.

Масса растений пшеницы существенно изменя-лась со временем (табл. 1). Между вариантами значи-тельных отклонений по массе растений не выявлено.

Таблица 1

Динамика массы пшеницы, г/25 растений

Возраст растений, сутки	19	24	29	34	39	44	49	НСР ₀₅
NPK+Cd	2,04	3,93	4,01	5,26	6,43	9,94	12,31	1,58
NPK+Cd+Zn	1,79	2,51	3,38	4,71	5,88	10,19	11,12	1,05

Содержание кислоторастворимого кадмия в почве существенно не изменялось в период роста пшеницы (табл. 2), однако в варианте с загрязнением почвы цинком можно отметить некоторую тенден-цию увеличения концентрации Cd. Для этого

варианта характерно усиление связи между содер-жанием кадмия в почве и растениях ($R=0,576$), по сравнению с контрольным вариантом, где эта связь не обнаружена ($R=0,091$).

Таблица 2

Динамика концентрации Cd в почве и растениях, мг/кг

Возраст растений, сутки	19	24	29	34	39	44	49
	растения						
NPK+Cd	4,16 ± 1,25	3,60 ± 1,08	3,91 ± 1,17	3,31 ± 0,99	3,45 ± 1,04	2,69 ± 0,81	2,65 ± 0,80
NPK+Cd+Zn	2,29 ± 0,69	2,94 ± 0,88	2,80 ± 0,84	3,33 ± 1,00	3,18 ± 0,95	2,56 ± 0,77	1,93 ± 0,58
	почва						
NPK+Cd	4,09 ± 1,23	3,45 ± 1,04	3,29 ± 0,99	3,39 ± 1,02	4,02 ± 1,21	4,30 ± 1,29	3,04 ± 0,91
NPK+Cd+Zn	1,93 ± 0,58	3,29 ± 0,99	3,71 ± 1,11	3,54 ± 1,06	4,79 ± 1,44	4,17 ± 1,25	3,00 ± 0,90

Наибольшее накопление Cd пшеницей наблюдалось в контрольном варианте. В среднем за весь период вегетации концентрация кадмия в растениях контрольного варианта была в 1,22 раза больше, чем в варианте с внесением Zn. Наибольшие различия наблюдались в начальный период роста пшеницы (фаза начала кущения, возраст растений 19 суток) – 1,82 раза. Однако на всех точках роста пшеницы различия по концентрации кадмия не были существенными.

Коэффициент накопления (КН) кадмия пшеницей рассчитывался как отношение концентрации металла в растениях к его концентрации в почве. В обоих

вариантах опыта КН кадмия снижались во времени (рис. 1).

Корреляционный анализ показал, что динамика КН кадмия в контрольном варианте хорошо описывается линейной зависимостью с высоким, достоверным коэффициентом корреляции, в варианте с загрязнением почвы цинком коэффициент корреляции средний. Корреляционная зависимость между КН Cd растениями и содержанием элемента в почве не обнаружена. Корреляционная связь между КН Cd в растениях и массой пшеницы в изучаемом периоде ее роста высокая отрицательная ($R = -0,78$ в обоих вариантах), что является проявлением эффекта биологического разбавления.

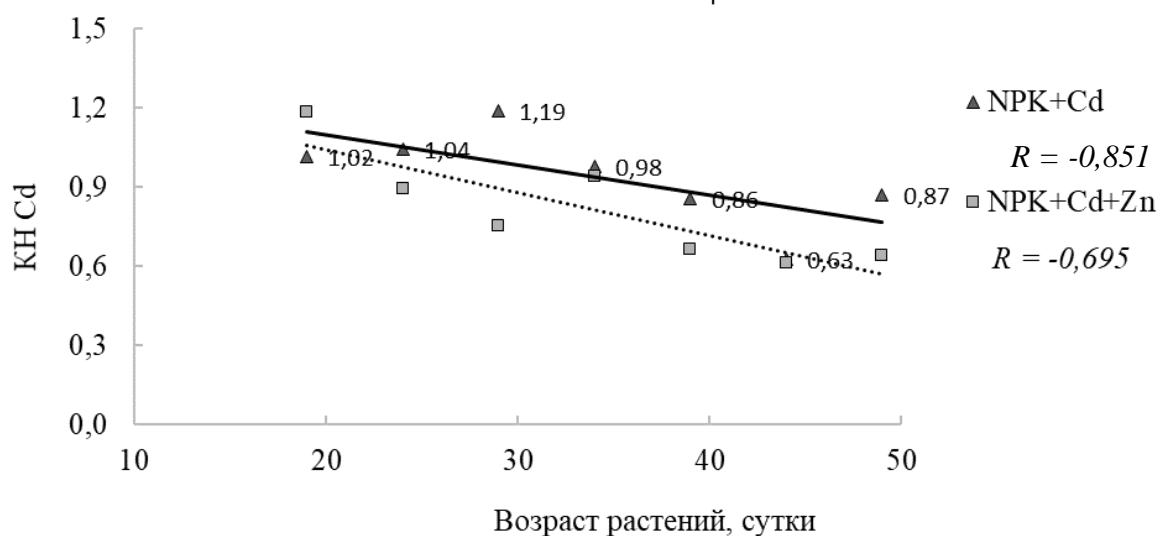


Рисунок 1 – Динамика коэффициентов накопления Cd в пшенице

С течением времени различия между коэффициентами накопления Cd растениями двух вариантов возрастали. По-видимому, при увеличении объема корневой системы растений возрастала конкуренция между химическими элементами-аналогами, Cd и Zn, в системе почвенный раствор–корень растения за места сорбции на поверхности корня.

По результатам вегетационного опыта можно сделать следующие выводы:

- 1) в процессе роста пшеницы наблюдалось снижение КН Cd из почвы, что связано с эффектом биологического разбавления;
- 2) динамика КН кадмия хорошо описывается линейной зависимостью;
- 3) в среднем по опыту загрязнение почвы цинком привело к снижению концентрации Cd в растениях и его коэффициентов накопления в 1,2 раза.

Список литературы

1. Исидоров В.А. Введение в химическую экотоксикологию: Учебное пособие. СПб.: Химиздат, 1999. 144 с.
2. Алексеенко В.А., Алешукин Л.В., Безпалько Л.Е., Добровольский В.В. Цинк и кадмий в окружающей среде. М.: Наука, 1992. 200 с.
3. Водяницкий Ю.Н. Свойства тяжелых металлов и металлоидов в почвах // Агрехимия. 2009. № 8. С. 85-94
4. Безуглова О. С., Орлов Д. С. Биогеохимия. Ростов-на-Дону: Феникс, 2000. 320 с.
5. Немцев Н.С. Технологические приемы, направленные на восстановление загрязненных тяжелыми металлами почв // Вест.РАСХН. 2003. №1. С. 13-15.

THE EFFECT OF Zn ON THE ACCUMULATION OF Cd BY SPRING WHEAT FROM SOD-PODZOLIC SOIL

Lokhmatova A.A., Efremova M.A., Pinaeva A.S.

The dynamics of cadmium accumulation by wheat from artificially polluted sod-podzolic soil was studied in the vegetation experiment. During the growth of wheat, the coefficients of cadmium accumulation by plants from the soil decreased. It is associated with the effect of biological dilution. The dynamics of Cd accumulation by wheat during its growth is well described by the inverse linear dependence. The influence of Zn on the accumulation of Cd by wheat from the soil was considered at seven time points of growth of the crop. During the growing season, differences in Cd accumulation by plants of the control option and the option with Zn increased. On average, soil contamination with zinc led to a decrease in the concentration of Cd in plants and its accumulation coefficients by 1.2 times.

Keywords: cadmium, zinc, sod-podzolic soil, wheat

УДК 631.811.98;577.34

АГРОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТРАДИЦИОННЫХ И НОВЫХ УДОБРЕНИЙ НА РАДИОАКТИВНО ЗАГРЯЗНЕННОЙ ТОРФЯНО-БОЛОТНОЙ ПОЧВЕ

Мезина М.В., Андреева Н.В., Белова Н.В.

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии»

249032 Калужская область, г. Обнинск, Киевское шоссе, 109 км, Российская Федерация

e-mail: shishulina2005@yandex.ru

В условиях вегетационного опыта изучено влияние традиционных минеральных удобрений и новых мелиорантов (Борофоска, Нитроборофоска, СУПРОДИТ) на агрохимические свойства, формы нахождения ^{137}Cs и его поступление в растения ячменя из торфяно-болотной почвы. Установлено, что при внесении Борофоски содержание подвижного фосфора увеличилось на 221 мг/кг, обменного калия – на 19,6 мг/кг по отношению к контролю. Содержание обменного ^{137}Cs в торфяно-болотной почве оказалось незначительным – 0,2-0,5 % от общего содержания радионуклида в почве. Внесение минеральных удобрений в ряде случаев увеличивало содержание обменного ^{137}Cs в 1,5-2 раза. Внесение СУПРОДИТа способствовало снижению коэффициента накопления ^{137}Cs (КН) растениями ячменя в 4,2 раза при возрастании продуктивности на 209 % по сравнению с контрольным вариантом.

Ключевые слова: агроэкологическая оценка, торфяно-болотная почва, радиоактивное загрязнение, удобрения

Введение

Многолетние исследования показали эффективность применения традиционных минеральных и органических удобрений как в отношении повышения плодородия почв, так и для снижения накопления ^{137}Cs в урожае. Также были разработаны и испытаны новые виды удобрений и мелиорантов, способных оказывать значительное положительное действие на урожай и качество культур, возделываемых на радиоактивно загрязненных территориях [1-2].

В данной работе была поставлена цель - провести агроэкологическую оценку эффективности применения традиционных и новых удобрений на радиоактивно загрязненной торфяно-болотной почве. Торфяно-болотные почвы характеризуются высокими коэффициентами перехода радионуклидов в растения, что создает высокие риски получения радиоактивно-загрязненной сельскохозяйственной продукции.

Для достижения поставленной цели было необходимо изучить влияние новых и традиционных удобрений на агрохимические свойства почвы, формы нахождения ^{137}Cs в почве, продуктивность

сельскохозяйственных культур, накопление ^{137}Cs растениями.

Материалы и методы

Исследования проводили в условиях вегетационного опыта при искусственном внесении радионуклида в почву. ^{137}Cs был внесен в виде азотнокислого раствора в количестве $60 \cdot 10^4$ Бк/сосуд (удельная активность $1.7 \cdot 10^5$ Бк /кг).

В качестве традиционных минеральных удобрений были выбраны: аммиачная селитра, суперфосфат, хлористый калий. Новые удобрения (агромелиоранты), взятые для проведения эксперимента: Борофоска, Нитроборофоска, Супродит.

Опыт был заложен по следующей схеме: 1. Контроль; 2. Борофоска - 1 доза (Б1); 3. Борофоска - 2 дозы (Б2); 4. Нитроборофоска - 1 доза (НБ1); 5. Нитроборофоска - 2 дозы (НБ2); 6. Супродит - 1 доза (С1); 7. Супродит - 2 дозы (С2); 8. РК - эквивалент Борофоска (1 доза) (ЭБ1); 9. НРК - эквивалент Нитроборофоска (1 доза) (ЭНБ1); 10. НРК - эквивалент Супродит (1 доза) (ЭС1).

В опыте использовали ячмень сорта «Михайловский». В течение вегетационного периода влажность

почвы в вегетационных сосудах поддерживали на уровне 60 % от полной влагоемкости. Растения убирали в фазе колошения (30 дней).

Основные агрохимические показатели определяли общепринятыми методами. Формы нахождения ^{137}Cs в почве определяли методом последовательной экстракции, основанном на вытеснении радионуклидов растворами нейтральных солей и кислот различной нормальности [3]. В образцах почв и растений гамма-спектрометрическим методом определяли содержания ^{137}Cs на программируемой спектрометрической системе на базе многоканального программируемого анализатора типа IN -1200 фирмы "Интертехника" Эффективность регистрации данного детектора составляет 38 %. Ошибка измерений составляет не более 10 %. Концентрацию стабильных элементов К, Са, Mg измеряли методом атомной абсорбции в воздушно-ацетиленовом пламени на приборе Varian SpectrAA 250+.

Результаты и их обсуждение

Влияние удобрений на агрохимические свойства почвы. Внесение минеральных удобрений не повлияло на кислотно-основные свойства торфяной почвы. Показатели гидролитической кислотности находились в пределах 7,31-7,41, а суммы обменных оснований – 92-118 мг-экв/100 г.

Наиболее существенное увеличение содержания подвижного фосфора в почве отмечено в варианте Б2, среднее значение показателя - 256 мг/кг, при значении на контроле 35 мг/кг. В вариантах Б1 и НБ2 разница с контролем по содержанию подвижного фосфора составила 153-157 мг/кг, а в варианте НБ1 – 97 мг/кг. В варианте с внесением Супродита прирост показателя несколько ниже и составил 35-70 мг/кг. При внесении традиционных минеральных удобрений значения данного показателя возросли не так значительно, как при внесении новых форм удобрений.

Содержание обменного калия статистически значимо возросло только в варианте с применением 2 доз Борофоски и составило 78,2 мг/кг. По остальным вариантам опыта значения данного показателя варьировали в пределах 50-68 мг/кг почвы.

Влияние удобрений на формы нахождения ^{137}Cs в почве. В исследуемой почве наблюдалось очень низкое содержание ^{137}Cs в обменной форме - 0,20-0,54 % от общей удельной активности. Так в почве на контроле значения данного показателя составили 0,33 %. Статистически значимо возросло содержание обменного ^{137}Cs в вариантах: НБ2, С2, ЭС1 (на 42-45 % к контролю) и ЭБ1 (на 64 %). Достоверного снижения содержания обменной формы радионуклида не отмечено ни в одном варианте опыта (рис. 1).

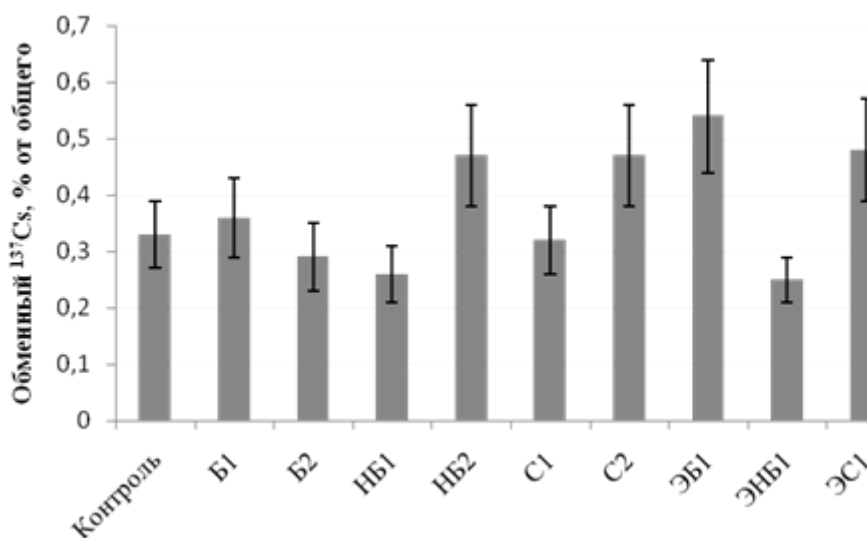


Рисунок 1 – Содержание ^{137}Cs в обменной форме при внесении разных форм минеральных удобрений в торфяно-болотную почву, % от общего содержания в почве

Можно заключить, что внесение минеральных удобрений, как в традиционных, так и в новых формах, может способствовать мобилизации соединений ^{137}Cs в почве, что выражается в увеличении содержания радионуклида в обменной форме нахождения. Внесение минеральных удобрений, в частности азотных, приводит к увеличению концентрации катиона NH_4^+ в почвенном растворе, что может вызвать десорбцию радиоцезия с поверхности минералов и переход радионуклида в почвенный раствор [4-5]

Влияние удобрений на продуктивность и накопление ^{137}Cs в растениях ячменя. Несмотря на то, что содержание ^{137}Cs в обменной форме было незначительным, значения КН оказались достаточно высокими и варьировали от 0,91 до 3,37 (табл. 1).

Исследователями отмечается, что поведение ^{137}Cs в системе почва - почвенный раствор – растение зависит от ряда факторов. В случае торфяных почв: степени минерализации торфа, его кислотности, ЕКО и свойств органического вещества [6].

Возможно образование различных по устойчивости радионуклид-органических соединений [7]. В данном случае сыграли роль два фактора: наличие глинистых минералов (специфически сорбирующих радиоцезий) и органическое вещество, особым образом регулирующее поступление ^{137}Cs в растения.

Закономерно, что максимальный эффект по снижению накопления ^{137}Cs в растениях был отмечен в варианте С2 (Ксн=4,2). Очевидно, что основную роль сыграли сорбирующие свойства СУПРОДИТА. Надо

отметить, что эффект СУПРОДИТА зависит от дозы внесения, при этом 1 доза не показывает стабильного результата по ряду параметров. Это указывает на необходимость дальнейших исследований по подбору оптимальных доз данного агроулучшителя.

Биомасса ячменя значимо возросла по сравнению с контролем по всем вариантам опыта кроме НБ1. Прибавка составила от 92 до 209 %. Наибольший эффект отмечался в варианте С2, где также было установлено максимально снижение КН ^{137}Cs .

Таблица 1

Влияние удобрений на коэффициент накопления (КН), кратность снижения (Ксн) ^{137}Cs и продуктивность растений ячменя

Вариант	КН ^{137}Cs	Ксн	Продуктивность	
			30 дней, г	+/- % к контролю
Контроль	3,56	-	14,10	-
Борофоска 1 доза	1,85	1,9	27,13	92
Борофоска 2 дозы	1,27	2,8	29,44	109
Нитроборофоска 1доза	2,69	1,3	21,97	56
Нитроборофоска 2дозы	2,02	1,8	27,19	93
Супродит 1доза	2,19	1,6	27,36	94
Супродит 2дозы	0,84	4,2	43,62	209
РК-экв. вар-ту 2	1,80	2,0	32,23	129
НРК-экв. вар-ту 4	1,77	2,0	29,89	112
НРК-экв. вар-ту 6	2,32	1,5	40,70	189
НСП _{0,5}	0,98	-	12,76	-

В данном случае трудно отделить влияние эффекта разбавления и сорбции ^{137}Cs глинистыми минералами, входящими в состав СУПРОДИТА. В данном случае, очевидно, что фактор присутствия глинистых минералов будет являться одним из ведущих как для роста растений, так и для ограничения поступления в них радионуклидов. Добавление глинистых минералов в органогенные почвы существенно изменяет их катионно-обменные свойства, что создает лучшие условия для питания растений.

Исходя из результатов опыта, можно рекомендовать применение СУПРОДИТА на радиоактивно загрязненных органогенных почвах для получения высоких урожаев нормативно-чистой продукции растениеводства.

Список литературы

1. Прудников П.В., Санжарова Н.И., Прудников С.П. Испытания новых мелиорантов на радиоактивно загрязненных территориях Брянской области // Агрехимический вестник, 2010 №2. с. 15-19.

2. Жигарева Т.Л., Ратников А.Н., Санжарова Н.И. и др. Реабилитация сельскохозяйственных угодий, подвергшихся техногенному загрязнению // Проблемы радиологии и агроэкологии. Обнинск, 2012. с. 236-244.

3. Павлоцкая Ф.И. Миграция радиоактивных продуктов глобальных выпадений в почвах М.: Атомиздат, 1974. 216 с.

4. Smolders E., Van den Brande K., Merckhx R. Concentrations of ^{137}Cs and K in soil solution predict the plant availability of ^{137}Cs in soils // Environ. Sci. Technol. 1997. V.31. P. 3432 – 3438.

5. Waegeneers N., Camps M., Smolders E., Merckh R. Genotypic effects in phytoavailability of radiocaesium are pronounced at low K intensities in soil // Plant and soil. 2001. V. 235. P. 11–20.

6. Подворко Г.А. Закономерности миграции ^{137}Cs в болотных лугах в отдаленный период после аварии на Чернобыльской АЭС: автореф. дисс. ... к.б.н. Обнинск, 2004. 24с.

7. Агапкина Г.И. ^{137}Cs в жидкой фазе почв природных биогеоценозов // Почвоведение, 2002 № 9 – с. 1121–1128.

AGROECOLOGICAL ASSESSMENT OF THE EFFECTIVENESS OF TRADITIONAL AND NEW FERTILIZERS IN THE CONTAMINATED PEAT-BOG SOIL

Mezina M.V., Andreeva N.V., Belova N.V.

Russian Institute of Radiology and Agroecology, 249032 Kaluga region, Obninsk, Kievskoe shosse 109 km, Russian Federation

In the conditions of a pot experiment studied the influence of traditional mineral fertilizers and new ameliorants (Borophoska, Nitroborophoska, SUPRADIT) on agrochemical properties, ^{137}Cs mobility and its supply to barley plants from peat soil. It was found that the content of mobile phosphorus increased by 221 mg/kg, exchangeable potassium – by 19.6 mg/kg in relation to the control. The content of exchangeable ^{137}Cs in peat-bog soil was insignificant – 0.2-0.5 % of the total radionuclide content in the soil. Application of mineral fertilizers in some cases increased the content of the exchangeable ^{137}Cs by 1.5-2 times. SUPRADIT application contributed to the reduction of the transfer factor of ^{137}Cs (TF) to plants of barley in 4.2 times while increasing productivity by 209 % compared to control variant.

Keywords: *agroecological assessment, peat bog soil, radioactive contamination, fertilizers*

УДК 631.421

ПОСТУПЛЕНИЕ В ПОЧВУ БИОГЕННЫХ ВЕЩЕСТВ ПРИ ДОЖДЕВАНИИ

Прущик А.В.

*ФГБНУ «Курский ФАНЦ», ВНИИЗиЗПЭ
305021 г. Курск, ул. К-Маркса, 70б, Россия
E-mail: model-erosion@mail.ru*

В статье представлены результаты эксперимента по влиянию концентрации биогенных веществ (на примере NH_4) в дождевой воде на поступление в почву, используя метод дождевания.

Ключевые слова: *биогенные вещества, метод дождевания, коэффициент экстракции*

К одним из многочисленных источников агрогенного загрязнения почв относят минеральные удобрения. Ежегодно возрастает объем внесения удобрений при выращивании сельскохозяйственных культур, тем самым увеличивая нагрузку на почву и окружающую среду. Поэтому важно контролировать процессы аккумуляции в почве и выноса различных химических веществ вместе с частицами почвы и в растворенной форме с поверхностным стоком.

По данным Кубанского ИКЦ [1] внесение жидких комплексных удобрений более эффективно по сравнению с твердыми удобрениями при соответствующих дозах действующего вещества. Положительные результаты показали эксперименты по дробному внесению минеральных удобрений в растворенной форме вместе с поливной водой при орошаемом земледелии [2]

В настоящее время единственным доступным методом определения количества химических веществ, поступающих в окружающую среду вместе со стоком, является метод дождевания стоковых площадок,

основанный на критерии подобию дождевых осадков [3].

На базе лаборатории Защиты почв от эрозии ФГБНУ «Курский ФАНЦ» были проведены серии лабораторных экспериментов с использованием усовершенствованной портативной лабораторно-полевой дождевальной установки (рис.1) [4].

Для проведения экспериментов были сформированы три искусственные стоковые площадки из чернозема типичного, имеющие одинаковые уклоны. Плотность почвы для всех образцов составила $1,18 \text{ г/см}^3$, влажность - $16,6 \pm 0,15 \%$.

Для контрольного варианта проводили дождевание стоковой площадки дистиллированной водой. Дистиллированная вода была изготовлена накануне дня проведения эксперимента, хранилась в стеклянной ёмкости с закрытой крышкой при комнатной температуре. Для первого варианта одинарную дозу комплексных минеральных удобрений растворяли в дистиллированной воде в небольшой стеклянной ёмкости, затем доливали в бак дождевальной установки и тщательно перемешивали. Аналогично готовили

смесь для второго варианта, только увеличивая дозу удобрений вдвое по сравнению с первым вариантом.

Поочередно проводили дождевание стоковых площадок, начиная с контрольного варианта.

Интенсивность дождя при проведении эксперимента в среднем составила $1,89 \pm 0,03$ мм/мин.

Рассмотрим результаты дождевания для одного биогенного элемента (рис. 2).



Рисунок 1 – Портативная лабораторно-полевая дождевальная установка

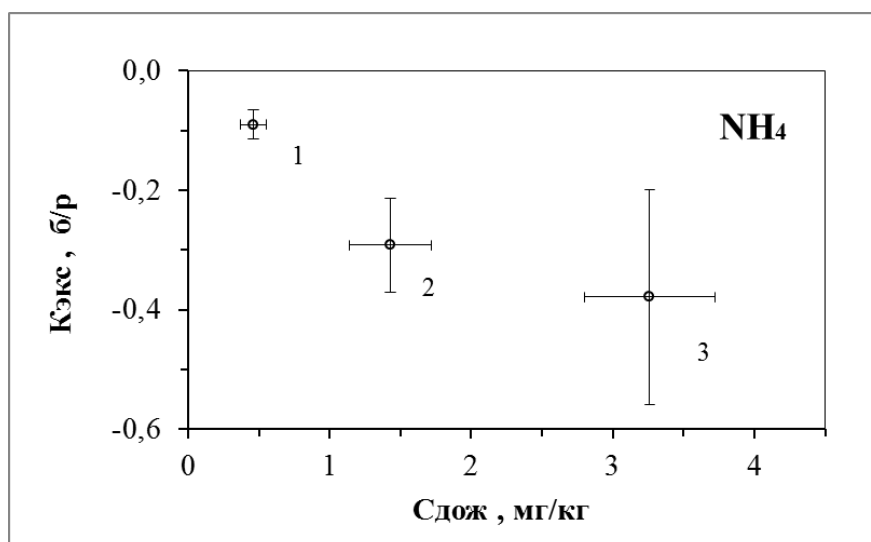


Рисунок 2 – Зависимость коэффициента экстракции от концентрации NH_4 в дожде (1 – контроль; 2 – одна доза удобрений; 3 – двойная доза удобрений)

На представленном рисунке 2 показана зависимость коэффициента экстракции от концентрации NH_4 в дожде. Отметим, что коэффициент экстракции для контрольного варианта, т.е. без внесения удобрений достоверно отрицателен. Для вариантов 1 и 2, при внесении одинарной и двойной доз удобрений в воду, значение коэффициента экстракции также достоверно отрицательное, т.е. аммиачный азот из стекающей воды поглощался почвой. Следовательно, часть удобрения, внесенного в дождевую воду, переходило в почву и могло быть доступно для питания сельскохозяйственных растений.

В результате проведенного эксперимента были получены данные, которые показывают, что увеличивая концентрацию химического вещества в дождевой воде, можно добиться, чтобы запасы этого вещества в почве увеличивались и не поступали в окружающую среду вместе со стоком.

Список литературы

1. <http://www.kaicc.ru/otrasli/udobrenija/issledovanie-sravnitelnoj-jeffektivnosti-primenenija-zhidkih-kompleksnyh-udobreni>
2. Городничев В.И. О внесении удобрений с поливной водой // Природообустройство. 2008. № 4. С. 10–15. (дата обращения 15.07.2019)
3. Методика определения потерь из почвы биогенных веществ с использованием портативной дождевальной установки / Ю.П. Сухановский, В.А. Вытовтов, Ю.А. Соловьева, А.В. Прущик, С.И. Санжарова, А.Г. Титов // Достижения науки и техники АПК. 2016. Т.30. № 6. С. 68–71.
4. Портативная лабораторно-полевая дождевальная установка / Вытовтов В.А., Сухановский Ю.П., Прущик А.В. / Патент на полезную модель RUS 184625 от 03.04.2018.

RECEIPT OF BIOGENIC SUBSTANCES INTO SOIL DURING SPRINCLING

Prushchik A.V.

Federal Agricultural Kursk Research Center, 305021 Kursk, K. Marxa st. 70b, Российская Федерация

The article present the results of an experiment on the effect of the concentration of biogenic substances (for example NH_4) rainwater into its soil receipt, using the sprinkling method.

Keywords: *biogenic substances, sprinkling method, extraction coefficient*

УДК 574+504.5

СОДЕРЖАНИЕ МЫШЬЯКА, СВИНЦА, РТУТИ В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ В РАЙОНЕ БАЛТИЙСКОЙ АЭС

Саруханов А.В., Крыленкин Д.В.

*ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии»
249032 Калужская область, г. Обнинск, Киевское шоссе, 109 км, Российская Федерация
e-mail: mrrino2008@mail.ru*

Представлены результаты экологического мониторинга агроэкосистем в районе расположения площадки Балтийской АЭС. Изложены цели, задачи, описаны объекты, контролируемые параметры, методы проведения наблюдений. Дана характеристика основных свойств и параметров агроэкосистем. Изучено распределение содержания мышьяка, свинца, ртути в почве и их накопление в разных видах сельскохозяйственной продукции. В пробах почвы и сельскохозяйственной продукции превышения нормативов, регламентируемых нормативными документами по содержанию тяжёлых металлов, не обнаружено. Полученные данные могут использоваться для последующей оценки воздействия антропогенных факторов на изменение агроэкологической обстановки на территориях, прилегающих к АЭС.

Ключевые слова: *мониторинг, АЭС, агроэкосистема, тяжёлые металлы, сельскохозяйственная продукция, ртуть, свинец, мышьяк*

Сельскохозяйственная продукция является одним из основных источников поступления тяжёлых металлов в организм человека, проживающего на территориях, прилегающих к атомным электростанциям, что обуславливает особое внимание к

аграрным экосистемам как объекту воздействия предприятий ядерной энергетики (Методические указания..., 2000, Кузнецов В.К. и др..., 2018). Учитывая, что в Российской Федерации в 50 км зонах воздействия АЭС от 50 до 90 % территории занимают

сельскохозяйственные угодья, становится очевидной необходимость организации системы агроэкологического мониторинга агроэкосистем в регионах размещения АЭС для обеспечения безопасного проживания населения и снабжения его продуктами питания, соответствующими санитарно-гигиеническим нормативам [1].

В соответствии с п. 7.4.1.2 СП 151.13330.2012 радиационно-экологический мониторинг в рамках инженерно-экологических изысканий на стадии разработки проектной документации проводится в пределах выбранной площадки размещения АЭС и в зоне наблюдения радиусом 30 км [2].

Основной задачей работы являлось получение данных о содержании тяжёлых металлов в сельскохозяйственной продукции в районе расположения БтАЭС. Данные наблюдения представляют особую

актуальность из-за возможного загрязнения сельскохозяйственных угодий, граничащих с районом расположения БтАЭС.

Обследование проводилось на основе картографического материала площадки около Балтийской АЭС и удаленных от нее сельскохозяйственных угодий в соответствии с существующей системой землепользования и структурой севооборотов хозяйств, располагающихся в 30 км зоне Балтийской АЭС (рис. 1). При отборе образцов руководствовались методами отбора, анализа и измерения проб, изложенными в ведомственных, общегосударственных нормативных и методических документах и утвержденных в установленном порядке. (Методические указания..., 1996, Методические указания..., 2000, Методы организации и ведения..., 2010)[3].

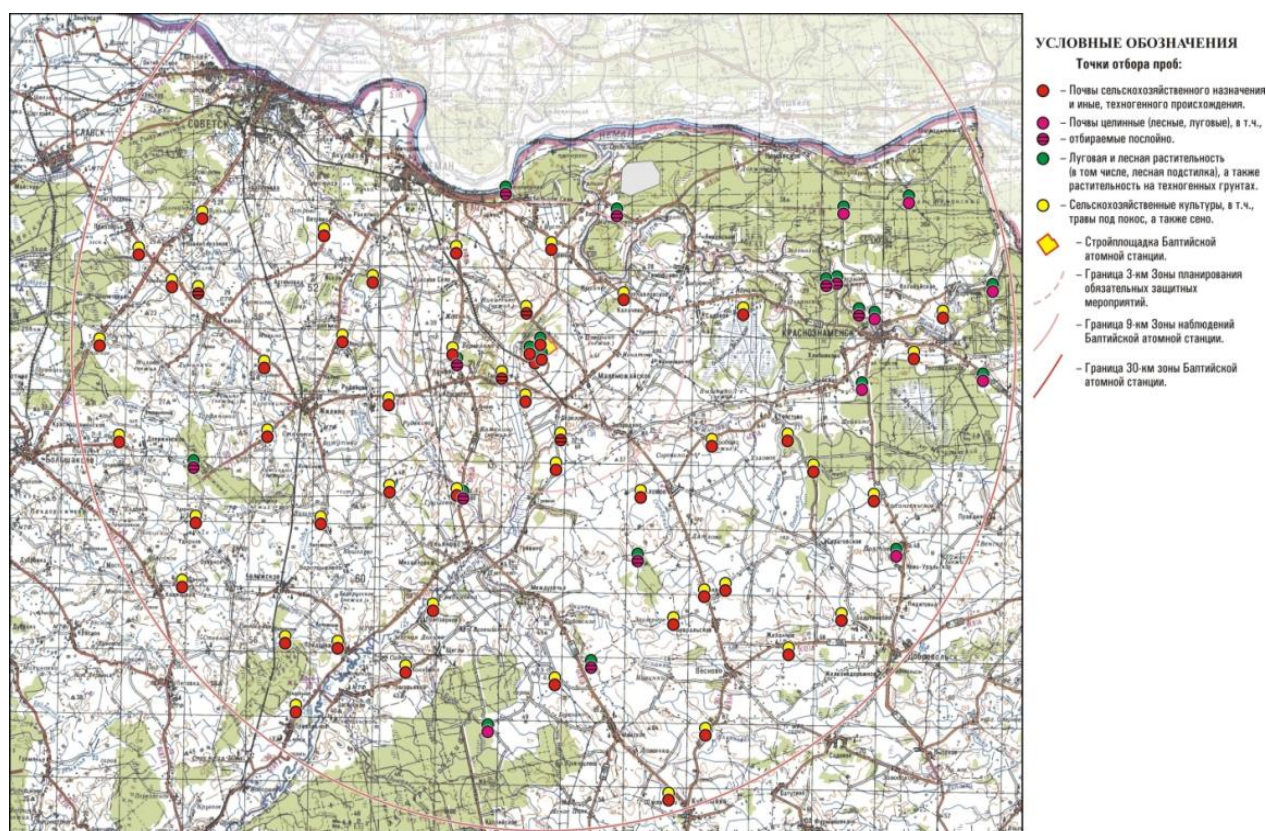


Рисунок 1 – Карта-схема отбора проб почв и растений в 30-км зоне размещения БтАЭС

Измерение концентрации тяжёлых металлов, проведенные в соответствии с регламентом мониторинга, показало, что указанные значения не превышают значения указанных в нормативных документах (табл. 1):

- ГН 2.1.7.2511-09 "Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве". Утверждены постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 18.05.2009 № 32.

- ГН 2.1.7.2041-06 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве»,

утвержденные Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации 19 января 2006 года.

Средние значения валового содержания анализируемых химических элементов в почве контрольных участков за 2014 год находились в пределах: Pb 2,26-28,91; As 0,3-2,63; Hg 0,0001-0,1657 мг/кг.[4]

Средние значения валового содержания анализируемых химических элементов в почве контрольных участков за 2015 год находились в пределах: Pb 3,22-14,76; As 0,78-3,18; Hg 0,009-0,109 мг/кг[5].

Таблица 1

ПДК содержания тяжелых металлов в почвенном покрове в соответствии с нормативными документами

Металл	Массовая концентрация токсичных элементов, мг/кг
Pb	32-130
As	2-10
Hg	2,1

Накопление тяжёлых металлов в урожае сельскохозяйственных культур является важным параметром для оценки перехода тяжёлых металлов из почвы в сельскохозяйственные культуры используются коэффициенты перехода (Кп) – отношение концентрации тяжёлых металлов в растениях или продукции растениеводства (Бк/кг) к плотности содержания тяжёлых металлов в почве (кБк/м²) и

коэффициенты накопления (Кн) отношение концентрации тяжёлых металлов в растениях (Бк/кг) к концентрации тяжёлых металлов в почве (Бк/кг).

Данные минимумов и максимумов по содержанию тяжёлых металлов в растениях и урожае сельскохозяйственных культур представлены в таблице 2 за 2014 и таблице 3 за 2015 год соответственно [6]:

Таблица 2

Данные минимумов и максимумов по содержанию тяжёлых металлов в урожае сельскохозяйственных культур за 2014 год.

Растение	As	Hg	Pb
Гречиха	0,18	0,00859	0,3
Кабачки	-	0,00012-0,00022	0,001-0,0093
Капуста	0,00578-0,01353	0,00008-0,00031	0,0015-0,0214
Картофель	0,00329-0,01155	0,00055-0,00132	0,0052-0,0515
Кукуруза	0,18-0,61	0,00339-0,01875	0,13-0,28
Морковь	0,0068-0,0198	0,00028-0,00032	0,0059-0,0081
Овес	0,15-0,79	0,00772-0,02768	0,04-0,13
Озимая пшеница	0,17-1,69	0,00357-0,00707	0,08-0,53
Пшеница	0,07-1,91	0,00171-0,01871	0,018-0,237
Свекла	0,00467-0,00564	0,00036-0,00044	0,0002-0,0101
Яровая пшеница	0,71-1,09	0,00333-0,01139	0,05-0,13
Ячмень	0,17-2,57	0,00293-0,03034	0,016-0,16

Таблица 3

Данные минимумов и максимумов по содержанию тяжёлых металлов в урожае сельскохозяйственных культур за 2015 год

Растения	As	Hg	Pb
Капуста	0,0223-0,0326	0,00017-0,00035	0,01-0,01
Картофель	0,0623-0,0809	0,00076-0,00122	0,03-0,05
Крыжовник	0,019	7E-04	0,03
Кукуруза	0,232	0,047	0,265
Лук репчатый	0,028	0,001	0,04
Морковь	0,019-0,0207	0,00061-0,00065	0,02-0,09
Огурцы	0,0146-0,019	0,00014-0,0016	0,009-0,02
Пшеница	0,08-0,226	0,0047-0,0096	0,034-0,099
Свекла	0,041	4E-04	0,03
Смородина красная	0,029	0,001	0,03
Смородина черная	0,036	3E-04	0,04
Черника	0,0517-0,0634	0,00255-0,00304	0,008-0,009
Ячмень	0,19	0,007	0,196

Таким образом, проанализировав данные о содержании тяжёлых металлов в почве за 2014 и 2015 год можно сделать вывод, что данные отличаются незначительно и не превышают значения, указанные в нормативных документах. Следовательно, можно утверждать, что земельные угодья в исследуемой зоне около Балтийской АЭС могут быть использованы в сельском хозяйстве. Доказательством этого служат данные о содержании тяжёлых металлов в урожае сельскохозяйственных культур.

Список литературы

1. СанПиН 2.3.2.1078-01., 2002, СП АЭС 2003
2. Свод Правил СП 151.13330.2012

3. ГОСТ 17.4.4.02-84

4. Экологическое обследование наземных (природных и аграрных) экосистем, биологические (флористические, фаунистические) исследования в 30-км зоне БТАЭС - заключительный технический отчет по результатам работ I-II этапа по договору № Бт-01

5. Радиоэкологическое и биологическое комплексное обследование на промплощадке и в районе расположения Балтийской АЭС - Заключительный технический отчет по договору № Бт-02-2015

6. Анисимов В.С., Крыленкин Д.В., Саруханов А.В., Губарева О.С., Фригидов Р.А. База данных по содержанию тяжелых металлов в почве и растениях в районах расположения АЭС, прототип 2019 г.

CONTENT OF ARSENICUM, PLUMBUM AND HYDRARGYRUM IN AGRIPRODUCT IN THE VICINITY OF BALTIC NPP

Sarukhanov A.V., Krylenkin D.V.

Russian Institute of Radiology and Agroecology, 249032 Kaluga region, Obninsk, Kievskoe shosse 109 km, Russian Federation

The Results of the ecological monitoring of agroecosystems in the vicinity of the Baltic NPP are presented. Objectives and goals are summarized, objects, monitored properties, observation methods are described. Main properties of agroecosystems are characterized. Distribution of arsenicum, plumbum, hydrargyrum in soil and their uptake by different agriculture products are studied. No excesses of heavy metals content relatively to standards were found. Acquired data may be used for subsequent estimations of anthropogenic factor's impact on changes in agroecological situation in the vicinity of Baltic NPP.

Keywords: *monitoring, NPP, agroecosystems, heavy metals, agroproduct, plumbum, arsenicum, hydrargyrum*

УДК 631.8; 577.151;633.1

ВЛИЯНИЕ ГЕОТОНА НА ФЕРМЕНТАТИВНУЮ АКТИВНОСТЬ И ПОРАЖЕННОСТЬ БОЛЕЗНЯМИ ПРОРОСТКОВ ОЗИМЫХ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР

Сулова О.В., Лой Н.Н., Сулов А.А.

*ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии»
249032 Калужская область, г. Обнинск, Киевское шоссе, 109 км, Российская Федерация
e-mail: rirae70@gmail.com*

Показано влияние применения ГЕОТОНа при выращивании озимых зерновых культур на качество семян, ферментативную активность, пораженность болезнями. Установлено, что эффективность ГЕОТОНа зависела от вида культуры и сорта. По сорту озимой пшеницы Московская 39, существенно снижалась пораженность проростков *Alternaria sp.* на 16,4 %, активность каталазы на 19,68 мкМ H₂O₂/мг белка·мин, при увеличении содержания азота на 0,19 %, протеина – на 1,3 %. По сорту озимой пшеницы Московская 56 и озимого тритикале сорта Благо данные были недостоверными.

Ключевые слова: *ГЕОТОН, озимые зерновые культуры, ферментативная активность, проростки, пораженность болезнями*

Периоды начального роста и развития растений являются основополагающими для формирования активного вегетативного аппарата. На скорость течения морфогенетических изменений могут

воздействовать различные по природе виды стимулирующих воздействий [1].

Влияние антропогенных воздействий обуславливает изменения в работе защитных функций растительного организма. В процессе онтогенеза на

различных этапах в условиях стресса регуляция адаптивных реакций обеспечивается ферментными системами [2].

Негативные последствия на окружающую среду оказала авария на Чернобыльской АЭС. Наибольшая степень загрязнения в РФ наблюдалась по Брянской области [3].

В теоретическом обосновании проведения различных агротехнических приемов выращивания сельскохозяйственных культур важным вопросом является изучение вопросов активности ферментативной системы растений, которые снимают отрицательное действие перекиси водорода.

Одним из таких ферментов является пероксидаза. Для пероксидазы доказано ее участие в окислительно-восстановительных реакциях в процессе фотосинтеза, в образовании ауксина и этилена, восстановлении нитритов и нитратов (в азотном обмене), дыхательных процессах, участие в регуляции развития и органогенеза и т.п. [4].

Каталаза выполняет важную роль, разлагая токсичную для клеток перекись водорода. Данный фермент участвует в снабжении молекулярным кислородом тех участков тканей, куда доступ его в силу тех или иных причин затруднен. В окисленном состоянии каталаза может работать и как пероксидаза, катализируя окисление спиртов или альдегидов [5].

В условиях современного научно-технического прогресса одним из элементов технологий в экологическом земледелии является защита растений от возбудителей болезней. Ведутся активные поиски новых, высокоэффективных элементов борьбы с патогенными организмами, обеспечивающих качественные показатели зерна и его экологическую безопасность [6].

В ФГБНУ ВНИИРАЭ на основе торфа создан органо-минеральный комплекс ГЕОТОН не имеющий аналогов в России [7]. Проведенные авторским коллективом производственные испытания ГЕОТОНа в условиях Нечерноземья показали значительное повышение продуктивности и качества зерновых культур [8].

Цель исследований - определить влияние ГЕОТОНа на ферментативную активность и пораженность болезнями проростков озимых зерновых культур.

В качестве объектов исследования использовали семена озимой пшеницы сортов Московская 39, Московская 56, тритикале сорта Благо, выращенные в 2018 году в Брянской области.

Экспериментальную работу проводили в секторе фитопатологии ФГБНУ ВНИИРАЭ.

Семена проращивали в рулонах фильтровальной бумаги, при соблюдении температурного режима, в термостате. Повторность данного эксперимента 3-х кратная. Определение лабораторной всхожести проводили на 7-е сутки согласно ГОСТу 12038-84 [9].

Проводили измерение биометрических показателей на 7-е сутки: высоты проростков и длины корневой системы (мм), сырой и сухой массы проростков (г).

Проростки анализировали на предмет распространенности и пораженности болезнями: фузариоза (*Fusarium sp.*), гельминтоспориоза (*Bipolaris sorokiniana*) альтернариоза (*Alternaria sp.*). Подсчет проводили по баллам поражения.

Ферментативную активность каталазы оценивали по методике Борисова Г.Г. и др. [10]. В дополнении данный показатель определяли методом Аebi с некоторыми изменениями [11]. Для расчета ферментативной активности установили количество белка и сырого протеина в 7-ми суточных проростках.

Активность гваякол-пероксидазы определяли методом, основанным на скорости полимеризации гваякола до тетрагваякола, сопровождаемый увеличением оптической плотности реакционной среды при D_{470} . За основу принят метод Chance, Maehly с некоторыми изменениями [12].

В опытном и контрольном вариантах определения проводили трехкратно.

Математическую обработку полученных данных проводили с помощью пакета Microsoft Excel, а также с использованием «Статистического анализа экспериментальных данных» [13]

В проростках озимой пшеницы сорта Московская 39 в варианте ГЕОТОН количество азота достоверно превышало контроль на 0,19 % (табл. 1). В опытном варианте при использовании органо-минерального комплекса существенно увеличивалось содержания протеина на 1,3 % (сорт Московская 39) и 1,15 % (Московская 56), при контрольных значениях 4,3 % и 4,65 %.

Определение пораженности аспергиллезом проростков озимых культур, полученных из семян с применением ГЕОТОНа, показала снижение данного показателя. По сорту озимой пшеницы отмечено достоверное уменьшение заболевания на 16,4 % при использовании препарата (табл. 2). Контрольный показатель по данному сорту составил 47,5 %. На сорте озимой пшеницы Московская 56 и озимого тритикале Благо зафиксировали динамику уменьшения пораженности аспергиллезом в вариантах с применением ГЕОТОНа.

В семенах тритикале сорта Благо, полученных с использованием ГЕОТОНа, отмечалось снижение на 17 % активности ^{137}Cs по сравнению с контролем. Незначительные колебания в сторону увеличения радиоактивности наблюдались по сорту озимой пшеницы Московская 39, уменьшения – по сорту Московская 56.

Таблица 1

Содержание азота и протеина в проростках озимых культур

Сорт	Вариант	Содержание, %	
		азота	протеина
Озимая пшеница Московская 39	контроль	0,63	4,3
	ГЕОТОН	0,82	5,6
	НСР, 05	0,03	0,40
Озимая пшеница Московская 56	контроль	0,68	4,65
	ГЕОТОН	0,71	5,80
	НСР, 05	0,05	0,22
Озимое тритикале Благо	контроль	0,67	4,60
	ГЕОТОН	0,64	4,30
	НСР, 05	0,13	0,96

Таблица 2

Влияние ГЕОТОНа на пораженность семян пшеницы и тритикале аспергиллезом

Сорт	Вариант	Пораженность, %
Озимая пшеница Московская 39	контроль	47,5
	ГЕОТОН	31,1
	НСР, 05	7,78
Озимая пшеница Московская 56	контроль	39,9
	ГЕОТОН	36,8
	НСР, 05	15,71
Озимое тритикале Благо	контроль	39,8
	ГЕОТОН	37,5
	НСР, 05	7,58

Определение активности каталазы показало, что по сорту Московская 39 значения существенно уменьшились на 19,68 мкМ H₂O₂/мг белка-мин, относительно контроля. По сорту Московская 56 в варианте применения ГЕОТОНа зафиксирована тенденция к увеличению активности пероксидазы на 4,92

мкМ гваякола/мг белка мин, каталазы на 4,54 мкМ H₂O₂/мг белка-мин. В проростках озимого тритикале активность каталазы осталась неизменной, а пероксидазы – показала тенденцию к снижению на 3,59 мкМ гваякола/мг белка мин, сравнительно с контрольными значениями (табл. 3).

Таблица 3

Ферментативная активность проростков озимых зерновых культур

Сорт	Вариант	Активность	
		каталазы, мкМ H ₂ O ₂ /мг белка-мин	пероксидазы, мкМ гвая- кола/мг белка мин
Озимая пшеница Московская 39	контроль	84,03	0,25
	ГЕОТОН	64,35	0,20
	НСР, 05	13,69	0,09
Озимая пшеница Московская 56	контроль	-9,20	-4,73
	ГЕОТОН	-4,66	0,19
	НСР, 05	6,78	5,75
Озимое тритикале Благо	контроль	-0,08	-9,94
	ГЕОТОН	-0,08	-13,53
	НСР, 05	0,15	5,85

Таким образом, результаты исследований по изучению влияния ГЕОТОНа на качество семян озимых зерновых культур показали, что эффективность применения препарата зависит от культуры и сортовых

особенностей. Отмечено, что по сорту озимой пшеницы Московская 39 существенно снижалась пораженность проростков аспергиллезом на 16,4 %, активность каталазы на 19,68 мкМ H₂O₂/мг белка-мин,

при увеличении содержания азота на 0,19 %, протеина – на 1,3 %, длины ростка – на 43,4 мм и сухого веса – на 0,8 г. По сорту озимой пшеницы Московская 56 и озимого тритикале сорта Благо данные были недостоверными.

Список литературы

1. Медведев С. С. Физиология растений. СПб.: БВХ, Петербург, 2013. 336 с.

2. Чиркова Т. В. Физиологические основы устойчивости растений. СПб.: Изд-во СПб. ун-та, 2002. 244 с.

Санжарова Н.И., Фесенко С.В., Переволоцкий А.Н. и др. Аэральное загрязнение почвенно-растительного покрова наземных экосистем. В кн.: Радиоэкологические последствия аварии на Чернобыльской АЭС: биологические эффекты, миграция, реабилитация загрязненных территорий / Под ред. чл.-корр. РАН Н.И. Санжаровой и проф. С.В. Фесенко М.: РАН, 2018. гл.2, с. 45-59

3. Рогожин, В. В. Peroксидаза как компонент антиоксидантной системы живых организмов. СПб.: ГИОРД, 2004. 240 с.

4. Андреева, В. А. Фермент пероксидаза: участие в защитном механизме растений. М.: Наука, 1988. С. 7–24.

5. Евсеев, В. В. Модель экологически безопасной защиты зерновых культур от болезней в агроландшафтах Уральского региона / В. В. Евсеев // Вестник защиты растений. 2013. №2.С. 13-25.

6. Интернет-ресурс: <http://agroecotech.ru/dokumenty/patenty.html>

7. Ратников А.Н., Санжарова Н.И., Петров К.В. и др. Применение нового биологически активного органо-минерального комплекса GEOTON в технологиях возделывания зерновых культур и кукурузы. Обнинск: ФГБНУ ВНИИРАЭ, 2017. 30 с.

8. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести 30 с.,

9. <http://wiki-numbers.ru/gost/gost-12038-84>. Дата обращения 18.06.19 г.

10. Методы оценки антиоксидантного статуса растений: [учеб.-метод. пособие] / Г.Г. Борисова и др.; отв. ред. Н.В. Чукина. Екатеринбург: Изд-во Урал, ун-та, 2012. 72 с.

11. Aebi H. Catalases // Methods of Enzymatic Analysis, 1971. Vol. 3. P. 273-286

12. Chance B., Maehly A. C. Assay catalase and peroxidase. Methods in Enzymology. N. Y.: Academic Press, 1955. P. 764-775.

13. Протасов К.В. Статистический анализ экспериментальных данных. М: Мир, 2005. 232 с.

INFLUENCE OF GEOTON ON ENZYMATIVE ACTIVITY AND IMMUNITY BY DISEASES OF WINTER SEEDS OF WINTER GRAIN CROPS

Suslova O.V., Loy N.N., Suslov A.A.

Russian Institute of Radiology and Agroecology, 249032 Kaluga region, Obninsk, Kievskoe shosse 109 km, Russian Federation

The influence of the use of GEOTON in the cultivation of winter crops on the quality of seeds is shown, enzymatic activity, disease incidence. It was established that the effectiveness of GEOTON depended on the type of crop and variety. By the variety of winter wheat Moskovskaya 39, the prevalence of *Altemaria* sp. Seedlings was significantly reduced. by 16.4 %, catalase activity by 19.68 $\mu\text{M H}_2\text{O}_2 / \text{mg protein min}$, with an increase in nitrogen content by 0.19 %, protein - by 1.3 %. According to the variety of winter wheat Moskovskaya 56 and winter triticale variety "Blago" the data were unreliable.

Keywords: *GEOTON, winter grain crops, enzymatic activity, seedlings, disease incidence*

Секция

**ЯДЕРНО-ФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И ТЕХНОЛОГИИ В
СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ И ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

**NUCLEAR-PHYSICS INVESTIGATIONS AND TECHNOLOGIES IN
AGRICULTURE AND FOOD INDUSTRY**



ЭПР-СПЕКТРОСКОПИЯ ПРИ РАДИАЦИОННОЙ ОБРАБОТКЕ ПИЩЕВОЙ ПРОДУКЦИИ

Агданцева Е.Н.¹, Вазиров Р.А.^{1,2}, Соковнин С.Ю.^{1,2,3}, Цмокалюк А.Н.¹, Балезин Е.М.³

¹ ФГАОУ ВО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»

620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19, Российская Федерация

e-mail: e.n.agdantseva@urfu.ru

² Уральский государственный аграрный университет

620075, г. Екатеринбург, ул. Карла Либкнехта, 42, Российская Федерация

³ Институт электрофизики УрО РАН

620216, г. Екатеринбург ул. Амундсена, 106, Российская Федерация

Перспективным методом для определения дозы облучения в пищевых продуктах является ЭПР-спектроскопия. Было продемонстрировано относительная легкость, с которой радиационно-индуцированные сигналы ЭПР можно измерять в мясе, морепродуктах и специях. В данной работе было проведено построение ЭПР сигнала яичной скорлупы и проведен литературных обзор ЭПР сигналов пищевой продукции.

Ключевые слова: электронный парамагнитный резонанс, обработка пищевых продуктов, радиационная обработка, яичная скорлупа, ЭПР спектры

На сегодняшний день традиционные методы обработки пищевых продуктов с целью их стерилизации отходят на второй план уступая месту радиационному методу, т.к. этот метод не изменяет вкусовые качества и питательные вещества и почти не разрушает витамины, так же в процессе радиационной обработки пищевой продукции полностью уничтожаются вредные микроорганизмы и предотвращает их развитие. Метод радиационной обработки пищевых продуктов с целью их стерилизации одобрен Всемирной организацией здравоохранения (ВОЗ) при условии строгого контроля. Так же ВОЗ требует маркировать продукты питания, подвергнувшиеся радиационной стерилизации, но часто эти требования не соблюдаются. Поэтому появляется потребность в контроле облученных пищевых продуктов [1].

Перспективным методом для определения дозы облучения в пищевых продуктах является ЭПР-спектроскопия. В основе метода лежит зависимость величины сигнала ЭПР от концентрации неспаренных электронов, образующихся под действием ионизирующих излучений во многих материалах, связанной с поглощенной дозой [2]. Кроме того, этот метод рекомендован МАГАТЭ для контроля дозы облученных продуктов [1].

В работе [3] было продемонстрировано относительная легкость, с которой радиационно-индуцированные сигналы ЭПР можно измерять в мясе, морепродуктах, специях, фруктах и яйцах. В первую очередь это те продукты, которые имеют твердую структуру, это связано с тем что вода препятствует записи ЭПР сигнала.

Возможность применения ЭПР дозиметрического контроля имеет высокую актуальность в связи с решением применением методов радиационной обработки пищевой продукции на территории Российской Федерации и позволяет проводить контроль

облученных пищевых продуктов целью их стерилизации. исследование без использования дозиметров, более того в качестве ЭПР детектора может быть сам обработанный пищевой продукт или его часть [4].

Материалы и методы

В качестве объекта исследования использовалась скорлупа пищевых куриных яиц, приобретенные в розничном магазине. Облучение образцов производилось в ИЭФ УрО РАН на ускорителе электронов УРТ-0.5 и центре радиационной стерилизации УрФУ, на 10МэВ линейном ускорителе электронов UELR-10-10S. Контроль поглощенной дозы производился с использованием межгосударственного стандартного образца поглощенной дозы фотонного и электронного излучений (сополимер с феназиновым красителем) СО ПД(Ф)Р-5/50 с погрешностью аттестации не более $\pm 7\%$, при P=0,95; N 1735:2011 в Реестре МСО.

Исследуемые образцы превращали в порошок путем механического измельчения и помещались в цилиндрическую пробирку из оргстекла диаметром 9 мм. Облучение и измерения ЭПР сигналов проводились при комнатной температуре через сутки после обработки. Рабочая частота спектрометра была равной 9,88 ГГц, мощность излучения 2 мВт, амплитуда модуляции 6 Гс, диапазон изменения магнитного поля 150 Гс. Величина сигнала ЭПР, связанная с поглощенной дозой облучения, оценивалась по максимальной амплитуде производной спектра или по площади спектра поглощения в относительных единицах. Обработка результатов производилась в программном пакете OriginPro 8. В качестве базовой линии использовался спектр, полученный при регистрации порошка контрольной партии, не подвергнувшись облучению.

Методика обработки спектра в ЭПР - дозиметрии предусматривает два варианта: по амплитуде самого высокого пика первой производной сигнала поглощения или по площади под кривые поглощения.

Результаты

На рисунке 1 представлены оба варианта обработки спектра на примере ЭПР - спектра скорлупы куриного яйца.

На рисунке 2 представлены пики ЭПР сигналов различных продуктов питания, подвергнутые радиационной обработке.

В работе [5] авторы облучали мясо на источнике γ -излучения ^{60}Co , после облучения образцы перемалывали и снимали ЭПР сигнал при комнатной температуре на установке Bruker. ЭПР сигнал, полученный в результате эксперимента показан на рисунке 2b. Как видно из рисунка мясо имеет характерный для образца животного происхождения ЭПР пик.

В работе [6] показано что, свободные радикалы, образующиеся в рыбе с использованием ^{60}Co γ -лучей, были измерены с использованием электронного спина резонансная спектроскопия. Обнаружено, что спектры ЭПР облученной рыбы имеют асимметричный характер (рисунке 2c). ЭПР спектр рыбы очень схож по своему характеру на ЭПР спектр, представленный в работе [5].

ЭПР сигнал облученных сухих специй показан на рисунке 2d. Автор в своей работе [7] облучал образцы сухих специй на 10 Мэв ускорителе электронов и затем снимал ЭПР на установке Bruker. ЭПР

сигнал сухих специй (рисунке 2c) имеет одиночный пик, такой пик характерен для образца неживотного происхождения.

Полученные нами результат ЭПР сигнала яичной скорлупы представлен на рисунке 2a. Данный сигнал по форме совпадает с сигналами, полученные авторами [5] и [6]. По форме пика можно сказать, что ЭПР сигнал имеет форму схожую с образцом животного происхождения.

Облучённые образцы на установке ускорителе электронов УРТ-0.5 показали присутствие ЭПР сигнала идентичного ЭПР сигнала, полученного на 10Мэв линейном ускорителе электронов UELR-10-10S.

Полученные результаты и литературные данные, позволяют делать вывод что ЭПР спектроскопия является, перспективным методом для контроля облученных пищевых продуктов.

Для определения уровня поглощённой дозы, применяемой при обработки пищевых продуктов, необходимо построить градуированную кривую для параметров ЭПР сигнала от уровня поглощенной дозы для каждого типа пищевой продукции. Однако параметры ЭПР сигнала зависят от условий измерения и свойств материала, поэтому для точного определения уровня поглощённой дозы, требуется разработка методики проба подготовки. Стоит отметить, что метод ЭПР спектроскопии подходит для контроля радиационной поверхностной дезинфекции [8].

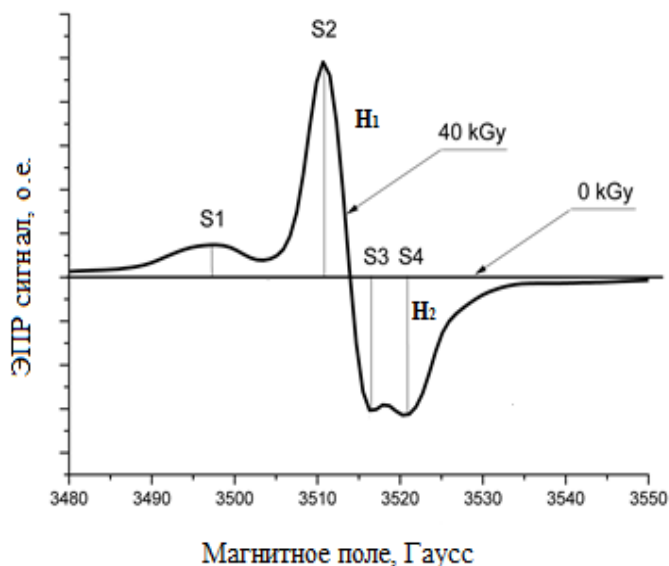


Рисунок 1 – Параметры ЭПР спектра поглощения пищевой продукции: H - высота, S1 + S2 + S3 + S4 – площадь

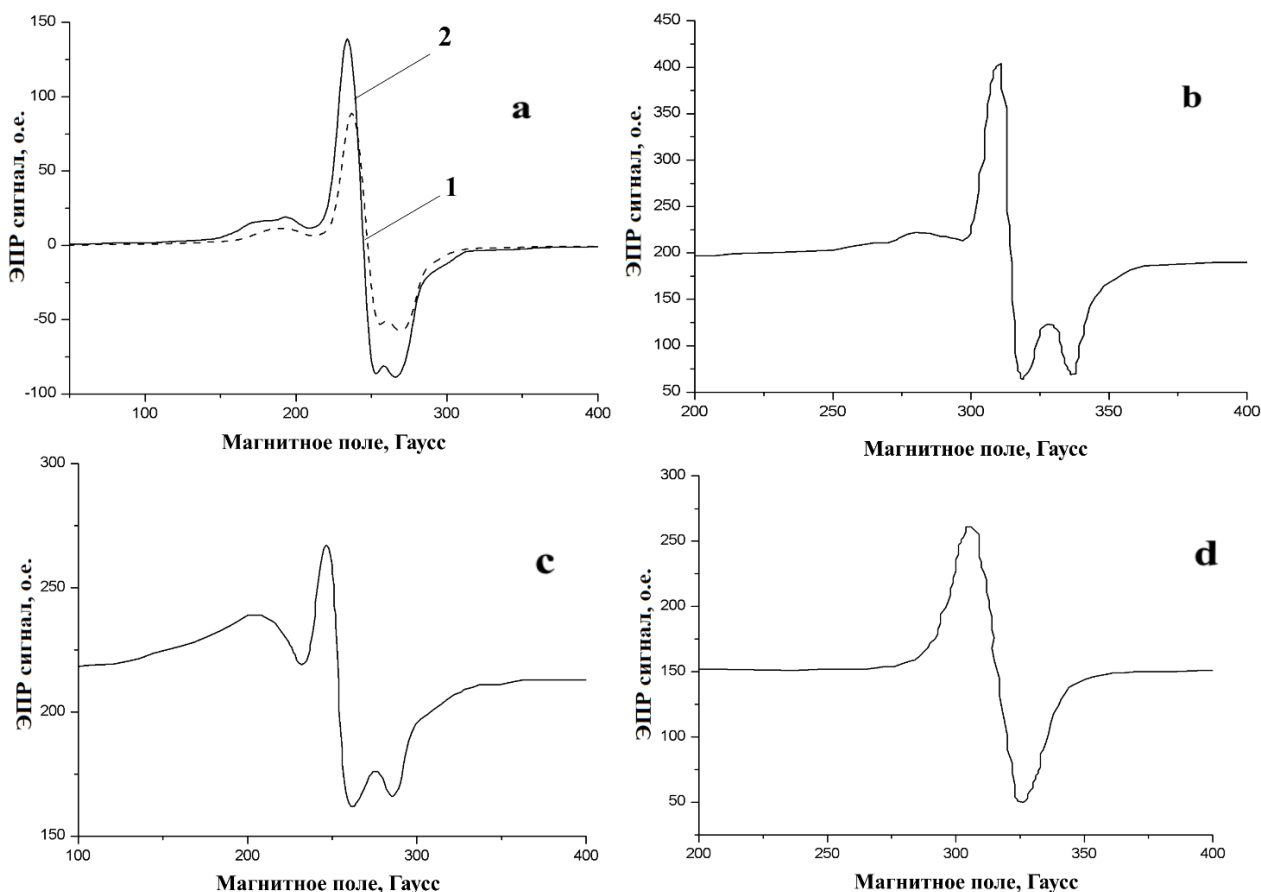


Рисунок 2 – а) Пики, полученные на ускорителе электронов УРТ-0.5 (1) и 10МэВ линейном ускорителе электронов UELR-10-10S (2), при дозе равной 10 кГр; б) Мясо [5]; в) Рыба [6]; д) Специи [7];

Список литературы

1. Жакпаров Р.К. ЭПР-дозиметрия радиационно стерилизованных пищевых продуктов / Р.К. Жакпаров, О.В. Стахов, С.П. Пивоваров // Вестник НЯЦ РК. 2007. Вып.1(29). С.23-27.

2. Gallo S. et al. ESR dosimeter material properties of phenols compound exposed to radiotherapeutic electron beams // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms. 2017. Т. 407. С. 110-117.

3. Dodd N. J. F., Swallow A. J., Ley F. J. Use of ESR to identify irradiated food // Radiation Physics and Chemistry. 1985. Т. 26. №. 4. С. 451-453.

4. Desrosiers M. F. Current status of the EPR method to detect irradiated food // Applied Radiation and isotopes. 1996. Т. 47. №. 11-12. С. 1621-1628.

5. Alberti A. et al. Treating meats with ionising radiations. An EPR approach to the reconstruction of the administered dose and its reliability // Applied Radiation and Isotopes. 2011. Т. 69. №. 1. С. 112-117.

6. Abdel-Rehim F. et al. The use of electron spin resonance spectroscopy for the detection of irradiated mackerel // Applied radiation and isotopes. – 1997. – Т. 48. №. 2. С. 241-245.

7. Goulas A. E., Stahl M., Riganakos K. A. Effect of various parameters on detection of irradiated fish and oregano using the ESR and PSL methods // Food control. 2008. Т. 19. №. 11. С. 1076-1085.

8. Sokovnin S., Timoshenkova O., Vazirov R. Properties of hens' eggs after surface irradiation by nanosecond electron beam // International Scientific and Practical Conference "Digital agriculture-development strategy" (ISPC 2019). Atlantis Press, 2019.

EPR-SPECTROSCOPY IN PROCESSING RADIATION OF FOOD PRODUCTS

Agdantseva E.N.¹, Vazirov R.A.^{1,2}, Sokovnin S.Y.^{1,2,3}, Tsmokalyuk A.N.², Balezin M.E.³

¹ Ural Federal University, 19 Mira St., Yekaterinburg, 620075, Russian Federation

² Urals State Agrarian University, 42 Karl Liebknecht St., Yekaterinburg, 620075, Russian Federation

³ Institute of Electrophysics UB RAS, 106 Amundsen St., Yekaterinburg, 620016, Russian Federation

International Youth Conference

Topic issues of radiobiology, radioecology and agroecology

A promising method for determining the dose of radiation in food products is EPR spectroscopy. The relative ease with which radiation-induced EPR signals can be measured in meat, seafood and spices has been demonstrated. In this work, we constructed the EPR of the eggshell signal and conducted a literature review of the EPR of food products.

Keywords: *electron paramagnetic resonance, food processing, radiation processing, eggshell, EPR spectra*

УДК 539.1.04

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ РАДИАЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ НА БАЗЕ УСКОРИТЕЛЯ ИЛУ-10

Бексултанов Ж.И., Данько И.В., Глущенко Н.В.

РГП «Институт ядерной физики» Министерства энергетики Республики Казахстан

г. Алматы, Республика Казахстан, e-mail: gluchshenko.nikolay@gmail.com

Проведены исследования по облучению тормозным излучением семян свеклы сахарной, семян пшеницы на ускорителе ИЛУ-10. Произведена оценка диапазона поглощенных доз, в котором наблюдается стимуляция развития и роста растений.

Ключевые слова: ускоритель ИЛУ-10, тормозное излучение, облучение семян

В настоящее время в мире остро стоит вопрос о повышении качества и безопасности пищевой продукции [1]. Специалистами РГП «Институт ядерной физики» совместно со специалистами ТОО «Казахстанский научно-исследовательский институт защиты и карантина растений им. Ж.Жиембаева» проведены исследования по облучению тормозным излучением семян свеклы сахарной, семян пшеницы на ускорителе ИЛУ-10. Облучение семян производилось через танталовый конвертер. Целью исследования являлось изучения влияния ионизирующего излучения на развитие семян сахарной свеклы и семян пшеницы на ранних этапах онтогенеза. Произведена оценка диапазона поглощенных доз, в котором наблюдается стимуляция развития и роста растений. Оценка результатов производилась по следующим показателям: энергия прорастания семян, всхожесть семян [2], [3]. Облучение произведено в диапазоне доз от 2,1 до 70,7 Гр. Поглощенную дозу ионизирующего излучения оценивали с помощью аланиновых

дозиметров на ЭПР-спектрометре ESP-300E фирмы Bruker.

Список литературы

1. Technical report by the Bureau of the United Nations Statistical Commission (UNSC) on the process of the development of an indicator framework for the goals and targets of the post-2015 development agenda (Working draft) (англ.). Sustainable Development Knowledge Platform. United Nations (19 March 2015).

2. Семена и посадочный материал сельскохозяйственных культур. Издательство стандартов. Москва 1973 г.

3. ГОСТ 12038-84. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести. М.: Изд-во стандартов, 1986

PROSPECTS FOR APPLICATION OF RADIATION PROCESSING AGRICULTURAL PRODUCTS BASED ON THE ACCELERATOR ILU-10

Beksultanov Zh.I., Danko I.V., Glushchenko N.V.

RSE "Institute of Nuclear Physics" of the Ministry of Energy of the Republic of Kazakhstan, Almaty, Kazakhstan

Studies have been carried out on the irradiation by bremsstrahlung of sugar beet seeds, wheat seeds on the accelerator ILU-10. An assessment was made of the range of absorbed doses in which stimulation of plant development and growth was observed.

Keywords: *ILU-10 accelerator, bremsstrahlung, seed irradiation*

РАДИАЦИОННАЯ ОБРАБОТКА ОХЛАЖДЕННОЙ ФОРЕЛИ НИЗКОЭНЕРГЕТИЧНЫМИ ЭЛЕКТРОНАМИ

Близнюк У.А.^{1,a}, Борщegovская П.Ю.¹, Ипатов В.С.^{1,b}, Леонтьев В.А.¹, Студеникин Ф.Р.¹,
Черняев А.П.^{1,2}

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, физический факультет, кафедра физики ускорителей и радиационной медицины

119991 Москва, ГСП-1, Ленинские горы, Дом 1, строение 2, Российская Федерация

² Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д.В. Скобельцына,

119991 г. Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 5, Российская Федерация

e-mail: ^a uabliznyuk@gmail.com; ^b vikipatova@gmail.ru

Проведены исследования по воздействию ускоренных электронов с энергией 1 МэВ в различных дозах на органолептические показатели и жизнеспособность микроорганизмов в рыбной продукции. Установлено, что радиационная обработка форели ускоренными электронами в дозах от 0,25 кГр до 6 кГр снижает более чем в 100 раз количество жизнеспособных микроорганизмов в ней по достижении 15 суток после облучения. Микробиологические показатели форели, обработанной в дозах 3 кГр и 6 кГр, не превышают контрольные показатели в течение 15 суток хранения. Воздействие в дозах свыше 1 кГр приводит к значительным изменениям органолептических свойств охлажденной форели.

Ключевые слова: форель, радиационная обработка, пучки ускоренных электронов, органолептические свойства мяса рыбы

В последние годы активно развиваются радиационные технологии, в том числе, в отношении их применения к продлению сроков хранения продуктов питания. Основными задачами радиационной обработки пищевой продукции являются увеличение сроков хранения при сохранении органолептических и физико-химических свойств продуктов, подавление роста патогенных микроорганизмов с целью обеспечения здоровья и жизнедеятельности людей по всему миру. Использование источников ионизирующих излучений (далее ИИ) при обработке различных видов пищевой продукции ограничено определенными диапазонами доз. При больших дозах могут происходить различные химические изменения (изменение структурной целостности продукта, его органолептических и физико-химических свойств). Низкие дозы в свою очередь не приводят к достаточному ингибированию биологической микрофлоры, что не решает задачу увеличения сроков хранения продукции. Таким образом, исследования воздействия различных видов ИИ на биологические, физико-химические и органолептические свойства сельскохозяйственной продукции, мясной и рыбной продукции, а также мяса птицы являются на сегодняшний день актуальными [1, 2].

В настоящий момент на кафедре физики ускорителей и радиационной медицины физического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова в содружестве с НИИЯФ МГУ имени Д.В. Скобельцына, а также ФГБНУ ВИЛАР ведутся исследования по радиационной обработке продуктов питания, в том числе рыбной продукции [3, 4].

В рыбе, как и в других продуктах мясного и растительного происхождения, содержатся микроорганизмы, быстро развивающиеся при температурах, превышающих среду их обитания. Состав микрофлоры на поверхности и внутри свежей рыбы включает в себя в основном психрофильные микроорганизмы с оптимумом развития около 20°C, но способные размножаться и при 0°C. Большинство из них представлены грамотрицательными бактериями (*Pseudomonas*, *Achromobacter*, *Flavobacterium* и *Cytophaga*), а также грамположительными бактериями (*Micrococcus* и *Corynebacterium*). В зависимости от места вылова возможно присутствие спорообразующих анаэробных микроорганизмов (*Clostridium*) и условно-патогенных бактерий (*Salmonella enteritidis* и *Escherichia coli*) [5].

Содержание микроорганизмов на охлажденной рыбной продукции может варьировать от 10² КОЕ/г и выше. Предельно допустимое количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов в охлажденной и замороженной рыбной продукции составляет не более 10⁵ КОЕ/г [5]. Обработка различными видами ИИ позволяет снизить общее количество патогенных микроорганизмов, а также подавить их размножение и рост. Так, например, воздействие гамма-излучением в дозе свыше 2 кГр приводит к полной стерилизации мяса креветок, с предварительно заселенными в них бактериями *Escherichia coli* и *Salmonella enteritidis* [6]. После обработки пучком ускоренных электронов с энергией 10 МэВ суспензий бактерий *Escherichia coli* снижение обсемененности в 10⁴ раз достигается при дозе до 3 кГр [7].

Многочисленные исследования показали перспективность использования радиационных технологий для продления сроков хранения продуктов. Например, при воздействии пучком гамма-излучения в дозе 3 кГр срок хранения свежей атлантической скумбрии увеличивается на 4 дня [8], а при обработке пучком ускоренных электронов с энергией 5 МэВ рыбных пресервов в дозах от 3 до 6 кГр, значительно снижается уровень микробиологического загрязнения, и в 2-3 раза увеличивается срок хранения [9]. Сочетание глубокой заморозки до -20 °С и воздействия гамма-излучением в дозе 3 кГр на форель позволяет увеличить срок ее хранения до 5 месяцев [10]. В то же время доза 3 кГр при температуре выше 0°С, приводит к существенным изменениям химического состава рыбы, делая ее непригодной для дальнейшего использования [11].

Целью настоящей работы являлось исследование изменения микробиологических и органолептических показателей охлажденной форели после радиационной обработки низкоэнергетическими электронами во время хранения продукта.

В качестве объекта исследования использовали форель радужную охлажденную. Подготовка образцов для облучения проводилась в стерильных условиях. Для оценки микробиологических показателей к измельченному мясу форели добавляли физиологический раствор в соотношении 1:3 и гомогенизировали до получения однородной суспензии. По 0,25 мл гомогената вносили в стерильные пластиковые пробирки типа Эппендорф объемом 2 мл и добавляли 0,25 мл физиологического раствора. Таким образом, объем исследуемого раствора гомогената фарша мяса форели составлял 0,5 мл.

Для оценки органолептических свойств были подготовлены куски цельной охлажденной форели массой (30 ± 3) г, толщиной 6-8 мм и линейными размерами $((2,8 \pm 0,2) \text{ см}) \times ((10,0 \pm 0,5) \text{ см})$, помещенные в герметичную полимерную упаковку.

Облучение образцов проводилось на ускорителе электронов непрерывного действия УЭЛР-1-25-Т-001 с энергией 1 МэВ и средней мощностью пучка 25 кВт. Для каждой дозы облучения пробирки и цельные куски рыбы последовательно выкладывались на дюралюминиевую пластину непосредственно на выходе пучка. В ходе облучения фиксировался упавший на дюралюминиевую пластину заряд, время облучения и ток пучка.

Для определения дозы, поглощенной опытными образцами гомогената фарша форели, использовался

ферросульфатный метод дозиметрии (дозиметр Фрикке). Схема облучения пробирок с дозиметрическим раствором полностью соответствовала схеме облучения пробирок с гомогенатом фарша форели. Так как плотность гомогената рыбного фарша $(0,994 \pm 0,04) \text{ г/см}^3$ практически совпадала с плотностью дозиметрического раствора $(1,024 \pm 0,05) \text{ г/см}^3$, то мощность дозы, измеренная с помощью дозиметрического раствора, приблизительно равнялась мощности дозы, поглощенной гомогенатом. Итак, дозы, поглощенные опытными образцами с рыбным фаршем, составили 0,24 кГр, 0,48 кГр, 0,96 кГр, 2,8 кГр и 5,6 кГр.

После проведения радиационной обработки осуществлялся мониторинг микробиологических показателей облученных и контрольных образцов, которые хранились в течение 15 суток при температуре 4 °С. Каждые три дня по 0,1 мл суспензии каждого опытного образца в разведениях от 1:2 до 1:10000 наносили на поверхность агаризованной тиогликолевой среды. Далее на 1, 4, 8, 11 и 15 сутки после облучения осуществлялся расчет количества жизнеспособных клеток в КОЕ/г (рис.1).

Для определения доз, поглощенных цельными кусками рыбы, подвергавшихся органолептической экспертизе после облучения ускоренными электронами, применялось моделирование с использованием программного кода GEANT4. В результате моделирования были получены следующие значения доз: 0,25 кГр, 0,5 кГр, 1 кГр, 3 кГр, 6 кГр и 20 кГр.

После проведения радиационной обработки сразу же осуществлялось органолептическое исследование цельных кусков рыбы (рис.2). В соответствии с действующими методиками оценки, «важными показателями товарного качества рыбы являются внешний вид, консистенция, запах, вкус» [12].

По результатам исследования установлено, что электронное излучение в дозах 0,25 кГр - 6 кГр снижает микробиологическую обсемененность рыбного фарша по сравнению с необученными образцами по достижении 15 суток после проведения облучения. К концу исследования для всех облученных образцов, в среднем общая обсемененность не превышала 10^6 КОЕ/г. Исходя из результатов органолептического исследования, дозы свыше 1 кГр не пригодны для радиационной обработки свежей охлажденной рыбы, несмотря на высокую эффективность ингибирования патогенов.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 18-016-00198а.

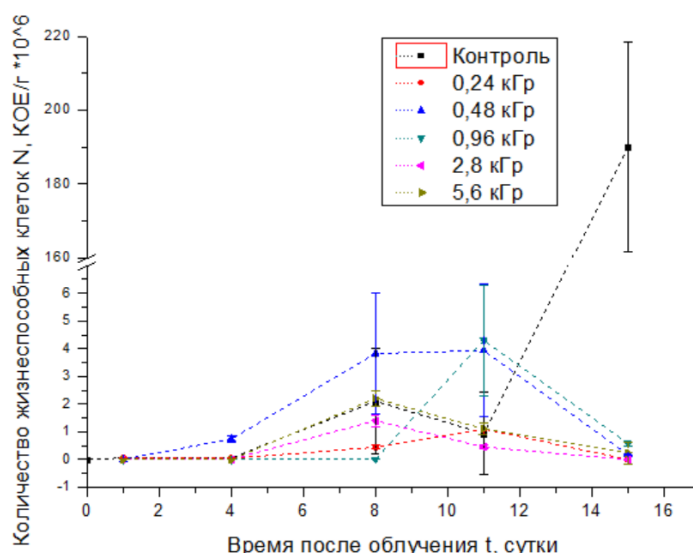


Рисунок 1 – Зависимость количества жизнеспособных бактерий в образцах с гомогенатом фарша форели, облученных в различных дозах, от времени после облучения

Доза, кГр	0 (контроль)	0,25	0,5	1	3	6	20
Количество жизнеспособных клеток N, $1 \cdot 10^6$ КОЕ/г	0,053	0,051	0,0065	0,0016	0,0056	0,0002	-
Куски форели после облучения							

Рисунок 2 – Образцы форели после радиационной обработки.

Список литературы

1. Санжарова Н.И., Козьмин Г.В. и др. // Радиационные технологии в сельском хозяйстве и пищевой промышленности: состояние и перспективы: сборник докладов международной научно-практической конференции, Обнинск, 26-28 сентября 2018 г. Обнинск: ФГБНУ ВНИИРАЭ, 2018. С. 32-35.
2. Мусина О.Н., Коновалов К.Л. // Пищевая промышленность. 2016. №8. С. 46-49.
3. Bliznyuk U.A., Avdyukhina V.M. et al. // Moscow University Physics Bulletin. 2018. V. 73. №. 3, P. 334.
4. Bliznyuk U.A., Avdyukhina V.M. et al. // Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics. 2018. V. 82. № 6. P. 740.
5. Долганова Н.В., Першина Е.В., Хасанова З.К. Микробиология рыбы и рыбных продуктов: Учебное

пособие. – СПб.: Изд-во «Лань», 2012. 288 с. ISBN 978-5-8114-1371-3.

6. S. M. Barakat, Food Microbiology. 2009. V. 26 (8). P. 860-864.

7. Илюхина Н.В., Колоколова А.Ю. и др. // Международный сельскохозяйственный журнал. 2018. № 5(365).

8. Seafood Processing Technology, Quality and Safety / Edited by Boziaris I.S. / Arvanitoyannis I.S. Irradiation of Fish and Seafood. 2014. P. 488.

9. Полякова И.В., Кобылко В.О. и др. Исследование эффективности холодной стерилизации рыбных пресервов электронным излучением в зависимости от дозиметрических параметров облучения. Радиация и риск. 2017. Т. 26. № 2. С. 97-106.

10. M. Oraei, A. Motallebi, E. Hoseini // Effect of gamma irradiation and frozen storage on chemical and sensory characteristics of rainbow trout fillet. International Journal of Food Science and Technology. 2012

11. M. Krizek, K. Matejkova, F. Vacha et al. // Effect of low-dose irradiation on biogenic amines formation

in vacuum-packed trout flesh. Food Chemistry. V. 132. I. 1. P. 367-372. 2012

12. Потороко И.Ю. Товароведение и экспертиза рыбы и рыботоргов // Учебное пособие для студентов вузов. Челябинск: ЮУрГУ, 2003

LOW-ENERGY ACCELERATED ELECTRON TREATMENT ON CHILLED TROUT

Bliznyuk U.A.^{1,a}, Borchegovskaya P.U.¹, Ipatova V.S.^{1,b}, Leontyev V.A.¹, Studenikin F.R.¹, Chernyev A.P.^{1,2}

¹ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Physics, 119991 Moscow, Leninskie Gory, 1-2, Russian Federation

² Scientific Institute of Nuclear Physics by D.V. Skobeltsyn, 119991 Moscow, Leninskie Gory, 1-5, Russian Federation

The study focuses on the effect of 1 MeV accelerated electrons on the organoleptic parameters and the viability of microorganisms in fish products. It was shown that irradiation with the doses ranging from 0.25 kGy to 6 kGy reduces bacterial content in minced trout 100 times compared with non-irradiated samples after 15 days of storage. Minced trout irradiated with 3 kGy and 6 kGy contains a lower number of viable cells within the shelf period of storage to compare with non-irradiated samples. Doses ranging from 1 kGy to 6 kGy change organoleptic parameters of chilled trout.

Keywords: trout, radiation processing, beams of accelerated electrons, organoleptic properties of fish meat

УДК 621.039.8.003: 614.485

РАДИАЦИОННАЯ ПОВЕРХНОСТНАЯ ДЕЗИНФЕКЦИЯ ПИЩЕВОЙ ПРОДУКЦИИ НАНОСЕКУНДНЫМ ЭЛЕКТРОННЫМ ПУЧКОМ

Вазиров Р.А.^{1,2}, Соковнин С.Ю.^{1,2}, Балезин М.Е.³

¹ ФГАОУ ВО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»

620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19, Российская Федерация

e-mail: ruslan.vazirov@urfu.ru

² Уральский государственный аграрный университет, г. Екатеринбург, Российская Федерация

³ Институт электрофизики УрО РАН, г. Екатеринбург, Российская Федерация

Технология радиационной обработки пищевых продуктов в сельскохозяйственной отрасли используется уже 50 лет [1]. В настоящее время перечень пищевых продуктов, разрешенных к радиационной обработке, включает более 60 наименований и разрешена более чем в 40 странах [2]. На сегодняшний день для радиационной обработки продуктов питания по-прежнему наиболее широко используется гамма-излучение и только потом ускорители электронов [2]. При обработке данными видами излучения пищевая продукция полностью подвергается облучению, что приводит к снижению качества продукции и к снижению КПД за счёт относительно равномерного распределения поглощенной дозы на глубине продукции. Ускорители типа УРТ [5] позволяют значительно снизить экономические затраты на проведение радиационной обработки пищевой продукции. Использование наносекундного электронного пучка (НЭП) с энергией электронов менее 1 МэВ позволяет эффективно проводить радиационную поверхностную дезинфекцию пищевой продукции для обеззараживания от болезнетворных микробов.

Ключевые слова: радиационная обработка, пищевая продукция, ионизирующее излучение, радиационная поверхностная дезинфекция, наносекундный электронный пучок

С 1 января 2017 года вступил в силу ГОСТ по радиационной обработке пищевых продуктов [3], контролирующий требования к обработке продуктов питания на территории Российской Федерации. Для облучения пищевых продуктов могут быть использованы источники гамма-излучения (радионуклиды ⁶⁰Со или ¹³⁷Сs), рентгеновские лучи (ниже 5 МэВ) и ускоренные электроны (ниже 10 МэВ). При этом

продукты питания обязательно маркируются в соответствии с международным стандартом знаком-логотипом «Radura-logo» [4]. Радиационная обработка пищевой продукции – это обработка ионизирующим излучением, применяемая для того, чтобы контролировать содержание в продуктах патогенных микроорганизмов, снизить микробиологическую обсемененность и зараженность насекомыми, подавить

проращение корнеплодов и увеличить срок годности скоропортящихся продуктов [5]. Однако существенным недостатком радиационной метода обработки пищевой продукции является негативное влияние на органолептические и физико-химические показатели. В виду чего требуется ограничивать уровень поглощенной дозы.

Поверхностная стерилизация пищевой продукции низкоэнергетическими электронными пучками является инновационным методом. Описать поверхностную дезинфекцию с применением источников ионизирующего излучения возможно термином радиационная поверхностная дезинфекция (РПД). РПД

– процесс обработки пищевой продукции ионизирующим излучением с распределением дозы, максимум которой находится на поверхности или на малой глубине обрабатываемой продукции. Использование метода радиационной поверхностной дезинфекции позволит использовать высокие дозы обработки только поверхностного слоя пищи, ограничив внутреннее облучение продукции. Изменение распределения поглощенной позволяет увеличить эффективность влияния на контаминацию бактерий и снизить последствия облучения на качества пищевой продукции.



Рисунок 1 – Внешний вид ускорителя УРТ -0.5

Новым и перспективным методом радиационной обработки и дезинфекции является применение наносекундного электронного пучка (НЭП), генерируемого на ускорителях типа УРТ [4]. Внешний вид ускорителя представлен на рисунке 1. Данная технология позволяет достаточно просто управлять распределением дозовой нагрузки по глубине обрабатываемой продукции путем изменения энергии электронов. Эта технология применима для РПД, когда внутренняя составляющая пищевой продукции не подвергается или подвергается малыми дозами, и, следовательно, возможно минимизировать негативное действие ионизирующего излучения на качество продуктов [5]. Такое влияние может быть приравнено

к влиянию повышенного радиационного фона. Следовательно, продукцию, обработанную НЭП, нельзя приравнять к облученной со знаком «Радура», что позволит избежать предвзятого отношения потребителя и радиофобии.

Ключевым отличием РПД является использование небольшого эффективного пробега электронов для создание высокой поглощенной дозы на поверхности или на небольшой глубине в пищевой продукции. Для оценки возможности применения РПД мы провели расчеты на примере куриных яиц и мяса. Рассчитанный для электронов с энергией 0.2, 0,5 и 1 МэВ экстраполированные пробеги в скорлупе и мясе представлены в таблице 1.

Таблица 1

Эффективные пробеги низкоэнергетических электронов в материале пищевой продукции

Энергия, МэВ	Рэфф в скорлупе, мм	Рэфф в мясе, мм
0,2	0,3	0,5
0,5	1,0	1,9
1,0	2,9	4,9

Для расчета использовались расчётные значения эффективного зарядового и массового числа скорлупы $Z_{эфф} = 10$ и $A_{эфф} = 20$ соответственно. Для расчета экстраполированных пробегов в мясе использовались параметры эквивалента биологической ткани.

$$Z_{эфф} = \sum_i^n Z_i \cdot a_i \quad (1)$$

где n – число химических элементов в веществе; Z_i – зарядовое число элемента i в веществе; a_i – доля атомов элемента i в веществе.

$$A_{\text{эф}} = \frac{\sum_i^n (Z_i \cdot a_i)}{\sum_i^n (Z_i \cdot a_i / A_i)} \quad (2)$$

где A_i – массовое число элемента i в веществе;

В данной работе проводился расчет эффективного пробега электронов и поглощенной дозы тормозного излучения. Все расчеты были проведены в программном пакете PCLab. Программа PCLab основана на пакете программ EPHSA (электронно-фотонный каскад), который в свою очередь предназначен для расчетов пространственных, энергетических и угловых распределений электронов, фотонов, позитронов и протонов в однородных и неоднородных веществах. Данная программа подходит для определения траектории электронов и позитронов в интервале энергий 10^{-2} – 10^5 МэВ, фотонов – 10^{-3} – 10^5 МэВ. Расчет траекторий и поглощенной дозы производится при помощи моделирования взаимодействия потока частиц методом Монте-Карло. Так как все электроны поглощаются скорлупой, то поглощенная доза в белке и желтке формируется за счет тормозного излучения. При моделировании учли два источника тормозного излучения: от алюминиевой фольги (толщиной 40 мкм) ускорителя, поддерживающей анодной решетки (прозрачность 80 %) и яичной скорлупы. Поглощенная доза в центре желтка, равная сумме от вкладов всех источников тормозного излучения, и составила 0,11 сГр/имп.

Для подтверждения расчетов контроль дозы осуществлялся при помощи пленочных и ТЛД дозиметров. Измерение поглощенной дозы на поверхности проводили с использованием пленочных дозиметров СО ПД(Ф)Р-5/50 посредством определения плотности потемнения. Оптическую плотность измеряли на спектрофотометре ПЭ-5400ВИ при длине волны 512 нм. Поглощенная доза определяли по градировочной кривой, приложенной к партии дозиметров. Для определения распределения поглощенной дозы тормозного излучения внутри куриного яйца использовались дозиметры ТЛД-500. Дозиметры располагались в сечениях вареных куриных яиц (разрезанных или вдоль, или поперек) таким образом, чтобы было возможно определить распределение дозы в различных точках биологического объекта.

Измеренное значение поглощенной дозы внутри яиц не превышал 0,31 сГр/импульс (среднее 0,18 ± 0,05 сГр/импульс), а в желтке – не более 0,2 сГр/имп. При этом, на поверхности яйца поглощенная доза

электронного пучка составляла 0,2 кГр/имп. [7]. Следовательно, при поглощенной дозе 5 кГр на поверхности скорлупы, набираемой за 25 импульсов и достаточной для дезинфекции поверхности яйца от сальмонеллы, поглощенная доза от тормозного излучения в белке не превышает 8 сГр, а желтке 5 сГр. Данный результат хорошо коррелируется с моделированием в программном пакете PCLab.

Использование наносекундного электронного пучка (НЭП) с энергией электронов менее 1 МэВ позволяет эффективно проводить радиационную поверхностную дезинфекцию пищевой продукции для обеззараживания от болезнетворных микробов.

Список литературы

1. Перспективы использования радиационных технологий в агропромышленном комплексе российской федерации / Р. М. Алексахин, Н. И. Манжарова, Г. В. Козьмин, А.Н. и др. // Вестник РАЕН. 2017. №. 14-1. С. 80-86.
2. Arvanitoyannis I.S. Irradiation of Food Commodities: Techniques, Applications, Detection, Legislation, Safety and Consumer Opinion / I.S. Arvanitoyannis – London: Arvanitoyannis Academic Press is an imprint of Elsevier, 2010. 710 p.
3. ГОСТ 33339-2015 Радиационная обработка пищевых продуктов. Основные технические требования” М.: Изд-во стандартов, 2016. С. 7.
3. Ulmann R. M. Introducing irradiated foods to the producer and consumer //Peaceful uses of atomic energy. Proceedings of the fourth international conference, jointly sponsored by the UN and the IAEA and held in Geneva, 6-16 September 1971. Vol. 12. 1972.
4. Соковнин С.Ю., Наносекундные ускорители электронов для радиационных технологий / С.Ю. Соковнин. Екатеринбург: Уральский ГАУ, 2017. 348 с. ISBN: 978-5-7691-2494-5
5. Properties of hens' eggs after surface irradiation by nanosecond electron beam / S.Y. Sokovnin, M.E. Balezin, R.A. Vazirov, O.R. et al // Radiation Physics and Chemistry. 2019. №165. 108398. doi:10.1016/j.radphyschem.2019.108398
6. Sokovnin S. Y. et al. Surface irradiation of chicken eggs by nanosecond electron beam //RAD Conference Proceedings. American Institute of Physics Publishing LLC, 2017. Т. 2. С. 11-14.

RADIATION SURFACE DISINFECTION OF FOOD PRODUCTS BY NANOSECOND ELECTRON BEAMS

Vazirov R.A.^{1,2}, Sokovnin S.Y.^{1,2,3}, Balezin M. E.³

¹ Ural Federal University, 19 Mira St., Yekaterinburg, 620075, Russian Federation

² Urals State Agrarian University, 42 Karl Liebknecht St., Yekaterinburg, 620075, Russian Federation

³ Institute of Electrophysics UB RAS, 106 Amundsen St., Yekaterinburg, 620016, Russian Federation

Currently, the list of food products for radiation processing includes more than 60 items and this technology is permitted in more than 40 countries [2]. Today, gamma radiation and then electron accelerators are still the most widely used technologies for radiation processing of food products [2]. The food products processed with these types of radiation are completely irradiated that leads to a decrease in product quality and efficiency due to the relatively uniform distribution of the absorbed dose at the depth of the product. Accelerators type URT [5] can significantly reduce the economic costs of radiation processing of food products. The use of a nanosecond electron beam (NEB) with electron energy of less than 1 MeV allows effectively conducting radiation surface processing of food products for disinfection from pathogenic microbes.

Keywords: *radiation processing, food products, ionizing radiation, radiation surface disinfection, nanosecond electron beam*

УДК 632.08

ПРИМЕНЕНИЕ ХОЛОДНОЙ ПЛАЗМЫ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

Горбатов С.А.

*ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии»
249032 Калужская область, г. Обнинск, Киевское шоссе, 109 км, Российская Федерация
e-mail: gorbatovsa004@gmail.com*

Увеличение качества и производства агропромышленной продукции является одной из главных задач. В современном мире остро стоит проблема, связанная с тем, что население планеты растет, а старые методы возделывания сельско-хозяйственных культур становятся более затратными и менее эффективными и тем самым не могут обеспечить продовольствием всё население планеты. Это вызывает необходимость внедрения более эффективных и экологически безопасных технологий, среди которых можно выделить обработку излучением холодной плазмы. Современные плазменные технологии совместно с традиционными способами обработки в дальнейшем станут главным направлением в современных аграрно-промышленных комплексах.

Ключевые слова: *холодная плазма, сельское хозяйство, плазма, обработка*

С каждым годом современные технологии все больше и больше прибегают к применению низкотемпературной плазмы. Применение холодной плазмы распространено практически в любых отраслях начиная от источников освещения, заканчивая применением в медицине. Одно из перспективных направлений применения низкотемпературной плазмы, это применение в сельском хозяйстве. О положительных эффектах влияния низкотемпературной плазмы известно давно. В России создана установка, для предпосевной обработки семян. Как утверждают создатели, установка нацелена не только на стимулирование прорастания, но и возможность отказаться от химических удобрений без снижения урожайности [1]. Так например Гордеев Ю.А. в своей диссертационной работе показывал как излучение плазмы влияет на первичные процессы прорастания семян. Так же было установлено, что облученные семена ячменя, яровой пшеницы, клевера и других культур после стимулирования холодной плазмы увеличили интенсивность фотосинтеза более чем в 1,8 раза, а дыхание растений на 65-70 % [2]. Учеными было выявлено, что эффективность обработки проявляется при малых дозах облучения. Обработка оказывает сильное влияние на бактерицидное действие, тем самым снижает риск заболеваемости растений [3].

Газоразрядная низкотемпературная плазма может окислять различные микроорганизмы и разрушать не только их оболочки, но и ДНК вирусов и бактерий. Так как низкотемпературная плазма является холодной, с помощью неё можно облучать (или стерилизовать) теплочувствительные материалы.

На базе Петрозаводского государственного университета было показано положительное применение плазмы в лесном хозяйстве. Так, например семена сосны обыкновенной, обработанные холодной плазмой, ускорили процесс прорастания, после измерения проростков сеянцев их высота оказалась на 24-25 % выше, чем на контроле. Так же были сделаны выводы, что семена следует обрабатывать в течение 5 минут с последующим смачиванием, или в течение 10 минут, но только холодной плазмой [4].

Так же учеными было выявлено, что обрабатывать биологические материалы можно не только плазмой, но и водой, обработанной при помощи плазмы. В Смоленской сельскохозяйственной академии (ССА) было найдено совершенно новое направление воздействий холодной плазмы на воду, по результатам которых было выявлено, что у воды образуются новые свойства в том числе и антимикробные, смещаются критические точки, в которых меняются характеристики воды по давлению, объему и т.д. Таким образом, при использовании активируемой плазмой воды в сельском хозяйстве можно получать

хорошие всходы урожая, а также проводить дезинфекцию хранилищ и т.д.

Также в США сделали вывод, что обработанная вода может применяться и для повышения адаптивности растений и животных к неблагоприятным факторам окружающей среды [5]. В Петрозаводском Государственном университете (ПГУ) на кафедре механизации сельскохозяйственного производства пошли дальше, и решили вести совместно с физическим факультетом работу по созданию и модификации установки для обработки воды холодной плазмой. После чего сотрудниками ПГУ был проведен опыт по обработке картофеля водой облученной плазмой. По результатам работы было выяснено, что всхожесть и качество исследуемого картофеля возросла.

В.А. Одарюк, С.Я. Тронин предложили очищать воду при помощи холодной плазмы, они доказали, что применение холодной плазмы при сравнении с традиционными методами очистки воды является более экономически выгодными и экологически чистыми. Применение плазмы при очистке сточных вод позволяет применять воду для полива растений без боязни сгубить растения вредными веществами, которые могут образоваться из-за различных соединений образованных при стекании сточных вод [6].

По результатам проведенной работы можно сделать вывод, что применение холодной плазмы позволяет уничтожить все патогенные микроорганизмы, грибы, микробы, уничтожить болезни и вредителей при обработке семян, стерилизовать продукты питания и пищевое сырье от патогенных микроорганизмов, стерилизовать теплочувствительные материалы, очищать воздух от загрязнений и аллергенов. Так же хочется отметить, что изучение влияния плазмы в основном ведется для зерновых культур, бобовых, а для таких культур как: тыквенные, сельдерейные, маревые изучение не ведется, или ведется в меньшей степени. Таким образом, изучение холодной плазмы является перспективным направлением во многих сферах применения, отсюда можно сделать вывод, что стоит изучать холодную плазму, доказать ее положительные стороны, найти отрицательные качества [7].

Список литературы

1. Васильев М.М., Наумов Е.В. Повышение устойчивости к отрицательным и низким положительным температурам и засухоустойчивости растений зерновых культур после обработки их семян низкотемпературной плазмой // Проблемы агрохимии и экологии. 2016, № 2. С. 26-33.

2. Гордеев Ю.А. Методологические и агробиологические основы предпосевной биоактивации семян сельскохозяйственных культур потоком низкотемпературной плазмы. [Электронный ресурс] РЕЖИМ ДОСТУПА: <http://nauka.x-pdf.ru/17biologiya/496654-1-metodologicheskie-agrobiologicheskie-osnovi-predposevnoy-bioaktivacii-semyan-selskohozyaystvennih-kultur-potokom-nizkot.php> (Дата обращения: 28.07.2019)

3. Гольцова П.А., Чудинова Ю.В. Предпосевная обработка семян низкотемпературной плазмой: состояние вопроса и перспективы исследований // Научная жизнь. 2017, №3. С. 21-31.

4. Григорьева О. Плазма в лесном хозяйстве [Электронный ресурс] РЕЖИМ ДОСТУПА: <http://lesozagotovka.com/rybriki/nauka-proizvodstvu/plazma-v-lesnom-khozyaystve/> (Дата обращения: 28.07.2019)

5. Гордеев Ю.А. Перспективы применения структурированной воды в сельском хозяйстве [Электронный ресурс] РЕЖИМ ДОСТУПА: <http://www.biophys.ru/archive/congress2009/abs-183.pdf> (Дата обращения: 28.07. 2019)

6. Одарюк В.А. Тронин С.Я. Плазмохимические технологии очистки промышленных сточных вод, газовых выбросов, переработки нефти, твердых бытовых отходов (ТБО) и промышленных отходов // Технология гражданской безопасности. – Т. 11. 2014, № 3 (41). С. 46-51

7. Тихонов Е.А. Исследование влияния обработки посадочного материала картофеля водой обработанной холодной плазмой на интенсивность роста и урожайность // Научный журнал КубГАУ. 2012, №84(10)

APPLICATION OF COLD PLASMA IN AGRICULTURE

Gorbatov S.A.

Russian Institute of Radiology and Agroecology, 249032 Kaluga region, Obninsk, Kievskoe shosse 109 km, Russian Federation

Increasing the quality and production of agricultural products is one of the main tasks. In the modern world, there is an acute problem associated with the fact that the world's population is growing, and the old methods of cultivating rural crops become more costly and less efficient and thus can not provide food to the entire population of the planet. This necessitates the introduction of more efficient and environmentally friendly technologies, among which cold radiation processing can be distinguished. Modern plasma technologies, together with traditional processing methods, will subsequently become the main focus in modern agro-industrial complexes.

Keywords: cold plasma, agriculture, plasma, processing

УСКОРИТЕЛЬ ЭЛЕКТРОНОВ С ВЫВОДОМ ПУЧКА БОЛЬШОГО СЕЧЕНИЯ В АТМОСФЕРУ ДЛЯ ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ И СТИМУЛЯЦИИ РОСТА СЕЛЬХОЗПРОДУКЦИИ

Дорошкевич С.Ю.¹, Воробьёв М.С.¹, Лой Н.Н.², Коваль Н.Н.¹, Санжарова Н.И.², Сулакшин С.А.¹

¹ Институт сильноточной электроники СО РАН

634055, Томская обл., Томск, проспект Академический, 2/3, Российская Федерация

e-mail: doroshkevich096@gmail.com

² ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии»

249032 Калужская область, г. Обнинск, Киевское шоссе, 109 км, Российская Федерация

e-mail: loy.nad@yandex.ru

В работе обсуждаются возможности широкоапертурного (750×150 мм) ускорителя электронов с плазменным катодом и выводом генерируемого пучка большого сечения в атмосферу с целью облучения сельхозпродукции, такой как ячмень, пшеница, овёс и др. Спроектирован макет конвейера, позволяющий проводить облучение зерна в количестве необходимом для полевых испытаний.

Ключевые слова: ускоритель электронов, электронный пучок, плазменный катод, вывод пучка в атмосферу, радиационная дезинсекция и дезинфекция

Введение

Среди множества ускорителей электронов отдельное место занимают ускорители, генерирующие пучки сечением порядка 1000 см² с энергией электронов до 200÷250 кэВ, в которых вывод пучка в атмосферу осуществляется через тонкую металлическую фольгу. Получаемые пучки считаются низкоэнергетическими и используются для различных процессов, суть которых, в основном, сводится к воздействию электронов на тонкий поверхностный слой какого-либо вещества (материала). Так электронные пучки могут использоваться для стерилизации медицинского инструмента, модификации органических материалов, очистки сточных вод от загрязнений, обработки сельхозпродукции и др. [1–3].

Обработка сельхозпродукции вызывает отдельный интерес, поскольку проблема потерь сельскохозяйственной и пищевой продукции является проблемой мирового масштаба, а Россия является одним из лидеров стран-экспортеров зерна. По данным международной Продовольственной и сельскохозяйственной организации ФАО ООН ежегодные глобальные потери продуктов питания достигают 30 % (2014). Основные причины потерь связаны с поражением зерновых культур насекомыми-вредителями и болезнями, преждевременным прорастанием клубне- и корнеплодов, бактериальной порчей овощей, фруктов, мяса, рыбы и других продуктов питания при складском хранении. В России только насекомые-вредители уничтожают около 8 % выращенного зерна во время хранения, что, безусловно,

определяет актуальность исследований в данной области. Целью предпосевной обработки семян различных культур является дезинсекция и дезинфекция зерна, а также улучшение посевных качеств семян, в том числе заключающаяся в стимуляции зародыша каким-либо видом излучения. Для дезинсекции семян в России традиционно используются химические средства – контактные инсектициды. Однако применение химических средств не всегда эффективно против зараженности внутри продуктов, а при массовом использовании такого способа дезинсекции являются формы вредителей, имеющие резистентность к используемым химическим веществам [4]. Радиационная обработка сельскохозяйственной продукции по сравнению с существующими химическими методами экономически более выгодна и имеет ряд преимуществ: в продуктах, прошедших обработку, отсутствуют ядохимикаты, исключено загрязнение окружающей среды. Именно поэтому внедрение метода обработки сельхозпродукции электронным пучком является перспективным направлением, также требующим систематических исследований [5].

Экспериментальная установка

Одним из ускорителей, пригодным для решения перечисленных задач, является ускоритель электронов «ДУЭТ» с сетчатым плазменным катодом и выводом пучка в атмосферу, схема которого представлена на рисунке 1 [6].

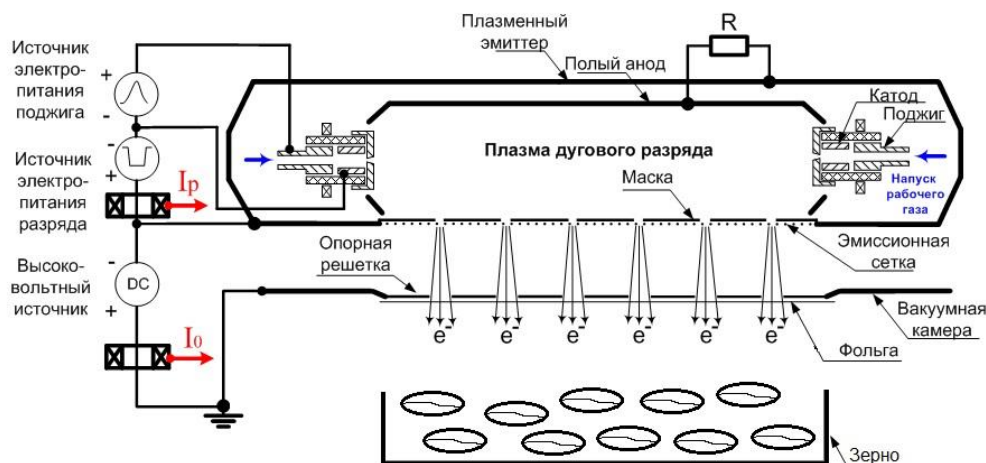


Рисунок 1 – Схема ускорителя электронов «ДУЭТ»

Ускоритель позволяет формировать электронный пучок сечением $750 \times 150 \text{ мм}^2$ в импульсно-периодическом режиме со следующими параметрами: энергия электронов ($100 \div 200$) кэВ; амплитуда тока пучка в атмосфере ($5 \div 30$) А; длительность импульсов тока пучка ($10 \div 300$) мкс; частота следования импульсов ($1 \div 50$) с^{-1} ; неоднородность плотности тока по сечению пучка $\pm 10\%$; максимальная средняя мощность пучка в атмосфере 5 кВт; плотность энергии пучка в атмосфере ($10 \div 500$) мДж/имп·см².

Плазменный эмиттер представляет собой полый полуцилиндр из нержавеющей стали, на торцах которого закреплены два катодных узла на основе дуги низкого давления. Внутренняя поверхность полуцилиндра играет роль общего полого анода для двух катодных узлов. В нижней части плазменного эмиттера имеется эмиссионное окно ($750 \times 150 \text{ мм}^2$) перекрытое мелкоструктурной сеткой, через ячейки которой ($0,4 \times 0,4 \text{ мм}$) происходит извлечение электронов с последующим их ускорением под действием постоянного высокого напряжения величиной до 200 кВ. Ускоренные электроны, проходя алюминий-магневую АМг-2н фольгу толщиной 30 мкм, формируют в

атмосфере пучок и попадают на коллектор (обрабатываемый материал).

Благодаря сетчатой/слоевой стабилизации границы эмиссионной плазмы в таких источниках электронов, параметры пучка имеют широкий диапазон регулировки и слабо зависят друг от друга, что дает несомненное преимущество перед ускорителями других типов.

Основные результаты

Вначале были проведены эксперименты по радиационной обработке зерен ярового ячменя сорта Владимир. Семена ячменя общей массой $m=15 \text{ г}$ были приклеены с обеих сторон скотчем толщиной 50 мкм, что позволяло уложить зерно в один слой на расстоянии 20 мм от выводного окна ускорителя. При вводе половины дозы, величина которой варьировалась в диапазоне (1–8) кГр с шагом 1 кГр, образец обязательно переворачивали на другую сторону с целью выравнивания введенной дозы в каждое семя. Режим обработки приведен в таблице 1. Посадка и рост зерен проводились в лабораторных условиях.

Таблица 1

Режим облучения зерна

Ускоряющее напряжение, кВ	Плотность тока пучка, мА	Длительность импульса, мкс	Частота импульсов, с^{-1}	Мощность дозы за импульс, Гр/имп.
160	24	200	1	500

В результате облучения наблюдалось снижение степени поражения проростков *Helminthosporium sativum* в зависимости от суммарной дозы и пострadiационного периода (ПП). При дозах 1, 2, 4 и 5 кГр с ПП 7 суток наблюдалось увеличение лабораторной всхожести на 22–25%. С увеличением ПП стимулирующий эффект облучения понижается и постепенно

сменяется возрастающим угнетающим влиянием. Это происходит из-за ускорения процесса физиологического старения семян, выражающегося в снижении уровня накопления гиббереллиноподобных веществ и понижении энергии прорастания [7].

Для обработки яровой пшеницы сорта Сетора использовалась та же схема эксперимента, что и для

ячменя. Однако при идентичных режимах обработки семена пшеницы не взошли. Эффект повышения всхожести при неизменной суммарной дозе удалось продемонстрировать только при снижении ускоряющего напряжения до 100–130 кВ. Вероятнее всего, эти эффекты можно объяснить меньшей толщиной внешней оболочки зерна.

Большой интерес представляют исследования, приближенные к реальным условиям, когда обработанное низкоэнергетическим пучком зерно высаживается на полях. Для постановки таких экспериментов требуется обрабатывать сравнительно большой объем зерна.

В связи с этим был спроектирован и создан макет конвейера (рисунок 2).

Конвейер представляет собой ленту, натянутую между двумя валами, закрепленными на раме ускорителя, один из которых приводится в действие электродвигателем. Скорость движения конвейера регулируется частотой вращения двигателя, которая, в свою очередь, управляется посредством используемого преобразователя частоты. Зерно засыпается в кювету, установленную на конвейерной ленте, и при движении последней подается через тонкую щель, выполненную в основании этой кюветы. Размер щели выбирается таким, чтобы обеспечить подачу зерна в один слой. Таким образом, при фиксированной средней мощности пучка и зная скорость движения конвейера, можно определить суммарную дозу, которую получит каждое зернышко, проходящее под пучком.

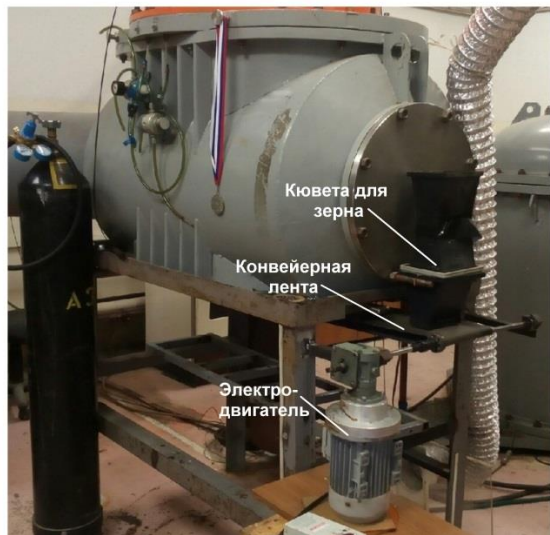


Рисунок 2 – Фотография ускорителя электронов «ДУЭТ» с конвейером

Суммарная введенная доза D рассчитывается следующим образом. Прежде всего, проводились измерения удельной плотности энергии электронного пучка в атмосфере E , используя калориметр ТПИ-2М.1 площадью $60 \times 60 \text{ мм}^2$, который располагался на расстоянии 30 мм от фольги (на таком же расстоянии, как и конвейерная лента). Поскольку выводное окно имеет суммарно 8 секторов, то под каждым из них

измерялась удельная плотность энергии, и в дальнейшем для расчетов использовалось их среднее арифметическое. Зная удельную плотность энергии E и скорость движения зерна под электронным пучком (что позволяет определить время облучения зерна, а, следовательно, и число импульсов тока пучка N), а также считая, что при известной массе зерна m и его площади S , обращенной к пучку, вся энергия поглощается в его объеме, можно определить суммарную накопленную дозу, как: $D = \frac{E \times S \times N}{m}$.

В настоящий момент двустороннее облучение возможно следующим способом: за один проход зерно получает половину дозы, затем зерно повторно засыпается в кювету и процесс облучения повторяется.

Заключение

Проведены предварительные эксперименты по облучению зерен ячменя, пшеницы, овса, которые подтвердили перспективность данного вида обеззараживания зерна, а также в некоторых случаях показали хорошие результаты по всхожести зерна (рулонные эксперименты) после его облучения электронным пучком. В дальнейшем требуется более тщательный подбор режимов обработки для разных зерновых культур.

Проведена модернизация экспериментального макета ускорителя электронов с сетчатым плазменным катодом, позволяющая проводить предпосевное облучение зерна в объемах, необходимых для полевых испытаний. Максимальная производительность данной системы «ускоритель-конвейер» составляет 15 кг/час, однако по проведенным оценкам производительность может быть увеличена до порядка 1 тонн/час.

Работа выполнена за счет гранта Российского научного фонда (проект №18-79-00011).

Список литературы

1. Хенце М. // Очистка сточных вод. М.: Мир, 2004.
2. Бугаев С.П., Крейнделъ Ю.Е., Щанин П.М., Электронные пучки большого сечения. М.: Энергоатомиздат, 1984. 112 с
3. Абдуллин Э.Н., В.Н. Чмух /ХВЭ. 1979. Т.13.Вып.2.– С. 181-182.
4. Champ B.R., Dyte C.E. Report of the FAO global survey of pesticides susceptibility of stored grain pests / FAO Plant Production and Protection Series No. 5, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. – pp. 1–297. – 1976.
5. Ahmed M. Disinfestation of stored grain, pulses, dried fruits and nuts, and other dried foods // “Food Irradiation Principles and Applications” (R. Molins, ed.). Wiley, New York. – pp. 77–112. – 2001.
6. Воробьев М.С., Коваль Н.Н., Сулакшин С.А. / ПТЭ. 2015. №5. С.112–120.

7. Левин В.И. Агрэкологические эффекты воздействия на семена растений электромагнитных

полей различной модальности Дисс. на соиск. уч. степ. док. с-х наук. 2000. 369 с.

ELECTRON ACCELERATOR WITH THE OUTPUT OF A LARGE SECTION BEAM IN THE ATMOSPHERE FOR STERILIZATION AND STIMULATION OF GROWTH OF AGRICULTURAL PRODUCTS

Doroshkevich S.Yu.¹, Vorobyov M.S.¹, Loy N.N.², Koval N.N.¹, Sandjarova N.I.², Sulakshin S.A.²

¹ Institute of High Current Electrons, 634055 Tomsk, Akademichesky avenue, 2/3, Russian Federation

² Russian Institute of Radiology and Agroecology, 249032 Kaluga region, Obninsk, Kievskoe shosse 109 km, Russian Federation

The paper discusses the possibilities of a wide-aperture (750×150 mm) electron accelerator with a plasma cathode and the output of a generated beam of large cross section into the ambient atmosphere for the purpose of irradiating agricultural products, in particular barley, wheat, oats, etc. A conveyor model was designed to allow irradiation of grain in the quantity required for field testing.

Keywords: *electron accelerator, electron beam, plasma cathode, beam output to the atmosphere, radiation disinfection and disinfection*

УДК 53.043, 53.044

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА СТЕПЕНЬ РАЗЛОЖЕНИЯ ИЗОМЕРОВ ГХЦГ КАК КОМПОНЕНТОВ УВЛАЖНЕННОГО ПЕСТИЦИДНОГО ПРЕПАРАТА ДУСТА ГЕКСАХЛОРАНА

Ивахно В.В.¹, Полякова Л.П.¹, Мельникова Т.В.¹, Баранова А.А.², Рябухин О.В.², Удалова А.А.¹

¹ Обнинский институт атомной энергетики – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ»

249040 Калужская область, г. Обнинск, Студгородок, д.1, Российская Федерация

e-mail: ivakhnyash@gmail.com, Polyakova_50@mail.ru, oudalova@mail.ru

² Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина

620002, Свердловская область, г. Екатеринбург, ул. Мира д.21, Российская Федерация

e-mail: a.a.baranova@urfu.ru

Хлорорганические пестициды (ХОП) как стойкие органические загрязнители представляют собой опасность для окружающей среды. Активно изучаются методы утилизации ХОП. Одним из перспективных методов утилизации является их электронное облучение. С учетом экологических требований к технологиям утилизации ХОП, в данной работе применен радиационный фактор воздействия на вещество в нейтральной среде, без химических добавок. Изучалось действие пучка электронов на дисперсную систему «пестицидный препарат: вода». В работе исследовались изомеры гексахлорциклогексана (ГХЦГ) в составе действующего вещества отходов дуста гексахлорана, предмет исследования – степень их разложения (Р, %) под действием электронного излучения в диапазоне доз 10-700 кГр. Результаты хроматографического анализа образцов до и после облучения показали, что максимальные значения Р достигаются при воздействии ионизирующего излучения в дозах 100 и 200 кГр. Увеличение дозы до 700 кГр существенного влияния на величину Р не оказывает.

Ключевые слова: хлорорганические пестициды, дуст гексахлорана, изомеры ГХЦГ, степень разложения, электронное излучение, дозовая зависимость

Стойкие органические загрязнители (СОЗ) – проблема мирового масштаба. Для них характерны высокая устойчивость и токсичность, а также способность накапливаться в объектах окружающей среды. Стокгольмской конвенцией производство и использование СОЗ было полностью или частично прекращено [1]. К СОЗ относятся многие хлорорганические пестициды, запасы которых от прошлого

производства велики [2,3]. Долговременное хранение создает определенные риски. В связи с этим ведется активный поиск методов утилизации СОЗ, в том числе с привлечением радиационных технологий [5-8].

Из литературных источников о влиянии ионизирующего излучения на устойчивость ХОП следует, что воздействие гамма-излучения более изучено, чем

электронного. Так, для гамма-излучения было установлено, что достигаются высокие степени разложения действующего вещества пестицидного препарата (изомеров ГХЦГ) в щелочной среде, исследовано влияние фазового состава среды облучения на эффективность деструкции пестицида, показано, что присутствие наполнителя в препарате практического значения в процессе радиационного разрушения ГХЦГ не имеет [6,7]. Некоторые вопросы воздействия электронного излучения на пестицидный препарат обсуждаются в работах [8,9]. Показано, что разрушающее пестицид действие электронов, также как и гамма-облучение, более эффективно в щелочной среде, при этом электронное воздействие имеет некоторое преимущество.

Целью данной работы являлось определение радиационной устойчивости изомеров ГХЦГ в составе модельной гетерогенной системы – увлажненный пестицидный препарат. Задачи включали исследование зависимости степени разложения изомеров ГХЦГ от поглощенной дозы электронного излучения.

В качестве исходного вещества для приготовления модельных образцов был использован отход пестицидного препарата дуста гексахлорана [5]. В состав его действующего вещества входят 8 изомеров ГХЦГ, большие количества приходятся на α -, β - и γ -изомеры. Наиболее токсичным является γ -ГХЦГ.

Образцы подверглись электронному облучению на установке УЭЛР10-10С с максимальной энергией электронов 10 МэВ (Инновационно-внедренческий центр радиационной стерилизации Уральского федерального университета).

Анализ облученных образцов проводился на базе лаборатории «Экологический контроль

объектов ЯТЦ» ИАТЭ НИЯУ МИФИ, на газовом хроматографе «Хроматэк Кристалл 5000.2». Рабочие параметры прибора приведены в работе [9].

Эксперимент включал следующие этапы:

- подготовка 18 образцов увлажненного препарата (в трехкратной повторности каждого образца с учетом исходного и облученного состояний). Образец представлял собой однородную смесь препарата с дистиллированной водой (для активации радиолиза), взятых в соотношении 1 г и 1 мл соответственно;

- облучение 15 образцов на ускорителе электронов при значениях доз 10, 100, 200, 500, 700 кГр;

- выделение действующего вещества препарата экстрагированием исходных и облученных образцов гексан-ацетоновым раствором с последующей сухой экстракцией серноокислым натрием;

- определение концентрации α -, β - и γ -изомеров ГХЦГ в экстрактах методом газожидкостной хроматографии. Пересчет на содержание ГХЦГ в препарате и последующее определение степени разложения каждого изомера ГХЦГ проводились соответственно по формулам (1) и приведенным в работе [9].

$$C_{\%} = \frac{C_i \cdot V_i \cdot R}{m_i \cdot 1000 \cdot 10} \quad (1)$$

где C_i – концентрация исследуемой пробы, выдаваемая прибором, мкг/мл;

V_i – объем экстракта пробы (100 мл);

R – разбавление исследуемой пробы, мкг/мл;

m_i – масса навески пробы, г.

Результаты хроматографического анализа представлены в таблице 1.

Таблица 1

Содержание изомеров ГХЦГ в исследуемых образцах до и после облучения.

Изомер	С%±ΔС в образцах					
	до	после облучения в дозе, кГр				
		10	100	200	500	700
α -ГХЦГ	6,9±2,1	3,9±0,9	3,2±0,5	3,1±0,5	5,0±0,6	4,2±1,7
β -ГХЦГ	2,40±0,66	1,5±0,4	1,3±0,4	1,3±0,3	1,9±0,4	1,7±0,9
γ -ГХЦГ	1,60±0,38	0,8±0,3	0,6±0,3	0,6±0,1	0,9±0,2	0,7±0,3

По полученным значениям концентраций рассчитывалась степень разложения изомеров ГХЦГ и оценивалась их радиационная устойчивость. Дозовая зависимость величины Р, % представлена на рисунке 1. Как видно из рис.1, радиационное разложение всех изомеров начинается уже при воздействии электронного излучения в дозе 10 кГр и составляет для α -ГХЦГ – 43,0 %; β -ГХЦГ – 35,0 % и γ -ГХЦГ – 50,0 %. Из приведенных данных по деструкции ГХЦГ следует, что наиболее устойчивым к воздействию электронов является β -ГХЦГ и наименее устойчивым – γ -ГХЦГ, что согласуется с литературными данными по

радиационной устойчивости этих изомеров к гамма-излучению [6,7].

Максимальная степень разложения для всех изомеров достигается при значениях доз 100 – 200 кГр и составляет для α -, β -, γ -ГХЦГ, соответственно, 56 %, 46 %, 63 %.

Отсутствие достоверных отличий величины Р для изомеров ГХЦГ при действии доз 100, 200 и 700 кГр позволяет предположить наличие области значений D, для которых практически отсутствует эффект усиления радиационной деструкции вещества. Однако, особый интерес вызывают значения Р, полученные при облучении образца в дозе 500 кГр. Если

исключить вероятность технической ошибки при облучении образца, то наблюдаемый минимум значений P потребует специальных исследований и

теоретических обоснований. Данные для этого могут быть получены только по результатам повторного эксперимента.

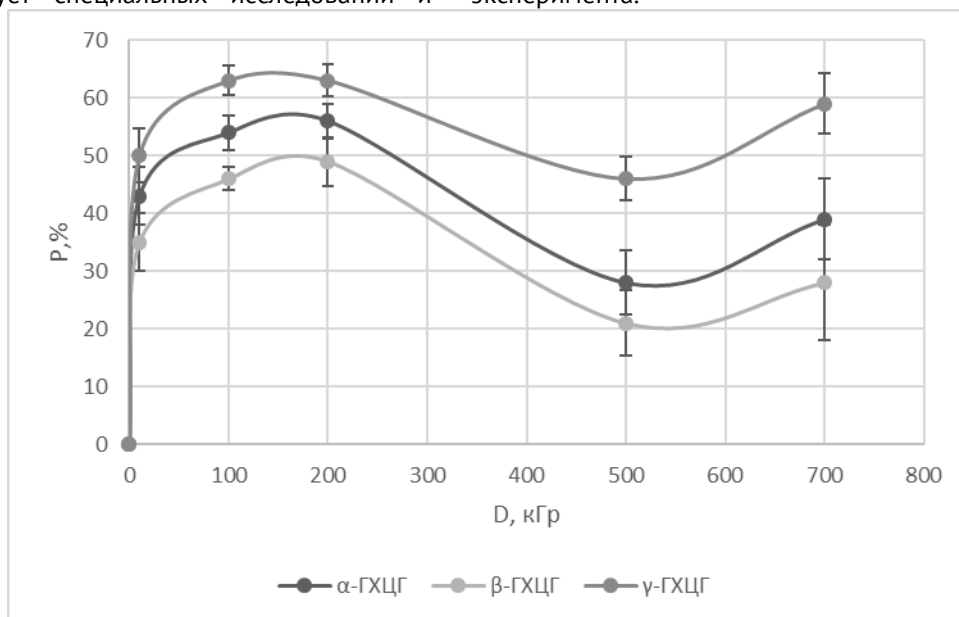


Рисунок 1 – Зависимость степени разложения P , % изомеров ГХЦГ от поглощенной дозы D , кГр электронного излучения

В заключении следует отметить, что результаты работы свидетельствуют о перспективе исследования степени разложения ГХЦГ в пределах поглощенной дозы 100 – 200 кГр, используя для повышения значения P вариации таких показателей внешней среды, как температура, объем добавляемой к препарату воды, активирующей радиолит ХОП, а также поддержание дисперсионной стойкости гетерогенной системы в процессе облучения.

Список литературы

1. Стокгольмская конвенция о стойких органических загрязнителях / UN, Стокгольм, 2001.
2. Трегер Ю.А. Стойкие органические загрязнители. Проблемы и пути их решения // Вестник МИТХТ. 2011. № 5. С. 87-97.
3. Доклад об экологической ситуации в Калужской области в 2010 году [Электронный ресурс]: Министерство природных ресурсов и экологии Калужской области. URL: http://ecology.admoblkaluga.ru/sub/ecology/OxranaOC/Doklad2010_big.php (Дата обращения 06.06.2019).
5. Мельникова Т.В., Полякова Л.П., Лукьянова Н.Н. Исследование последствий радиационного воздействия на линдан и действующее вещество препарата «Гексахлоран дуст» // Н.Н. Degradation of some pesticides in aqueous solutions by electron beam and gamma-radiation // Journal of Radioanalytical and

Nuclear Chemistry Ядерная энергетика. 2017. №1. С. 107-115.

6. Полякова Л.П., Мельникова Т.В., Козьмин Г.В. Методические аспекты радиационной обработки пестицидных препаратов в целях утилизации их отходов // International Journal of applied and fundamental research. 2014. №11. 6 с.

7. Abadel S.E., Dessouki A.M., Sokker. 2001. V. 250. pp 329-334.

8. Питухина О.А., Полякова Л.П., Гордеев А.В., Мельникова Т.В., Удалова А.А. Сравнение устойчивости действующего вещества в составе суспензии препарата «гексахлоран дуст» при воздействии гамма- и электронного излучений. Будущее атомной энергетики – AtomFuture 2017. XIII Международная научно-практическая конференция (Обнинск: 27-30 ноября 2017) – Обнинск: ИАТЭ НИЯУ МИФИ, 2018. – С. 71-73.

9. Полякова Л.П., Мельникова Т.В., Гордеев А.В., Удалова А.А., Козьмин Г.В. Исследование дозовой зависимости степени разложения действующего вещества в составе пестицидного препарата при облучении электронами. Радиационные технологии в сельском хозяйстве и пищевой промышленности. Состояние и перспективы: сборник докладов международной научно-практической конференции, Обнинск, 26-28 сентября 2018 г. Обнинск: ФГБНУ ВНИИРАЭ, 2018. – С. 108-112.

EFFECT OF ELECTRON IRRADIATION ON DEGRADATION DEGREE OF HCH-ISOMERS AS COMPONENTS OF MOISTURIZED DUST HEXACHLORANE PESTICIDE PREPARATION

Ivakhno V.V.¹, Polyakova L.P.¹, Melnikova T.V.¹, Baranova A.A.², Ryabuhin O.V.², Oudalova A.A.¹

¹ Obninsk Institute for Nuclear Power Engineering – branch of the National Nuclear Research University «MEPhI»
249040, Kaluga region, Obninsk, Studgorodok st, b. 1, Russian Federation

² Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, 620002 Ekaterinburg, Mira st., b. 21, Russian Federation

The organochlorine pesticides (OCP) as persistent organic pollutants pose a risk to the environment. Methods for their utilization are being actively studied. One of perspective methods is electron irradiation. In this study, radiation impact on substance without chemical additives in neutral medium was used to take into account the ecological requirements for OCP disposal procedures. Electron beam impact on dispersive system 'pesticide preparation - water' was studied. Isomers of hexachlorocyclohexane (HCH) as a component of active substance of dust hexachlorane waste were studied under electron irradiation at doses of 10-700 kGy. Degree of decomposition (P, %) of HCH-isomers was determined. Chromatographic analysis showed that the greatest P value after irradiation was reached at doses of 100 and 200 kGy. An increase in dose up to 700 kGy affects the P value insignificantly.

Keywords: organochlorine pesticides, hexachlorane dust, HCH isomers, degree of decomposition, electron radiation, dose dependence

УДК 632.935.44+633.111.1

ВЛИЯНИЕ ИМПУЛЬСНОЙ РЕНТГЕНОВСКОЙ ОБРАБОТКИ НА ГРИБНЫЕ ИНФЕКЦИИ В СЕМЕНАХ ПШЕНИЦЫ

Исемберлинова А.А.¹, Нужных С.А.², Чубик М.В.¹, Покровская Е.А.¹, Полосков А.В.¹, Серебренников М.А.¹, Егоров И.С.¹, Ремнев Г.Е.¹

¹ - Томский политехнический университет

634050, Томская обл., г. Томск, пр. Ленина, 30, Российская Федерация

e-mail: aai29@tpu.ru

² - Томский государственный университет

634050, Томская обл., г. Томск, пр. Ленина, 36, Российская Федерация

Исследована возможность использования импульсного рентгеновского излучения для устранения грибных болезней в семенах пшеницы. В работе использовали семена пшеницы сорта Ирень, зараженные грибами рода *Fusarium* sp., *Helminthosporium* sp., *Alternaria* sp. Облучение проводили на импульсном рентгеновском источнике, в диапазоне доз от 0,4 до 1,5 кГр. Была показана возможность применения импульсного рентгеновского излучения для устранения грибных инфекций в семенах пшеницы, при этом летальная доза для грибов составила 1,5 кГр. При дозах ниже 1,5 кГр наблюдалась радиостимуляция грибов рода *Alternaria*.

Ключевые слова: импульсное рентгеновское излучение, радиационная обработка, грибные болезни, меланизированные грибы, патогены, семена пшеницы

Одной из важных проблем в сельском хозяйстве и пищевой промышленности является борьба с болезнетворными микроорганизмами с целью повышения безопасности пищевых продуктов [1]. Зерно является благоприятной средой для развития патогенной микрофлоры, наиболее опасными из которых являются плесневые грибы. Широко распространенными грибами-патогенами, встречающимися повсеместно на семенах пшеницы, являются *Fusarium* sp., *Helminthosporium* sp., *Alternaria* sp. Интенсивное развитие данных грибов приводит к формированию различных заболеваний в семенах, а также накоплению

микотоксинов, как следствие, происходит снижение функционально-технологических свойств зерна и их питательной ценности. Использование зараженного зерна в практических целях становится невозможным, что является значимой проблемой в сельском хозяйстве.

В последние десятилетия радиационная обработка выходит на уровень коммерческого применения для микробиологического обеззараживания пищевых продуктов, стерилизации либо уничтожения вредителей сельскохозяйственных культур, устранения, уменьшения загрязнения плесенью, грибными

инфекциями (и микотоксинами), предотвращения перезревания, а в случае появления клубней и луковок – прорастания, улучшая сроки хранения сельхозпродуктов, полуфабрикатов, кулинарных изделий [1, 2].

В данной работе была исследована возможность использования импульсного рентгеновского излучения для подавления грибных инфекций. В качестве объекта были выбраны семена пшеницы сорта Ирень, зараженные грибами рода *Fusarium sp*, *Helminthosporium sp*, *Alternaria sp*. Обработка зерен производилась с использованием импульсного электронного ускорителя, работающего в режиме генерации тормозного рентгеновского излучения [3]. Диапазон используемых поглощенных доз: 0,4 - 1,5 кГр. Дозы тормозного рентгеновского излучения контролировали с помощью ионизационных камер РРС40 и радиохромных дозиметрических пленок ЕВТ-3.

Зараженность контрольных и обработанных импульсным рентгеновским излучением семян пшеницы грибами и всхожесть зерен определяли по общепринятым методикам (ГОСТ 12044-93, ГОСТ 12038-84).

Влияние импульсной рентгеновской обработки на грибные болезни семян пшеницы показано на рис. 1. При обработке импульсным рентгеновским излучением, летальная доза для грибов составила 1,5 кГр. При дозе 1 кГр процент зараженности альтернариозом был значительно выше (44,7 %), чем в контрольной партии семян (17,3 %). Выявленная радиостимуляция грибов рода *Alternaria*, при дозах, предшествующих летальной, связана со структурой меланинсодержащих грибов, к которым они относятся. Влияние импульсного рентгеновского излучения на всхожесть семян пшеницы показано на рисунке 2.

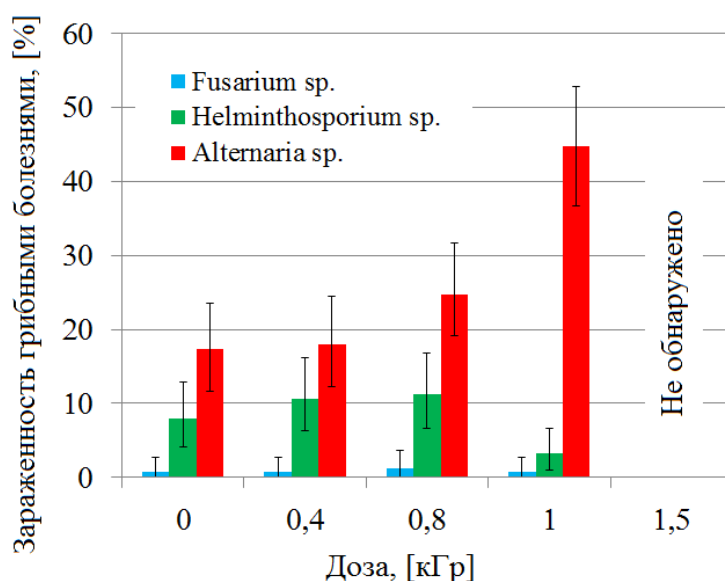


Рисунок 1 – Влияние импульсного рентгеновского излучения на грибные болезни семян пшеницы

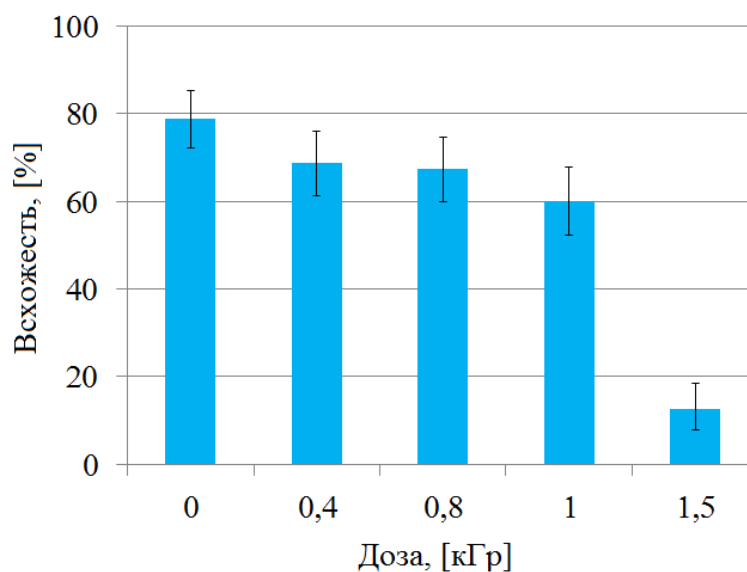


Рисунок 2 – Влияние импульсного рентгеновского излучения на всхожесть семян пшеницы

С увеличением дозы всхожесть постепенно снижается, при 1,5 кГр происходило значительное снижение всхожести с 79,0 % до 12,7 % по сравнению с контролем.

Таким образом, показана возможность применения тормозного рентгеновского излучения для устранения грибных болезней в семенах пшеницы. При этом при дозах ниже летальной наблюдается радиостимуляция меланизированных грибов *Alternaria* под воздействием импульсного рентгеновского излучения. Данная обработка может быть применима для проблем решения сохранности сырья, повышения технологических свойств зерна, их питательной ценности, безопасности пищевой продукции.

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ 18-79-00261.

Список литературы

1. Алексахин, Р. М., Санжарова, Н. И., Козьмин, Г. В., Павлов, А. Н., & Гераськин, С. А. Перспективы использования радиационных технологий в агропромышленном комплексе Российской Федерации // Вестник РАЕН. 2014. 14(1). С. 78-85.

2. Calado T., Venâncio A., Abrunhosa L. Irradiation for mold and mycotoxin control: a review // Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. 2014. Т. 13. №. 5. С. 1049-1061.

3. Egorov I.S., Remnev G.E., Kaikanov M.I. и др. Repetitive source of pulsed electron beams // Известия высших учебных заведений. Физика. 2012. Т. 55. № 10-3. С. 58-60.

INFLUENCE OF PULSE X-RAY TREATMENT ON FUNGI INFECTIONS IN WHEAT SEEDS

Iseberlinova A.A.¹, Nuzhnyh S.A.², Chubic M.V.¹, Pokrovskaya E.A.¹, Poloskov A.V.¹, Serebrennikov M.A.¹, Egorov I.S.¹, Remnev G.E.¹

¹ Tomsk Polytechnic University, 634050 Tomsk Region, Tomsk, Lenin Ave., 30, Russian Federation

² Tomsk State University, 634050 Tomsk Region, Tomsk, Lenin ave., 36, Russian Federation

The possibility of using pulsed x-ray radiation to eliminate fungal diseases in wheat seeds has been investigated. We used wheat seeds of the Iren variety infected with fungi of the genus *Fusarium* sp., *Helminthosporium* sp., *Alternaria* sp. Irradiation was carried out on a pulsed x-ray source in the dose range from 0.4 to 1.5 kGy. The possibility of using pulsed x-ray radiation to eliminate fungal infections in wheat seeds was shown, while the lethal dose for fungi was 1.5 kGy. At doses below 1.5 kGy, radio stimulation of fungi of the genus *Alternaria* was observed.

Keywords: X-ray pulsed radiation, radiation treatment, fungal diseases, melanized fungi, pathogens, wheat seeds

УДК: 53.043, 53.044

ИЗУЧЕНИЕ РАДИАЦИОННОГО РАЗЛОЖЕНИЯ ДЕЙСТВУЮЩЕГО ВЕЩЕСТВА ПЕСТИЦИДНОГО ПРЕПАРАТА «ГЕКСАХЛОРАН ДУСТ» В АММИАЧНО-БУФЕРНОМ РАСТВОРЕ

Мелешко А.Ю.¹, Мельникова Т.В.¹, Баранова А.А.², Рябухин О.В.², Полякова Л.П.¹, Удалова А.А.¹

¹ Обнинский институт атомной энергетики – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ» 249040, Калужская область, г. Обнинск, Студгородок, д.1, Российская Федерация
e-mail: romahka_300.1994@mail.ru, tritel2010@gmail.com, polyakova_50@mail.ru

² Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина 620002, Свердловская область, г. Екатеринбург, ул. Мира, д.21, Российская Федерация
e-mail: a.a.baranova@urfu.ru

На сегодняшний день изучено несколько способов утилизации хлорорганических пестицидов. Одним из таких способов является применение радиационного воздействия. В данной работе исследовано влияние облучения ускоренными электронами на деструкцию действующего вещества в составе пестицидного препарата «Гексахлоран дуст» в аммиачно-буферном растворе. Состав пестицидного препарата представлен тремя стереоизомерами ГХЦГ (α -, β - и γ -ГХЦГ). После проведенного хроматографического анализа и определения концентраций каждого компонента пестицидного препарата до и после электронного облучения, был произведен расчет степени разложения этих веществ. Показано увеличение степени разложения изомеров ГХЦГ, вызванного возрастающей дозой электронного облучения от 10 до 700 кГр. Установлено, что наиболее эффективно деструкция ГХЦГ протекает при

электронном облучении в дозах 100-200 кГр, максимальное значение степени разложения составляет для α -ГХЦГ – 52 %, для β -ГХЦГ – 40 % и для γ -ГХЦГ – 66 %. При дальнейшем увеличении дозы интенсивность процесса разложения снижается.

Ключевые слова: хлорорганические пестициды, стойкие органические загрязнители, «Гексахлоран dust», α -ГХЦГ, β -ГХЦГ, γ -ГХЦГ, ускоренные электроны, устойчивость ХОП, утилизация пестицидов

В настоящее время хлорорганические пестициды, как представители класса стойких органических загрязнителей, накопленные за десятилетия их использования, несут серьезный риск загрязнения природной среды, так как основным способом их удаления является хранение на складах сельского хозяйства или неглубокое захоронение. Из-за высокой стойкости к воздействию различных факторов внешней среды, эти вещества способны накапливаться в объектах окружающей среды, мигрировать по цепям питания [1], отрицательно воздействовать на флору и фауну. Что и делает эти вещества главными объектами современных экологических исследований.

Одним из рассматриваемых способов утилизации и обезвреживания ХОП может быть применение радиационного воздействия, исходя из проведенных ранее экспериментов. В работах [2-3] приведены результаты по применению радиационного облучения для утилизации загрязненной пестицидами полиэтиленовой упаковки, а также возможном использовании электронного облучения для разрушения полихлорированных бифенилов (ПХБ). Также, ранее проводили эксперименты по исследованию степени разложения ХОП под действием гамма-облучения и электронного облучения [4-5]. Полученные данные свидетельствуют том, что при электронном и гамма-облучении препарата «Гексахлоран dust» наблюдается зависимость степени его разложения от фазового состояния анализируемых образцов. Используемые в радиационных технологиях дозы способны вызывать разложение остаточных количеств ХОП и в итоге привести их к радиационным модификациям. Таким образом, целью данной работы являлось изучение разложения действующего вещества пестицидного препарата «Гексахлоран dust» в аммиачно-буферном растворе при электронном облучении в линейке доз 10-700 кГр.

Объектом исследования является пестицидный препарат «Гексахлоран dust» в аммиачно-буферном растворе в соотношении 1:2. Навеску пестицидного препарата массой 1,0 г помещали в пенициллиновый флакон. После добавления к dustу 2,0 мл аммиачно-буферного раствора (рН=10,7), пенициллиновый флакон надежно запечатали при помощи резиновой и металлической крышки. Аналогично было подготовлено 8 серий образцов по 3 повторности для дальнейшего облучения и 3 необлученных пробы.

Облучение проводилось в лаборатории Инновационно-внедренческого центра радиационной стерилизации Уральского федерального университета в линейке возрастающих доз (10, 100, 200, 300, 400,

500, 600 и 700 кГр) на РТУ с ускорителем УЭЛР-10-10С электронами с энергией 10 МэВ.

После облучения все образцы пестицидного препарата подвергались пробоподготовке, заключающейся в извлечении α -, β - и γ -изомеров ГХЦГ методом экстракции.

По завершению выполнения всех мероприятий по подготовке образцов проб был проведен инструментальный анализ проб, выполненный газохроматографическим методом на ГХ «Кристалл 5000.2». Для подготовки прибора к работе была выполнена его калибровка. Построены градуировочные кривые зависимости площади пика изомеров ГХЦГ от их концентрации. По значениям коэффициентов детерминации и корреляции была подтверждена линейная зависимость.

Условия хроматографирования:

- колонка кварцевая капиллярная типа Waxms 30м·0,32мм·0,5мкм;
- режим программирования температуры от 180 до 250°C (10°C/мин);
- температура детектора (ЭЗД – 63Ni): 250°C;
- температура испарителя: 230°C;
- объем пробы: 0,5 мкл;
- деление потока: 1:10.

По результатам проведенного хроматографического анализа исследуемых проб были получены значения концентраций изомеров ГХЦГ, для пересчета их в процентную концентрацию (С, %) по формуле (1):

$$C_{\%} = \frac{C_i \cdot V_i \cdot R}{m_i \cdot 1000 \cdot 10}, \quad (1)$$

где C_i – концентрация исследуемой пробы, выдаваемая прибором, мкг/мл; V_i – объем экстракта пробы (100 мл); R – разбавление исследуемой пробы, мкг/мл; m_i – масса навески пробы, г.

Степень разложения действующего вещества определяется по изменению массовой доли пестицида до и после облучения по формуле (2):

$$P = 100\% - \frac{C_{\text{после}}}{C_{\text{до}}} \cdot 100\%, \quad (2)$$

где P – степень разложения вещества, %; $C_{\text{после}}$ – массовая доля пестицида после облучения, %; $C_{\text{до}}$ – массовая доля пестицида до облучения, %.

По полученным значениям содержания компонентов ГХЦГ была рассчитана их степень разложения от воздействия потока электронов, данные представлены в таблице 1. Полученные результаты определения параметра P (%) подвергались статистической обработке с помощью программного пакета Microsoft Office Excel 2016.

Степень разложения компонентов ГХЦГ в исследуемых образцах

Вещество	P±Δ,%							
	Условия облучения							
	10 кГр	100 кГр	200 кГр	300 кГр	400 кГр	500 кГр	600 кГр	700 кГр
α-ГХЦГ	43±3,4	52±2,7	46±2,8	49±2,6	51±2,7	44±2,8	15±2,9	39±5,0
β-ГХЦГ	31±4,2	40±5,8	38±6,3	25±7,4	36±4,0	38±3,1	4,0±5,2	20±12
γ-ГХЦГ	49±5,7	62±4,1	66±3,5	55±6,6	56±5,4	54±7,1	59±8,0	65±5,1

По результатам степени разложения была построена зависимость «доза-эффект» для каждого компонента исследуемого препарата (рис. 1).

Согласно полученным значениям степени разложения (табл. 1, рис. 1), при воздействии потока электронов на состав ГХЦГ происходит его частичная деструкция. Максимальное разложение для изомеров

α- и β-ГХЦГ достигается при дозе 100 кГр и составляет 52 и 40 %, соответственно. Для γ-ГХЦГ максимальное разложение наблюдается при дозе 200 кГр и составляет 66 %. При дальнейшем увеличении поглощенной дозы электронного облучения P снижается для этих изомеров, из этого следует, что их содержание в пробе остается на высоком уровне.

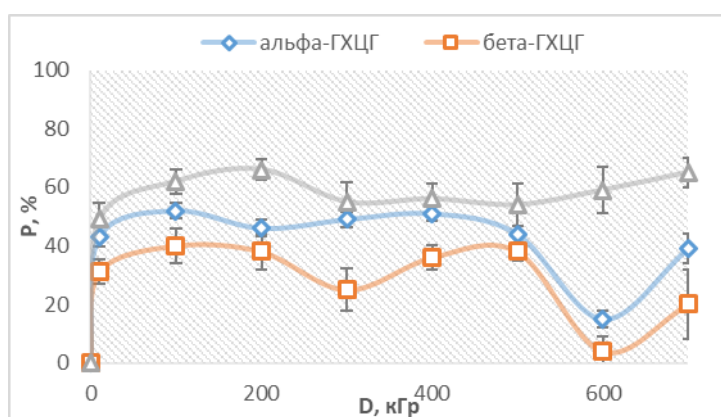


Рисунок 1 – Зависимость степени разложения (P, %) изомеров ГХЦГ в препарате «Гексахлоран дуст» от величины поглощенной дозы (D, кГр)

Проведя статистическую обработку для определения критерия однородности двух выборок, было выявлено, что значения степени разложения γ-ГХЦГ достоверно не изменяются в пределах доз облучения 100-700 кГр. Следовательно, в данном случае следует отклонить предположение, что большие дозы воздействия потока электронов на ХОП ведут к усилению его деструктивных и модификационных процессов. Эффективным является применение радиационного воздействия в диапазоне доз 100-200 кГр.

Можно заключить, что при облучении ускоренными электронами степень радиационного разложения γ-ГХЦГ увеличивается в диапазоне доз 10-700 кГр и достигает максимума – 66 % при дозе 200 кГр, а для α- и β-ГХЦГ, максимум наблюдается при дозе в 100 кГр и составляет 52 % и 40 %, соответственно.

Список литературы

1. Врочинский К.К. Применение пестицидов и охрана окружающей среды К.К. Врочинский, В.Н. Мавковский. М.: Высшая школа, 1979. 320 с.

2. Duarte C.L, Mori M.N., Kodama Y., Oikawa H., Sampa M.H.O. Decontamination of pesticide packing using ionizing radiation // Radiat. Phys. Chem. 2007. V. 76. P. 1885–1889.

3. Abdel Aal S.E., Dessouki A.M., Sokker Y.H.N. Degradation of some pesticides in aqueous solutions by electron beam and gamma-radiation // J. Radioanal. Nucl. Chem. 2001. V. 250(2). P. 329–334.

4. Мельникова Т.В., Полякова Л.П., Козьмин Г.В., Никулкина Ю.И., Глушков Ю.М. Изучение устойчивости хлорорганических соединений в составе пестицидного препарата под воздействием гамма-излучения // Ядерная физика и инжиниринг. 2011. Т. 2, № 4. С. 370-374.

5. Полякова Л.П., Мельникова Т.В., Лукьянова Н.Н. Исследование последствий радиационного воздействия на линдан и действующее вещество препарата «Гексахлоран Дуст» // Ядерная энергетика. 2017. №1. С. 107-115.

STUDY OF RADIATION DECOMPOSITION OF THE ACTIVE SUBSTANCE IN PESTICIDE PREPARATION «HEXACHLORANE DUST» IN AMMONIA-BUFFERED SOLUTION

Meleshko A.Yu.¹, Melnikova T.V.¹, Baranova A.A.², Ryabuhin O.V.², Polyakova L.P.¹, Oudalova A.A.¹

1 - Obninsk Institute of Nuclear Power Engineering - branch of the National Research Nuclear University "MEPhI"

249040 Kaluga region, Obninsk, Studgorodok st, b. 1, Russian Federation

2 - Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, 620002 Ekaterinburg, Mira st., b. 21, Russian Federation

To date, several methods for utilization of organochlorine pesticides have been studied. Among them is an application of radiation exposure. In this work, the effect of irradiation with accelerated electrons is studied on the degradation of the active substance in the composition of the "Hexachlorane dust" pesticide drug under conditions of ammonia-buffer solution. The pesticide preparation is composed by three stereoisomers of HCH (α -, β - and γ -HCH). With the chromatographic analysis, the concentrations of each stereoisomers are determined in the pesticide preparation before and after electron irradiation, and the degradation degree of these substances is calculated. An increase in the degradation degree of HCH isomers is shown at an increasing electron dose from 10 to 700 kGy. It is found that the HCH destruction is most effective at doses of 100–200 kGy from the electron beam; the maximum value of the degradation degree is 52 % for α -HCH, 40 % for β -HCH and 66 % for γ -HCH. With the further increase in dose, the intensity of the decomposition process decreases.

Keywords: *organochlorine pesticides, persistent organic pollutants, «Hexachlorane dust», α -HCH, β -HCH, γ -HCH, accelerated electrons, OCP persistence, utilization of pesticides*

УДК 631.95:58.02

ВЛИЯНИЕ ПРЕПОСЕВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭМИ КВЧ НА ИЗМЕНЕНИЕ СОЛЕУСТОЙЧИВОСТИ ПШЕНИЦЫ ЯРОВОЙ

Мищенко Е.В., Никитин А.Н., Сухарева Д.В.

Государственное научное учреждение «Институт радиобиологии Национальной академии наук Беларуси»,

г. Гомель, улица Федюнинского 4, 246007, Республика Беларусь,

e-mail: egormischenko@gmail.com

Поиск новых способов воздействия на животные и растительные организмы является актуальной задачей. В этом отношении интерес представляет использование физических факторов, таких как различные виды ионизирующих и неионизирующих излучений, включая КВЧ-излучение, т. е. излучение крайне высокой частоты (30 - 300 ГГц) нетепловой интенсивности. Целью нашей работы было выявить оптимальные режимы воздействия электромагнитных излучений миллиметрового диапазона на растительные организмы для повышения их адаптационного потенциала на засоление почв. Исследовано влияние ЭМИ КВЧ частот 41,30; 42,00; 42,25; и 52,95 ГГц с мощностью потока 100 мкВт/см² и продолжительностью воздействия 60 мин на устойчивость пшеницы к засолению почвы. Показано, что облучение семян ЭМИ КВЧ с частотой 42,00 ГГц повышает устойчивость проростков к действию неблагоприятных факторов. Эффективность обработки более высокая при облучении семян до замачивания.

Ключевые слова: *электромагнитное излучение, пшеница яровая, засоление, стресс растений, сельское хозяйство*

Объектом исследований, выбрана пшеница яровая. Пшеница относится к семейству Мятликовые (*Poaceae*), представители которого обычно входят в состав травосмесей, используемых при фиторемедиации техногенно нарушенных территорий. Следует также отметить значительную площадь засоленных почв в ряде регионов, производящую данную культуру.

В эксперименте анализировалась энергия прорастания, лабораторная всхожесть, длина надземных и подземных органов, а также их масса[1]. Семена прорастивались при оптимальной температуре в 24° С и в течение 5 суток на засоленной почве[2].

На основании анализа полученных ранее данных была выбрана концентрация NaCl в почве 0,8 г/кг, поскольку она вызывает значимые изменения размеров и массы органов. Ранее полученные данные

также позволили отобрать оптимальные режимы облучения ЭМИ КВЧ, для повышения общей резистентности растений: частоты 41,30; 42,00; 42,25; 52,95 ГГц [3]; облучение выполнялось перед замачиванием семян и через 24 часа после начала замачивания; продолжительность облучения – 60 мин; мощность потока ЭМИ – 100 мкВт/см².

Для каждого определяемого параметра оценивались среднее арифметическое и стандартное квадратичное отклонение. Оценка значимости различий для длины надземных и подземных частей, массы проростков производилась с помощью t-критерия Стьюдента и U-теста Манна-Уитни.

Результаты исследования и их обсуждение

Результаты эксперимента показали, что облучение сухих и облучение предварительно замоченных семян яровой пшеницы ЭМИ КВЧ частотой 41,3 ГГц не изменяют реакцию растений на присутствие подавляющей рост концентрации NaCl в субстрате. Лишь весовые показатели предварительно замоченных семян, в особенности масса корешка, положительно отреагировали на данный режим предпосевной обработки при последующем прорастании на засоленной почве.

Анализ размеров надземных и подземных органов 5-дневных проростков показал, что воздействие ЭМИ КВЧ частотой 42,00 ГГц до замачивания, продолжительностью 60 мин. и мощностью потока 100 мкВт·см² повышает устойчивость яровой пшеницы к засолению почвы на ранних этапах развития. Размер корешка увеличился почти на 30 %, а побега – на 50 % (рис. 1,2). При этом масса побега увеличилась незначительно, а масса корешка – уменьшилась.

Снятие эффекта засоления при облучении предварительно замоченных семян ЭМИ КВЧ частотой 42,00 ГГц проявляется лишь в незначительной степени если принимать в расчет размеры надземных и

подземных органов. Однако масса побега и корешка после использования данного режима предпосевной обработки существенно увеличивается при дальнейшем прорастании пшеницы на засоленной почве.

Облучение семян ЭМИ КВЧ частотой 42,25 ГГц до замачивания не изменяет размеры надземных и подземных органов 5-дневных проростков пшеницы на засоленную почву. Не изменяется и масса побега. Однако масса корешков заметно возрастает при данном типе воздействия как на условно чистой, так и на засоленной почве. Обработка предварительно замоченных семян ЭМИ КВЧ частотой 42,25 ГГц положительно сказывается на изменении устойчивости проростков яровой пшеницы к засоленности субстрата. Об этом свидетельствует положительная реакция как размеров надземных и подземных органов, так и массы побега. Масса корешка при этом не претерпевает существенных отклонений от положительного контроля.

Облучение ЭМИ КВЧ частотой 52,95 ГГц действует угнетающе на прорастающие семена яровой пшеницы, причем отрицательное действие усиливается на фоне засоленного субстрата. Однако масса корешка положительно отреагировала на совместное действие засоления и предварительного облучения сухих семян ЭМИ КВЧ частотой 52,95 ГГц (рис. 3). Облучение ЭМИ КВЧ частотой 52,95 ГГц предварительно замоченных семян пшеницы не изменило реакцию проростков на стресс, вызванный засолением почвы.

Таким образом, предпосевная обработка сухих семян пшеницы яровой ЭМИ КВЧ частотой 42,00 ГГц продолжительностью 60 мин. с мощностью потока 100 мкВт·см² повышает устойчивость растений к фитотоксическому стрессу, вызванном засолением почвы. При этом следует иметь в виду, что при прорастании в оптимальных условиях данный режим предпосевной обработки может оказать отрицательное влияние на темпы развития растений.

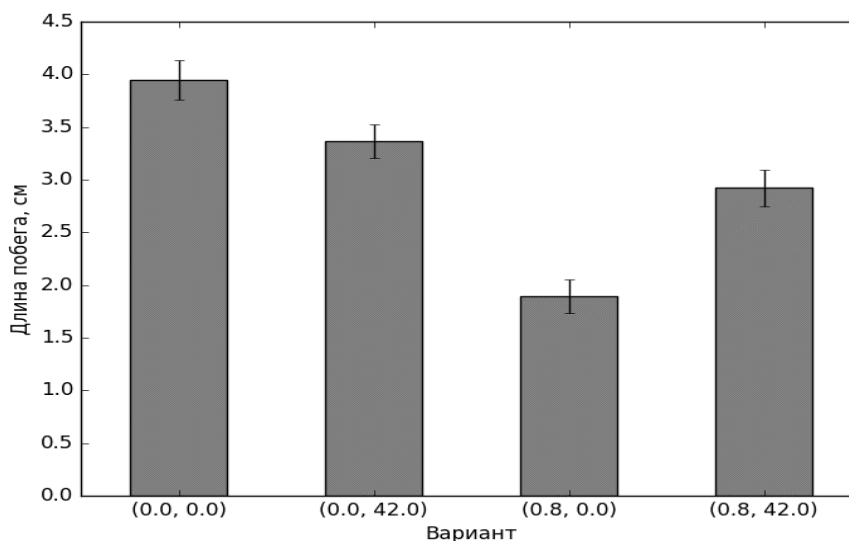


Рисунок 1 – Влияние ЭМИ КВЧ 42,00 ГГц до замачивания и NaCl на длину побега 5-дневного проростка пшеницы. Условные обозначения: (концентрация NaCl в г/кг, частота облучения в ГГц).

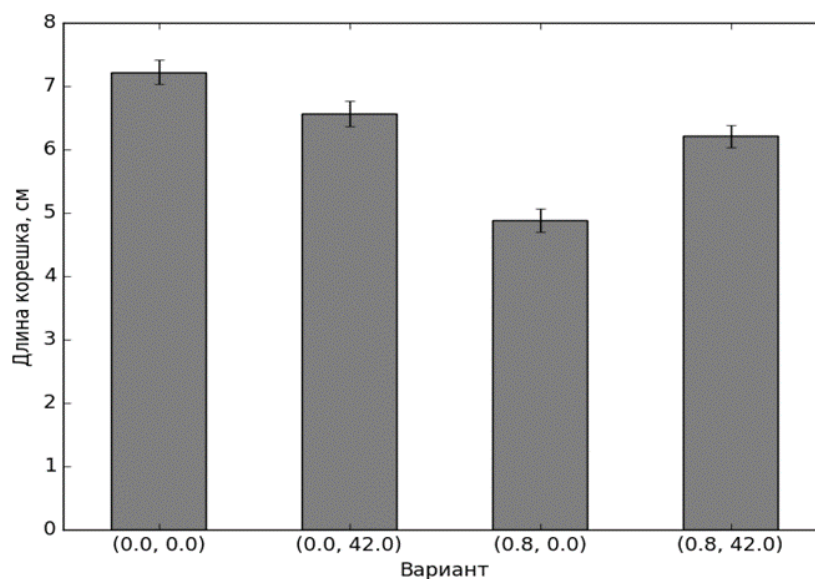


Рисунок 2 – Влияние ЭМИ КВЧ 42,00 ГГц до замачивания и NaCl на длину корешка 5-дневного проростка пшеницы. Условные обозначения: (концентрация NaCl в г/кг, частота облучения в ГГц).

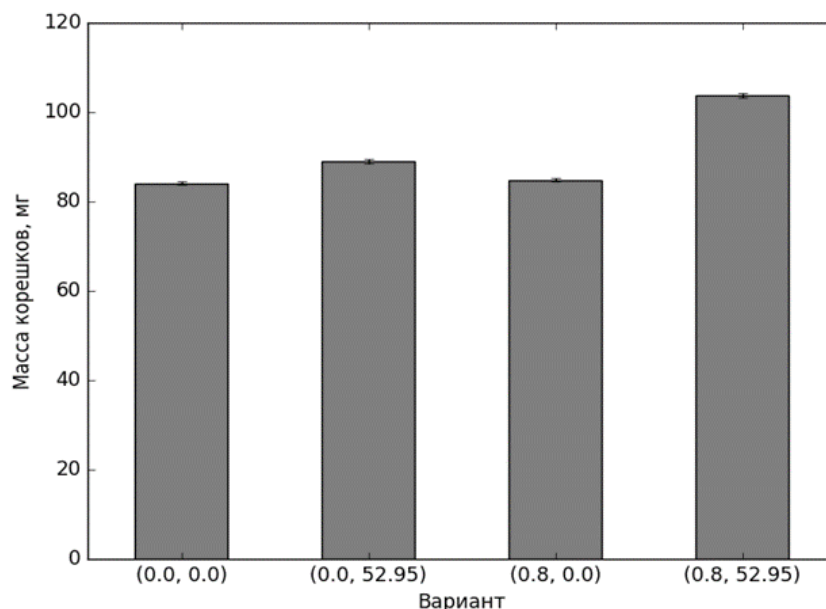


Рисунок 3 – Влияние ЭМИ КВЧ 52,95 ГГц до замачивания и NaCl на массу корешка 5-дневного проростка пшеницы. Условные обозначения: (концентрация NaCl в г/кг, частота облучения в ГГц).

Заключение

Исследовано влияние ЭМИ КВЧ частот 41,30; 42,00; 42,25; и 52,95 ГГц с мощностью потока 100 мкВт/см² и продолжительностью воздействия 60 мин на устойчивость пшеницы к засолению почвы. Показано, что облучение семян ЭМИ КВЧ с частотой 42,00 ГГц повышает устойчивость проростков к действию неблагоприятных факторов. Эффективность обработки более высокая при облучении семян до замачивания.

Список литературы

1. Международный стандарт ISO 11269-2
2. Boluda R. Soil plate bioassay: an effective method to determine ecotoxicological risks / L. Roca-Perez L., Marimont L. // Chemosphere 84 – 2011. – р. 1-8.
3. Мищенко Е.В. Изменение адапционного потенциала пшеницы на ранних этапах развития при воздействии ЭМИ крайне высокой частоты /Е.В. Мищенко; А.Н. Никитин; Д.В. Сухарева // IX Международная научная конференция «Регуляция роста, развития и продуктивности растений». (г. Минск, 24-26 октября 2018г.) / Институт экспериментальной

INFLUENCE OF PRESETTIME EXPOSURE TO EXTREMELY HIGH EMF ON CHANGE OF SALT RESISTANCE OF SPRING WHEAT

Mishchenko E.V., Nikitin A.N., Sukhareva D.V.

State Scientific Institution "Institute of Radiobiology of the National Academy of Sciences of Belarus"
4 Fedyuninsky St., Gomel, 246007, Republic of Belarus

The search for new ways to influence animals and plant organisms is an urgent task. In this respect, it is of interest to use physical factors, such as various types of radiation. EHF radiation, that is, radiation of extremely high frequency (30 - 300 GHz) of non-thermal intensity, of the millimeter range (1-10 mm), is also classified as such factors. The goal of our work was to identify the optimal effects of millimeter-wave electromagnetic radiation on plant organisms in order to increase their adaptive potential for soil salinization. The effect of EMF frequencies 41.30; 42.00; 42.25; and 52.95 GHz with a flow duration of 60 min on wheat to soil salinity. It is shown that the irradiation of seeds of EMF with a frequency of 42.00 GHz increases the resistance of seedlings to the action of adverse factors. The treatment efficiency is higher when the seeds are irradiated before soaking.

Keywords: *electromagnetic radiation, spring wheat, salinization, plants stress, agriculture*

УДК 635.74:579.678

ВЛИЯНИЕ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА МИКРОБИОЛОГИЧЕСКУЮ ОБСЕМЕНЕННОСТЬ И АНТИОКСИДАНТНУЮ АКТИВНОСТЬ КАКАО-ПОРОШКА

Морозова А.И., Крыленкин Д.В., Васильева Н.А.

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии»
249032 Калужская область, г. Обнинск, Киевское шоссе, 109 км, Российская Федерация
e-mail: anastasiya87-03@yandex.ru

Изучено влияние облучения какао-порошка разными типами ионизирующего излучения (γ -излучение и ускоренные электроны) на количество мезофильных аэробных и факультативно анаэробных микроорганизмов (КМА-ФАНМ), дрожжей и плесневых грибов. На основе оценки активности флавоноидов в облученных и исходных пробах какао-порошка спектрофотометрическим методом сделан вывод о влиянии ионизирующего излучения на его антиоксидантную активность.

Ключевые слова: *спектрофотометрический анализ, ионизирующее излучение, антиоксиданты, флавоноиды, какао-порошок*

Какао-порошок является ценным компонентом, используемым в различных областях пищевой промышленности. Он применяется как вкусовая и ароматическая добавка в кондитерской, молочной и косметической отраслях. Его производят из побочного продукта отжима масла из какао бобов – жмыха. В зависимости от конечного содержания масла в порошке различают жирное какао, полужирное и обезжиренное какао (меньше 14 % масла). Процесс производства обезжиренного порошка из какао бобов аналогичен многостадийной схеме изготовления обычного какао-порошка. Единственной особенностью служит контроль остаточного количества масла на стадии отжима. Его сохраняют на этикетке до 0,14 массовой доли продукта. После чего, обезжиренный жмых какао бобов высушивают около

семи суток и тщательно измельчают на специальных мельницах. В конце получают обезжиренный какао-порошок, который фасуют в водонепроницаемую тару разного объема.

Таким образом, при технологическом процессе производства обезжиренного какао-порошка какао бобы подвергаются различным физическим и механическим воздействиям, при каждом из которых происходит дополнительное обсеменение микроорганизмами. Использование ионизирующего излучения для стерилизации конечного продукта является наиболее эффективным, так как позволяет сохранить все полезные свойства и органолептические характеристики [1,2].

Обезжиренный какао-порошок обычно используется при изготовлении глазури, кондитерских

Таблица 1

Наименование		
Источник	γ	e
Характеристики	300 кГр/ч	12 кВт

изделий, составляющие которых не совместимы с какао маслом. Его добавление в рецептуру дает возможность придать шоколадный аромат и вкус кондитерской продукции, и без опасения употреблять ее людям с ослабленным иммунитетом.

Натуральный порошок какао содержит большое количество биологически активных веществ, таких как витамины B1, B6, B9, E, PP, а также дофамин и теобромин, оказывающие благотворное влияние на организм человека. Также в какао-порошке содержится ряд минеральных веществ, а именно, калий, кальций, магний и фосфор. Другим не менее важным свойством какао является наличие большого количества антиоксидантов. Тема свободных радикалов и реакционноспособных кислородсодержащих частиц по-прежнему привлекает повышенное внимание со стороны научного сообщества и все в больше заинтересовывает широкую общественность. Пища, которую мы потребляем, и состояние окружающей среды существенно влияют на биологическое производство свободных радикалов. Антиоксиданты играют важную роль в регуляции протекания свободно-радикальных превращений в организме, существенно влияя на его состояние, поэтому антиоксиданты и исследование антиокислительных свойств соединений в последнее время получили широкое распространение [3].

Одними из важных компонентов антиоксидантной системы клетки являются флавоноиды. Это соединения растительного происхождения, которые относятся к классу полифенолов. Они принимают участие во множестве ключевых процессов роста и развития растений. Одним из этих ключевых процессов является защита растения от различных неблагоприятных факторов окружающей среды, таких как действие ультрафиолета, повышенные концентрации тяжелых металлов, температурный стресс, защита от различных инфекций и паразитов. Еще одна значимая функция флавоноидов – это участие их в защите растений от окислительного стресса, благодаря выраженной антиоксидантной активности [4].

В связи с важностью роли антиоксидантов в защите организма от действия свободных радикалов целесообразным является вопрос сохранения флавоноидов в облученных продуктах питания.

Целью исследования было изучение влияния различных типов ионизирующего излучения на содержание мезофильных аэробных и факультативно анаэробных микроорганизмов (КМАФАнМ), плесневых грибов и дрожжей в какао-порошке и оценка влияния облучения какао-порошка на антиоксидантную активность.

В ходе исследования какао-порошок подвергали действию ионизирующего излучения на γ -установке ГУР-120 Всероссийского научно-исследовательского института радиологии и агроэкологии и на электронном ускорителе УЭЛР-10-15-С-60-1 ООО «Теклеор», дозами 4 кГр; 6 кГр; 8 кГр; 10 кГр; 12 кГр. Режимы облучения представлены в таблице 1.

Микробиологический контроль образцов какао-порошка осуществляли до облучения и сразу после облучения. Посевы культивировали в течение 48 часов при 30°C, после чего производили подсчет всех видимых колоний.

Измерение флавоноидов проводили по следующей методике. Экстракцию флавоноидов осуществляли при помощи 70 % спирта в течение 2-х часов в термостате при 60 °С. В качестве комплексообразователя был выбран раствор $AlCl_3$. Для построения калибровочного графика использовали стандартный раствор кверцетина.

После экстракции по описанной выше методике концентрацию флавоноидов в какао-порошке определяли по уравнению $C = D/0,05$; после чего пересчитывали относительное содержание флавоноидов в облученной пробе по массе. Для пересчета использовали следующее уравнение:

$$W(\%) = \frac{C_1 * V_1 * V_2 * 100}{m_1 * V_3 * 10^6},$$

где $W(\%)$ – относительное содержание кверцетина в мкг/мл, V_1 – общий объем экстракта, V_2 – объем разведения, V_3 – объем экстракта, взятый для анализа, m_1 – масса экстракта, взятого для анализа, 10^6 – пересчет мкг в г и 100 пересчет долей в %.

Полученные результаты обрабатывали статистически с помощью программы Microsoft Excel. Ошибка среднего арифметического не превышала 8 %.

Результаты работы представлены на Рисунках 1 и 2.

На рисунке 1 представлены кривые дозовой зависимости значений КМАФАнМ при двух разных типах ионизирующего излучения. В случае электронного облучения видно, что с увеличением дозы микробиологическая обсемененность какао-порошка снижалась, и при дозе 12 кГр происходила полная стерилизация продукта. В варианте с гамма-излучением полной инактивации микроорганизмов не наблюдалось, но, как показывает график, оба облученных продукта, тем не менее, соответствуют нормам СанПиН 2.3.2.1078-01.

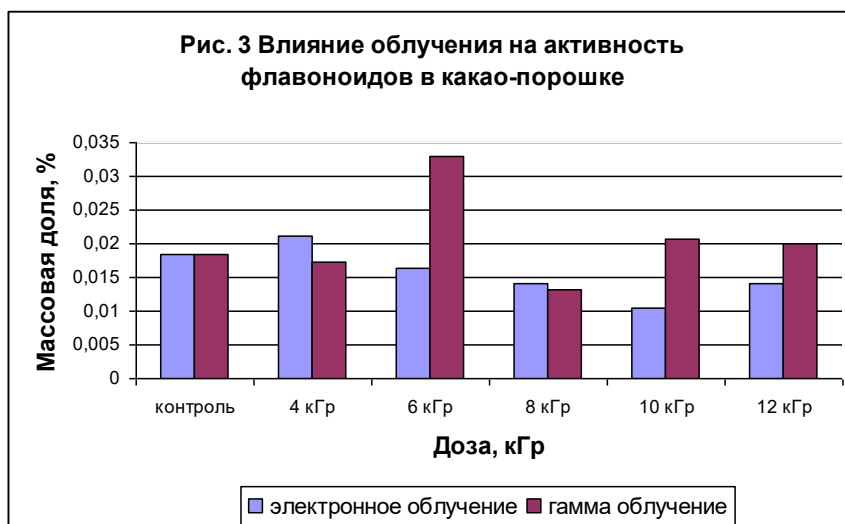
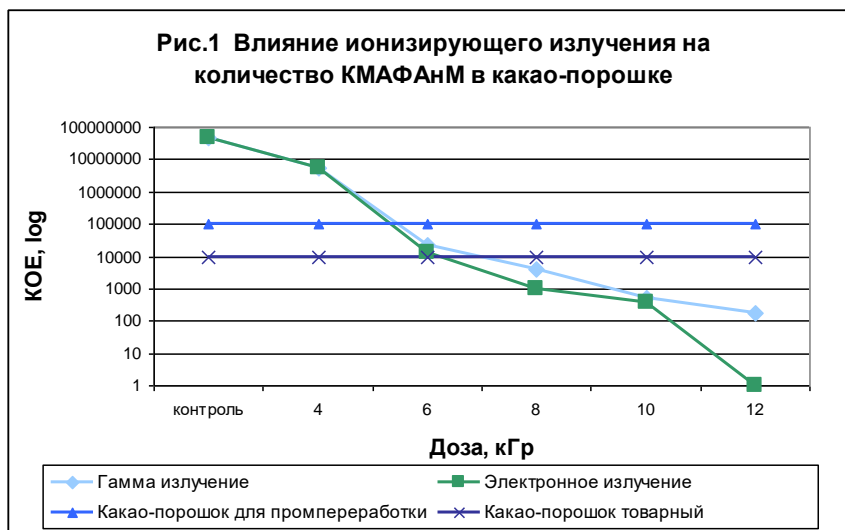
На рисунке 2 представлены результаты по влиянию тех же типов облучения на количество плесневых грибов. В этом случае гамма-излучение оказалось более эффективным по сравнению с электронным. В целом из диаграммы видно, что дозы порядка 6 кГр достаточно для достижения значений, отвечающих санитарным нормам.

Исследование показало, что облучение не оказало существенного влияния на содержание флавоноидов в какао-порошке (рис.3). В случае с гамма-излучением с увеличением дозы наблюдается даже небольшое увеличение процентного содержания

флавоноидов в пробах. Основываясь на литературных данных по влиянию облучения на антиоксидантную активность различных специй, овощей и фруктов облучение не приводит к значительному снижению данного показателя [5, 6, 7]. В то же время есть работы, в которых наблюдается картина, аналогичная

полученной нами при гамма-облучении, т.е. усиление активности антиоксидантов в облученных пробах [8].

Такие противоречивые данные представляют собой интересное явление и требуют дальнейших исследований в этой области.



Список литературы

1. Пименов Е.П., Павлов А.Н., Васильева Н.А., Морозова А.И. Изменение численности микроорганизмов в какао-порошке при гамма облучении и последующем хранении // Мир современной науки. – 2018. №1. С. 8-10.

2. Полякова С.П., Скокан Л.Е., Аксенова Л.М. Идентификация микробиоты кондитерских изделий с добавлением какао-продуктов и влияние микроорганизмов на органолептические характеристики продукции // Вестник Российской сельскохозяйственной науки. 2015. № 6. С. 66-68.

3. В.В. Хасанов, Г.Л. Рыжова, Е.В. Мальцева. Методы исследования антиоксидантов // Химия растительного сырья. 2004. №3. С. 63-75.

4. Флавоноиды: биохимия, биофизика, медицина / Тараховский Ю. С., Ким Ю. А., Абдралилов Б. С.,

Музафаров Е. Н.; [отв. ред. Е.И. Маевский] – Пущино: Synchronbook. 2013. 310 с.

5. Polovka M., Brezová V., Staško A., Mazúr M., Suhaj M., Šimko P. EPR investigations of gamma-irradiated ground black pepper // Radiation Physics and Chemistry. 2006. № 75. С. 309–321.

6. Suhaj M., Ráková J., Polovka M., Brezová V. Effect of gamma-irradiation on antioxidant activity of black pepper (*Piper nigrum* L.) // Food Chemistry. – 2006. - № 97. С. 696–704.

7. Polovka M., Brezová V., Šimko P. EPR spectroscopy II: A tool to characterize the gamma irradiated foods // Journal of Food and Nutrition Research. 2007.

8. Suhaj M., Polovka M., Brezová V. Effect of γ -irradiation on antioxidant activity of black pepper (*Piper nigrum* L.) // Food chemistry. 2006. №4. С. 696-704.

EFFECT OF IONIZING RADIATION ON THE MICROBIOLOGICAL CONTAMINATION AND ANTIOXIDANT ACTIVITY OF COCOA POWDER

Morozova A.I., Krylenkin D.V., Vasileva N.A.

Russian Institute of Radiology and Agroecology, 249032 Kaluga region, Obninsk, Kievskoe shosse 109 km, Russian Federation

The effect of cocoa powder irradiating with various types of ionizing radiation on the number of mesophilic aerobic and facultative anaerobic microorganisms, yeast and molds was studied. The activity of flavonoids in irradiated and control samples of cocoa powder was also evaluated via spectrophotometric analysis. A conclusion about the effect of ionizing radiation on its antioxidant activity was made.

Keywords: *spectrophotometric analysis, ionizing radiation, antioxidants, flavonoids, cocoa powder*

УДК 579.66:621.6

НЕТЕРМАЛЬНАЯ ПЛАЗМА В КОНТРОЛЕ ЦИАНОБАКТЕРИЙ

Петрухина Д.И.

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии»

249032 Калужская область, г. Обнинск, Киевское шоссе, 109 км, Российская Федерация

e-mail: daria.petrukhina@outlook.com

В обзоре рассматривается возможность применения нетермальной плазмы в экологической, сельскохозяйственной и пищевой промышленности для инактивации цианобактерий с целью контроля токсичного цианобактериального «цветения» воды.

Ключевые слова: обработка плазмой, низкотемпературная плазма, холодная плазма, диэлектрический барьер, деактивация

Из-за загрязнения природных вод часто происходит чрезмерное размножение вредных микроорганизмов, в частности цианобактерий, и наблюдается такое явление, как цветение водоемов. Вызывающие цветение цианобактерии, например *Microcystis* sp., представляют угрозу для окружающей среды и для здоровья человека, поскольку вырабатывают и выделяют в среду токсины. Поэтому интересным

представляется дальнейший поиск эффективных методов контроля и снижения негативного эффекта от цветения цианобактерий.

Для подавления или удаления цветения цианобактерий применяют различные методы, например, химические реагенты, УФ-излучение, ультразвуковое облучение, электронно-лучевое облучение и

обработку с помощью нетермальной плазмы (non-thermal plasma (NTP)).

Стоит отметить, что проведение химической обработки сопряжено с негативными побочными явлениями (отрицательное влияние на здоровье людей, вторичное загрязнение при чрезмерном использовании реагентов, сложность хранения токсических препаратов, высокая стоимость обработки). В то же время, технологии, основанные на применении физических факторов, являются как более эффективными, так и экологически безопасными [1-3], поэтому могут быть рекомендованы для контроля цветения цианобактерий.

Обработка с помощью NTP – это относительно новая технология, но уже активно исследуемая с целью очистки сточных вод [4]. Такой обработкой можно достичь полного разложения органических веществ в воде до элементарных безопасных – чаще всего углерода и его оксидов. Кроме того, NTP отрицательно влияет на структуру бактериального сообщества, обитающего в сточных водах, делая его намного менее разнообразным [5].

NTP широко применяется в области защиты промышленных изделий от биоповреждений, для модификация поверхности материалов, в химическом синтезе, при стерилизации и заживлении ран, в обработке термочувствительных материалов (полимеры и биологические ткани), при лечении ряда заболеваний, инактивации токсичных соединений [2, 3, 6, 7]. Воздействие плазмы на поверхность полимера позволяет ее модифицировать и изменять свойства, как смачивание, адгезия, гидрофильность, гидрофобность [7], что может усилить биodeградацию трудно разлагаемого полимера в бактериальной среде [8].

Упрощенно плазма – это ионизированный газ, то есть при нагреве газа до больших температур он переходит в плазму. Холодная или нетермальная плазма – это слабо ионизированный газ с помощью электричества, при этом молекулы и атомы газа имеют практически комнатную температуру, а электроны обладают высокой энергией. Столкновение электронов в такой плазме сопровождается образованием ионов, возбужденных атомов и молекул [9, 10], таких как водород, кислород, перекись водорода и активные радикалы, такие как гидроксильный, гидропероксильный, кислородный и водородный [11]. Эти сформированные частицы обладают высокой степенью химической активности [10], поэтому NTP стимулирует или ингибирует клеточный процесс [10]. Кроме того, NTP создает ультрафиолетовое и рентгеновское излучение [7]. Такое комбинированное воздействие NTP разрушает оболочки бактерий и ДНК, в том числе и вирусные [1], и могут инактивировать клетки цианобактерии *Microcystis* [12, 13].

Для создания NTP при атмосферном давлении применяют разные типы газовых разрядов: 1) «плазменная струя» или непрямая плазма т.е. она генерируется между двумя электродами, а активные частицы, образуемые плазмой, передаются в нужную

область; 2) «диэлектрический барьерный разряд» (DBD – dielectric barrier discharge) или прямая плазма – когда биологический материал используется как электрод, т.е. через него должен проходить поток, направляемый плазмой; 3) «гибридные» т.е. объединяют первые два типа [6, 10]. Разряды, непосредственно контактирующие с обрабатываемым материалом, считаются более перспективными, так как позволяют использовать большинство активных частиц, образующихся в них.

Существует мнение, что антимикробная обработка биологических объектов NTP недостаточно широко применяется потому, что источники этой плазмы – технически сложное оборудование с низкой экономической эффективностью [6]. Но в настоящее время уже разработаны простые, недорогие и высокоэффективные СВЧ-генераторы для питания микроволновых плазмотронов на атмосферном давлении, что позволит проводить стерилизацию и обеззараживание с высокой производительностью и надежностью [14].

Эксперименты по антимикробной обработке были проведены на культуре разных микроорганизмов, например микроводорослей, на которые воздействие плазмы было угнетающим, дозозависимым и видоспецифичным [15]. В качестве модельных объектов в исследованиях медицинской направленности чаще всего используют *Staphylococcus aureus* [16-18, 19], *Escherichia coli* [16, 20, 21], *Bacillus subtilis* [19, 21, 22], гораздо реже виды *Streptococcus* sp., *Klebsiella* spp. [17], *Pseudomonas* sp. [19] и другие виды *Bacillus* [23].

Исследования по влиянию NTP на цианобактерии проводятся, в основном, с целью очищения от них воды. Проводимые эксперименты направлены на повышение эффективности использования обработки с применением NTP. Используется чаще всего диэлектрический барьерный разряд (DBD), поскольку с применением этой методики в суспензиях культур образуются разнообразные активные частицы, которые способствуют инактивации клеток [3] и считается, что среди них гидроксильный радикал играет значимую роль [12]. Это объясняется данными, что моно-обработка перекисью водорода может привести к значительной инактивации цианобактерии *Microcystis* [24], и тем, что применение DBD приводит к образованию перекиси водорода [25].

Отмечается, что скорость инактивации цианобактерий увеличивается со временем после обработки плазмой – это так называемый эффект остаточной инактивации [4, 12, 25], другое название – отсроченная инактивация либо остаточный инактивирующий эффект, который авторы связывают с воздействием перекиси водорода, полученной в результате применения DBD.

Однако обработка с помощью DBD может вызывать как остаточную инактивацию, так и восстановление. Например, авторы наблюдали первоначальное снижение с последующим увеличением

выживаемости после воздействия плазмы на *Klebsiella* sp. [26]. Кроме того, NTP позволяет генерировать различные активные частицы, которые негативно влияют на патогены (инактивируют), одновременно активируя гены защиты хозяина. Например, наблюдалось снижение прорастания грибковых спор возбудителя *Fusarium oxysporum* после воздействия плазмы, и одновременно увеличилась транскрипция генов, связанных с патогенезом в корнях восприимчивого сорта томата (растения-хозяина *Solanum lycopersicum*) после воздействия той же самой дозы плазмы, используемой при грибковой инактивации [27].

Таким образом, авторами предлагается не добиваться сразу первоначальной полной инактивации клеток цианобактерий (увеличивая длительность обработки), а использовать перекись водорода, генерируемую DBD, для остаточной инактивации оставшихся цианобактерий [4, 12, 25]. Это может быть более эффективным способом обработки с точки зрения потребления энергии и затрачиваемого времени.

Возможно, наблюдаемое явление объясняется тем, что первоначальное повреждение клеток цианобактерий, вызванное DBD, может привести к накоплению активных частиц (например, активных

форм кислорода) внутри клетки, что может вызвать усиление гибели цианобактерий в последствие.

С целью оценки эффективности инактивации клеток цианобактерий и микроводорослей после воздействия DBD, можно рекомендовать использовать проточную цитометрию, что позволит определить количество жизнеспособных и погибших клеток в культуре, как показано на рисунке, на примере собственных данных по температурному воздействию (рис. 1). Жизнеспособные клетки обладают автофлуоресценцией, а для распознавания клеток с неповрежденной и поврежденной мембраной друг от друга перед измерением добавляют флуоресцентные красители SYTOX Green/ DiBAC₄(3)/ пропидий йодид (PI).

С помощью проточной цитометрии возможно отследить динамику инактивации цианобактерий, то есть увеличение числа погибших клеток и снижение жизнеспособных, со временем после обработки плазмой.

Дальнейшее повышение эффективности использования обработки NTP для инактивации цианобактерий возможно при следующих условиях: увеличение времени воздействия, изменение напряжения и количества рабочего газа.

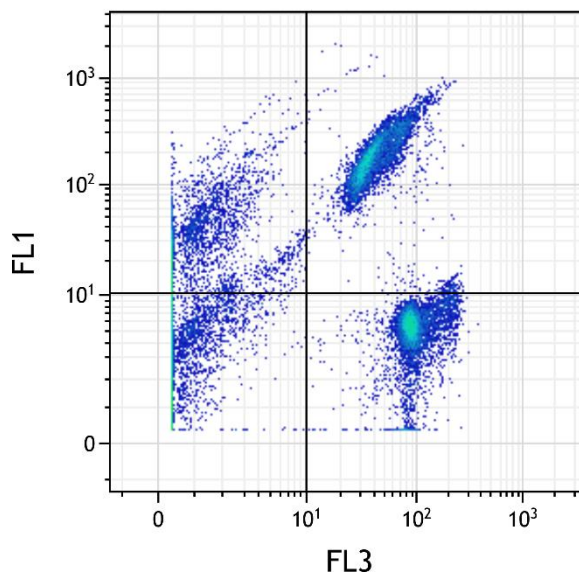


Рисунок 1 – Идентификация состояний клеток цианобактерии *Arthrospira platensis* штамм PCC 7345 проточной цитометрией. На графике: жизнеспособные клетки (нижний правый квадрат); погибшие клетки (верхний правый квадрат)

Список литературы

1. Козьмин Г.В., Санжарова Н.И., Тихонов В.Н. Перспективы применения физических факторов в АПК // Международная научно-практическая конференция: "Радиационные технологии в сельском хозяйстве и пищевой промышленности: состояние и перспективы". 2018. С. 278-282.

2. Mai-Prochnow A., Murphy A.B., McLean K.M., Kong M.G., Ostrikov K. Atmospheric pressure plasmas:

Infection control and bacterial responses // Int J Antimicrob Agents. 2014. Vol. 43, № 6. P. 508-517.

3. Guo J., Huang K., Wang J. Bactericidal effect of various non-thermal plasma agents and the influence of experimental conditions in microbial inactivation: A review // Food Control. 2015. Vol. 50. P. 482-490.

4. Wang X., Zhou M., Jin X. Application of glow discharge plasma for wastewater treatment // Electrochimica Acta. 2012. Vol. 83. P. 501-512.

5. El-Sayed W.S., Ouf S.A., Mohamed A.A. Deterioration to extinction of wastewater bacteria by non-thermal atmospheric pressure air plasma as assessed by 16S rDNA-DGGE fingerprinting // *Front Microbiol.* 2015. Vol. 6. P. 1098.
6. Балданов Б.Б., Семенов А.П., Ранжуров Ц.В., Николаев Э.О., Гомбоева С.В. Воздействие плазменных струй слаботочного искрового разряда на микроорганизмы (на примере *Escherichia coli*) // *Журнал технической физики.* 2015. Т. 85, № 11. С. 156-158.
7. Панов В.А., Василяк Л.М., Ветчинин С.П., Дешевая Е.А., Печеркин В.Я., Сон Э.Е. Инактивация микроорганизмов на плоских поверхностях барьерным разрядом // *Прикладная физика.* 2017. Т. 5. С. 25-30.
8. Scally L., Gulan M., Weigang L., Cullen P.J., Milosavljevic V. Significance of a Non-Thermal Plasma Treatment on LDPE Biodegradation with *Pseudomonas Aeruginosa* // *Materials (Basel).* 2018. Т. 11, № 10.
9. Тихонов В.Н., Алешин С.Н., Иванов И.А., Тихонов А.В. Плазменные технологии в сельском хозяйстве и пищевой промышленности // *Международная научно-практическая конференция: "Радиационные технологии в сельском хозяйстве и пищевой промышленности: состояние и перспективы".* 2018.
10. Короткий В.Н. Низкотемпературная атмосферная плазма в дерматологии // *Клиническая дерматология и венерология.* 2017. Т. 5. С. 4-10.
11. Fernandez A., Noriega E., Thompson A. Inactivation of *Salmonella enterica* serovar Typhimurium on fresh produce by cold atmospheric gas plasma technology // *Food Microbiol.* 2013. Vol. 33, № 1. P. 24-29; Fröhling A., Durek J., Schnabel U., Ehlbeck J., Bolling J., Schlüter O. Indirect plasma treatment of fresh pork: Decontamination efficiency and effects on quality attributes // *Innovative Food Science & Emerging Technologies.* 2012. Vol. 16. P. 381-390.
12. Pu S., Chen J., Wang G., Li X., Ma Y. Inactivation of *Microcystis aeruginosa* using dielectric barrier discharge low-temperature plasma // *Applied Physics Letters.* 2013. Vol. 102, № 19. P. 194105.
13. Wang C.-h., Wu Y., Li G.-f., Shen X.-q. Enhanced physical and chemical processes by solid packing in the plasma reactor for the inactivation of *Microcystis aeruginosa* // *Desalination and Water Treatment.* 2010. Vol. 22, № 1-3. P. 156-160.
14. Тихонов В.Н., Иванов И.А., Крюков А.Е., Тихонов А.В. Бюджетные генераторы для микроволновых плазмотронов // *Прикладная физика.* 2015. Т. 5. С. 102-106.
15. Tang Y.Z., Lu X., Laroussi M., Dobbs F.C. Sublethal and Killing Effects of Atmospheric-Pressure, Non-thermal Plasma on Eukaryotic Microalgae in Aqueous Media // *Plasma Processes and Polymers.* 2008. Vol. 5. P. 552-558.
16. Ercan U.K., Ibis F., Dikyol C., Horzum N., Karaman O., Yildirim C., Cukur E., Demirci E.A. Prevention of bacterial colonization on non-thermal atmospheric plasma treated surgical sutures for control and prevention of surgical site infections // *PLoS One.* 2018. Vol. 13, № 9. P. e0202703.
17. Lee M.J., Kwon J.S., Jiang H.B., Choi E.H., Park G., Kim K.M. The antibacterial effect of non-thermal atmospheric pressure plasma treatment of titanium surfaces according to the bacterial wall structure // *Sci Rep.* 2019. Vol. 9, № 1. P. 1938.
18. Carre G., Charpentier E., Audonnet S., Terryn C., Boudifa M., Doliwa C., Belgacem Z.B., Gangloff S.C., Gelle M.P. Contribution of Fluorescence Techniques in Determining the Efficiency of the Non-thermal Plasma Treatment // *Front Microbiol.* 2018. Vol. 9. P. 2171; Seo S.H., Han I., Lee H.S., Choi J.J., Choi E.H., Kim K.N., Park G., Kim K.M. Antibacterial activity and effect on gingival cells of microwave-pulsed non-thermal atmospheric pressure plasma in artificial saliva // *Sci Rep.* 2017. Vol. 7, № 1. P. 8395.
19. Ben Belgacem Z., Carre G., Charpentier E., Le-Bras F., Maho T., Robert E., Pouvesle J.M., Polidor F., Gangloff S.C., Boudifa M., Gelle M.P. Innovative non-thermal plasma disinfection process inside sealed bags: Assessment of bactericidal and sporicidal effectiveness in regard to current sterilization norms // *PLoS One.* 2017. Vol. 12, № 6. P. e0180183.
20. Vaze N.D., Park S., Brooks A.D., Fridman A., Joshi S.G. Involvement of multiple stressors induced by non-thermal plasma-charged aerosols during inactivation of airborne bacteria // *PLoS One.* 2017. Vol. 12, № 2. P. e0171434.
21. Sung S.J., Huh J.B., Yun M.J., Chang B.M., Jeong C.M., Jeon Y.C. Sterilization effect of atmospheric pressure non-thermal air plasma on dental instruments // *J Adv Prosthodont.* 2013. Vol. 5, № 1. P. 2-8.
22. Mizuno A. Destruction of biological particles using non-thermal plasma // *J Clin Biochem Nutr.* 2017. Vol. 60, № 1. P. 12-24.
23. Huang Y., Ye X.P., Doona C.J., Feeherry F.E., Radosovich M., Wang S. An investigation of inactivation mechanisms of *Bacillus amyloliquefaciens* spores in non-thermal plasma of ambient air // *J Sci Food Agric.* 2019. Vol. 99, № 1. P. 368-378.
24. Ding Y., Gan N., Li J., Sedmak B., Song L. Hydrogen peroxide induces apoptotic-like cell death in *Microcystis aeruginosa* (Chroococcales, Cyanobacteria) in a dose-dependent manner // *Phycologia.* 2012. Vol. 51, № 5. P. 567-575.
25. Li L., Zhang H., Huang Q. New insight into the residual inactivation of *Microcystis aeruginosa* by dielectric barrier discharge // *Sci Rep.* 2015. Vol. 5. P. 13683.
26. Hou Y.M., Dong X.Y., Yu H., Li S., Ren C.S., Zhang D.J., Xiu Z.L. Disintegration of Biomacromolecules by Dielectric Barrier Discharge Plasma in Helium at Atmospheric Pressure // *IEEE Transactions on Plasma Science.* 2008. Vol. 36, № 4. P. 1633-1637.

27. Panngom K., Lee S.H., Park D.H., Sim G.B., Kim Y.H., Uhm H.S., Park G., Choi E.H. Non-thermal plasma treatment diminishes fungal viability and up-regulates

resistance genes in a plant host // PLoS One. 2014. Vol. 9, № 6. P. e99300.

NON-THERMAL PLASMA TECHNOLOGY TO CYANOBACTERIA CONTROL

Petrukhina D.

Russian Institute of Radiology and Agroecology, 249032 Kaluga region, Obninsk, Kievskoe shosse 109 km, Russian Federation

This review article provides an overview of the applications of non-thermal plasma (NTP) in the ecological and agri-food-processing sector as a technology for cyanobacterial inactivation for efficient control over cyanobacterial bloom products in water.

Keywords: *plasma treatment, low-temperature plasma, cold plasmas, dielectric barrier discharges (DBD), deactivation*

УДК 614.876+631.17

НОРМАТИВНОЕ СОПРОВОЖДЕНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ В АПК

Петрухина Д.И.

*ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии»
249032 Калужская область, г. Обнинск, Киевское шоссе, 109 км, Российская Федерация
e-mail: daria.petrukhina@outlook.com*

Обзор посвящен существующему правовому регулированию (стандартам, директивам, решениям и т.п.), регламентирующим использование ионизирующего излучения в сельском хозяйстве и пищевой промышленности, как физического метода для обеспечения микробиологической и фитосанитарной безопасности продукции.

Ключевые слова: *радиационные технологии, безопасность продукции, нормативное регулирование*

История создания радиационных технологий насчитывает более 100 лет, а начало коммерциализации технологии относится к середине прошлого века. В течение всего периода развития одним из ключевых моментов практического применения ионизирующего излучения являлось как обеспечение регулирования процесса облучения, так и оценка безопасности облученной продукции. Основой решения этих проблем явилась созданная нормативная база, которая была разработана под эгидой международных организаций: Продовольственная и сельскохозяйственная организация ООН (ФАО), Международное агентство по атомной энергии (МАГАТЭ), Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ). В 1970 году был создан международный проект по изучению процессов облучения пищевых продуктов. В рамках проекта были проведены масштабные исследования по безопасности облученной продукции, показавшие полноценность облученных продуктов питания. Было установлено, что облучение при дозе до 10 кГр является безопасным (не представляет токсикологической опасности для здоровья человека). С 1984 года начинает функционировать Международная консультативная группа (International Consultative Group on Food Irradiation, ICGFI) по

облучению пищевых продуктов, с целью разработки стандартов и рекомендаций по применению ионизирующего излучения для обработки различного вида продукции, которая была достигнута в 2004 году.

В настоящее время применение ионизирующего излучения для санитарных и фитосанитарных целей основывается на рекомендациях Объединенного отдела ФАО / МАГАТЭ по ядерным методам в продовольственной и сельскохозяйственной областях в сотрудничестве с ВОЗ и другими организациями.

Пищевая продукция, в том числе подвергнутая радиационной обработке, должна соответствовать «Общим принципам пищевой гигиены» указанным в Кодексе Алиментариуса [1]. Этот кодекс является сводом пищевых международных стандартов, принятых Международной комиссией ФАО / ВОЗ. Стандарты Кодекса определяют основные цели обеспечения здоровья потребителей и добросовестных методов торговли пищевыми продуктами, охватывают основные продукты питания – как обработанные и полуфабрикаты, так и необработанные.

Международные технические нормы и правила, касающиеся облучения пищевых продуктов рекомендованы Комиссией Кодекс Алиментариус (Codex Alimentarius Commission) [2]. Комиссией определены

необходимые действия (контроль процесса облучения) для достижения эффективной радиационной обработки пищевых продуктов, при которой сохраняются качество и количество пищевых продуктов, а также их безопасность и пригодность к употреблению [3]. После облучения могут быть использованы аналитические методы для определения облученных продуктов питания. Облучение должно осуществляться на лицензированном оборудовании, отвечать требованиям безопасности, эффективности, гигиеническим нормам для пищевых производств и обслуживаться квалифицированным, обученным и компетентным персоналом. Облучение должно быть зарегистрировано в журнале с учетом количественной дозиметрии.

В качестве общего стандарта для облученных пищевых продуктов принят в 1983 году «Общий стандарт на пищевые продукты, обработанные проникающим излучением» [4]. В нем определено, что при облучении любого пищевого продукта **минимальная поглощенная доза излучения** должна быть достаточной для достижения максимального эффекта, технологической цели, а **максимальная поглощенная доза излучения** не должна отрицательно сказаться на органолептических показателях пищевого продукта и превышать 10 кГр, кроме случаев, когда это необходимо для получения приемлемого результата технологического процесса.

Стандарт регламентирует допустимые к использованию источники ионизирующего излучения, правила гигиены, управление процессом и технологические требования, а также определяет порядок действий в случае повторного облучения продукции и при ее проверке после облучения.

Источниками излучения могут быть: гамма-излучение от радионуклидов ^{60}Co или ^{137}Cs , рентгеновские лучи от искусственных источников с энергией меньшей или равной 5 МэВ и поток ускоренных электронов от искусственного источника с энергией меньшей или равной 10 МэВ.

Не должны подвергаться повторному облучению пищевые продукты, облученные для уничтожения насекомых, кроме продуктов с низким содержанием воды (крупы, бобы, сушеные продукты питания и т.д.). Если пищевые продукты готовятся из сырья, облученного в низких дозах для обеспечения карантинных мер, то они не считаются повторно облученными.

Стандарт используется совместно с группой гигиенических стандартов, стандартов на продукты питания, группой стандартов на транспортировку. Так, требования к маркировке продукции изложены в нем же и в «Общем стандарте на маркировку заранее расфасованных пищевых продуктов» [5].

Сопровождающие документы должны содержать соответствующую информацию об оборудовании, на котором производилось облучение продукции, даты, дозы облучения и номера партии облученных продуктов питания. Международный значок и слова «облучено» или «обработано ионизирующим

излучением» должны быть на контейнере рядом с названием продукта. **Маркировка** фасованных облученных продуктов питания должна соответствовать требованиям «Общий стандарт на маркировку расфасованных пищевых продуктов» [6]. **Перевозка и обработка** облученных пищевых продуктов должна осуществляться в соответствии с гигиеническими нормами согласно положениям «Рекомендуемые международные технические нормы и правила. Общие принципы гигиены пищевых продуктов» [7].

Облучение пищевых продуктов не может быть использовано как замена необходимых санитарно-гигиенических условий производства и хранения, упаковочные материалы должны быть надлежащего качества.

ICGFI под эгидой ФАО, ВОЗ и МАГАТЭ был разработан ряд нормативных документов (руководств, рекомендаций) по облучению пищевых продуктов с учетом достигаемых компетенций, требованиями к дозиметрии, установок для облучения (например, рекомендации о верхнем пороге применяемой дозы ионизирующего излучения в зависимости от класса продукции и достижения необходимой технологической цели; «надлежащая практика облучения» в области борьбы с патогенами или продления срока хранения расфасованного мяса и птицы и др.);

Также существуют технические документы ФАО по облучению пищевых продуктов, и Технические документы МАГАТЭ и Международной организации по стандартизации (ISO) по облучению пищевых продуктов, в которых говорится, что независимо от вида применяемого источника, все применяемое оборудование должно соответствовать стандартам безопасности МАГАТЭ. По их документам осуществляется дозиметрия при радиационной обработке.

Для отдельных видов продуктов в качестве международных применяют стандарты американской международной добровольной организации (**American Society for Testing and Materials, ASTM**). В каждом стандарте изложены требования к упаковке при облучении упакованной пищевой продукции. Кроме того, существует стандарт [8], который содержит перечень параметров, которые необходимо учесть при выборе упаковочных материалов, контактирующих с продуктами питания и используемых во время облучения фасованных продуктов питания, а также ряд критериев пригодности использования упаковочных материалов. Следование при радиационной обработке продукции стандартам ASTM позволяет осуществлять ее вывод на рынки не только стран ЕС, но и на рынки других участников международного сотрудничества.

В странах Европейского Союза (ЕС) техническое регулирование основывается на постановлениях и директивах Совета, гармонизированных европейских стандартах. Применяют старый и новый подходы. Так, в старых директивах, действующих и в настоящее время, например, на продукты питания, устанавливаются конкретные требования к

продукции. А в новых директивах требования формулируются в общей форме, для длительности их действия без изменения, тогда как старые директивы сопровождаются большим числом дополнений и массой поправок (до 100). В отличие от старых, новые имеют унифицированную структуру – две части, одна из которых правовая, другая – техническая в количестве 4 – 6 приложений.

В области радиационной обработки пищевых продуктов существуют законодательные акты: две *Директивы* 1999/2/ЕС и 1999/3 (directives, это цели, которые должны быть достигнуты в течение установленного срока, с выбором форм и способов достижения), *Решения* 2002/840/ЕС, 2007/802/ЕС и 2012/277/EU (decisions, это обязательные акты) и дозиметрические нормы EN 1786:1996, EN 1787:2000, EN 13708:2001 и EN 13783:2001. Данные документы закрепляют возможность применения ионизирующего излучения для обработки пищевых продуктов в ЕС.

В этих документах устанавливается механизм контроля облученных продуктов, маркировка, импорт, определяется список продуктов, которые могут быть подвергнуты процедуре радиационной обработки и проданы государствами-членами ЕС, а также дозиметрические нормы. А именно: Директива 1999/2/ЕС (с изменениями от 2003 г.) применяется к производству, сбыту и импорту продуктов питания и пищевых ингредиентов, обработанных с помощью ионизирующего излучения. **Директива** 1999/3 и **Решения** 2002/840/ЕС, 2007/802/ЕС, 2012/277/EU устанавливают списки продуктов и установок, разрешенных в странах для облучения пищевых продуктов. Список продуктов представлен в приложении Директивы и обновляется в соответствии с процедурой на основании решений Научного Комитета.

Нормативно-техническое регулирование производства и оборота пищевой продукции на территории **Евразийского экономического союза** осуществляется в соответствии с требованиями Технических регламентов (ТР ТС), которые составляют основу нормативного регулирования стран-участников и устанавливают обязательные для применения и исполнения требования к объектам технического регулирования (продукции, в том числе зданиям, строениям и сооружениям, процессам производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации). В них отсутствует положение о радиационной обработке. На отдельные виды пищевой продукции отсутствует запрет или упоминание использования ионизирующего излучения для обработки этих видов продукции [15-19]. Не рассматриваются требования к упаковке при использовании ее для пищевых продуктов, подвергнутых радиационной обработке [10]. Но информацию об обработке ионизирующим излучением, надо указывать либо в наименовании пищевой продукции [12] либо в маркировке упакованной пищевой рыбной продукции [13]. Указывается на возможность «обеззараживание зерна – химическое,

радиационное или физическое воздействие на зерно с целью уничтожения вредителей и микроорганизмов» [11].

В заключение отметим, что в некоторых регламентах [9], указано, что «...**не допускается** к обращению ... мясо птицы... конина... мясо домашних кроликов... и ...яичный порошок, меланж и альбумин ... обработанные ионизирующим облучением или ультрафиолетовыми лучами». Консервирование сока может быть осуществлено только с использованием физических способов, за исключением обработки ионизирующим излучением [14]. Особенно важно применение радиационных технологий для обеспечения безопасности мяса птицы, характеризующегося высокой степенью риска загрязнения опасными патогенами (*Salmonella* sp, *Listeria monocytogenes*). Для этого вида пищевых продуктов облучение с целью обеспечения микробиологической безопасности продукции используется во многих странах (Франция с 1987 г., США с 1993 г.)

Эти запреты препятствуют развитию высокотехнологичной и эффективной обработки сельскохозяйственного сырья и пищевой продукции на территории Евразийского экономического союза.

Список литературы

- [1] General Principles of Food Hygiene, CAC/RCP 1-1969, Rev. 4-2003, Codex Alimentarius, FAO / WHO, Rome.
- [2] Code of Practice for Radiation Processing of Food, CAC/RCP 19-1979, Rev. 2-2003, Codex Alimentarius, FAO / WHO, Rome.
- [3] Recommended International Code of Practice for Radiation Processing of Foods, CAC/RCP 19-1979, Rev. 1-2003.
- [4] General Standard for Irradiated Foods, CODEX STAN 106-1983, Rev.1-2003, Codex Alimentarius, FAO / WHO, Rome.
- [5] General Standard for the Labelling of Prepackaged Foods, CODEXSTAN 1-1985, Rev. 7-2010, Codex Alimentarius, FAO / WHO, Rome.
- [6] General Standard for the Labelling of Prepackaged Foods, CODEXSTAN 1-1985, Rev. 1-1991, Codex Alimentarius, FAO / WHO, Rome.
- [7] Recommended International Code of Practice. General Principles of Food Hygiene, CAC/RCP 1-1969, Rev. 3-1997, Amd. 1-1999.
- [8] ASTM F 1640-2009 «Standard Guide for Selection and Use of Packaging Materials for Foods to Be Irradiated».
- [9] ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции» введен 01.07.2013 / Приложение 5.
- [10] ТР ТС 005/2011 «О безопасности упаковки» введен 01.07.2012.
- [11] ТР ТС 015/2011 «О безопасности зерна» введен 01.07.2013 / статья 2. «Определение».

[12] ТР ТС 022/2011 «Пищевая продукция в части ее маркировки» введен 01.07.2013.

[13] ТР ТС 040/2016 «О безопасности рыбы и рыбной продукции» введен 01.09.2017 / пункт 73.

[14] ТР ТС 023/2011 «Технический регламент на соковую продукцию из фруктов и овощей» введен 01.07.2013 / статья 2. Термины и определения. Пункт 1, 2, 3, 4, 6.

[15] ТР ТС 033/2013 «О безопасности молока и молочной продукции» введен 01.05.2014

[16] ТР ТС 034/2013 О безопасности мяса и мясной продукции» введен 01.05.2014

[17] ТР ТС 024/2011 «Технический регламент на масложировую продукцию» введен 01.07.2013

[18] ТР ТС 027/2012 «О безопасности отдельных видов специализированной пищевой продукции, в том числе диетического лечебного и диетического профилактического питания» введен 01.07.2013

[19] ТР ТС 029/2012 «Требования безопасности пищевых добавок, ароматизаторов и технологических вспомогательных средств» введен 01.07.2013

REGULATION OF APPLICATION OF IONIZING RADIATION IN AIC

Petrukhina D.

Russian Institute of Radiology and Agroecology, 249032 Kaluga region, Obninsk, Kievskoe shosse 109 km, Russian Federation

In this review, we have recalled the rules (standards, directives, decisions etc.) aimed at use of ionizing radiation treatment in agriculture and food industry, as a physical means for provide microbiological and phytosanitary food safety.

Keywords: radiation technologies, product safety, regulatory control

УДК 579.674

ИССЛЕДОВАНИЕ КОМБИНИРОВАННОГО ДЕЙСТВИЯ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ И БЕНЗОАТА НАТРИЯ, НА ВЫЖИВАЕМОСТЬ ДРОЖЖЕЙ, ВЫДЕЛЕННЫХ ИЗ РЫБНЫХ ПРЕСЕРВОВ

Полякова И.В., Губина О.А., Фролова Н.А., Кобялко В.О.

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии»

249032 Калужская область, г. Обнинск, Киевское шоссе, 109 км, Российская Федерация

e-mail: irinaamchenkina@mail.ru

Из рыбных пресервов были выделены дрожжи видов *Candida tropicalis*, *Clavispora lusitaniae* и *Pichia occidentalis*. Для исследования комбинированного действия ионизирующего излучения и бензоата натрия был выбран вид *Candida tropicalis*. Количество клеток в исходной суспензии – $(7,12 \pm 0,27) \cdot 10^7$ КОЕ/мл. Используемые концентрации бензоата натрия – 500 и 2000 мг/л. Дозы ионизирующего излучения – 1,5; 3,8 и 9,8 кГр («Теклеор», Калужская область). В результате получено, что через сутки после облучения в дозах 1,5 и 3,8 количество дрожжей снижается по сравнению с необлученными образцами на 2,96-3,34 lg(КОЕ/мл) и 3,03-3,79 lg(КОЕ/мл) соответственно. Доза 9,8 кГр позволяет снизить количество дрожжей на 5,57-5,98 lg(КОЕ/мл). Через 7 суток после облучения наблюдается увеличение количества дрожжевых клеток во всех вариантах эксперимента за исключением необлученных образцов, особенно при дозе 9,8 кГр. С увеличением концентрации консерванта эффект проявляется сильнее. Можно предположить, что консервант оказывает радиопротекторное действие на дрожжевые клетки.

Ключевые слова: дрожжи, рыбные пресервы, комбинированное действие, ионизирующее излучение, бензоат натрия

Применение химических соединений, обладающих антимикробным (бактерицидным или бактериостатическим) действием, хорошо известно. Вещества, условно отнесенные к собственно консервантам: сорбиновая, бензойная, уксусная и некоторые другие слабые органические кислоты, а так же их соли, практически не влияют на органолептические показатели продукта и применяются для увеличения срока

годности продуктов животного и растительного происхождения, а также для изготовления упаковочных материалов, обладающих бактериостатическими свойствами. Эффективность консервантов ограничена и определяется минимально действующей концентрацией, равномерностью распределения в продукте и pH среды [1]. Суммарные концентрации этих

веществ нормируются (ТР ТС 029/2012), и существует тенденция к сокращению их использования.

В качестве экологически безопасной и эффективной альтернативы химическим способам защиты и сохранения продуктов питания во всем мире, а в последнее время и в Российской Федерации, рассматриваются радиационные технологии (РТ), использующие гамма-, рентгеновское и электронное излучения [2, 3]. Радиационная обработка позволяет инактивировать большинство неспорообразующих микроорганизмов во всем объеме продукта, не нагревая его и не нарушая целостность упаковки. Также рассматривается возможность использования комбинированного воздействия облучения и консервантов при снижении количества последних.

Из ранее проведенных исследований известно, что при комбинированном воздействии ионизирующего излучения и консерванта на рыбные пресервы наблюдается снижение общей микробной обсемененности и количества дрожжей и дозы до 3 кГр не вызывают изменений органолептических показателей [4]. Было показано, что в облученных образцах преобладают дрожжевые грибы, в частности рода *Candida* [5].

Так как матрица, в которой происходит облучение, влияет на чувствительность микроорганизмов к облучению, было принято решение выделить с необлученных рыбных пресервов дрожжевые грибы и провести исследование раздельного и комбинированного действия ионизирующего излучения (ИИ) и консерванта на чистых культурах.

Цель исследования - выделение и идентификация дрожжей с последующим изучением на них комбинированного воздействия ИИ и бензоата натрия.

Материалы и методы

В качестве источника дрожжевых культур были выбраны рыбные пресервы торговой марки «Русское море». Суммарное количество дрожжей в пресервах - $(1,04 \pm 0,25) \cdot 10^4$ КОЕ/г, было определено с использованием среды Сабуро с добавлением молочной кислоты. Выделение чистой культуры дрожжей было произведено в соответствии с [6].

На стерильном физиологическом растворе (ФР) (0,9 % NaCl) готовили растворы бензоата натрия с концентрациями 500 и 2000 мг/л (максимально разрешенная для пищевых продуктов). Далее из клеток колоний одного вида дрожжей готовили суспензии на ФР с добавлением или без добавления консерванта. Исходное количество клеток во всех суспензиях - $(7,12 \pm 0,27) \cdot 10^7$ КОЕ/мл.

Далее суспензии разливали по стерильным полистирольным пробиркам и подвергали воздействию ИИ на ускорителе УЭЛР-10-15-С-60-1 (Центр антимикробной обработки растительного и животного сырья «Теклеор», Калужская область). Интегральные поглощенные дозы составили - 1,5; 3,8 и 9,8 кГр.

Дозиметрия была проведена с помощью радиохромных пленочных дозиметров СО/ПД - 1/10 (НИИТФА, г. Москва). Часть пробирок не облучали и использовали в качестве контроля.

Для подсчета количества жизнеспособных клеток (КОЕ) суспензия дрожжей из каждой пробирки высевалась на чашки Петри со средой Сабуро с добавлением молочной кислоты. Чтобы выяснить влияние консерванта на дрожжевые клетки в процессе хранения, контрольные и облученные суспензии высевали на питательную среду через 1 и 7 суток после облучения. Так как после облучения рост и деление клеток замедлены, подсчет количества колоний производили на 5 сутки. Для каждого варианта опыта определение количества КОЕ проводилось в трехкратной повторности. В течение всего эксперимента контрольные и облученные образцы хранились при температуре 25 ± 3 °С.

Анализ видовой принадлежности был осуществлен с помощью MALDI TOF масс-спектрометрии по методике описанной в [5].

Статистический анализ был проведен методом дисперсионного анализа с использованием Excel 2007. Достоверность различий между образцами определяли с использованием t-критерия Стьюдента.

Результаты и обсуждение

Было выделено 3 типа визуально отличающихся колоний:

- 1) кремовые (со временем темнеют), гладкие, блестящие, с ровным краем;
- 2) желтовато-кремовые (не темнеют), гладкие, блестящие, с ровным краем;
- 3) кремовые (не темнеют), морщинистые, матовые, с неровным краем.

Микроскопия мазков показала различия в форме и размерах клеток. В первом случае клетки круглые диаметром 0,002-0,003 мм, во втором и третьем случае клетки овальные с длиной 0,004-0,005 мм и шириной 0,002-0,003 мм.

С помощью MALDI TOF масс-спектрометрии микроорганизмы были идентифицированы как *Candida tropicalis*, *Clavispora lusitaniae*, *Pichia occidentalis* соответственно.

Из клеток колоний *Candida tropicalis* были приготовлены суспензии для дальнейшего эксперимента.

Результаты представлены на рисунках 1 и 2. На протяжении всего исследования консервант значительно не влияет на количество жизнеспособных клеток дрожжей в необлученных образцах.

Из представленных рисунков видно, что через сутки после облучения в дозах 1,5 и 3,8 кГр количество дрожжей в облученных образцах относительно необлученных образцов снижается на $2,96-3,34 \lg(\text{КОЕ/мл})$ и $3,03-3,79 \lg(\text{КОЕ/мл})$ соответственно. Присутствие разных количеств консерванта не оказывало достоверного влияния на этот показатель.

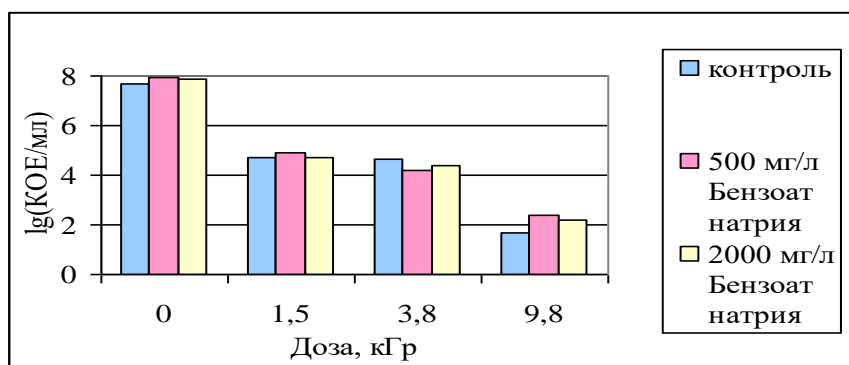


Рисунок 1 – Изменение КОЕ дрожжей при раздельном и комбинированном действии ИИ и бензоата натрия через сутки после облучения.

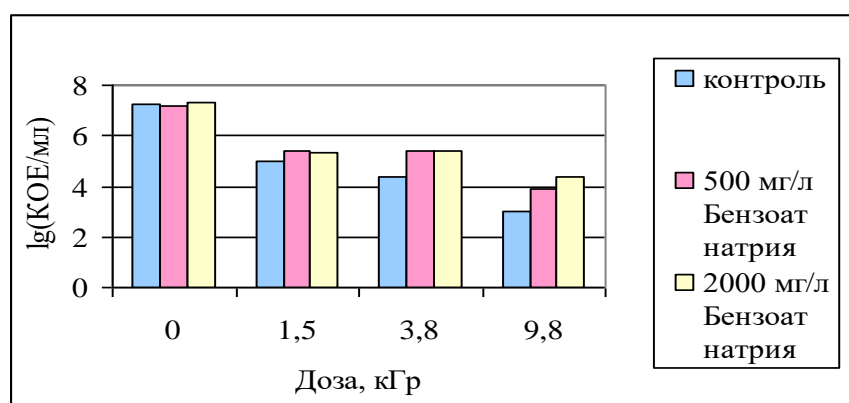


Рисунок 2 – Изменение КОЕ дрожжей при раздельном и комбинированном действии ИИ и бензоата натрия через 7 суток после облучения.

Доза 9,8 кГр позволяет снизить количество дрожжей на 5,57-5,98 lg(COE/мл) относительно необлученных образцов. Причем присутствие бензоата натрия в облученных суспензиях позволяет выжить большему числу клеток.

Через 7 суток после облучения наблюдается увеличение количества дрожжевых клеток по сравнению с 1 сутками во всех вариантах эксперимента за исключением необлученных образцов. В образцах облученных в дозе 9,8 кГр рост наиболее выражен (количество дрожжевых клеток увеличилось на 1,33–2,17 lg(COE/мл) и прямо пропорционально увеличению концентрации консерванта). Это можно объяснить тем, что в ФР дрожжи практически не делятся, так как недостаточно питательных веществ, однако в облученных образцах питательные вещества из погибших клеток стали субстратом для выживших. Кроме того, консервант с одной стороны может являться субстратом, а с другой – ввиду его механизма действия (подавление процессов в митохондриях) [7] может оказывать радиопротекторный эффект.

Список литературы

1. Консерванты в пищевой промышленности / Э. Люк., М. Ягер. 3-е изд. Пер. с нем. Спб.: Гиорд. 2000. 256 с.
2. Радиационные технологии в сельском хозяйстве и пищевой промышленности / Под общ. ред. Г.В. Козьмина, С.А. Гераськина, Н.И. Санжаровой. Москва-Обнинск: ИНФОРМПОЛИГРАФ. 2015. 400 с.
3. Санжарова Н.И., Гераськин С.А., Исамов Н.Н., Козьмин Г.В., Лой Н.Н., Павлов А.Н., Пименов Е.П., Цыгвинцев П.Н. Научные основы применения радиационных технологий в сельском хозяйстве. Обнинск: ВНИИСХРАЭ. 2013. 133 с. ISBN 978-5-903386-31-4.
4. Полякова И.В., Кобялко В.О., Саруханов В.Я., Козьмин Г.В., Фролова Н.А., Лыков В.Я., Воронин Л.А. Исследование эффективности холодной стерилизации рыбных пресервов электронным излучением в зависимости от дозиметрических параметров облучения. // Радиация и риск. 2017. Том 26. № 2. С. 97-106.
5. Кобялко В.О., Полякова И.В., Саруханов В.Я., Морозова А.С., Васильева Н.А., Лауринавичюс К.С., Дороничев Ф.В., Фролова Н.А., Губина О.А. Холодная пастеризация рыбных пресервов с использованием электронного излучения. // Международный научно-

исследовательский журнал. 2018. Выпуск № 10(76) часть 1 С. 74-80.

6. Методы выделения и идентификации дрожжей: метод. указ. / Сост. Целуйкина Г.В., Гоц И.Ю. Саратов: СГТУ. 2003. 26 с.

7. Piper P.W. Yeast superoxide dismutase mutants reveal a pro-oxidant action of weak organic acid food preservatives // Free Radic. Biol. Med. 1999 27. P. 1219–1227.

THE STUDY OF COMBINED EFFECT OF IONIZING RADIATION AND SODIUM BENZOATE ON SURVIVAL OF YEAST, ISOLATED FROM FISH PRESERVES

Polyakova I.V., Gubina O.A., Frolova N.A. Kobyalko V.O.

Russian Institute of Radiology and Agroecology. 249032 Kaluga region, Obninsk, Kievskoe shosse 109 km, Russian Federation

The yeast species *Candida tropicalis*, *Clavispora lusitanae* and *Pichia occidentalis* were isolated from fish preserves. The species *Candida tropicalis* was chosen to study the combined effect of ionizing radiation and sodium benzoate. The number of cells in the initial suspension is $(7.12 \pm 0.27) \cdot 10^7$ CFU/ml. The concentrations of sodium benzoate 500 and 2000 mg/l were used. Doses of ionizing radiation - 1.5; 3.8 and 9.8 kGy. As a result, it was obtained that a day after irradiation in doses of 1.5 and 3.8 kGy, the amount of yeast is reduced compared to non-irradiated samples by 2.96-3.34 lg(CFU/ml) and 3.03-3.79 lg(CFU/ml), respectively. A dose of 9.8 kGy reduces the amount of yeast by 5.57-5.98 lg(CFU/ml). On the seventh day after irradiation, an increase in the number of yeast cells is observed in all variants of the experiment except for non-irradiated samples, especially at a dose of 9.8 kGy. With an increase in preservative concentration, the effect is stronger. It can be assumed that the preservative has a radioprotective effect on yeast cells.

Keywords: yeast, fish preserves, combined effect, ionizing radiation, sodium benzoate.

УДК 621.039: 546.62

ОБ ОСОБЕННОСТЯХ ЯДЕРНОГО ГИДРИРОВАНИЯ АЛЮМИНИЯ

Родионова Е.А., Пономаренко П.А., Фролова М.А.

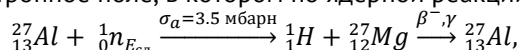
Севастопольский государственный университет

г. Севастополь, ул. Курчатова, 7, Российская Федерация

В докладе проанализированы процессы ядерного гидрирования алюминия в нейтронном поле, рассмотрено отличие химического гидрирования от ядерного. Описан процесс образования атомов водорода в кристаллической решетке алюминия, что приводит к возникновению эффекта Вигнера и дефекта Френкеля. Выявлено влияние гидрирования на прочностные характеристики металла – понижение предела пластичности, повышение предела прочности и текучести.

Ключевые слова: ядерное гидрирование, химическое гидрирование, нейтрон, алюминий, предел прочности

Технология ядерного гидрирования алюминия состоит в том, что образец металла помещают в нейтронное поле, в котором по ядерной реакции



образуется внутри кристаллической решетки алюминия атом водорода.

В схеме модели этой реакции:

${}_{13}^{27}\text{Al}$ – ядро алюминия; ${}_0^1n$ – нейтрон;

σ_{α} – микроскопическое эффективное сечение поглощения нейтрона ядром Al;

${}_1^1\text{H}$ – ядро водорода;

${}_{12}^{27}\text{Mg}$ – образовавшееся ядро магния, которое радиоактивно и, распадаясь с периодом полураспада $T_{0,5} = 9,46$ мин, излучает отрицательные бета-частицы с энергией:

$E_{\text{max}_1}^{\beta^{-}} = 1,59$ МэВ (42 % на распад),

$E_{\text{max}_2}^{\beta^{-}} = 1,75$ МэВ (58 % на распад)

и гамма-лучи с энергией:

$E_{\gamma_1} = 1,014$ МэВ (30 % на распад),

$E_{\gamma_2} = 0,844$ МэВ (70 % на распад) и

$E_{\gamma_3} = 0,171$ МэВ (0,7 % на распад).

После этого ядро ${}_{12}^{27}\text{Mg}$ превращается в стабильное ядро ${}_{13}^{27}\text{Al}$.

Энергия облучающих нейтронов должна находиться пределах энергии нейтронов спектра деления тяжелых ядер (0,1 ÷ 18 МэВ) или только $E_n = 14 \div 14,8$ МэВ.

Процесс образования ядра водорода в кристаллической решётке называется процессом гидрирования. При этом технология ядерного гидрирования (наводороживания) алюминия не зависит от

температуры образца и давления, а также не зависит от наличия катализаторов.

Внутри кристаллической решетки алюминия при облучении указанными нейтронами образуются эффекты Вигнера (вакансии) и дефекты Френкеля (вакансия и ядро в междоузлиях решетки алюминия). Более того, из-за высокой энергии нейтрона и высокой энергии отдачи образующихся при распаде радиоактивного ядра $^{27}_{12}\text{Mg}$ частиц, их энергии локально передаются, образуя тепловой пик. Это способствует повышению процесса диффузии образовавшихся новых ядер. Из-за более высокой подвижности ядер водорода, последние могут занять образовавшиеся вакансии в узлах решетки. Поэтому ядерно наводороженный алюминий изменяет свои свойства: понижается предел пластичности – отжиг наводороженного в результате гидрирования образца алюминия не восстанавливает полностью кристаллическую решетку, в которой часть атомов алюминия остаются в междоузлиях.

Процесс ядерного гидрирования коренным образом отличается от химического гидрирования алюминия, в результате которого образуется новое химическое вещество – гидрид алюминия с совершенно другой кристаллической решеткой, в узлах которой находится молекула гидрида алюминия.

Эксперименты на прочность с образцами алюминия свидетельствуют о том, что предел прочности и

предел текучести образцов в основном увеличивается, а предел пластичности падает. Явление имеет место при флюенсе быстрых нейтронов $10^{20} \div 10^{21} \frac{\text{H}}{\text{см}^2}$.

Список литературы

1. Влияние облучения на материалы и элементы электронных схем. Перевод с английского [Текст] / Под ред. В.Н. Быкова и С.П. Соловьев – М.: Атомиздат, 1967. 427 с.

2. Кокорев Л.С., Харитонов В.В. Теплогидравлические расчеты и оптимизация ядерных энергетических установок. М.: Изд-во Энергоатомиздат, 1986. с. 36-37.

3. Левин В.Е., Хамьянов Л.П. Измерение ядерных излучений. М.: Изд-во Атомиздат, 1969. 200 с.

3. Меднис, И.В. Справочные таблицы для нейтроно-активационного анализа. Рига : Изд-во Заинатне, 1974. 187 с.

4. Пономаренко П.А. О ядерном гидрировании оболочек ТВЭЛ [Электронный ресурс]. Севастополь. 2015. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/o-yadernom-gidrirovanii-obolochek-teplovodyelayuschih-elementov-iz-alyuminiya-issledovatel'skogo-reaktora-ir-100>, свободный – Загл. с экрана.

FEATURES OF NUCLEAR HYDROGENATION OF ALUMINUM

Rodionova E.A., Ponomarenko P.A., Frolova M.A.

Sevastopol State University
Sevastopol, st. Kurchatova, 7, Russian Federation

The report analyzed the processes of nuclear hydrogenation of aluminum in a neutron field, considered the difference between chemical hydrogenation and nuclear. The process of the formation of hydrogen atoms in the crystal lattice of aluminum is described, which leads to the appearance of the Wigner effect and the Frenkel defect. The effect of hydrogenation on the strength characteristics of the metal is revealed - a decrease in the ductility limit, an increase in the tensile strength and yield strength.

Keywords: nuclear hydrogenation, chemical hydrogenation, neutron, aluminum, breaking point

УДК: 539.1.06:637.5

ВЛИЯНИЕ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА БЕЗОПАСНОСТЬ МЯСНОГО ФАРША

Семёнова А.А., Асланова М.А., Дыдыкин А.С., Деревицкая О.К., Боро А.Л., Новикова Л.Е.

ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН
109316 Москва, Талалихина, 26, Российская Федерация
e-mail: dpitanie@vniimp.ru.

Целью данной работы являлось исследование влияния ионизирующего излучения на общее количество микроорганизмов и образование продуктов радиолитического распада в мясном фарше, как основных показателей пищевой безопасности продуктов, подвергнутых радиационной обработке. В качестве объектов исследования использовали образцы мясного фарша, полученного из говядины 1с и свинины жирной в соотношении 50:50, упакованного под вакуумом. Облучение проводили на электронном ускорителе УЭЛР-10-15-С-60-1 с энергией электронов 5–10 МэВ, с

параметрами воздействия 0–4,5 кГр. Максимальная мощность пучка 15 кВт. Поглощенные дозы облучения образцов фарша составили 1,5 кГр и 4,2 кГр. Хранение облученной продукции осуществляли при температуре 0–4°C в течение 30 суток. По результатам исследований установлено, что в обработанных образцах фарша, общее количество микроорганизмов не превысило допустимого уровня КМАФАнМ на протяжении 30 суток хранения. Однако в образцах выявлено образование продуктов радиолитического распада, а именно, 2-додецилциклобутанона и 2-тетрадецилциклобутанона. Их массовая доля в продукте напрямую зависела от дозы облучения.

Ключевые слова: мясной фарш, ионизирующее излучение, электронный ускоритель, поглощенная доза, микробиологические показатели, продукты радиолитического распада, 2-алкилциклобутаноны

Введение

На сегодняшний день задача продовольственной безопасности продуктов питания является одной из важнейших для обеспечения здоровья и жизнедеятельности людей по всему миру. Микробиологическая порча пищевых продуктов существенно снижает сроки хранения и является одной из основных проблем пищевой безопасности [1, 2, 3]. Обработка продукции с целью уничтожения в ней бактерий, делает ее безопасной для потребителя, а также увеличивает сроки ее хранения без снижения качества [4].

Современной и перспективной технологией борьбы с микроорганизмами является обработка пищевой продукции ионизирующим излучением. Такая обработка основана на поражающем действии ионизирующего излучения на ключевые структуры микроорганизмов, приводящее к подавлению их размножения и гибели [5], тем самым позволяя снизить содержание микроорганизмов в пищевых продуктах до безопасного уровня [6, 7].

Сейчас технология антимикробной обработки ионизирующим излучением отлично зарекомендовала себя на практике более чем в 50-ти странах мира и считается прорывной в области безопасности продуктов питания [8]. В зависимости от режимов обработки, данная технология применима практически ко всем видам продуктов питания, в том числе сырому мясу, мясным полуфабрикатам из говядины, свинины и мясным кулинарным изделиям [9, 10].

Однако, известно, что обработка ионизирующим излучением может приводить к накоплению в продукте контаминантов, опасных для здоровья человека. Основными такими соединениями являются 2-алкилциклобутаноны (2-ACBs), а именно 2-додецилциклобутанон и 2-тетрадецилциклобутанон, которые образуются в процессе облучения из пальмитиновой и стеариновой кислот соответственно [11, 12]. Существуют данные, что 2-алкилциклобутаноны обладают цитотоксическим и генотоксическим действием и могут рассматриваться, как возможный фактор риска возникновения и развития рака толстой кишки [13, 14].

Целью настоящей работы являлось экспериментальное исследование влияния ионизирующего излучения на общее количество мезофильных бактерий в охлажденном мясном фарше, а также на уровень образования продуктов радиолитического распада.

Объекты и методы исследований

В качестве объектов исследований использовали образцы мясного фарша, полученного из говядины 1 с и свинины жирной в соотношении 50:50, упакованного под вакуумом. Массовая доля жира – 19 %, белка – 18,5 %.

Облучение опытных образцов проводили на электронном ускорителе УЭЛР–10-15-С-60-1 с энергией электронов 5–10МэВ, с параметрами воздействия 0–4,5 кГр. Максимальная мощность пучка 15 кВт. Интегральные поглощенные дозы облучения образцов продукции составили 1,5 кГр и 4,2 кГр.

Контрольным являлся образец фарша, произведенный и упакованный в тех же условиях, не подвергнутый радиационному воздействию.

Хранение облученной продукции и контрольного образца осуществляли в одинаковых условиях при температуре 0–4 °С в течение 30 суток.

Измерение поглощенной дозы проводили с помощью плёночных дозиметров типа В3000 от GEX Corp., предназначенных для измерения доз электронного и γ -излучения в диапазоне энергий 0,5–12,0 МэВ.

В процессе работы проводились исследования по следующим методам:

-микробиологические показатели по ГОСТ 10444.15-94;

-продукты радиолитического распада по ГОСТ 34131-2017.

Результаты и обсуждение

В процессе работы было изучено влияние доз облучения 0 кГр (контроль), 1,5 кГр и 4,2 кГр на общее количество микроорганизмов в процессе хранения образцов в течение 30 суток (рис. 1).

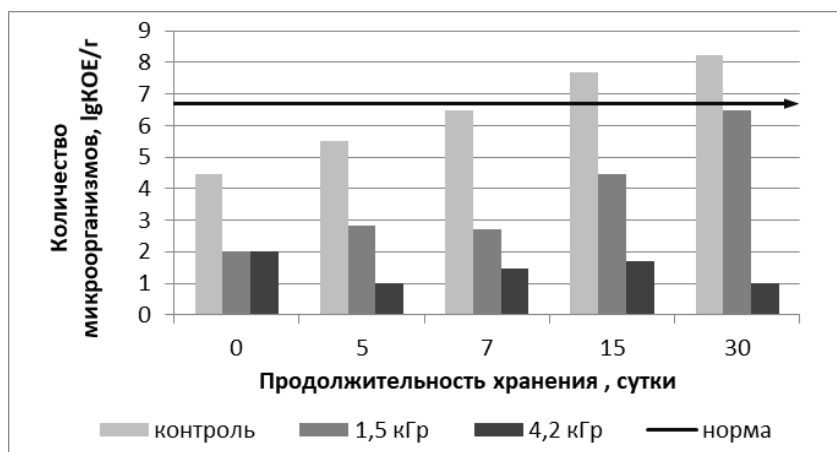


Рисунок 1 – Динамика изменения общего количества микроорганизмов в образцах фарша, подвергнутых облучению, в процессе хранения

Допустимый уровень КМАФАнМ для мясного фарша составляет не более 5×10^6 КОЕ/г (не более 6,7 lg КОЕ/г) [15]. Результаты микробиологических исследований фарша показали, что в контрольном образце максимально допустимое значение КМАФАнМ было превышено на 1 lg КОЕ/г к 15 суткам хранения. В облученных образцах фарша общее количество микроорганизмов на протяжении 30 суток хранения не превысило допустимого уровня КМАФАнМ.

Исследование фарша на наличие продуктов радиолитиза, признанных потенциально канцерогенными веществами, показало, что в контрольном образце 2-

алкилциклобутаноны не обнаружены. Содержание 2-додецилциклобутанола и 2-тетрадецилциклобутанола в фарше, подвергнутом облучению, представлено на рисунке 2.

Результаты исследований показали, что воздействие ионизирующего излучения электронным пучком на образцы мясного фарша привело к образованию в продукте 2-алкилциклобутанолов. С увеличением дозы облучения с 1,5 кГр до 4,2 кГр, содержание 2-додецилциклобутанола и 2-тетрадецилциклобутанола возросло в 2,6 и в 3,2 раза соответственно.

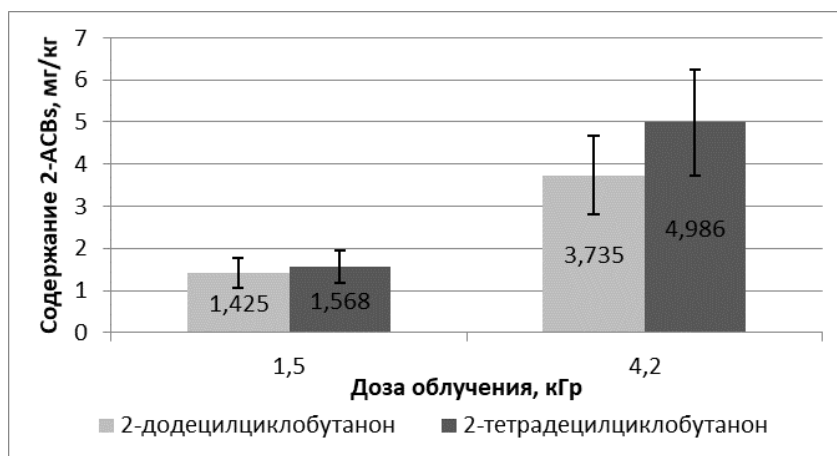


Рисунок 2 – Содержание 2-алкилциклобутанолов в облученных образцах фарша.

Выводы

Результаты проведенной работы показали, что технология облучения мясного фарша дозами 1,5 кГр и 4,2 кГр эффективно подавляет рост микроорганизмов, что позволяет обеспечить микробиологическую безопасность продукта и увеличить сроки его хранения. Однако, это приводит к образованию в продукте контаминантов – 2-алкилциклобутанолов, опасных для здоровья человека.

Полученные результаты вызывают необходимость поиска возможностей торможения процессов,

приводящих к образованию продуктов радиолитиза, при условии сохранения эффективности облучения.

Список литературы

1. Бараненко Д.А., Забелина Н.А. Подавление жизнедеятельности микрофлоры порчи мяса и мясопродуктов с помощью барьерной технологии// Процессы и аппараты пищевых производств 2011, №1, с. 232-237.

2. Козьмин Г.В., Кобялко В.О., Лыков И.Н., Саруханов В.Я., Зякун А.М., Павлов А.Н., Николаева Т.С., Фролова Н.А., Логинов А.А. Радиационные агробιοтехнологии: исследование микробиологической безопасности и качества облучённой продукции // Труды регионального конкурса проектов фундаментальных научных исследований. Калуга: Калужский государственный институт развития образования, 2015. Вып. 20. С. 216-225.
3. O'Bryan C.F., Crandall P.G., Ricke S.C., Olson D.G. Impact of irradiation on the safety and quality of poultry and meat products: a review. // Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 2008. V. 48. № 5. P. 442-457.
4. Перова Н.В., Тенишев В.П. Обеспечение безопасности пищевой и сельскохозяйственной продукции при обработке ионизирующим излучением // Сборник докладов Международной научно-практической конференции Радиационные технологии в сельском хозяйстве и пищевой промышленности: состояние и перспективы. Обнинск, 26-28 сентября 2018 г. С. 169
5. Алексахин Р.М. и др. Перспективы использования радиационных технологий в агропромышленном комплексе Российской Федерации // Вестник Российской Академии Наук. 2014. № 1. С. 78–85.
6. Козьмин Г.В., Гераськин С.А., Санжарова Н.И. Радиационные технологии в сельском хозяйстве и пищевой промышленности. Обнинск: ВНИИРАЭ, 2015. 400 с.
7. Чиж Т.В., Козьмин Г.В., Полякова Л.П., Мельникова Т.В. Радиационная обработка как технологический прием в повышения уровня продовольственной безопасности // Вестник РАЕН. 2011. №4. С. 44-49.
8. Pillai S., Shayanfar S. Electron Beam Pasteurization and Complementary Food Processing Technologies // Woodhead Publishing Series in Food Science. Technology and Nutrition. 2016. 324 p.
9. Громов А.А., Жанжора А.П., Коваленко О.И., Тенишев В.П. Обработка пищевых продуктов ионизирующим излучением в российской федерации // Сборник докладов Международной научно-практической конференции Радиационные технологии в сельском хозяйстве и пищевой промышленности: состояние и перспективы. Обнинск, 26-28 сентября 2018 г. С. 151.
10. Козьмин Г.В., Санжарова Н.И., Кибина И.И., Павлов А.Н. Перспективы развитие рынка радиационных технологий в сельском хозяйстве и перерабатывающей промышленности // Экономика сельского хозяйства и перерабатывающей промышленности. 2015. № 8. С. 30-35.
11. Crews C, Driffield M, Thomas C (2012) Analysis of 2-alkylcyclobutanones for detection of food irradiation: current status, needs and prospects. J Food Compos Anal 26:1–11.
12. Куликовский А.В., Вострикова Н.Л., Горбунова Н.А., Иванкин А.Н. Идентификация накопления химических маркеров облучения в мясе при ионизирующей обработке // Сборник докладов Международной научно-практической конференции Радиационные технологии в сельском хозяйстве и пищевой промышленности: состояние и перспективы. Обнинск, 26-28 сентября 2018 г. С. 203–207.
13. Crone, A. V. J., Hamilton, J. T. G. and Stevenson, M. H. (1992) Effect of storage and cooking on the dose response of 2-dodecylcyclobutane, a potential marker for irradiated chicken. J. Sci. Food Agric., 58, 249–252.
14. EC (2015) Report from the Commission to the European Parliament and the Council on food and food ingredients treated with ionising radiation for the year 2014 Available at <http://ec.europa.eu/>.
15. Технический регламент Таможенного союза «О безопасности пищевой продукции» (ТР ТС 021/2011) от 09 декабря 2011 № 880.

AN EFFECT OF IONIZING IRRADIATION ON MINCED MEAT SAFETY

Semenova A.A., Aslanova M.A., Didikin A.S., Derevitskaya O.K., Bero A.L., Novikova L.E.

Gorbatov Research Center for Food Systems

109316 Moscow, Talalikhina str. 26, Russian Federation

The aim of this work was to study an effect of ionizing irradiation on the total microbial count and generation of the radiolysis products in minced meat, as the main indicators of food safety of irradiated products. The objects of the research were the samples of minced meat prepared from beef of the 1st grade and fat pork (50:50), and packed under vacuum. The mass fraction of fat was 19 %, the mass fraction of protein was 18.5 %. Irradiation was carried out using the electron accelerator UELP–10–15–C–60–1 with the electron energy of 5–10 MeV and exposure parameters of 0–4.5 kGy. The maximum beam power was 15 kW. The absorbed doses of irradiation of minced meat samples were 1.5 kGy and 4.2 kGy. The irradiated products were stored at a temperature of 0-4 °C for 30 days. By the results of the investigations, it was established that the total microbial count did not exceed the allowable level of QMAFAnM in all treated minced meat samples during 30 days. In these samples, however, the generation of the radiolysis products, namely 2-dodecylcyclobutanone and 2-tetradecylcyclobutanone, was observed. Their mass fraction in a product directly depended on the irradiation dose.

Keywords: *minced meat, ionizing irradiation, electron accelerator, absorbed dose, microbiological indicators, radiolysis products, 2-alkylcyclobutanones*

удк 621.039.83

РАЗВИТИЕ МЕЖДУНАРОДНЫХ ПРОЕКТОВ ПО ВНЕДРЕНИЮ РАДИАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В СЕЛЬСКОЕ ХОЗЯЙСТВО И ПИЩЕВУЮ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

Тхорик О.В.

*ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии»
249032 Калужская область, г. Обнинск, Киевское шоссе, 109 км, Российская Федерация
e-mail: oxana.tkhorik@gmail.com*

Приведена информация об основных направлениях деятельности международного агентства по атомной энергетике. Рассмотрены источники финансирования основных программ. Приведен перечень основных и специальных программ, способ распределения финансовых средства между проектами. Приведено описание основных проектов МАГАТЭ по применению радиационных технологий в области сельского хозяйства и пищевой промышленности.

Ключевые слова: *радиационные технологии, Международное агентство по атомной энергетике, пищевая и сельскохозяйственная промышленность*

Международное агентство по атомной энергии (МАГАТЭ) является ведущей мировой межправительственной организацией по научно-техническому сотрудничеству в ядерной сфере. Его деятельность направлена на безопасное применение ядерной науки и технологий в мирных целях, способствует поддержанию международного мира и безопасности и достижению целей Организации Объединенных Наций в области устойчивого развития [1]. МАГАТЭ осуществляет свою деятельность по двум основным направлениям: в соответствии с регулярной программой и программой технического сотрудничества. Эти программы финансируются из разных источников. Дополнительные средства на реализацию программ поступают в виде внебюджетных взносов государств-членов и доноров, не являющихся государствами-членами. Ежегодно агентство выделяет огромные деньги на развитие текущих и будущих проектов. В таблице 1 приведен общий объем ресурсов агентства на 2020 – 2021 гг.

Регулярный бюджет состоит из оперативного и капитального компонентов, причем последний предназначен для финансирования основных инфраструктурных капиталовложений [3]. Смета регулярного бюджета представлена в разбивке по шести основным программам в соответствии со структурой программы работы агентства.

При этом каждая основная программа подразделяется на ряд специальных программ [4]:

1. Ядерная энергетика, топливный цикл и ядерная наука:
 - 1.1. Общее управление, координация и общие виды деятельности;
 - 1.2. Ядерная энергетика;

- 1.3. Технологии ядерного топливного цикла и материалов;
- 1.4. Создание потенциала и ядерные знания для целей устойчивого энергетического развития;
- 1.5. Ядерная наука.
2. Ядерные метод для развития и охраны окружающей среды:
 - 2.1. Общее управление, координация и общие виды деятельности;
 - 2.2. Продовольствие и сельское хозяйство;
 - 2.3. Здоровье человека;
 - 2.4. Водные ресурсы;
 - 2.5. Окружающая среда;
 - 2.6. Производство радиоизотопов и радиационные технологии.
3. Ядерная безопасность и физическая ядерная безопасность:
 - 3.1. Общее управление, координация и общие виды деятельности;
 - 3.2. Готовность и реагирование в случае инцидентов и аварийных ситуаций;
 - 3.3. Безопасность ядерных установок;
 - 3.4. Радиационная безопасность и безопасность перевозки;
 - 3.5. Обращение с радиоактивными отходами и безопасность окружающей среды;
 - 3.6. Физическая ядерная безопасность;
4. Ядерная проверка:
 - 4.1. Общее управление, координация и общие виды деятельности;
 - 4.2. Осуществление гарантий;
 - 4.3. Другая деятельность по проверке;
 - 4.4. Разработки;

5. Услуги в области политики, управления и администрации:
6. Управление техническим сотрудничеством в целях развития.

В таблице 2 приведен оперативный регулярный бюджет на 2020 – 2021 гг.

Таблица 1

Все ресурсы на 2020 – 2021 гг., общая информация (в млн. евро) [2]

Источник финансирования	2020 год	2021 год	Суммарно
Оперативный регулярный бюджет	377,4	377,4	754,9
Капитальный регулярный бюджет	6,1	6,1	12,2
Капитальный бюджет, включающий перенесенные с предыдущих периодов средства	2,0	2,0	4,0
Оперативные потребности, не обеспеченные финансированием	88,5	88,0	176,5
Капитальные потребности, не обеспеченные финансированием	16,2	12,1	28,3
Программа ТС	101,8	102,2	204,0
ИТОГО:	592,0	587,9	1 179,9

Таблица 2

Оперативный регулярный бюджет на 2019 год (в млн евро) [2]

Основная программа (ОП)	2020 год	2021 год
1. Ядерная энергетика, топливный цикл и ядерная наука.	41,4	41,4
2. Ядерные методы для развития и охраны окружающей среды.	42,1	42,1
3. Ядерная безопасность и физическая ядерная безопасность.	37,1	37,1
4. Ядерная проверка	148,7	148,7
5. Услуги в области политики, управления и администрации.	81,4	81,4
6. Управление техническим сотрудничеством в целях развития.	26,7	26,7
ИТОГО:	377,4	377,4

Наиболее перспективными являются проекты, связанные с внедрением радиационных технологий в сельское хозяйство и пищевую промышленность, финансируемые в рамках ОП-2 «Ядерные методы для развития и охраны окружающей среды». Рассмотрим некоторые из этих проектов.

В данной работе рассмотрены действующие проекты международного агентства, открытые не позднее 1 января 2018 года.

Одним из наиболее интересных проектов международного агентства является проект по снижению потерь урожая картофеля и других свежих продуктов путем их облучения. Данный проект принадлежит странам Латинской Америки и Карибского бассейна, а ответственной страной является Эквадор. В данном исследовании основной упор делается на облучение картофеля, с целью увеличения его срока годности. При этом основной целью проекта является укрепление сельскохозяйственного потенциала Эквадора, путем внедрения в него радиационных технологий. Это позволит продуктам дольше оставаться свежими, снизит потери урожая, после его сбора, тем самым уменьшив финансовые потери местных производителей, переработчиков и продавцов картофеля и других свежих продуктов [5].

Другим не менее значимым проектом является проект по повышению урожайности и качества

основных продовольственных культур. Начало проекта датировано январем 2018 года, страной ответственной за данный проект является Болгария. Данный проект по тематике схож с предыдущим, однако основной упор в нем делается на увеличение урожайности культур перца и картофеля. Также целью проекта является повышение устойчивости продовольственной безопасности и улучшение благосостояния фермеров, за счет увеличения срока годности продуктов путем облучения ионизирующим излучением данных продовольственных культур [6].

Большое количество проектов МАГАТЭ направлено на решение сельскохозяйственных и продовольственных проблем в странах Африки. Одним из таких проектов является проект по развитию устойчивости ячменя и твердых сортов пшеницы к засухе, с применением радиационных технологий. Данный проект возглавляет Тунис, а официальной датой запуска проекта является 1 января 2018 года. Проект направлен на борьбу с суровыми климатическими условиями африканских стран, путем создания засухоустойчивых твердых сортов пшеницы и ячменя при помощи радиационных технологий. Основной целью проекта является поддержка сельскохозяйственного производства, с целью повышения национальной продовольственной безопасности [7].

Похожий проект был запущен в январе 2018 года в Никарагуа. Это связано с тем, что в данной стране также наблюдается довольно засушливый климат, что приводит к ряду проблем в области сельского хозяйства. Тематикой проекта является расширение генетической вариации вегетативно размножаемых культур с применением радиационных технологий. Целью проекта является повышение продовольственной безопасности страны за счет создания устойчивого к болезням и абиотическому стрессу культур кокоса, таро и подорожника [8].

Еще одним, немаловажным в сельском хозяйстве проектом, является проект из Центральной Африки по созданию национального потенциала для повышения эффективности биологической азотфиксации для обеспечения продовольственной безопасности, восстановления плодородия и восстановления деградированных почв. Данный проект преследует цель повышения плодородия почвы и урожайности сельскохозяйственных культур с использованием радиационных технологий, путем разработки лучших методов ведения сельского хозяйства в стране. Проект вступил в силу 1 января 2018 года [9].

Подводя итоги, стоит отметить, что многие проблемы сельского хозяйства и пищевой промышленности невозможно решить без внедрения радиационных технологий. В связи с этим, поддержка проектов по данной тематике осуществляется не только на национальном, но и на международном уровне.

Список литературы

1. About us/International Atomic Energy Agency, Vienna International Centre. Austria. 1998–2019. URL: <https://www.iaea.org/about> (Дата обращения: 30.07.2019).

2. The Agency's Programme and Budget 2020–2021. Printed by the International Atomic Energy Agency, July 2019. Page 7-13.

3. Международное Агентство по Атомной энергетике: Обновление бюджета агентства на 2019 год. Австрия, 2018. 8 с.

4. Международное Агентство по Атомной энергетике: Обзор ядерных технологий – 2018 год. Австрия, 2018. 38 с.

5. Reducing Post-Harvest Losses of Native Potatoes and other Fresh Foods by Irradiation/ International Atomic Energy Agency, Vienna International Centre. Austria. 1998–2019. URL: <https://www.iaea.org/ru/projects/tc/ecu5030> (Дата обращения: 29.07.2019).

6. Increasing Productivity and Quality of Basic Food Crops/ International Atomic Energy Agency, Vienna International Centre. Austria. 1998–2019. URL: <https://www.iaea.org/ru/projects/tc/bul5015> (Дата обращения: 29.07.2019).

7. Developing Barley and Durum Wheat Resilience to Drought and Heat Tolerance through Mutation Breeding/ International Atomic Energy Agency, Vienna International Centre. Austria. 1998–2019. URL: <https://www.iaea.org/ru/projects/tc/tun5029> (Дата обращения: 29.07.2019).

8. Broadening the Genetic Variation of Vegetative Propagated Crops Using Nuclear Techniques/ International Atomic Energy Agency, Vienna International Centre. Austria. 1998–2019. URL: <https://www.iaea.org/ru/projects/tc/nic5011> (Дата обращения: 29.07.2019).

9. Building National Capacities for Improving the Efficiency of Biological Nitrogen Fixation for Food Security, Fertility Restoration and Rehabilitation of Degraded Soils/ International Atomic Energy Agency, Vienna International Centre. Austria. 1998–2019. URL: <https://www.iaea.org/ru/projects/tc/caf5011> (Дата обращения: 29.07.2019).

DEVELOPMENT OF INTERNATIONAL PROJECTS ON THE IMPLEMENTATION OF RADIATION TECHNOLOGIES IN AGRICULTURE AND THE FOOD INDUSTRY

Tkhorik O.V.

Russian Institute of Radiology and Agroecology, 249032 Kaluga region, Obninsk, Kievskoe shosse 109 km, Russian Federation

Information is provided on the main activities of the International Atomic Energy Agency (IAEA). The sources are considered of financing the main programs. A list of basic and special programs is provided and method of distributing financial resources is considered. The description is provided of the main IAEA projects on the application of radiation technologies in the field of agriculture and the food industry.

Keywords: *radiation technology, International Atomic Energy Agency, food and agriculture*

ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ДОЗ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ВИДОВОЙ СОСТАВ МИКРООРГАНИЗМОВ В ОХЛАЖДЕННОМ МЯСНОМ ФАРШЕ

Фролова Н.А.¹, Губина О.А.¹, Полякова И.В.^{*1}, Кобялко В.О.¹, Лауринавичюс К.С.^{**2}

¹ ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии»

249032 Калужская область, г. Обнинск, Киевское шоссе, 109 км, Российская Федерация

* e-mail: irinaamchenkina@mail.ru

² ФГБНУ Институт биохимии и физиологии микроорганизмов им. Г.К. Скрыбина

142290 Московская область, г. Пущино, пр. Науки 5, Российская Федерация,

** e-mail: klaur@ibpm.pushchino.ru

Целью настоящего исследования было изучение видового состава микроорганизмов в охлажденном мясном фарше, облученном в разных дозах. В качестве объекта был выбран мясной фарш, упакованный в модифицированной газовой среде (МГС) (75 % O₂ и 25 % CO₂). Облучение образцов производилось на гамма-установке в дозах 1,5; 3 и 6 кГр (НИИТФА, г. Москва). Часть продукции не облучалась и служила контролем. Определение видового разнообразия было произведено с помощью MALDI TOF масс-спектрометрии. В результате показано, что дозы до 3 кГр позволяют подавить большинство неспоробразующих микроорганизмов, относящихся к родам *Pseudomonas*, *Streptomyces*, *Lactobacillus*, *Acinetobacter*, *Debaromyces*, а доза 6 кГр — микроорганизмы родов *Lactobacillus*, *Aeromonas* и *Candida*. Так как дрожжи являются более радиорезистентными (род *Candida*) их количество быстрее восстанавливается после облучения (дозы до 3 кГр) и на 30 сутки определяет общую микробную обсемененность. Компоненты МГС дают дрожжам дополнительное преимущество.

Ключевые слова: ионизирующее излучение, охлажденный мясной фарш, МГС, видовой состав микроорганизмов, MALDI TOF масс-спектрометрия

Традиционно для снижения скорости порчи и продления срока хранения в охлажденные мясные продукты добавляют консерванты и антиоксиданты (где это применимо в соответствии с ТР ТС 021/2011 и ТР ТС 029/2012) используют вакуумную упаковку или упаковку в модифицированной газовой среде (МГС). Эти меры не полностью предотвращают рост микроорганизмов и порчу, а только ограничивают их скорость и характер.

Например, максимальные сроки хранения охлажденного мясного фарша при температуре до +6°C – не более 7 суток. Обеспечение такой длительности хранения осуществляется за счет применения герметичной упаковки или МГС, содержащей различные соотношения кислорода, азота и углекислого газа. Причем добавление кислорода обусловлено только стремлением производителей сохранить красный цвет мяса, и никак не влияет на продолжительность хранения и не снижает количество микроорганизмов.

Во всем мире, в том числе и в России, радиационные технологии широко используются для обработки сельскохозяйственного сырья и пищевой продукции с целью обеспечения микробиологической безопасности и увеличения сроков хранения [1-3]. Использование рекомендованных режимов облучения не изменяет сенсорные и физико-химические показатели продукции [4]. Однако режимы существуют не для всех видов продукции.

Разработка режимов радиационной обработки полуфабрикатов животного происхождения

представляет значимую научно-практическую задачу. Микрофлора подобных продуктов обусловлена разными компонентами и в связи с этим может значительно варьировать, как по видовому разнообразию, так и по количеству. Так как радиочувствительность микроорганизмов сильно отличается [5], необходимо понимать, какие дозы ионизирующего излучения необходимы для их инактивации, и, с другой стороны, какие дозы не приведут к ощутимым изменениям сенсорных характеристик продукта. Кроме того, в матрице пищевого продукта радиорезистентность микроорганизмов выше, чем в суспензии, в питательной среде или физиологическом растворе [6]. Так же необходимо различать микроорганизмы, присутствующие в испорченных продуктах, и микроорганизмы, вызывающие порчу. Последние могут составлять лишь часть микрофлоры, поэтому органолептическая порча и количество микроорганизмов в продукте не всегда связаны.

Большую проблему для охлажденных продуктов животного происхождения представляет такой патоген, как *Listeria monocytogenes* [7].

Известно, что при облучении в дозах до 3 кГр значительно уменьшается количество таких неспоробразующих патогенных и условно патогенных бактерий, которые относятся к родам *Campylobacter*, *Escherichia*, *Listeria*, *Salmonella*, *Staphylococcus*, *Yersinia* [1].

В то же время, актуален вопрос о влиянии компонентов МГС на эффективность антимикробного воздействия облучения, на изменение видового состава

микроорганизмов в облученной продукции и как следствие на длительность срока безопасного хранения облученной продукции.

В связи с вышесказанным целью настоящего исследования было изучение видового разнообразия микроорганизмов в матрице охлажденного мясного фарша под действием ионизирующего излучения.

Материалы и методы

В качестве объекта для исследований был выбран мясной фарш, упакованный в МГС (75 % O₂ и 25 % CO₂) (потребительская упаковка из полипропилена затянута полиэтиленовой пленкой).

Герметично закрытые упаковки охлажденного свежеприготовленного фарша из говядины и свинины (50 % / 50 %) (ТУ 9214-011-10844897-06) весом 0,45 кг (сроки хранения продукции – 7 сут при 5±3 °С) были изготовлены в условиях реального производства.

Упаковки мясного фарша облучали на γ -установке с мощностью дозы 1 Гр/с (НИИТФА, г. Москва) в контейнерах с термоэлементами при температуре до +6 °С. Интегральные поглощенные дозы облучения образцов продукции составили 1,5; 3,0 и 6,0 кГр. Часть продукции не облучалась и служила контролем.

Контрольные (необлученные) и опытные образцы находились при этой температуре в равных условиях. До облучения и после него упаковки хранили в холодильнике при $t = 5 \pm 3$ °С.

Транспортировку образцов производили в термоконтейнерах при $t = 5 \pm 3$ °С. Хранение мясного фарша осуществляли в холодильнике при температуре 6±2 °С. Радиационную обработку фарша выполняли сразу после изготовления, анализ микробиоты облученных и не облученных образцов начинали через 1 сутки после облучения.

Дозиметрия: для определения поглощенной дозы (ПД) использовали радиоохромные пленки СО/ПД – 1/10 Всероссийского научно-исследовательского института физико-технических и радиотехнических измерений (ВНИИФТРИ, г. Москва, РФ). Погрешности измерения ПД не превышали 10–12 % при доверительной вероятности 0,95.

Интегральная ПД облучения фарша 1,5; 3,0 и 6,0 кГр. Равномерность облучения достигала 95 %.

Определение видового разнообразия: из каждой упаковки фарша, отбирали образец весом 10 г. Его гомогенизировали в 90 мл стерильного физиологического раствора и выдерживали несколько минут при комнатной температуре. Из полученной суспензии готовили несколько последовательных десятикратных разведений и соответственно наносили на стерильные чашки Петри, содержащие специальную модифицированную среду 5/5а. Чашки инкубировали в термостате при температуре 28±1 °С в течение не менее 5 суток (так как после облучения наблюдается задержка роста колоний [8]).

Видовой состав микроорганизмов определяли с помощью MALDI TOF масс-спектрометрии на оборудовании фирмы Bruker. [9].

Результаты и обсуждение

Отмечалось, что при облучении мясного фарша в дозах 3 и 6 кГр поверхность продукта немного темнеет и ощущается запах окисленного жира, причем при увеличении дозы потемнение усиливается. Это может быть связано с тем, что при высоких дозах облучения и большом количестве кислорода (75 %) происходило увеличение интенсивности окислительных процессов жиров. В процессе хранения сенсорные показатели облученного мясного фарша имели тенденцию к восстановлению, тогда как в контрольных образцах на 30 сутки регистрировалась явная порча, которая проявлялась в появлении гнилостного запаха и изменении цвета фарша с красно-розового на серо-зеленый.

Определенные методом MALDI TOF масс-спектрометрии виды микроорганизмов в контрольных и облученных образцах охлажденного мясного фарша различались. В контроле через сутки после облучения были обнаружены бактерии родов *Pseudomonas* (27 %), *Clostridium*, *Streptomyces*, *Lactobacillus*, *Acinetobacter* (по 13 %) и другие, а так же патоген *Listeria monocytogenes*. В облученных образцах в зависимости от дозы облучения преобладали микроорганизмы родов *Clostridium* (25 %), *Lactobacillus* (25 %), *Aeromonas*, *Stenotrophomonas* и *Pseudomonas* (по 12 %) при дозе 1,5 кГр, *Clostridium* (20 %), *Lactobacillus* (23 %), *Aeromonas* (15 %), *Staphylococcus* и *Bacillus* (по 8 %) при дозе 3,0 кГр, *Staphylococcus*, *Bacillus* и *Clostridium* (по 30 %) при дозе 6 кГр, а патогены отсутствовали. Отсюда можно сделать вывод о том, что облучение мясного фарша в дозах до 3 кГр не полностью подавляет грамотрицательные микроорганизмы, которые являются наименее устойчивыми к воздействию радиации.

В процессе хранения на 30 сутки в контрольных и облученных образцах фарша отмечается смена микробного сообщества и увеличение доли дрожжевых грибов, за исключением образцов облученных в дозе 6 кГр (*Staphylococcus* (20 %), *Bacillus* и *Clostridium* (по 35 %)). Быстрое развитие дрожжей обусловлено межвидовой конкуренцией и наличием благоприятной среды (вследствие растворения углекислого газа в фарше и его подкисления). В облученных образцах фарша отсутствуют дрожжи рода *Debaromyces*, которые в контроле являются одними из микроорганизмов порчи, в частности приводят к разложению белков. Для облученной в дозе 3 кГр продукции доля дрожжевых грибов рода *Candida* составляет более 70 % от общего количества микроорганизмов. Это связано с большей радиорезистентностью дрожжей рода *Candida* по сравнению с *Debaromyces* и большинством грамотрицательных микроорганизмов (обработка ионизирующим излучением обеспечивает

дрожжам конкурентное преимущество). Отсутствие патогенов в других образцах объясняется как неравномерностью загрязнения исходного сырья, так влиянием облучения. Так же в облученных в дозах 1,5 и 3 кГр образцах были обнаружены грамположительные микроорганизмы рода *Arthrobacter* в количестве 23 % и 6 % соответственно, доля *Lactobacillus* снижается и составляет 9 и 6 % соответственно.

Заключение

Настоящее исследование было посвящено определению видового состава микроорганизмов в охлажденном мясном фарше после радиационной обработки. Это важно для понимания и предотвращения порчи продукции и обеспечения микробиологической безопасности. Применение радиационных технологий в этой области имеет значительный потенциал.

Многие микроорганизмы, отвечающие за порчу продуктов животного происхождения, а также патогены чувствительны к действию ионизирующего излучения в дозах 3-4 кГр, что позволяет решать проблемы короткого срока хранения и микробиологической безопасности с помощью радиационных технологий.

Так же было оценено влияние МГС на видовой состав облученной продукции и показано, что дрожжевые грибы рода *Candida* являются устойчивыми к действию ионизирующего излучения в дозах до 3 кГр, а МГС с высоким содержанием кислорода и углекислого газа дает им преимущество в межвидовой конкурентной борьбе. Так же можно сделать вывод о том, что дрожжевые грибы рода *Candida* в облученных продуктах не приводят к нарушению сенсорных характеристик, даже если их количество превышает норматив и основными микроорганизмами, вызывающими порчу являются бактерии родов *Aeromonas*, *Pseudomonas* и *Lactobacillus*, а так же дрожжевые грибы рода *Debaromyces*.

Список литературы

1. Радиационные технологии в сельском хозяйстве и пищевой промышленности / Под общ. ред. Г.В. Козьмина, С.А. Гераськина, Н. И. Санжаровой. Москва-Обнинск: ИНФОРМПОЛИГРАФ, 2015. 400 с.
2. Food irradiation research and technology / Edited by Christopher H. Sommers and Xuetong Fan. Oxford: Blackwell Publishing Professional, 2006. 317 p.
3. Kume T., Furuta M., Todorikis S., Uenoyama N., Kobayashi Y. Status of food irradiation in the world // Radiation Physics and Chemistry. 2009. V. 73. P. 222-226.
4. Irradiation of Food Commodities: Techniques, Applications, Detection, Legislation, Safety and Consumer Opinion / ed. Ioannis S. Arvanitoyannis. — Amsterdam, Boston, Heidelberg, London, New York, Oxford, Paris, San Diego, San Francisco, Singapore, Sydney, Tokyo. Academic Press is an imprint of Elsevier, 2010. 710 p.
5. Mohammed W.S., Ali A.R., Alexan A.F. J. Radiation sensitivity of some food borne bacterial pathogens in animal foods and minced meat. // Rad. Res. Appl. Sci. 2010. Vol.3. No.2(A), P.393-405.
6. Микробиологическая порча пищевых продуктов / К. де В. Блекберн (ред.). Пер. с англ. СПб.: Профессия, 2011 784 с.
7. Charline Maertens de Noordhout, Brecfht Devleesschauwer, Frederick J Angulo, Geert Verbeke, Juanita Haagsma, Martyn Kirk, Arie Havelaar, Niko Speybroeck. The global burden of listeriosis: a systematic review and meta-analysis // Lancet Infect Dis. 2014. 14(11). P.1073-1082.
8. Полякова И.В., Кобялко В.О., Саруханов В.Я., Козьмин Г.В., Санжарова Н. И., Лыков И.Н. Использование γ -излучения для холодной стерилизации многокомпонентных продуктов готовых к употреблению // Радиация и риск. 2015. №4. С.43-52.
9. Wilkins C.L., Lao J.O. Identification of Microorganism by Mass-Spectrometry. Hoboken: John Wiley and Sons Inc., 2005.

THE EFFECT OF VARIOUS DOSES OF IONIZING RADIATION ON THE SPECIES DIVERSITY OF MICROORGANISMS IN A CHILLED MINCED MEAT

Frolova N.A.¹, Gubina O.A.¹, Polyakova I.V.^{*1}, Kobyallo V.O.¹, Laurinavicius K.S.^{**2}

¹ Russian Institute of Radiology and Agroecology, 249032 Kaluga region, Obninsk, Kievskoe shosse 109 km, Russian Federation

² G.K. Scriabin IBPM, 142290 Moscow region, Pushchino, Prospect of Science, 5, Russian Federation

The purpose of this investigation was to study the species composition of microorganisms in chilled minced meat irradiated in different doses. The minced meat packaged in a modified atmosphere (MA) (75 % O₂ and 25 % CO₂) was chosen as an object. The samples were irradiated on a gamma-installation in doses of 1.5; 3 and 6 kGy (NIITFA, Moscow). A part of samples were not irradiated and served as a control. Species diversity was determined by MALDI TOF mass-spectrometry. As a result, doses up to 3 kGy were shown to suppress most non-spore-forming microorganisms belonging to the genera *Pseudomonas*, *Streptomyces*, *Lactobacillus*, *Acinetobacter*, *Debaromyces*, and a dose of 6 kGy - microorganisms of the genera *Lactobacillus*, *Aeromonas* and *Candida*. Since yeasts are more radioresistant (the genus *Candida*), their

number is restored faster after irradiation (doses up to 3 kGy) and on the 30th day determines the total microbial contamination. MA components give yeast an added advantage.

Keywords: *ionizing radiation, chilled minced meat, MA, species composition of microorganisms, MALDI TOF mass spectrometry*

УДК 634.1:537.811

ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО АППАРАТА ДЛЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНОЙ СТИМУЛЯЦИИ ЖИЗНЕННЫХ И РОСТОВЫХ ПРОЦЕССОВ САДОВЫХ КУЛЬТУР

Хорт Д.О., Кутырёв А.И., Филиппов Р.А., Пупин Д.С.

ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ»

109428 г. Москва, 1-й Институтский проезд, дом 5, Российская Федерация

e-mail: vim_sad@mail.ru

Многочисленные исследования различных физических факторов показывают перспективность применения импульсных магнитных полей в биорегуляторных технологиях стимуляции жизненных и ростовых процессов растений. В статье представлен разработанный автоматизированный аппарат для магнитно-импульсной обработки (МИО) растений, рассмотрено устройство, конструкция и принцип его работы. Приведена электрическая схема аппарата и его технические характеристики. Обоснована перспектива широкого внедрения экологически чистой технологии МИО растений в промышленных технологиях производства продукции садоводства.

Ключевые слова: *электронный прибор, магнитно-импульсная обработка, аппарат, экологически чистый метод, стимуляция роста растений*

В настоящее время для решения вопросов реализации генетически потенциальной продуктивности сельскохозяйственных культур, повышения экологической безопасности продукции и экономической эффективности сельскохозяйственного производства наибольшую актуальность приобретают высокоточные малоэнергоёмкие технологии, основанные на воздействии различных физических факторов на живые объекты. Такие физические факторы, как электромагнитные поля, лазерное излучение, ультравысокие колебания и другие, широко используются в различных областях науки, в том числе и в сельскохозяйственной, с целью стимулирования различных биологических процессов живых организмов и активации продукционных процессов растений [1,2].

Анализ проводимых исследований показал высокую эффективность внешних импульсных магнитных полей малой интенсивности (от 0,05 до 100 мТл) при биорегуляторной активации продукционных процессов садовых культур. Спектр практически значимых эффектов, связанных с магнитно-импульсной обработкой растений, весьма велик, он включает улучшение качества посадочного материала, повышение иммунитета растений, ускорение роста и развития культур, повышение урожайности. Эти экологически чистые и неэнергоёмкие регуляторные факторы являются универсальным способом физического воздействия на садовые растения [3].

Практическое применение технологий МИО в растениеводстве сдерживается отсутствием технических решений, обеспечивающих соблюдение

режимов обработки в полевых условиях. Большинство созданного оборудования для электрофизического воздействия на растения разработано не на научном обосновании магнитобиологических эффектов и машин для их реализации, а на основе эмпирических зависимостей, полученных исключительно в лабораторных исследованиях. Для создания специализированного оборудования и установления оптимальных режимов воздействия при реализации магнитно-импульсной обработки растений в промышленном садоводстве необходимо проведение научных исследований и опытно-конструкторских работ по обоснованию конструкции, технических характеристик и режимов работы оборудования для МИО растений [4].

В результате анализа приборно-аппаратной базы и режимов работы различных устройств для магнитно-импульсной обработки растений [5,6] в ВИМе разработан автоматизированный аппарат, который позволяет производить управляемую магнитно-импульсную обработку садовых растений на различных режимах (частота, скважность, магнитная индукция, время экспозиции и т.д.). Принцип работы автоматизированного аппарата для магнитно-импульсной обработки основан на преобразовании электрической энергии, запасаемой в конденсаторном блоке в воздействующие факторы - ограниченную последовательность одно - или разнонаправленных импульсов магнитной индукции. Главной особенностью аппарата является возможность изменения режима МИО

в зависимости от габаритных размеров садовых растений (ширины, высоты, габитуса куста).

Основным компонентом автоматизированного аппарата МИО является микроконтроллер управления подачей напряжения на рабочий орган (магнитный индуктор – плоскую спиральную катушку). Элементы сенсорной системы аппарата подключены к микроконтроллеру через штыревые разъемы по стандартным схемам: лазерный датчик расстояния по одной из GPIO линий микроконтроллера, TFT экран к GPIO линии по протоколу Uart (рис. 1).

Питание к автоматизированному аппарату МИО подается на DC-DC преобразователь 6 от аккумуляторной батареи на 12В. Преобразователь DC-DC преобразует напряжение с аккумуляторной батареи с 12 на 12-90 В. Преобразуемое напряжение подается на транзисторный блок 5. Транзисторный блок служит для включения и отключения питания конденсаторных батарей 4. Конденсаторные батареи накапливают электрическую энергию и в импульсном режиме через частотный генератор 11 испускают её на рабочий орган аппарата. Частотный генератор позволяет изменять частоту и скважность низкочастотного импульсного магнитного поля. Сигнал с установленной частотой и скважностью подается на твердотельное реле 9, которое соединяет управляющий электрод с катодом силового тиристора 3. После открытия

тиристора запасенная энергия в конденсаторной батарее 4 подается на магнитный индуктор. Для закрытия тиристора используется метод изменения напряжения между катодом и анодом. Когда тиристор открыт микроконтроллер 7 подает сигнал на транзисторный блок для закрытия питания между DC-DC преобразователем 6 и конденсаторной батареей 4. В этот момент запасенная энергия в конденсаторной батарее 4 разряжается на индуктор и напряжение на силовом тиристоре 3 равно 0В, и он закрывается. При закрытом тиристоре микроконтроллер подает сигнал через твердотельное реле 10 на транзисторный блок о открытии питания между конденсаторной батареей и DC-DC преобразователем. Цикл описанных работ повторяется в зависимости от задаваемой частоты и скважности на генераторе импульсного сигнала.

Конденсаторный блок автоматизированного аппарата МИО представляет собой параллельно-последовательно соединенные конденсаторы на 10 000 мкФ 25В. Последовательно соединены 4 конденсатора, в результате чего повышается общее напряжение конденсаторной батареи до 100В. Для повышения емкости к каждому из последовательного соединенных конденсаторов параллельно подключено еще по одному конденсатору. Общее напряжение конденсаторного блока составляет 100В, емкость 50кФ.

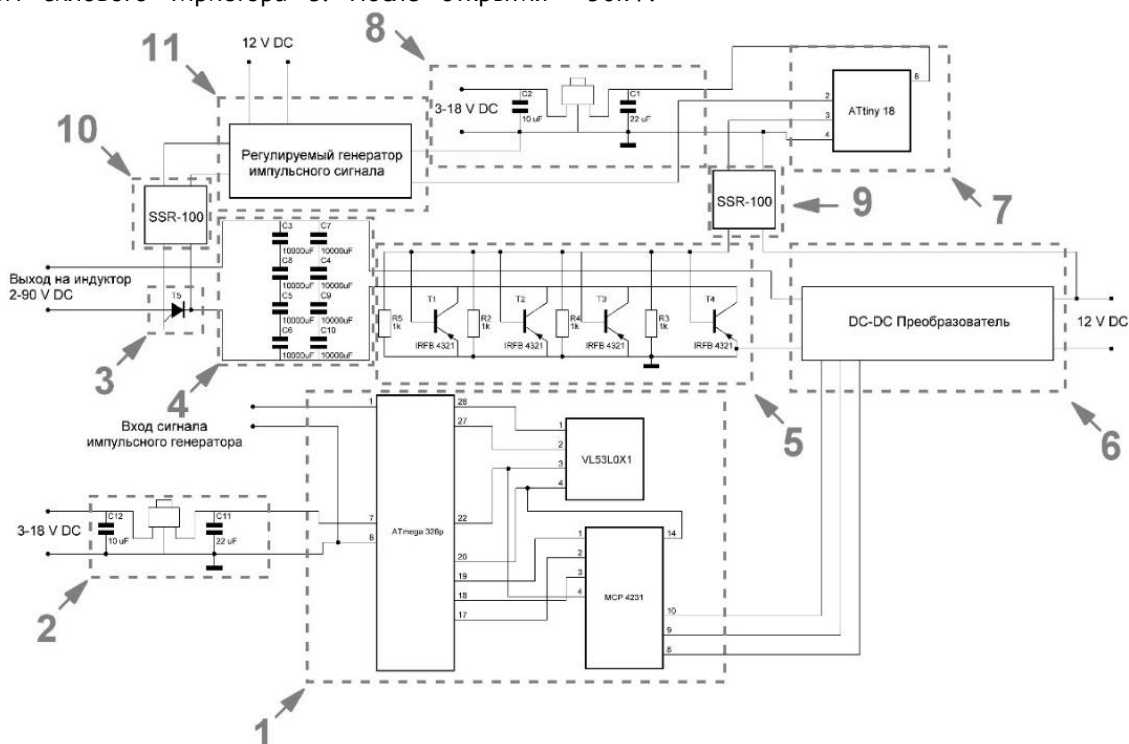


Рисунок 1 – Электрическая схема автоматизированного аппарата МИО

Транзисторный блок автоматизированного аппарата МИО состоит из 4 параллельно соединённых полевых P-N-P транзисторов, закрепленных на радиаторе. Для закрытия транзисторов, база и эмиттер соединены через резистор на 1кОм. Для открытия транзистора подается напряжение (управляющий сигнал)

на базу и эмиттер. Для полного открытия транзистора требуется 7-30В, а напряжение сигнала у микроконтроллера 5В, поэтому управляющий сигнал подается на твердотельное реле, а оно в свою очередь, подает напряжение на базу и эмиттер от аккумуляторно батарее.

За автоматическую регулировку магнитного поля, создаваемого магнитными индукторами, отвечает микроконтроллер ATmega 328p со схемой управления напряжения 1. Для этого на магнитном индукторе установлен лазерный датчик VL53L0X1, который передает данные о расстоянии между кустом и рабочим органом. Получив и обработав данные о расстоянии, микроконтроллер подает сигнал на электронный потенциометр MCP 4231, который регулирует напряжение выхода на DC-DC преобразователе.

Чем выше напряжение на конденсаторной батарее, тем больше создаваемое магнитное поле на магнитном индукторе. Питание микроконтроллера осуществляется через преобразователь питания с 12В на 3.3В.

В результате проведенных исследований изготовлен аппарат для автоматизированной магнитно-импульсной обработки растений и его рабочий орган (рис. 9).



Рисунок 2 – Автоматизированный аппарат МИО растений и магнитный индуктор

Основные узлы аппарата размещены в пластиковом боксе IP65, на шести печатных платах, которые жестко соединены с корпусом. В качестве рабочих органов аппарата МИО растений возможно

использование различных вариантов катушек индуктивности. Технические характеристики автоматизированного аппарата МИО представлены в таблице 1.

Таблица 1

Технические характеристики автоматизированного аппарата МИО

Характеристика	Значение
Вид магнитного поля:	Низкочастотное, импульсное
Количество подключаемых рабочих органов, шт.	8
Вид регулировки частоты импульсов	плавный
Частотный диапазон, Гц	1-100
Диапазон скважности	1-100
Питание от сети	50 Гц 220В через блок питания (12 В, 1000 мА), а также от внешних источников питания 12В
Регулируемое время экспозиции, с	от 1 до 9999

Разработанный аппарат МИО позволяет изменять полярность магнитных импульсов (вверх/вниз), время экспозиции с шагом 1 с, работать в широком диапазоне частот импульсного магнитного облучения и скважности с возможностью их автоматической регулировки. Аппарат МИО и его рабочие органы обеспечивают магнитную индукцию в зоне обработки от 0,1 до 15 мТл, частотный диапазон от 1 до 100 Гц, диапазон скважности 1 до 100. Предложенная конструкция аппарата позволяет автоматизировать процесс МИО растений с возможностью настройки к различным агротехнологическим параметрам насаждений, обеспечивая требуемое значение магнитной

индукции частоты и скважности в зоне обработки и точность выполнения новой технологической операции.

Список литературы

1. Izmailov A.Yu., Smirnov I.G., Khort D.O., Filippov R.A., Kutyrev A.I. Magnetic-pulse processing of seeds of berry crops // Research in Agricultural Engineering. 2018. Т. 64. № 4. С. 181-186.
2. Кутырёв А.И., Хорт Д.О., Филиппов Р.А. Обоснование параметров аппарата для магнитно-импульсной обработки растений // Вестник аграрной науки Дона. 2018. Т. 1. № 41. С. 32-38.

3. Smirnov I.G., Khort D.O., Filippov R.A., Kutyrev A.I. Factor analysis of irradiation of the strawberries (*fragaria* × *ananassa*) seeds pulsed low-frequency magnetic field // *Indian Journal of Agricultural Sciences*. 2019. Т. 89. № 5. С. 113-118.

4. Смирнов И.Г., Хорт Д.О., Филиппов Р.А., Кутырёв А.И., Артюшин А.А. Автоматизированный агрегат для магнитно-импульсной обработки растений в садоводстве // *Вестник Мордовского университета*. 2018. Т. 28. № 4. С. 624-642.

5. Хорт Д.О., Филиппов Р.А., Кутырёв А.И. Разработка аппарата для магнитно-импульсной обработки растений // *Инновации в сельском хозяйстве*. 2017. № 1 (22). С. 50-55.

6. Патент на полезную модель № 173651 РФ, МПК А01G 7/04. Аппарат импульсной обработки растений / Кутырёв А.И., Хорт Д.О., Филиппов Р.А., Смирнов И.Г. № 2017100725; опубл. 12.01.2017, Бюл. № 25.

FEATURES OF THE DEVELOPMENT OF THE AUTOMATED APPARATUS FOR ENVIRONMENTALLY SAFE STIMULATE THE LIFE AND GROWTH PROCESSES OF HORTICULTURAL CROPS

Khort D.O., Kutyrev A.I., Filippov R.A., Pupin D.S.

FSBSI "Federal Scientific Agroengineering Center VIM", 109428 Moscow, 1st Institutsky proezd, building 5, Russian Federation

Numerous studies of various physical factors show the promise of using pulsed magnetic fields in bioregulatory technologies to stimulate plant life and growth processes. The article presents a developed automated apparatus for magnetic pulse processing (MIO) of plants, considers the device, design and principle of its operation. The electrical circuit of the device and its technical characteristics are given. The prospect of the widespread introduction of environmentally friendly technology of plant M&E in industrial technologies for the production of gardening products is substantiated.

Keywords: *electronic device, magnetic pulse processing, apparatus, environmentally friendly method, plant growth stimulation*

УДК 621.382:635.21:631.559

ВЛИЯНИЕ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ НА СОХРАННОСТЬ КЛУБНЕЙ КАРТОФЕЛЯ

Чиж Т.В., Лой Н.Н.

*ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии»
249032 Калужская область, г. Обнинск, Киевское шоссе, 109 км, Российская Федерация
e-mail: taras.chizh@rambler.ru*

Установлено достоверное влияние дозы облучения и сортовых особенностей картофеля на изменение массы клубней в процессе хранения. Показано, что среди изученного диапазона облучение картофеля гамма-излучением в дозах 100 Гр и 150 Гр способствует наилучшему его сохранению с минимальной потерей массы клубней.

Ключевые слова: *гамма-излучение, картофель, срок хранения, сортовые различия*

По объему потребляемой продукции выращивание картофеля является одним из важнейших направлений современного сельского хозяйства. Однако в условиях умеренного климата круглогодичное культивирование картофеля не представляется возможным, в связи с чем необходима закладка клубней на длительное хранение до получения следующего урожая.

Согласно руководству по хранению свежего продовольственного картофеля предполагаемый срок хранения составляет 6 месяцев при естественном охлаждении и 8 месяцев при хранении с искусственным охлаждением. Однако эти сроки могут

варьировать в зависимости от сорта и климатической зоны [1].

Независимо от продолжительности срока, длительное хранение впрок невозможно без соблюдения требований к температуре и влажности в хранилищах. В процессе хранения происходит ухудшение качества и потеря массы клубней за счет процессов метаболизма, а также вследствие порчи, вызванной повреждениями, нанесенными при уборке урожая, и действием патогенной микрофлоры и вредителей. Дополнительным негативным фактором служит процесс транспортировки к местам хранения и реализации, а также обращения с клубнями при хранении (сортировка, удаление ростков, фумигация и т.д.).

Применение химических агентов и максимально допустимо низкой температуры в хранилищах являются не только экономически затратными, но и не всегда безопасными мерами, поэтому одним из возможных путей повышения безопасности и оптимизации является применение облучения картофеля ионизирующим излучением [2].

Употребление в пищу картофеля облученного с целью подавления процессов метаболизма по результатам проведенных многочисленных токсикологических исследований является абсолютно безопасным [3]. Современные исследования акцентируют свое внимание на разработке оптимальных режимов облучения и хранения облученной продукции [4-9].

Оптимальная поглощенная доза для ингибирования процессов метаболизма в клубнях картофеля зависит от предполагаемого срока хранения, сортовых особенностей, времени между уборкой урожая и облучением, а также от температуры хранения после облучения. Для большинства сортов эффективной является доза в диапазоне от 70 до 100 Гр. Однако точную поглощенную дозу достаточную для каждого конкретного сорта необходимо определять экспериментальным путем [2].

В качестве объекта исследования было выбрано девять сортов картофеля (*Solanum tuberosum* L.) различных по скорости созревания – раннеспелые сорта Ароза, Ред Скарлетт, Уладар, Лабелла, среднеспелые сорта Ред Леди, Лили, Колобок и позднеспелые сорта – Вектор, Журавинка. Облучение клубней картофеля гамма-излучением проводилось на стационарной установке ГУР-120 в дозах 50, 100 и 150 Гр спустя три недели после уборки урожая. Мощность дозы – 100 Гр/ч. Контролем служили необлученные клубни. Повторность в опытах 4-х кратная. Облученный и необлученный картофель хранился в условиях холодильной камеры при температуре + 6-12 °С. С периодичностью в каждые 1-2 месяца проводилось взвешивание клубней с целью определения потери массы за счет процессов транспирации. Влияние дозы облучения и сортовых особенностей картофеля на изменение массы клубней исследовали методом дисперсионного анализа.

Установлено достоверное влияние дозы облучения на величину потери массы (без разделения по сортам и времени после облучения) (рисунок 1). При этом 5,64 % дисперсии изменения относительной

массы клубней связаны с влиянием дозы. Анализируя представленные на рисунке 1 данные, можно сделать вывод об отсутствии достоверных различий в потере массы клубней при их облучении дозой 100 и 150 Гр. Вместе с тем, изменения массы при отсутствии облучения, а также при дозе в 50 Гр достоверно меньше по сравнению с облучением в дозе 100 и 150 Гр. Таким образом, из представленных данных можно сделать вывод о достоверной связи между снижением величины относительной массы клубней при уменьшении дозы их облучения.

Графическая интерпретация результатов дисперсионного анализа по совместному влиянию сортовых особенностей картофеля и дозы облучения на изменение массы клубней при хранении приведена на рисунке 2. Как следует из представленных данных, можно констатировать достоверное совместное влияние данных факторов на изменение массы клубней, хотя сила совместного влияния на дисперсию изменения массы невелика – менее 1 %. Следует отметить, что у всех исследуемых сортов наибольшая потеря массы клубней наблюдается при отсутствии их облучения.

Таким образом, в результате исследования установлено, что потеря массы клубней в процессе хранения достоверно зависит от дозы гамма-излучения и сортовых особенностей картофеля. Влияние продолжительности хранения и дозы облучения на потерю массы клубней имеет ряд общих черт для всех исследованных сортов – с увеличением времени хранения происходит потеря массы клубней, а с возрастанием дозы интенсивность потери массы снижается. Однако эти изменения несколько отличаются для различных сортов картофеля. С увеличением времени происходит снижение массы клубней картофеля во всем диапазоне доз облучения и для всех сортов. Вместе с тем, можно выделить сорта Ред Леди и Колобок, для которых потеря массы происходит с наибольшей интенсивностью и сорта, у которых интенсивность потери массы минимальна (Ред Скарлетт, Лабелла, Вектор и Журавинка). При этом следует отметить, что среди выбранных сортов зависимости между скоростью созревания клубней картофеля и величиной потери массы в процессе хранения не обнаружено.

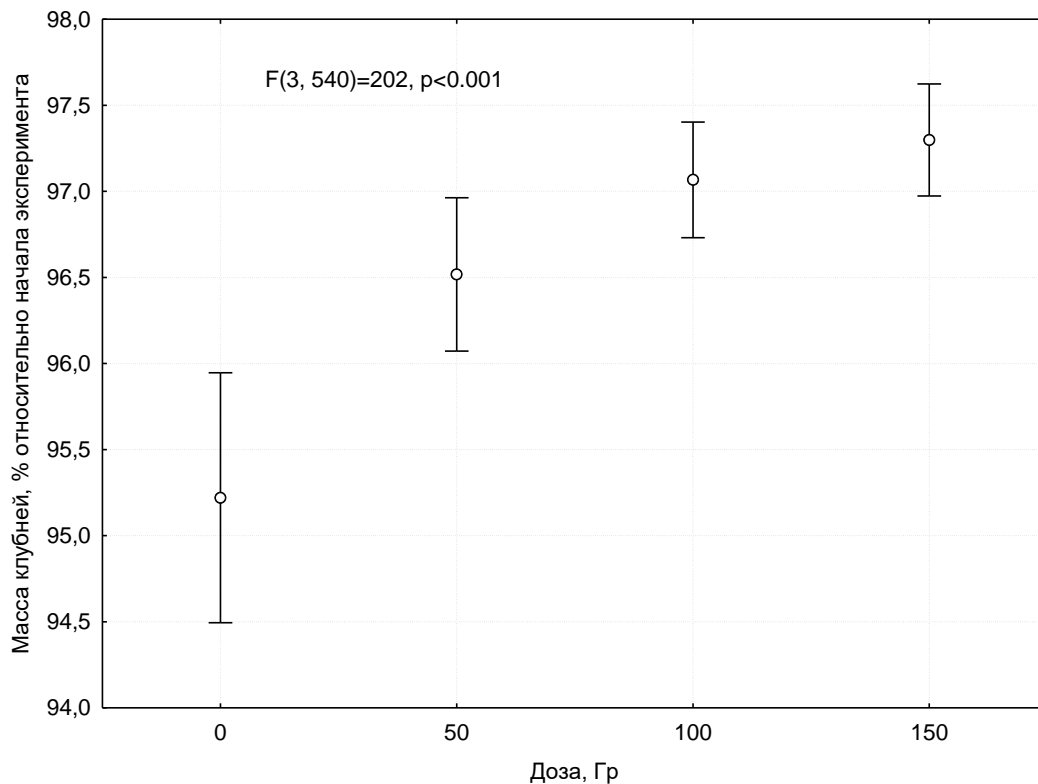


Рисунок 1 – Влияние дозы гамма-излучения на изменение массы клубней картофеля

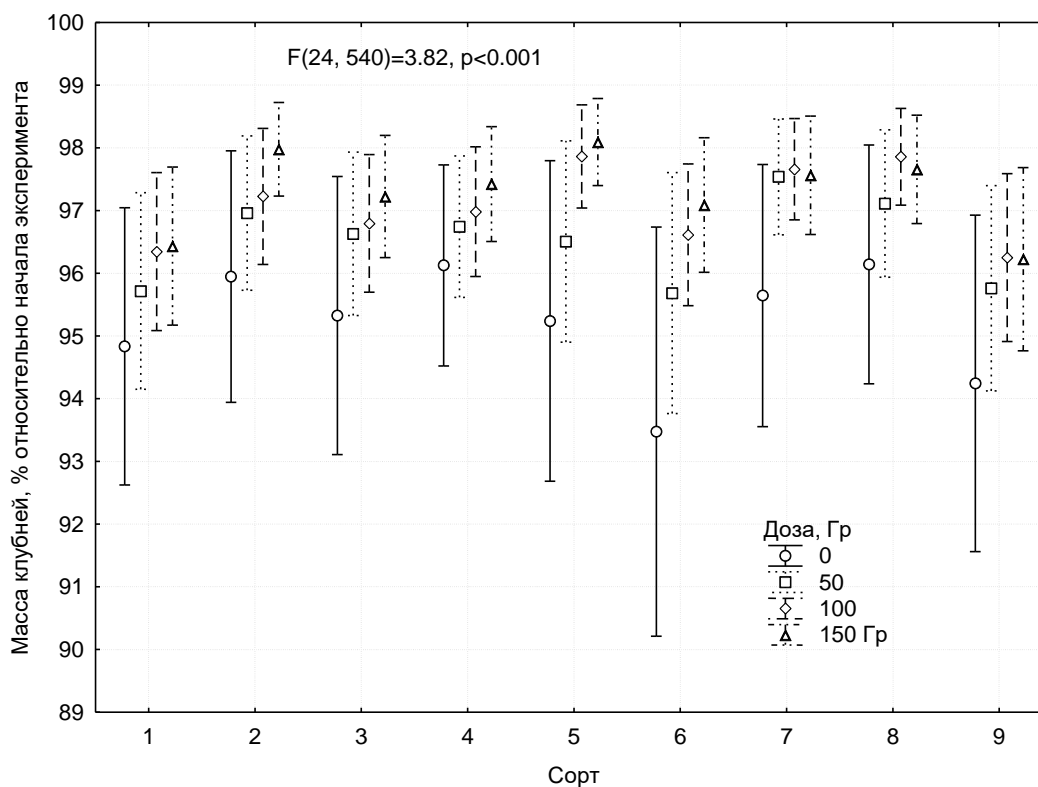


Рисунок 2 – Совместное влияние сортовых особенностей картофеля* и дозы облучения на изменение массы клубней при хранении

*Примечание: 1 – Ароза, 2 – Ред Скарлетт, 3 – Уладар, 4 – Лабелла, 5 – Лилли, 6 – Ред Леди, 7 – Вектор, 8 – Журавинка, 9 – Колобок

Список литературы

1. Картофель свежий продовольственный. Руководство по хранению. ГОСТ 28372-93 (ИСО 2165-74). Утв. 01.01.1995 // Национальные стандарты. Картофель, овощи, фрукты и ягоды. Хранение в холодильных камерах. Сборник стандартов. М.: ИПК Издательство стандартов. 2004 г. 10 с.

2. Кодекс надлежащей практики по облучению в целях ингибирования прорастания луковичных и клубнеплодных культур (Code of good irradiation practice for sprout inhibition of bulb and tuber crops. ICGFI Document # 8

3. Wholesomeness of irradiated food. Report of a Joint FAO/IAEA/WHO Expert Committee. Geneva, World Health Organization, 1981 (WHO Technical Report Series, No. 659).

4. Лой Н.Н., Кузнецов В.К., Санжарова Н.И., Губарева О.С., Чиж Т.В., Гулина С.Н. Влияние гамма-облучения на хранение и качество свежих овощей и фруктов // Радиационные технологии в сельском хозяйстве и пищевой промышленности: состояние и перспективы: сборник докладов международной научно-практической конференции, Обнинск, 26-28 сентября 2018 г. Обнинск: ФГБНУ ВНИИРАЭ, 2018. 356 с.

5. Чиж Т.В., Лой Н.Н., Губарева О.С., Кузнецов В.К., Урсу Н.В., Гулина С.Н. Влияние гамма-излучения на продолжительность хранения и показатели качества картофеля // Радиационные технологии в сельском хозяйстве и пищевой промышленности: состояние и перспективы: сборник докладов международной научно-практической конференции, Обнинск, 26-28

сентября 2018 г. Обнинск: ФГБНУ ВНИИРАЭ, 2018. – 356 с.

6. Чиж Т.В., Лой Н.Н., Губарева О.С. Влияние гамма-облучения на сохранность и качество ягод клубники // Современные проблемы радиобиологии и радиозкологии. Сборник докладов молодёжного круглого стола в рамках XLVI международных радиозкологических чтений, посвященных действительному члену ВАСХНИЛ В.М. Ключковскому. 2017. С. 143-148. ISBN: 978-5-903386-50-5

7. Лой Н.Н., Чиж Т.В., Гулина С.Н. Влияние гамма-облучения на хранение картофеля // Техногенные системы и экологический риск: Тезисы докладов II Международной (XV Региональной) научной конференции / Под общ. ред. А.А. Удаловой. – Обнинск: ИАТЭ НИЯУ МИФИ, 2018. 450 с.

8. Лой Н.Н., Санжарова Н.И., Губарева О.С., Чиж Т.В., Гулина С.Н. Применение радиационных технологий при хранении картофеля // Научные труды Северо-Кавказского Федерального научного центра садоводства, виноградарства, виноделия, Краснодар, 2018 г. т. 20, с. 66-71

9. Лой Н.Н., Санжарова Н.И., Чиж Т.В., Шагина Н.И., Гулина С.Н., Миронова М.П., Кузнецов В.К. Перспектива применения радиационных технологий для увеличения сроков хранения овощей [http://www.vniitti.ru] // Инновационные исследования и разработки для научного обеспечения производства и хранения экологически безопасной сельскохозяйственной и пищевой продукции: сб. матер. II Междунар. научн.-практ. конф. (05-26 июня 2017 г., г. Краснодар). С. 54-58 URL: http://vniitti.ru/conf/conf2017/sbornik_conf2017.pdf

THE EFFECT OF GAMMA IRRADIATION ON STORAGE LIFE OF POTATOES

Chizh T.V., Loy N.N.

Russian Institute of Radiology and Agroecology, 249032 Kaluga region, Obninsk, Kievskoe shosse 109 km, Russian Federation

The significant effect of the irradiation dose and varietal characteristics of potatoes on the change in the mass of tubers during storage was found. It has been shown that among the studied dose range of gamma radiation, potato irradiation in doses of 100 Gy and 150 Gy contributes to its best preservation with minimal weight loss of tubers.

Keywords: *gamma-radiation, potatoes, shelf life, varietal characteristics*

Секция

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ.
ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

**MATHEMATICAL MODELING.
DIGITAL TECHNOLOGY**



ANTHROPOMORPHIC MALE PHANTOM' DOSE ESTIMATION FOR APOLLO MISSION ASTRONAUTS WHEN CROSSING THE EARTH RADIATION BELTS

Basova M.A., Medzhidov I.M., Kurachenko Yu.A.

Russian Institute of Radiology and Agroecology

249032 Kaluga region, Obninsk, Kievskoe shosse 109 km, Russian Federation

e-mail: ma6ka_metall@mail.ru

During space flights astronauts are exposed to space radiation. The main dose commitments during quiet Sun are formed by the passage of the Earth radiation belts (van Allen belts), the remaining dose provides by galactic cosmic rays (GCR) and solar cosmic rays (SCR). In this work we estimated the "Apollo" mission astronaut's radiation exposure with the help of computational models: (a) anthropomorphic male phantom of "MIRD Humans" series, and (b) precise radiation transport model (by the MCNP code). The belt passage scenario is taken from the available literature data. A correlation with the data from the official report "NASA" on the dose commitments is done.

Keywords: space radiation, anthropomorphic phantom, radiation transport, doze commitments, equivalent dose

The aim of this work is to assess the dose commitments of an astronaut (an anthropomorphic phantom created using the program MCNP [1]) that passes the van Allen radiation belts according to the scenario [2] and the comparison of obtained results with available data from the official report "NASA" [3] on the radiation doses of "Apollo" mission astronaut.

Table 1

Crew-averaged data of thermoluminescent detectors presented in the "NASA" report

Apollo mission	Skin dose, rads
7	0.16
8	0.16
9	0.20
10	0.48
11	0.18
12	0.58
13	0.24
14	1.14
15	0.30

Anthropomorphic "MIRD" phantom

An anthropomorphic phantom of the MIRD Humans series, developed in 1980 at the Oakridge National laboratory, was chosen as an astronaut model [4]. The calculation model of the command module with the astronaut, presented in figure 1, consists of 175 surfaces, that are combined using Boolean algebra into 46 cells and as a result, 43 organs of the human body are simulated. The more realistic model of the command

module is shown in figure 2. All of 43 organs of the human body are represented by surfaces that are combined using Boolean algebra, so the program forms cells.

Phantom MIRD consists of three sections:

- the body and arms are simulated by elliptical cylinders;
- legs and feet are simulated by two truncated round cones;
- the neck and head are imitated by a round cylinder, on which there is an elliptical cylinder covered with half an ellipsoid.

Phantom has a mass of 94 kg and a height of 178.6 cm. Its organs consists of three types of tissue: 1) lungs; 2) soft tissue and 3) bone, which have different density and elemental composition.

Command module model

The command module is a sphere of aluminum with a thickness of $7.5 \text{ g/cm}^2 \rightarrow 2.8 \text{ cm}$ – the equivalent thickness of the command module shielding [5]. The internal radius of the model (160 cm) provides a volume equal to the volume of the real module. The command module is filled with standard air, pressure ~ 1 ATM. The accepted models of the module and astronaut provide an upper estimate of the dose because:

- the protons falling from outside are directed normally to the surface of the command module;
- phantom is not shielded by internal equipment of the module and phantoms of other crew members.

The angular distribution of protons for all energies in the van Allen belts is assumed to be isotropic.

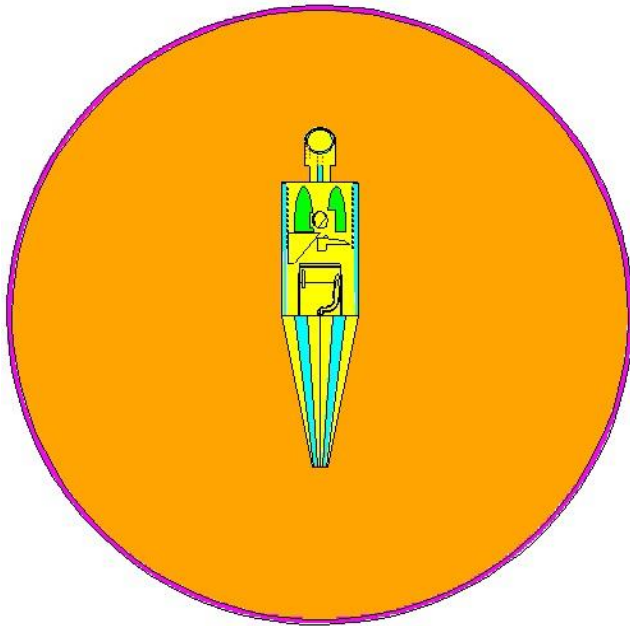


Figure 1 – Calculation model of the “Apollo” command module with an anthropomorphic astronaut phantom

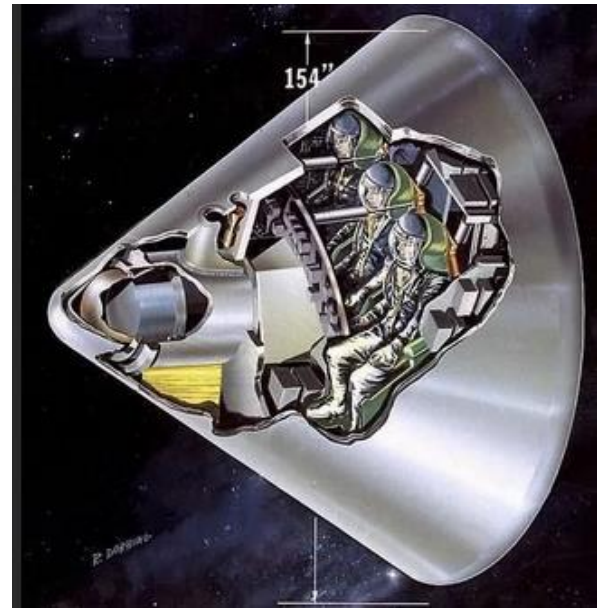


Figure 2 – The more realistic model of the “Apollo” command module

Radiation transport

The program of MCNP family (namely MCNPX) was chosen for calculations, which is widely used in various fields of knowledge, including benchmark calculations. The program is based on the Monte Carlo technique and allows you to simulate particle transport in 3D geometry over a wide energy range. Together with the universal transport code MCNP, the nuclear data library received by the TALYS nuclear reaction simulation program [6] was used.

In space flights, the radiation dose is formed by GCR, SCR and radiation in the van Allen belts. If the van Allen belts are overcome along an arbitrary trajectory, the main danger is the passage through the internal (proton) radiation belt. Protons and secondary radiation generated during proton transport form ~ 90 % of the dose, the remaining 10 % is provided by X-ray radiation. Proton energy is in the range from 20 to 1000 MeV. The radiation transport model takes into account a wide range of secondary particles: protons, neutrons, photons, electrons, mesons, deuterons, tritons, helium nuclei and alpha particles, which are generated in nuclear and photonuclear reactions in the shielding of the command module and in the phantom. Contributions of all energy degradation chains to the calculated flux functionals for all particles were taken into account up to the boundary energy of 1 keV (the lower energy of particles in the data library). In the scenario [2] the trajectory of the belt is not specified, only the time intervals during which the module is in a proton field with fixed values of the proton flux density for a discrete set of energies are presented.

Results

As a result of calculations, the values of the astronaut doses received during the passage of the proton radiation belt, namely, absorbed and equivalent doses in various organs and tissues, were obtained. The effective dose was evaluated, which takes into account the type of radiation and radiosensitivity of individual organs [7]. Some absorbed dose values for organs and tissues are given in table 2.

The main dose commitments in the male phantom are received by the reproductive organs (testes and male genitals). Also, significant doses are received by such critical organs as the bladder, large intestine and skin. The equivalent dose in other organs and tissues is tenths/hundredths of Sievert. Several values for the sample of astronaut organs are presented in table 3. The average value of the dose equivalent is 2.07 Gy. The received value of the effective dose with 5.8 Sv.

Table 2

Absorbed dose

Cell	Name	Dose, Gy
7	Skin	5.45E-1
15	Testes	3.67E+0
17	Brain	2.08E-2
21	Leg bones	4.65E-1
24	Arm bones	2.03E-1
41	Spine	1.69E-2
44	Thyroid	1.98E-3
45	Kidneys	6.70E-2
64	Male genitalia	2.79E+0

Table 3

Equivalent dose

Cell	Name	Dose, Sv
7	Skin	2.59E+0
10	Liver	2.48E-1
11	Stomach	2.68E-1
13	Urinary bladder	8.70E+0
15	Testes	2.15E+1
17	Brain	1.16E-1
20	Colon: ascending, transverse, descending and sigmoid	3.01E+0
44	Thyroid	1.32E-2
48	Spleen	2.15E-1
49	Thymus	1.71E-1
62	Small intestine	3.52E-1
64	Male genitalia	1.45E+1

In the official report of "NASA" the crew averaged values of the equivalent dose to the skin according to thermoluminescent detectors are thousandths of Sievert. According to our results, the average dose in the skin is 2.59 Sv. It means that the skin dose in the area around origin of coordinates (in the body center) will be several times higher than the estimated norm.

When taking into account the details of the real flight, such as screening equipment, the presence of other crew members in the compartment and the difference in their duties (taking into account the movement of the astronaut on the command module), the received radiation doses will be less than calculated in this work.

Summary

The studies assessed the dose commitments on the "Apollo" mission astronaut in the command module during the passage of the earth's proton radiation belt according to the scenario from the media. Absorbed

and equivalent dose distributions in different organs and effective dose were received. The high values of the doses received indicate that it is impossible to safely overcome the radiation belt under the chosen scenario. It can be concluded that the results depend on the choice of the van Allen belt scenario (trajectory and velocity), taking into account various factors such as geometry of irradiation and shielding, as well as the chosen method of calculation.

References

1. Authors: X-5 Monte Carlo Team. MCNP – A General Monte Carlo N-Particle Transport Code, Version 5. Volume I: Overview and Theory // LA-UR-03-1987. 2003. 484 p.
2. http://bolshoyforum.com/wiki/%D0%9A%D0%BE%D1%81%D0%BC%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F_%D1%80%D0%B0%D0%B4%D0%B8%D0%B0%D1%86%D0%B8%D0%BE%D0%BD%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D0%B7%D0%B0%D1%89%D0%B8%D1%82%D0%B0
3. Robert A. English, Richard E. Benson, Vernon Bailey and Charles M. Barne «Apollo experience report protection against radiation». National aeronautics and space administration – Washington – march 1973.
4. Authors: Tim Goorley X-3 MCC, Los Alamos National Laboratory. MCNP Medical Physics Database // LA-UR-07-2777. 2007.
5. Richard S. Johnston, Lawrence F. Dietlein, M.D., and Charles A. Berry, M.D. «Biomedical results of Apollo», Washington, 1975.
6. Koning A., Hilaire S., Goriely S. TALYS-1.9. A nuclear reaction program. 7. <ftp://ftp.nrg.eu/pub/www/talys/talys1.9.pdf> . 2017; 554 p.
- Нормы радиационной безопасности (НРБ 99/2009). Приложение 7.

ОЦЕНКА ДОЗОВОЙ НАГРУЗКИ НА МУЖСКОЙ АНТРОПОМОРФНЫЙ ФАНТОМ АСТРОНАВТА МИССИИ APOLLO ПРИ ПЕРЕСЕЧЕНИИ РАДИАЦИОННОГО ПОЯСА ЗЕМЛИ

Басова М.А., Меджидов И.М., Кураченко Ю.А.

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии»
249032 Калужская область, г. Обнинск, Киевское шоссе, 109 км, Российская Федерация

При космических полётах астронавты подвергаются воздействию космической радиации. Основная дозовая нагрузка при спокойном Солнце формируется при прохождении радиационных поясов Земли (поясов Ван-Аллена), остальная доза определяется воздействием галактических космических лучей (ГКЛ) и солнечных космических лучей (СКЛ). В данной работе проведена оценка дозовой нагрузки для астронавта миссии «Apollo» с применением численных моделей: (а) антропоморфного фантома человека серии «MIRD Humans» и (б) прецизионной модели транспорта излучения (программа MCNP). Сценарий прохождения пояса взят из доступных литературных данных. Проведен сравнительный анализ с данными из официального отчёта «NASA» по дозовой нагрузке на астронавта.

Ключевые слова: космическая радиация, антропоморфный фантом, транспорт излучений, дозовая нагрузка, эквивалентная доза

УДК 51-7:61

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАДИАЦИОННО-ИНДУЦИРОВАННЫХ ЭФФЕКТОВ НА ФОРМИРОВАНИЕ ОСЦИЛЛЯЦИЙ В НЕЙРОСЕТИ СА3 ГИППОКАМПА

Батова А.С.^{1,2,*}, Бугай А.Н.¹, Душанов Э.Б.¹, Аксёнова С.В.¹

1 – Объединенный институт ядерных исследований

141980, Московская область, г. Дубна, ул. Жолио-Кюри, 6, Россия

2 – Государственный университет «Дубна»

141982, Московская область, г. Дубна, ул. Университетская, 19, Россия

** e-mail: anna-sergeevna00@yandex.ru*

Предложен вычислительный подход для определения влияния точечных мутаций на функцию белка. С помощью молекулярно-динамического моделирования проанализирована кинетика воротных свойств мутантных синаптических рецепторов NMDA, несущих мутации в своих субъединицах NR2. Анализ геометрии канала и связывания ионов магния позволил оценить проводимость рецептора. В результате удалось выявить влияние этих мутаций на генерацию тета- и гамма-ритмов нейронной сетью области СА3 гиппокампа. Полученные результаты могут быть адаптированы для анализа и оценки возможных когнитивных нарушений, вызванных неврологическими заболеваниями или последствиями облучения и другими негативными факторами.

Ключевые слова: молекулярная динамика, нейронная сеть, нейродегенерация

В настоящее время центральная нервная система рассматривается как критическая система при осуществлении дальних космических полетов и при терапии опухолей головы [1]. Потенциальные риски связаны с развитием радиационно-индуцированных повреждений в мозге. Диапазон наблюдаемых эффектов очень широк: от внутриклеточных и структурных изменений нейронов до развития когнитивных и поведенческих патологий.

Такие когнитивные функции мозга, как фокусирование внимания, память, пространственная ориентация и исполнительные функции часто рассматриваются в контексте возникновения в мозге определенных ритмов (или волн), характерных для каждой из этих функций. Гиппокамп – часть мозга, отвечающая за кратковременную и пространственную память, а также участвующая в консолидации памяти. В значительной степени гиппокамп способствует генерации тета- и гамма-ритмов. Выявлено, что при развитии различных нейродегенеративных заболеваний, а также после воздействия ионизирующего излучения, ряд нарушений в работе гиппокампа связан с изменениями в синаптической передаче [2].

В настоящей работе исследуется связь генетических мутаций в генах, кодирующих белки синаптического NMDA-рецептора, с функционированием нейронных сетей области СА3 гиппокампа. В ходе работы было произведено молекулярно-динамическое

моделирование открытия ионного канала NMDA-рецепторов, построенных из мутантных форм белков. Анализ возникших конфигураций позволил определить изменение проводимостей ионных каналов и их влияние на параметры нейронной сети и генерацию ей тета- и гамма-ритмов. В частности, было выявлено, что с ростом сложности мутации значительно нарушаются пропускные свойства синаптических ионных каналов, что в конечном итоге влечет за собой изменения в амплитуде макроколебаний популяции и генерируемых частотах [3].

Список литературы

1. Григорьев А. И., Красавин Е. А., Островский М. А. К вопросу о радиационном барьере при пилотируемых межпланетных полетах // Вестн. РАН. 2017. Т. 87, No 1. С. 65–69.
2. Shi L. et al. Spatial Learning and Memory Deficits after Whole-Brain Irradiation Are Associated with Changes in NMDA Receptor Subunits in the Hippocampus // Radiat. Res. 2006. V. 166. P. 892–899.
3. Batova A. S., Bugay A. N., Dushanov E. B. Effect of Mutant NMDA Receptors on the Oscillations in a Model of Hippocampus // J. Bioinformat. Comput. Biol. 2019. V. 17, No. 1. P. 1940003.

MATHEMATICAL MODELING OF THE IMPACT OF RADIATION-INDUCED EFFECTS ON THE FORMATION OF OSCILLATIONS IN THE NEURAL NETWORK CA3 OF HIPPOCAMPUS

Batova A. S.^{1,2,*}, Bugay A. N.¹, Dushanov E. B.¹, Aksenova S. V.¹

¹ Joint Institute for Nuclear Research, 141980 Moscow Region, Dubna, Joliot-Curie St 6, Russian Federation

² Dubna State University, 141982 Dubna, Moscow region, Universitetskaya 19

A computation approach to identify the effect of missense mutations on the protein function is proposed. Using molecular dynamics simulation we have analyzed the gating kinetics of mutant NMDA synaptic receptors carrying mutations in their NR2 subunits. Analysis of channel geometry and Mg ion binding allowed to estimate the receptor conductivity. As a result, it was possible to identify the effect of these mutations on the generation of theta and gamma rhythms by the hippocampal neural network. Obtained results can be adapted for the analysis and evaluation of possible cognitive impairments caused by neurological diseases or consequences of radiation and other negative factors.

Keywords: *molecular dynamics, neural network, neurodegeneration*

УДК 539.1.047; 519.245

АНАЛИЗ ПОСЛЕДСТВИЙ ОБЛУЧЕНИЯ ЩИТОВИДНОЙ ЖЕЛЕЗЫ КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА

Денисова Э.Н., Снегирёв А.С., Шаповалов С.Г., Козьмин Г.И., Кураченко Ю.А.

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии»

249032 Калужская область, г. Обнинск, Киевское шоссе, 109 км, Российская Федерация

e-mail: ellaizaden@mail.ru

Данная работа имеет целью, во-первых, повысить надёжность расчёта поглощённых доз в критических органах крупного рогатого скота при внутреннем облучении непосредственно после радиационных аварий а) путём совершенствования камерной модели метаболизма радионуклидов в организме животных; б) применением прецизионных вычислительных технологий, как для моделирования предметной области, так и собственно транспорта излучений.

Ключевые слова: *камерная модель, сельскохозяйственные животные, радиоактивный йод, щитовидная железа, перенос излучения, поглощённая доза*

Экспериментальные данные [1] получены на 3-х клинически здоровых коровах в возрасте 4–5 лет, массой 380–520 кг и удоем 6.5–9.5 л в сутки. Каждая корова получила перорально 185 МБк активности ¹³¹I, смешанной с травой. В эксперименте [2] телятам 3-месячного возраста массой ~ 60 кг ежедневно в течение 6 сут с 2 л молока вводили ¹³¹I: в первые сутки 185 МБк, активность последующих порций уменьшалась в соответствии с периодом полураспада радионуклида. На 11 сутки наблюдений у телят было отмечено резкое снижение мощности дозы γ -излучения в области щитовидной железы, обусловленное радиационным разрушением паренхиматозной ткани ЩЗ и инъекцией ¹³¹I в кровеносное русло.

Исследование поступления ¹³¹I в органы и ткани животных проводилось с помощью камерного анализа – общепринятого методологического подхода для оценки транспортных параметров кормовых масс и радиоактивных материалов в желудочно-кишечном тракте (ЖКТ), а также особенностей метаболизма радионуклидов у животных [3]. Расчет характеристик поля излучения ¹³¹I проводился с помощью кода MCNP5 [4]. Морфология ЩЗ, плотность ткани, масса и характерные размеры взяты из [5–7].

На рисунке 1 представлены модели сечения ЩЗ, которые покрывают трахею и состоят из цилиндрических слоев, моделирующих форму тела ЩЗ для коровы и теленка.

№	Размеры ЩЗ			
	Внешний радиус, см		Высота, см	
	Коровы	Телята	Коровы	Телята
1	3.15	2.15	1.50	1.50
2	3.40	2.30	2.00	2.00
3	3.55	2.40	2.20	2.20
4	3.20	2.15	1.50	1.50
5	2.70	1.65	1.00	0.50

R=2.4 см (коровы); R=1.4 см (телята)

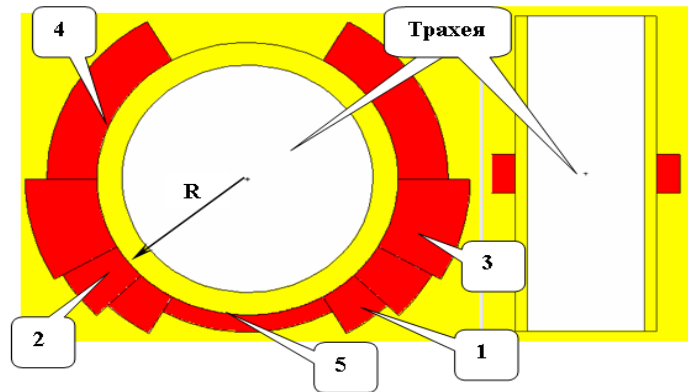


Рисунок 1-Радиальное (слева) и осевое сечение расчётной модели ЩЗ (не в масштабе; получено визуализацией входного файла кода MCNP5).

Для расчёта суммарной дозы в ЩЗ задачи с β - и γ -источником в каждом из пяти тел (рис. 1) решались последовательно. На основании аддитивности функционалов поля излучения дозы, полученные от двух типов источников, суммировались с учётом массы/объёма сегментов. Два компонента, нормированных на 1 Бк источника: 1) мощность дозы от источника β -излучения и 2) мощность дозы от источника γ -излучения были суммированы для того, чтобы вычислить полную мощность дозы, которая должна быть умножена на текущую активность ^{131}I в ЩЗ. В результате была получена зависимость суммарной мощности дозы от времени. Интеграл этой зависимости по временному интервалу от начала эксперимента позволил рассчитать накопленную к конкретному моменту дозу.

Прецизионные расчёты транспорта излучений проведены для а) переноса β -излучения ^{131}I в ЩЗ, сопровождающегося вторичным излучением и его дальнейшим переносом с учётом всех процессов,

включая генерацию и перенос тормозного излучения, Оже-электронов и др.; б) переноса собственного γ -излучения ^{131}I с учётом генерации и переноса рентгеновского и флуоресцентного излучения и т. д. Диссипация энергии контролировалась до 1 кэВ, расчёты продолжались до достижения интегральной (по энергии) дисперсии дозы < 0.1 %.

Расчётным путём показано, что в этих условиях вклад γ -излучения ^{131}I от собственного γ -источника (со всеми вторичными излучениями) в общую поглощённую дозу составляет ~ 20 %. Основным результатом расчётов является «коэффициент конверсии» активности ^{131}I (равномерно распределённой в ЩЗ) в среднюю мощность полной дозы в ЩЗ (для этих условий облучения): ~ $4.05 \cdot 10^{-12}$ Гр/с на 1 Бк для телят и ~ $2.34 \cdot 10^{-12}$ Гр/с на 1 Бк для коров. Величина дозы, накопленной в ЩЗ телят за период времени, после которого наблюдалось разрушение паренхиматозной ткани, составила ~ 330 Гр (рис. 2).

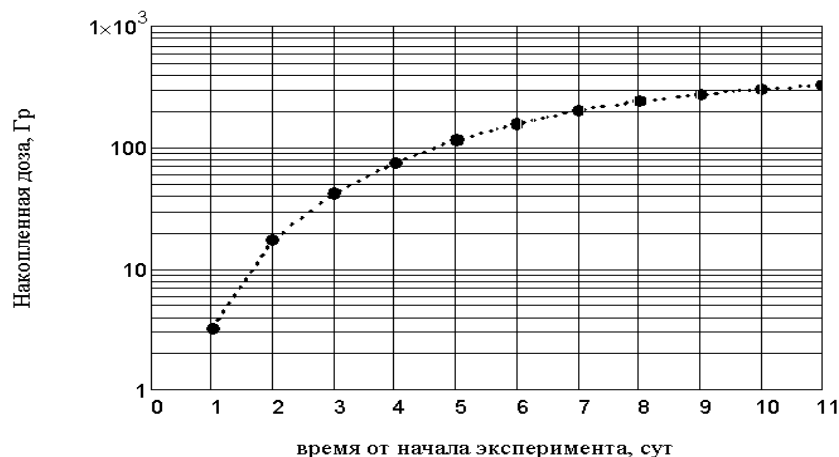


Рисунок 2 - Накопление дозы в ЩЗ телят, рассчитанное для эксперимента [7]; через 11 дней накопленная доза ~ 330 Гр

Интересно сопоставить полученный результат с реальной ситуацией, сложившейся в острый период радиационной аварии на Чернобыльской АЭС. У кормящих коров Хойникского и Брагинского районов

Гомельской области (Республика Беларусь) после аварии на Чернобыльской АЭС в мае 1986 г. концентрация продуктов ядерного деления в ЩЗ была на 3–4 порядка выше, чем в других органах и тканях (100–

700 кБк/г). Основным источником радиационной опасности в течение первого месяца после аварии на ЧАЭС являлись изотопы йода. Их содержание в смеси продуктов выброса составляло от 20 до 60 %. По данным гамма-спектрометрии, содержание ¹³¹I в пробах органов и тканей коров через 5–12 сут после выпадений составляло 65–90 %, а ^{134,137}Cs – 8–30 % суммарной активности. Средние поглощённые дозы в ЩЗ КРС из хозяйств Хойникского и Брагинского районов составили 65.2±22.9 и 164.9±34.6 Гр соответственно [8–10].

При вскрытии забитых животных с максимальными дозами облучения ЩЗ отмечались признаки нарушения структуры ЩЗ, которые для наиболее загрязнённых хозяйств Брагинского и Хойникского районов Гомельской области Республики Беларусь в динамике проявлялись следующим образом:

- в течение первого месяца в ЩЗ наблюдались резкие расстройства гемодинамики, гиперемия, отёк стромы, полнокровие капилляров межфолликулярной ткани, кровоизлияния в интерстициальную ткань и полость фолликулов;

- в последующие 1.5–2 мес изменялся объём ЩЗ, наблюдались некродистрофические изменения эпителия фолликулов, пикноз ядер, гибель и слущивание эпителиальных клеток, появление тяжёлой соединительной ткани;

- при внешнем осмотре спустя 5 мес после аварийного выброса отмечалось уменьшение ЩЗ в объёме, уплотнение и слоистость на разрезе. При гистологическом исследовании устанавливали фиброз органа;

- спустя 8 мес отмечали атрофию ЩЗ и образование на её месте тяжёлой соединительной ткани.

В последующие сроки морфологические изменения в ЩЗ по степени выраженности были переменными у животных различных хозяйств и районов и зависели от плотности радиоактивного загрязнения местности и времени, прошедшего от начала аварии.

Результаты, полученные нами, соответствуют более «жёсткой» ситуации, обусловленной более высокими значениями активности перорально поступившего ¹³¹I и формированием высоких уровней облучения ЩЗ. Если же обратиться к литературным данным, напр., [11], то можно обнаружить, что: «Умеренное повреждение щитовидной железы овец или крупного рогатого скота приводит лишь к незначительным и временным нарушениям их общего здоровья» с. 15–16. По данным авторов, никаких эффектов дозы в 300 Гр, полученной при фракционировании 15 Гр/сут, у КРС не наблюдается. Для дозы 700 Гр при фракционировании 30 Гр/сут, наблюдается «незначительная гиперплазия фолликулов», и только при огромных дозах 2000–3000 Гр (фракции по 100–150 Гр/сут) наблюдается «обширный некроз ЩЗ, слизистый отёк, но гематологических изменений нет; уменьшенный удой; никаких нарушений фертильности» ([11], с. 16). Авторы экспериментальной работы [7] оценили дозу разрушения ЩЗ на 11 день эксперимента в 850 Гр

(напомним, наш расчёт для этого эксперимента в настоящей работе даёт 330 Гр). По-видимому, оценка [9] является завышенной, равно как и «незначительная гиперплазия фолликулов» при 700 Гр [11] маловероятна. В качестве основания данного утверждения напомним, что «выжигание», т. е. разрушение структуры остатков удалённой ЩЗ радиойодом при терапии рака ЩЗ происходит при подведении ~300 Гр: «Абляция остаточной тиреоидной ткани достигается при поглощённой дозе около 300 Гр» ([12], с. 44). Ту же величину 300 Гр находим в зарубежных источниках (напр., в [13,14]).

По всей видимости, нижней границе дозы, вызывающей очень быстрое (в течение суток) разрушение паренхиматозной ткани ЩЗ телят, соответствует полученное в настоящей работе значение поглощённой дозы ~330 Гр.

Заключение

Полученные результаты не противоречат дозиметрическим данным, характеризующим радиобиологические последствия радиационного поражения ЩЗ (~300 Гр) у человека [15] и овец [8, 9].

Представленный анализ формирования поглощённой дозы в организме телят позволяет оценить нижнюю границу дозы, вызывающей очень быстрое катастрофическое разрушение паренхиматозной ткани ЩЗ и локализованного в ней источника излучения ¹³¹I. Прижизненная дозиметрия телят в области ЩЗ убедительно показывает этот процесс: в течение суток после 11–12 дней наблюдений мощность дозы резко уменьшается более чем в 5 раз. К этому времени в ЩЗ по нашим расчётам накоплена доза около 300 Гр.

Следует отметить, что разрушение паренхиматозной ткани ЩЗ КРС в зоне влияния Чернобыльской аварии отмечалось также при более низких поглощённых дозах (~150 Гр), но в течение более длительного времени (~3–5 мес). Указанные обстоятельства дают важную информацию для оценки состояния здоровья животных в условиях радиоактивного загрязнения окружающей среды продуктами ядерного деления.

Список литературы

1. Сироткин А.Н., Панченко И.Я., Тюменев Л.Н., Пантелеев Л.И., Николаева Е.М., Гришин А.И., Корнеев Н.А. Сравнительное поведение ¹³¹I у коров при различных источниках поступления его в организм / В сб. Биологическое действие внешних и внутренних источников радиации. М: Медицина. 1972. С. 72–77.
2. Спирин Е.В., Лазарев Н.М., Сарапульцев И.А. Формирование дозы облучения щитовидной железы телят при поступлении ¹³¹I с кормом // Докл. РАСХН. 2004. №4. С. 54–55.
3. France J., Kebreab E. Mathematical Modelling in Animal Nutrition. Centre for Nutrition Modelling

University of Guelph. Wallingford: Biddles Ltd, King's Lynn. 2008. 588 p.

4. Authors: X-5 Monte Carlo Team. MCNP – A General Monte Carlo N-Particle Transport Code, Version 5. Volume I: Overview and Theory // LA-UR-03-1987. 2003. 484 pp.

5. Suuroja T., Järveots T., Lepp E. Age-related morphological changes of thyroid gland in calves // Veterinarija ir zootechnika. 2003. Vol.23 (45). P. 55–59.

6. Peksa Z., Trávníček J., Dušová H. et al. Morphological and histometric parameters of the thyroid gland in slaughter cattle // J Agrobiol. 2011. №28(1). P. 79–84.

7. ICRP Publication 89. 2002 Basic anatomical and physiological data for use in radiological protection: reference values. Published by Elsevier Science Ltd. Ann. ICRP 32. 2003. 277 pp.

8. Спирин Е.В., Лазарев Н.М., Сарапульцев И.А. Формирование дозы облучения щитовидной железы телят при поступлении ^{131}I с кормом // Докл. РАСХН. 2004. №4. С. 54–55.

9. Бударков В.А., Зенкин А.С., Архипов Н.И. и др. Влияние йода-131 на овец в зависимости от содержания стабильного йода в рационе // Радиобиол. 1992. Т. 32. №3. С. 451–458.

10. Бударков В.А., Архипов Н.Н., Зенкин А. С. и др. Влияние продуктов аварийного выброса Чернобыльской АЭС на щитовидную железу животных // Ветеринария. 1990. №7. С. 60–63.

11. Ястребков Ю.А., Бударков В.А., Василенко И.Я. Оценка поглощённых доз у крупного рогатого скота в течение первого года после аварии на Чернобыльской АЭС // Рад. биол. Радиоэкол. 1995. Т. 35. № 6. С. 845–850.

12. Morris J.A. Exposure of animals and their products to radiation. Surveillance, monitoring and control of national and international trade. Rev.sci. tech.Off.int.Epiz.,1988,7(1) ,11–23. <https://www.oie.int/doc/ged/D8426.PDF>

13. Гарбузов П.И., Дроздовский Б.Я., Родичев А.А. и др.. Радиойодтерапия рака щитовидной железы// Практическая онкология Т. 8, No 1 – 2007. https://rosoncweb.ru/library/journals/practical_oncology/arh029/07.pdf

14. Treating Thyroid Cancer using I-131 Maximum Tolerable Dose Method. <http://www.hpschapters.org/northcarolina/fall2007/I-131%20Dosimetry%20NCCHPS.pdf>

15. A Toxicological Profile for Iodine. Agency for Toxic Substances and Disease Registry Division of Toxicology. USA. Atlanta, Georgia. 2004. 580 pp.

CONSEQUENCES ANALYSIS OF THE CATTLE THYROID IRRADIATION

Denisova E.N., Snegiryov A.S., Shapovalov S.G., Kozmin G.V., Kurachenko Yu.A.

Russian Institute of Radiology and Agroecology, 249032 Kaluga region, Obninsk, Kievskoe shosse 109 km, Russian Federation

This work is aimed, firstly, at improving the reliability of the absorbed doses calculation in cattle critical organs at internal irradiation immediately after radiation accidents a) by improving the compartmental model of radionuclide metabolism in animals and b) by the use of precise computing technologies, both for modeling the subject area and the radiation transport as well.

Keywords: *compartment model, farm animals, radioactive iodine, thyroid gland, radiation transport, absorbed dose*

УДК 57.04

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАДИАЦИОННО-ИНДУЦИРОВАННОГО АДАПТИВНОГО ОТВЕТА

Коротовских О.И., Вазиров Р.А., Агданцева Е.Н.

ФГАОУ ВО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»

620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19, Российская Федерация

e-mail: Olkoriya@yandex.ru

Все более актуальными исследованиями в радиобиологии являются действия малых доз ионизирующего излучения (ИИ). Однако радиобиология, обладая многими знаниями о механизмах и закономерностях воздействия «больших» доз, не может подробно объяснить эффекты и закономерности воздействия малых доз. Возникает необходимость новых моделей для исследования эффектов малых доз, в частности эффекта радиационно-индуцированной адаптации. Для определения функции радиационно-индуцированного адаптивного ответа (РАО) от факторов облучения мы использовали показатель фактора изменения дозы (ФИД). Зависимость фактора

изменения дозы от времени описывалась с помощью асимметричной двойной сигмоидальной функции, а ее коэффициенты были интерпретированы в приложении к радиобиологии.

Ключевые слова: малые дозы, фактор изменения дозы, ионизирующее излучение, адаптивный ответ

Радиобиология – постоянно развивающаяся, комплексная наука, которая имеет множество направлений. В настоящее время все более актуальными исследованиями в радиобиологии и радиоэкологии являются действия малых доз ионизирующего излучения [1]. Это происходит из-за того, что все биологические объекты подвергаются воздействию малых доз от естественного радиационного фона и различных техногенных факторов. Сегодня «большие» дозы получают лишь при лучевой терапии и группы лиц при авариях [2].

Однако радиобиология, обладая многими знаниями о механизмах и закономерностях воздействия «больших» доз ИИ на животных и человека, не может подробно объяснить эффекты и закономерности воздействия малых доз ИИ [3]. Одним из их проявлений является феномен адаптивного ответа, который представляет собой универсальную реакцию клеток на облучение в малых дозах, выражающуюся в приобретении устойчивости к поражающему действию ИИ в «большой» дозе.

С целью прогнозирования данного процесса для различных биологических объектов возникает необходимость новых моделей. В данной работе было предложено описание РАО параметром фактор изменения дозы (ФИД). ФИД – это отношение равноэффективной повреждающей дозе с предварительной адаптивной дозой к повреждающей дозе без предварительного облучения, вызывающие падения уровня выживаемости на 50 %.

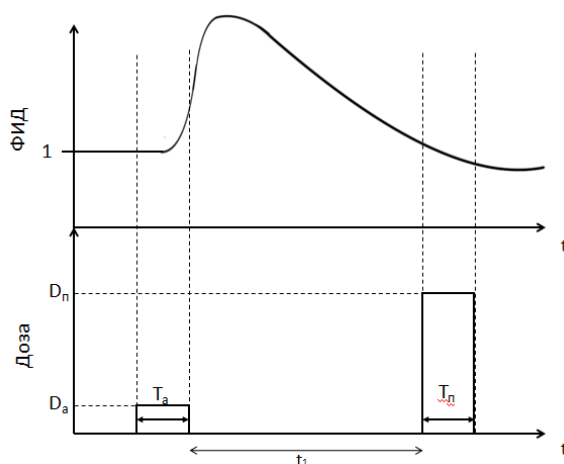
Адаптивный ответ (АО) является общебиологическим феноменом, продемонстрированным для клеток и организмов из многих царств животного и растительного мира [4].

При рассмотрении механизмов АО некоторые авторы [5] полагают, что в результате облучения в малых дозах происходит активация и индукция синтеза репаративных ферментов, функционирование которых обеспечивает устойчивость объекта к последующему воздействию высоких доз.

Другой моделью является модель М.Полякова и Л.Е.Фининдегана. Согласно ей происходит повреждение ДНК с немедленным запуском репаративных систем и в то же время посылается сигнал о стимуляции физиологических процессов, нейтрализующих повреждения ДНК [6].

По мнению Бондарчука И.А. [7] важнейшим аспектом в понимании адаптивного ответа является первичное усиление процессов перекисного окисления липидов в мембране с последующей активацией рецепторов факторов роста.

Наиболее общим, интегральным критерием АО является изменение выживаемости после повторного действия ИИ. Особенности РАО являются многократные различия в величинах адаптирующей и повреждающей доз облучения и фиксированные интервалы времени между воздействиями. Обязательное соблюдение интервала времени между облучениями указывает, что программа переключения клеток на адаптивный ответ требует сравнительно продолжительной перестройки радиорезистентности, которая может сохраняться в течение многих клеточных циклов. Например, при возникновении АО на клеточном уровне достаточно 4-6 часов, а сохраняться ответ может до нескольких месяцев [1]. Интерпретация литературных данных может быть представлена в виде схемы на рисунке 1.



D_n – повреждающая доза
 D_a – адаптирующая доза
 T_n – время воздействия повреждающей дозы
 T_a – время воздействия адаптирующей дозы
 t_1 – время между воздействиями

Рисунок 1 – Схема РАО

Для проведения экспериментов были выбраны винные дрожжи штамма *Saccharomyces cerevisiae*, относящиеся к классу грибов [8].

В качестве источника адаптирующей дозы был выбран изотоп ^{137}Cs . При повторном воздействии ИИ дозой, вызывающей повреждающий эффект, использовался пучок электронов 10 МэВ, полученных на

линейном ускорителе электронов модели УЭЛР-10-10С (ИВЦ Радиационной стерилизации, УрФУ) [9].

После проведения экспериментов [10] была подобрана функция, описывающая полученные результаты наилучшим образом – асимметричная двойная сигмоидальная функция:

$$y = y_0 + A \cdot \left(\frac{1}{1 + e^{\frac{-(x-x_c + \frac{w1}{2})}{w2}}} \right) \cdot \left(1 - \frac{1}{1 + e^{\frac{-(x-x_c + \frac{w1}{2})}{w3}}} \right)$$

y_0 – смещение относительно нуля;
 A – амплитуда;
 x_c – центр;
 $w1$ – ширина на половине высоты;
 $w2$ – дисперсия низкоэнергетической части кривой;
 $w3$ – дисперсия высокоэнергетической части кривой;

Выбранная зависимость хорошо описывает существующие гипотезы [1, 5-7].

Коэффициенты можно связать с процессами РАО. В условиях отсутствия адаптирующей дозы ФИД равен 1 и соответствует контрольному образцу. Таким образом, смещение относительно нуля y_0 в априори равно 1 [7].

A – параметр, учитывающий максимальное значение снижения биологического ответа

x_c – момент времени, при котором снижение биологического ответа максимально.

$w1$ – параметр, учитывающий длительность сохранения адаптивного ответа к воздействию повреждающей дозой.

$w2$ – параметр, учитывающий скорость реакции биологических объектов, на воздействие адаптирующей дозой.

$w3$ – параметр, учитывающий скорость затухания адаптивного ответа к воздействию повреждающей дозой.

Уравнение аппроксимирует полученные результаты с достоверностью $R^2 = 0,95$:

$$y = 1 + 1,29 \cdot \left(\frac{1}{1 + e^{\frac{-(x-1)}{0,3}}} \right) \cdot \left(1 - \frac{1}{1 + e^{\frac{-(x-1)}{11}}} \right)$$

Таблица 1

Значения полученных коэффициентов

	Коэффициент					
	y_0	A	x_c	$w1$	$w2$	$w3$
Значение	1,00	1,29	21,95	42,17	0,34	10,70

Графически полученные результаты представлены на рисунке 2.

ФИД является асимметричной двойной сигмоидальной функцией.

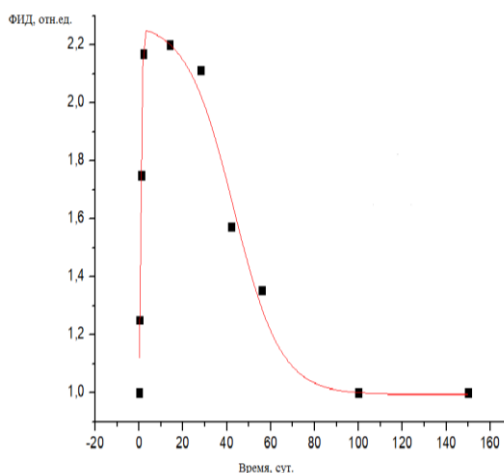


Рисунок 2 – Зависимость ФИД от интервала времени. Функция аппроксимации

Таким образом, на основании известных закономерностей протекания радиационно-индуцированной адаптации и экспериментальных данных нами была выбрана асимметричная двойная сигмоидальная функция для описания.

Заключение

Радиационно-индуцированный адаптивный ответ может быть описан с использованием зависимости фактора изменения дозы от времени между облучениями. Выбранное уравнение аппроксимирует полученные результаты с коэффициентом достоверности аппроксимации $R^2 = 0,95$. На основании полученных данных сделаны предположения о роли коэффициентов в процессах адаптации.

Список литературы

1. Кудряшов Ю.Б. Радиационная биофизика (ионизирующее излучение). М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. 448 с.
2. Капутьцевич Ю.Г. Количественные закономерности лучевого поражения клеток. М.: Издательство "Автомиздат", 1978. 232 с.
3. Некоторые эффекты радиационного гормезиса бактериальных и дрожжевых клеток / В. Г. Петин, И. И. Морозов, Н. М. Кабакова, Т. А. Горшкова // Радиоэкология. 2003. Т. 43. № 2. С. 176-178.
4. Котеров А. Н., Филипович И. В. Радиоадаптивный ответ *in vitro* нестимулированных лимфоцитов крыс по металлотионеиновому тесту // Радиационная биология. Радиоэкология. 2002. Т. 42 № 2. С.130–135.
5. О реакции клеточной популяции на облучение в малых дозах/ А. М. Серебряный, А. В. Алещенко, В. Я. Готлиб [и др.]// Радиационная биология. Радиоэкология. 2007. Т. 47. № 1. С. 93-99.
6. Ивановский Ю. А. Радиационный гормезис. Благоприятны ли малые дозы ионизирующей радиации? // Вестник ДВО РАН(Владивосток). 2006. №6. С.86-91.
7. Бондарчук И. А. Гипотеза о механизме индукции адаптивного ответа при облучении клеток млекопитающих в малых дозах // Радиационная биология. Радиоэкология, 2002. Т. 42, № 1. С. 36-43.
8. Меледина Т. В., Давыденко С. Г. Дрожжи *SACCHAROMYCES CEREVISIAE* морфология, химический состав, метаболизм: Учеб.пособие. СПб.: Университет ИТМО, 2015. 88 с.
9. Техническое описание линейного ускорителя электронов модели УЭЛР – 10 – 10С2 для ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна, Устройство и работа ускорителя. СПб.: ООО «НПП «КОРАД» – 2013.
10. Агданцева Е.Н., Бажукова И.Н, Баранова А.А. и др. Исследование радиационно-индуцированной адаптации дрожжевых клеток *Saccharomyces cerevisiae* к действию ионизирующего излучения // Вопросы радиационной безопасности. 2018. №3. С. 49-54.

MATHEMATICAL MODELING OF RADIATION-INDUCED ADAPTATION RESPONSE

Korotovskikh O.I., Vazirov R.A., Agdantseva E.N.

Ural Federal University named after the first President of Russia Boris Yeltsin, 620075 Yekaterinburg, Mira St. 19, Russian Federation

In our days relevant research in radiobiology is the action of low doses of ionizing radiation. However radiobiology having a lot of knowledge about the mechanisms and patterns of exposure to "large" doses can not explain in detail the effects and patterns of exposure to low doses. There is a need for new models to study the effects of low doses and in particular the effect of radiation-induced adaptation. We used the dose change factor parameter to determine the function of radiation-induced adaptive response from irradiation factors. The dependence of the dose change factor on time was described using asymmetric double sigmoidal function and its coefficients were interpreted in the application to radiobiology.

Keywords: *low dose, dose change factor, ionizing radiation, adaptive response*

УДК 614.876+ 539.1.047+518.245+ 523.3-1/-8

ОЦЕНКА ДОЗОВЫХ НАГРУЗОК НА АСТРОНАВТА МИССИИ APOLLO ПРИ ПЕРЕСЕЧЕНИИ РАДИАЦИОННОГО ПОЯСА ЗЕМЛИ

Меджидов И.М., Басова М.А., Кураченко Ю.А.

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии»
249032 Калужская область, г. Обнинск, Киевское шоссе, 109 км, Российская Федерация
e-mail: immedzhidov@mail.ru

При совершении полетов по программе Apollo астронавты подвергаются воздействию корпускулярного, рентгеновского и гамма-излучений широкого диапазона энергии. Судя по доступным публикациям, доза облучения астронавта при спокойном Солнце формируется в основном при пересечении радиационных поясов Земли (поясов Ван-Аллена). В данной работе оценена дозовая нагрузка на женский фантом астронавта при прохождении внутреннего (протонного) радиационного пояса Земли по сценарию, взятому из Интернета. Оценка выполнена с помощью современных расчётных технологий, основанных на прецизионных моделях предметной области и транспорта излучений. Результаты сопоставлены с доступными литературными данными.

Ключевые слова: радиационное воздействие, ионизирующее излучение, пояса Ван-Аллена, антропоморфный фантом, транспорт излучений

В 1958 году Эрни Рей и Джеймс Ван Аллен, проанализировав данные газоразрядных счетчиков, установленных на космических аппаратах «Эксплорер-1» и «Эксплорер-3», пришли к выводу, что космос радиоактивен [1]. При осуществлении миссий «Apollo» астронавты подвергались воздействию различного вида ионизирующего излучения. Снизу представлены средние дозы облучения для экипажа миссий «Apollo» [2].

Такое низкое значение доз вызвало большое количество статей, посвященных опровержению полетов «Apollo».

В одной из статей [3], автором подробно описывается сценарий преодоления поясов Ван-Аллена и приводится значение эквивалентной дозы (табл. 2).

В связи с этим была поставлена следующая задача: рассчитать дозовую нагрузку на антропоморфную модель астронавта и сравнить полученный результат с официальными значениями «NASA» и значениями конспирологов.

Транспорт излучений

В качестве транспортного кода был выбран MCNPX из семейства MCNP [4], позволяющий с использованием универсальной библиотеки ядерных данных TALYS [4] учесть все реакции, продукты которых формируют дозу облучения астронавта. MCNPX является универсальным прецизионным инструментом для расчета характеристик полей излучения. Программа позволяет осуществлять перенос частиц на основе метода Монте-Карло и рассчитывать различные функционалы, зависящие от распределения

этих частиц по энергии, направлению и пространственным координатам.

Из всех типов излучения, которые существуют в поясах Ван-Аллена основным источником являются протоны – около 90 % излучения, остальные 10 % излучения – это рентгеновские лучи солнечного ветра. Диапазон энергий протонов в данном исследовании варьируется от 20 до 1000 МэВ.

В расчётах фигурировало большое разнообразие реакций с выходом различных частиц, их транспортом и взаимодействием со средой. Вклад следующих частиц был учтён: протоны, нейтроны, фотоны, электроны, π^+ мезоны, π^0 мезоны, дейтроны, тритоны, ^3He , альфа-частицы.

Таблица 1

Усредненные дозиметрические данные экипажа миссий «Apollo» [2]

Apollo mission	Skin dose, rads
7	0.16
8	0.16
9	0.20
10	0.48
11	0.18
12	0.58
13	0.24
14	1.14
15	0.30
16	0.51
17	0.55

Таблица 2

Эквивалентные дозы радиации, полученные кожей и внутренними органами [3]

Энергия протонов, (МэВ)	Плотность потока, $\left(\frac{\text{Част}}{\text{сек}\times\text{см}^2}\right)$	Время полета, (мин)	Эквивалентная доза, (Зв)		
			Кожа	Внутренние органы на глубине 1 см	Внутренние органы на глубине 10 см
1000	10	10	0.00	0.00	0.00
500	100	20	0.19	0.19	0.17
200	1000	20	0.60	0.59	0.40
170	5000	20	2.23	2.09	1.10
105	8000	20	2.00	1.65	0.45
50	10000	33	0.27	0.16	0.00
30	20000	40	0.00	0.00	0.00
20	70000	45	0.00	0.00	0.00
Итого			5.29	4.68	2.12

Модель командного отсека

В качестве командного модуля была принята сфера из алюминия толщиной $7.5 \text{ г/см}^2 \rightarrow 2.8 \text{ см}$ – эквивалентная толщина защиты командного модуля [2,5]. Внутренний радиус модели равен – 160 см, что обеспечивает объем, равный объему реального отсека.

Антропоморфный фантом «MIRD»

Астронавт моделировался антропоморфным женским фантомом из серии – MIRD Humans. Разработан данный фантом в 1980 году в Национальной лаборатории Окриджа [6]. Для расчётов был выбран фантом взрослой женщины массой 72 кг и ростом 168.1 см. Все данные модели, а именно: состав материала, плотность и т. д. были заданы во входном файле в MCNPX.

MIRD фантом состоит из четырех секций:

1. Туловище и руки представлены в виде эллиптических цилиндров
2. Ноги и ступни представляют собой два усеченных круглых конуса
3. Шея и голова представлены двумя цилиндрами круглым, на котором находился другой (эллиптический) цилиндр, покрытый половиной эллипсоида
4. Два эллипсоида, моделирующие женскую грудь, были прикреплены к туловищу (отличие от мужского фантома)

Немаловажным в исследовании является химическое состав и плотность тканей конкретных органов для расчета поглощенной, эквивалентной и эффективной дозы. В нашем фантоме присутствовало три основных типа тканей с различной плотностью и элементарным составом: лёгкие, скелетные и мягкие.

Объединяя поверхности при помощи булевой алгебры, MCNPX формирует ячейки, которые представляют собой человеческое тело и его органы. Для женского фантома используется 48 ячеек и 176 поверхностей во входном файле (рис. 1).

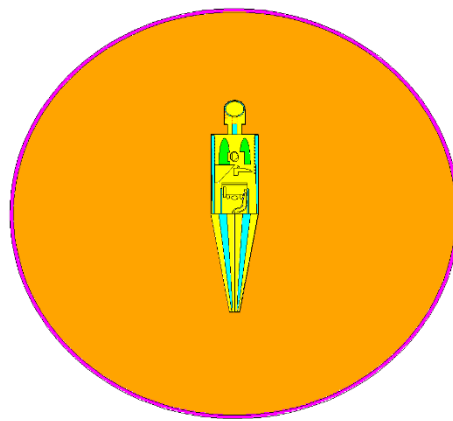


Рисунок 1 – Модель командного модуля «Apollo» с антропоморфным женским фантомом астронавта [6]

В ходе вычисления, была выполнена верхняя оценка дозы, так как:

1. Падающие извне протоны направлены нормально к поверхности командного модуля
2. Поток протонов имеет изотропное угловое распределение, поэтому в качестве источника использовались только протоны, направленные в полупространство (2π вместо 4π) при падении на поверхность командного отсека
3. Фантом не экранируется внутренним оборудованием и фантомами остальных двух членов экипажа.

Результаты

В ходе расчетов были получены значения поглощенной («физической») и эквивалентной дозы в органах и тканях фантома, а также эффективная доза при прохождении радиационного пояса Земли по сценарию, приведенному в Интернете [3]. В таблице 3 приведены значения поглощенной и эквивалентной дозы для некоторых органов.

Таблица 3

Поглощенная и эквивалентная доза на органы антропоморфного фантома при пересечении радиационных поясов Земли по сценарию [3]

Ячейка	Наименование	Поглощенная доза, (Гр)	Эквивалентная доза, (Зв)
4	Ноги	7.79E-1	4.32E+0
7	Кожа	7.87E-1	3.67E+0
13	Мочевой пузырь	2.12E+0	1.11E+1
15	Яичники	2.94E-1	1.88E+0
19	Толстая кишка	1.07E+0	5.94E+0
21	Кости ног	5.72E-1	2.82E+0
24	Кости рук	2.84E-1	1.76E+0
25	Ключицы	1.04E-1	6.45E-1
64	Матка	4.96E-1	3.10E+0
65	Грудная клетка	1.44E-1	8.44E-1

Из таблиц видно, что дозовая нагрузка весьма значительная и максимальное ее значение пришлось на мочевой пузырь – 11.1 Зв. Также стоит отметить такие критические органы, как толстая кишка, ноги и кожа, которые тоже получили значительную дозовую нагрузку.

Имея значения эквивалентной дозы, было рассчитано значение эффективной дозы с учетом взвешивающих коэффициентов для органа или ткани [7]. На рисунке 2 представлено значение эффективной дозы. Для сравнения были приведены интервалы доз и соответствующие им степени лучевой болезни.

Заключение

Дозы, полученные в нашем расчётном эксперименте, многократно превосходят значения

официальных данных по дозиметрии миссий «Apollo». Значения конспирологов не существенно превосходят значения, полученные в этом эксперименте. Максимальное значение доз было получено на органах, выполняющие репродуктивные функции, а именно – яичники и матка, т.к. радиочувствительность тканей данных органов очень высока.

Полеты по такому сценарию – невозможны. Дозовая нагрузка слишком высока и вероятность выжить после такого облучения крайне мала. По официальным данным «NASA» были получены сотые доли Зиверта, а максимальное значение составляло 0.0114 Зв при выполнении миссии «Apollo - 14». Такие малые значения доз можно объяснить только тем, что реальные траектории полетов проходили через полюса радиационных поясов, где плотность потока протонов относительно невелика.



Рисунок 2 – Эффективная доза на фантом и сравнительная оценка по степени лучевой болезни

Список литературы

1. Исследование внешнего радиационного пояса Земли: статья – И.П. Безродных, стр 1–5. Режим доступа: <http://www.cosmic-rays.ru/articles/B57.pdf>.

2. Robert A. English, Richard E. Benson, Vernon Bailey and Charles M. Barne «Apollo experience report protection against radiateon» // National aeronautics and space administration – Washington – march 1973.

3. «Дозы радиации при полете на Луну» Режим доступа:

http://bolshoyforum.com/wiki/%D0%9A%D0%BE%D1%81%D0%BC%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F_%D1%80%D0%B0%D0%B4%D

0%B8%D0%B0%D1%86%D0%B8%D0%BE%D0%BD%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D0%B7%D0%B0%D1%89%D0%B8%D1%82%D0%B0.

4. X-5 Monte Carlo Team. MCNP – A General Monte Carlo N-Particle Transport Code, Version 5. Volume I: Overview and Theory // LA-UR-03-1987. 2003. 484 p.

5. Richard S., Johnston, Lawrence F., Dietlein M.D. and Charles A. «Biomedical results of Apollo» стр 9-41 // Washington – 1975.

6. LA-UR-07-2777 «MCNP Medical Physics Database» Tim Goorley // California, Los Alamos National Laboratory.

7. «Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009)», 225.

DOSES ESTIMATION FOR THE APOLLO MISSION ASTRONAUTS AT CROSSING THE EARTH RADIATION BELTS

Medzhidov I. M., Basova M.A., Kurachenko Yu. A.

Russian Institute of Radiology and Agroecology, 249032 Kaluga region, Obninsk, Kievskoe shosse 109 km, Russian Federation

In Apollo missions, astronauts are exposed to corpuscular, x-ray and gamma radiation with a wide range of energy. According to available publications, the radiation dose of an astronaut when the quiet Sun is formed mainly when crossing the Earth radiation belts. In the paper, astronaut doses during the passage of the internal proton radiation belt according to the scenario taken from the Internet are estimated. Estimations are made using modern calculation technologies based on precise models of the subject domain and radiation transport. The results are compared with the available Apollo data.

Keywords: *radiation exposure, ionizing radiation, Van Allen belts, anthropomorphic phantom, radiation transport*

УДК 635.656: 632.15:581.13:543.544.5: 519.67: 519.688

ФРАКТАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ УРОВНЯ ОРГАНИЗАЦИИ КОРНЕВЫХ ВЫДЕЛЕНИЙ РАСТЕНИЙ ГОРОХА, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В ТЕХНОЛОГИЯХ ФИТОМОНИТОРИНГА И ФИТОРЕКУЛЬТИВАЦИИ ТЕХНОГЕННО-НАРУШЕННЫХ ПОЧВ

Пухальский Я.В.^{1,2}, Воробьев Н.И.¹, Шапошников А.И.¹, Якубовская А.И.⁴, Пирмагомедов Р.Я.³, Лактионов Ю.В.¹, Лоскутов С.И.²

¹ ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной микробиологии»

196608 Санкт-Петербург, Пушкин-8, шоссе Подбельского, д. 3, Российская Федерация

e-mail: puhalskyan@gmail.com

² ООО НПО «БиоЭкоТех», 198188 Санкт-Петербург, Российская Федерация

³ Российский университет дружбы народов, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая 6, Российская Федерация

⁴ ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»

295493 Республика Крым, г. Симферополь ул. Киевская, д.150, Российская Федерация

В работе приводится анализ качественного и количественного состава корневой экссудации аминокислот растениями гороха (*Pisum sativum* L.) сорта Софья, культивируемых в условиях гидропонной культуры при добавлении токсичных концентраций тяжелых металлов. На основе числовых показателей для данной фракции строятся фрактальные портреты с индексами детерминированности, отражающие изменения внутренних процессов внутри растения в результате возникшего стресса. Показано, что по-отдельности противодействие тяжелым металлам приводит к частичному нарушению процесса самоорганизации в реакциях метаболизма. Полиметаллический тип загрязнения приводит к возрастанию индекса согласованности в корневых выделениях, что вероятно служит косвенным показателем повышения мобилизационного состояния, за счет активизации растениями своих внутренних резервов.

Ключевые слова: *горох, тяжелые металлы, гидропоника, корневые экссудаты, фракталы*

Корневые экссудаты (экзометаболиты) растений, являются легкодоступными источниками питания для почвенных микробов и имеют наравне с последними, немаловажное значение в процессах биосорбции, за счет изменения кислотности среды и способность образовать хелатируемые комплексы с различными поллютантами, в частности с загрязняющими среду тяжелыми металлами (ТМ), что отражено в ряде работ [1, 12, 15]. Одними из главных компонентов корневых экссудатов являются сахара, аминокислоты и органические (алифатические карбоновые) кислоты [10].

Бобовые, обладая разнообразной симбиотической активностью с широким спектром почвенных микроорганизмов представляются интересными культурами для исследования экобиохимических процессов, происходящих в ризосфере, в ответ на различные стрессы и раздражители [2, 8, 19]. Однако, они менее толерантны к токсичному воздействию кадмия, чем, например, злаки, что выражается в

сильном ингибировании продукции их биомассы уже в присутствии небольших концентраций ионов Cd^{2+} [13, 16]. Поповой с соавт. было показано, что растения гороха не переносили концентрации Cd^{2+} выше 5 мкМ [18].

В окружающей среде наиболее часто встречается полиметаллический тип загрязнения. При этом воздействие комплекса элементов на растения при этом может во многом отличаться от их реакции на отдельный элемент [6].

Из всего вышесказанного, целью нашего эксперимента было определить уровень фрактальной самоорганизации аминокислот, как наиболее крупной фракции по количеству разделяемых и детектируемых компонентов, у зернобобовой культуры, в условиях искусственной моно- и биэлементной интродукции токсичных концентраций ТМ.

В качестве модельного объекта для изучения был выбран новый высокопродуктивный зерновой сорт гороха - Софья [5], обладающий повышенной

устойчивостью к полеганию (степень не превышает 40 – 45 %), среднеустойчивый к гороховой тле и восприимчивый к гороховой плодоярке. По степени развития болезней на искусственном инфекционном фоне характеризуется следующими показателями, в %: фузариозная корневая гниль - 52,6; аскохитоз - 21,8; ржавчина - 26,6 [3, 9].

ТМ вносили в среду в виде растворов солей: 4 мкМ CdCl₂/40 мкМ CoCl₂. Концентрации были выбраны исходя из данных по изменению ростовых показателей у различных сортов гороха, описанных в предыдущей работе [11].

Семена посадкой стерилизовали концентрированной H₂SO₄ в течение 20 мин, затем проращивали в темноте при комнатной температуре в течение 3 суток на стерильных чашках Петри. Пророщенные семена в количестве 10 штук высаживали на металлические плотки из нержавеющей стали, помещенные в стерильные пластиковые сосуды с питательным раствором.

Эксперименты проводили в четырехкратной аналитической повторности на каждый вариант. Контролем служили сосуды с растениями без добавления

ТМ. Растения культивировали в климатической камере с LED-освещением фитолампами Reogen Systems (t = 26°C, φ = 80 %; фотопериодизм: 16/8 ч; PPFD (PAR) = 376,0/ мкмоль·м⁻²·с⁻¹; E_e (ФАР) = 109,1 ватт/м²). Продолжительность эксперимента до срока сбора экссудатов составила 14 суток.

Анализ аминокислот проводили с использованием сверхпроизводительной жидкостной хроматографии высокого давления Acquity UPLC H-class (Waters, США) согласно разработанной ранее методике [7]. Обработку экспериментальных данных проводили с помощью статистических программ Statistica v.6 и Excel 2007.

Индексы системной детерминированности экссудации аминокислот рассчитывали, используя фрактальные портреты, построенные с помощью оригинальной программы для ЭВМ [4].

Показатели по биомассе корней и побегов гороха, а также их длина показаны в таблице 1.

Индексы когерентности, отражающие уровень структурной организации выхода корневых выделений аминокислот, в ответ на присутствие в среде ТМ отображены на рисунке 1.

Таблица 1

Сухая масса (мг) и длина (см) растений изученного гороха сорта Софья при культивировании в жидкой питательной среде с добавлением тяжелых металлов

Вариант	Вес сухих побегов, мг	±SE	Вес сухих корней, мг	±SE	Длина побега, см	±SE	Длина корня, см	±SE
Контроль	36,27	4,91	37,42	5,34	8,29	1,15	5,81	0,83
Cd	16,19	2,75	8,03	1,33	1,89	0,29	3,24	0,50
Co	13,33	2,33	13,32	2,65	3,98	0,73	2,78	0,55
Cd + Co	16,00	2,46	9,23	1,64	2,35	0,41	2,53	0,46

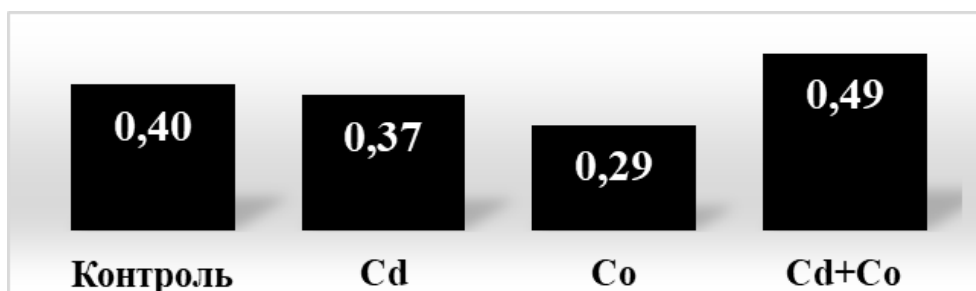


Рисунок 1 – Фрактальный индекс системной экссудации аминокислот растениями по вариантам опыта

Системные нарушения, вызванные интродукцией в среду Со, выражались в

более сильном снижении уровня фрактальной организованности корневых выделений у сорта, нежели при добавлении Cd.

По-отдельности противодействие ТМ приводит к частичному нарушению внутренних биосистемных процессов, но при этом могут не включаться защитные механизмы в растениях.

Повышение фрактального индекса, в результате комплексного воздействия тяжелых металлов Cd и Со, может означать повышение мобилизационной активности внутренних биосистемных процессов в растении, что может использоваться селекционерами и генетиками как маркер в поиске устойчивых гибридов. Также эти данные могут послужить основой при подборе и применении биопрепаратов на основе консорциума микроорганизмов, способных оказывать макросимбиоту комплексную поддержку в

технологиях фитостабилизации, как одному из этапов в процессе ремедиации техногенно-нарушенных земель в условиях полиметаллического загрязнения.

Несмотря на то, что данные результаты были получены в стерильной гидропонной системе на раннем этапе онтогенеза, далекой от естественных природных условий, согласно проведенным исследованиям, они по-прежнему пригодны для скрининга общих метаболических реакций в растениях на токсичность к различным поллютантам [17], и быть могут использоваться наравне с методикой RAAF (Rhizosphere Amino Acids Fingerprint) [14].

Работа выполнена при поддержке субсидии Министерства образования и науки Российской Федерации №14.607.21.0178, уникальный идентификатор соглашения: RFMEFI60717X0178

Список литературы

1. Белимов А.А., Тихонович И.А. Микробиологические аспекты устойчивости и аккумуляции тяжелых металлов у растений (обзор) // Сельскохозяйственная биология. 2011. №3. С. 10-15.
2. Борисов А.Ю., Штарк О.Ю., Жуков В.А., Тихонович И.А. Взаимодействие бобовых с полезными почвенными микроорганизмами: от генов растений к сортам // Сельскохозяйственная биология. 2011. № 3. С. 41-47.
3. Бударина Г.А., Зеленов А.Н., Уваров В.Н., Задорин А.М., Соболева Г.Н. Изучение селекционного материала гороха на устойчивость к патогенам и фитофагам и выделение источников устойчивости для практической селекции // Вестник Орловского Государственного Аграрного Университета. 2015. №6. С. 120-127.
4. Воробьев Н.И., Пухальский Я.В., Свиридова О.В., Пищик В.Н., Белимов А.А. Программа ЭВМ вычисления фрактального индекса экссудации растениями сахаров, органических кислот и аминокислот // Свидетельство №2018614119 от 02.04.2018.
5. Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Т. 1. Сорта растений (официальное издание). - М.: Минсельхоз РФ, 2017. 483с.
6. Елькина Г.Я. Реакция растений на полиэлементное загрязнение подзолистых почв тяжелыми металлами // Агрехимия. 2017. №7. С. 78-85.
7. Методика изучения корневой экссудации для оценки эффективного функционирования и интеграции микроорганизмов с растениями: [методические рекомендации]. СПб: Информнавигатор. 2015. 32с.
8. Тихонович И.А., Проворов Н.А. Симбиозы растений и микроорганизмов: молекулярная генетика агросистем будущего. СПб: Изд-во СПбГУ, 2009. 210с.
9. Уваров В.Н., Костиков Н.О., Задорин А.М. Результаты селекции на урожайность и качество семян гороха // Земледелие. 2015. №5. С. 40-41.
10. Шапошников А.И., Пухальский Я.В. Кравченко Л.В. Белимов А.А. Роль корневой экссудации в трофических взаимодействиях растений с ризосферными микроорганизмами. Информ-Навигатор. СПб, 2016. 104с.
11. Шапошников А.И., Пухальский Я.В., Лоскутов С.И., Белимов А.А. Анализ ростовых показателей различных сортов гороха при воздействии кадмия и кобальта в начальный период онтогенеза. Коллективная монография «Реализация методологических и методических идей профессора Б.А. Доспехова в совершенствовании адаптивно-ландшафтных систем земледелия» Том. 2. Москва 26-29 июня 2017. С. 70-76.
12. Badri D.V., Vivanco J.M. Regulation and function of root exudates // Plant Cell Environ. 2009. Vol. 32. P. 666-681.
13. Belimov A.A., Safronova V.I., Tsyganov V.E., Borisov A.I., Kozhemyakov A.P., Stepanok V.V., Martenson A.M., Gianinazzi-Pearson V., Tikhonovich I.A. Genetic variability in tolerance to cadmium and accumulation of heavy metals in pea (*Pisum sativum* L.). 2003. Euphytica. Vol. 131. P. 25-35.
14. Bobille H., Limami A.M., Robins R.J., Cukier C., Le Floch G., Fustec J. Evolution of the amino acid fingerprint in the unsterilized rhizosphere of a legume in relation to plant maturity // Soil Biology and Biochemistry. 2016. Vol. 101. P. 226-236.
15. Kuang Y.W., Wen D.Z., Zhong C.W., Zhou G.Y. Root exudates and their roles in phytoremediation // Acta Phytoecol Sin. 2003. Vol. 27. P. 709-717.
16. Metwally A., Safronova V.I., Belimov A.A., Dietz K.J. Genotypic variation of the response to cadmium toxicity in *Pisum sativum* L // J. Exp. Bot. 2005. Vol. 56. P. 167-178.
17. Oburger E., Dell'mour M., Hann S., Wieshammer G., Puschenreiter M., Wenzel W.W. Evaluation of a novel tool for sampling root exudates from soil-grown plants compared to conventional techniques Environ. // Exp. Bot. 2013. Vol. 87. P. 235-247.
18. Popova L.P., Maslenkova L.T., Yordanova R.Y., Ivanova A.P., Krantev A.P., Szalai G., Janda T. Exogenous treatment with salicylic acid attenuates cadmium toxicity in pea seedlings // Plant Physiol Biochem. 2009. Vol. 47(3). P. 224-231.
19. Safronova V.I., Piluzza G., Bullitta S., Belimov A.A. Use of legume-microbe symbioses for phytoremediation of heavy metal polluted soils: advantages and potential problems (Review). In: Handbook for Phytoremediation, Golubev I.A. (Ed.), NOVA Sci. Publ., USA, 2011. P. 443-469.

FRactal ANALYSIS OF THE LEVEL ORGANIZATION OF ROOT EXUDATES OF PEA USED IN TECHNOLOGIES OF PHYTO-MONITORING AND PHYTO-RECOLTIVATION OF TECHNOGENICALLY DISTURBED SOILS

Puhalsky Y.V.^{1,2}, Vorobyov N.I.¹, Shaposhnikov A.I.¹, Yakubovskaya A.I.⁴, Pirmagomedov R.Y.³, Laktionov Y.V.¹, Loskutov S.I.²

¹ All-Russia Research Institute for Agricultural Microbiology, 196608 Saint-Petersburg, Pushkin 8, Podbelsky chausse 3, Russian Federation

² Scientific Production Association «BioEkoTech LTD», Saint-Petersburg, Russian Federation

³ Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), Moscow, Russian Federation

⁴ FSBSI "Research Institute of Agriculture of Crimea", 295493 Simferopol, Kievskaya str. 150, Russian Federation

In this paper provides an analysis of the qualitative and quantitative composition of the root exudation of amino acids by plants of pea (*Pisum sativum* L.) cultivar Sofya cultivated under hydroponic culture with the addition of toxic concentrations of heavy metals. Based on the numerical indicators for this fraction, fractal portraits with determinism indices are constructed that reflect changes in internal processes within the plant as a result of stress. It is shown that individually counteraction to heavy metals leads to a partial disruption of the self-organization process in metabolic reactions. The polymetallic type of contamination leads to an increase in the consistency index in root secretions, which probably serves as an indirect indicator of an increase in the mobilization state, due to the activation by plants of their internal reserves.

Keywords: *pea, heavy metals, hydroponics, root exudates, fractals*

УДК 004: 621.039.58

ГЕОИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ В РАЙОНЕ РАСПОЛОЖЕНИЯ АО «СХК»

Титов И.Е.¹, Кречетников В.В.¹, Карпенко Е.И.¹, Соломатин В.М.²

¹ ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии»

249032 Калужская область, г. Обнинск, Киевское шоссе, 109 км, Российская Федерация

e-mail: titan13_08@mail.ru

² Частное учреждение «ИТЦП «ПРОРЫВ»

107140 Москва, ул. Малая Красносельская, д. 2/8, Российская Федерация

На основании полученных данных в результате проведенного комплексного обследования разработана геоинформационная система радиозоологической обстановки в районе расположения АО «СХК». Созданная библиотека электронных карт визуализирует современное радиозоологическое состояние и дает возможность анализа и прогнозной оценки радиационной обстановки в районе размещения АО «СХК».

Ключевые слова: *геоинформационная система, радиационно-экологического мониторинг, Сибирский химический комбинат, электронная карта*

Одной из приоритетных задач повышения эффективности системы радиационно-экологического мониторинга в регионе размещения ядерно- и радиационно-опасных объектов является оптимизация информационных потоков данных, их обработки, хранения и представления для принятия управленческих решений и ситуационных прогнозов развития радиационной обстановки.

Появление новых информационных и компьютерных технологий позволяет автоматизировать многие процессы, в том числе в области организации и проведения радиационно-экологического мониторинга. Для оптимизации процессов сбора, обработки, анализа и визуализации радиологических и экологических данных целесообразно осуществлять

внедрение в систему мониторинга геоинформационных систем, которые в настоящее время являются достаточно мощным и удобным инструментом для поддержки систем радиационно-экологического мониторинга.

Современные ГИС способны оперативно обрабатывать огромные массивы информации, визуализировать и проводить анализ пространственно распределенных данных радиационно-экологического мониторинга.

В 2017 году сотрудниками ФГБНУ ВНИИРАЭ было проведено радиозоологическое обследование наземных (аграрных, лесных, луговых) и водных экосистем 30-ти км зоны Сибирского химического комбината (АО «СХК») на территории которого ведется

строительство и планируется ввод в эксплуатацию опытно-демонстрационного экспериментального комплекса с реактором на быстрых нейтронах и комплексом по замыканию топливного цикла.

На основании полученных данных в результате проведенного комплексного радиоэкологического обследования в районе расположения АО «СХК» и данных, предоставленных различными службами, была создана база данных радиационно-экологической обстановки в районе расположения АО «СХК». На основе этой базы данных, которая была использована в качестве хранилища атрибутивной информации разработан ГИС-проект «Радиоэкологическая обстановка в районе расположения АО «СХК». ГИС-проект разработан в программной среде ArcGIS for Desktop 10.4.1.

Структура ГИС-проекта представляет собой каталог для организации географической информации различного характера и управления ею как логическими наборами данных и карт. ГИС-проект включает

в себя библиотеку электронных карт содержащих 156 слоев: точки отбора проб, 30-ти км зона АО «СХК», санитарно-защитная зона АО «СХК», зона наблюдения АО «СХК», промышленные площадки АО «СХК», поверхностная активность радионуклидов (^{137}Cs , ^{90}Sr , $^{239,240}\text{Pu}$, ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K) в почве, содержание радионуклидов (^{137}Cs , ^{90}Sr , $^{239,240}\text{Pu}$, ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K) растительности, содержание ^{137}Cs в поверхностных водах, содержание ^{137}Cs в донных отложениях, содержание тяжелых металлов 1, 2 и 3 класса опасности в почве, содержание тяжелых металлов 1, 2 и 3-го класса опасности в растительности, дозовая нагрузка на человека и биоту (лось, мышь, сосна) от ^{137}Cs , ^{90}Sr , $^{239,240}\text{Pu}$, расположение сельхозугодий в 30-ти км зоне АО «СХК», агрохимические показатели (гумус, P_2O_5 , K_2O , pH) для 17 хозяйств 30-ти км зоны АО «СХК», рельеф, типы землепользования (леса, луга, водные объекты, населенные пункты дороги и т.д.) (рисунки 1-3).

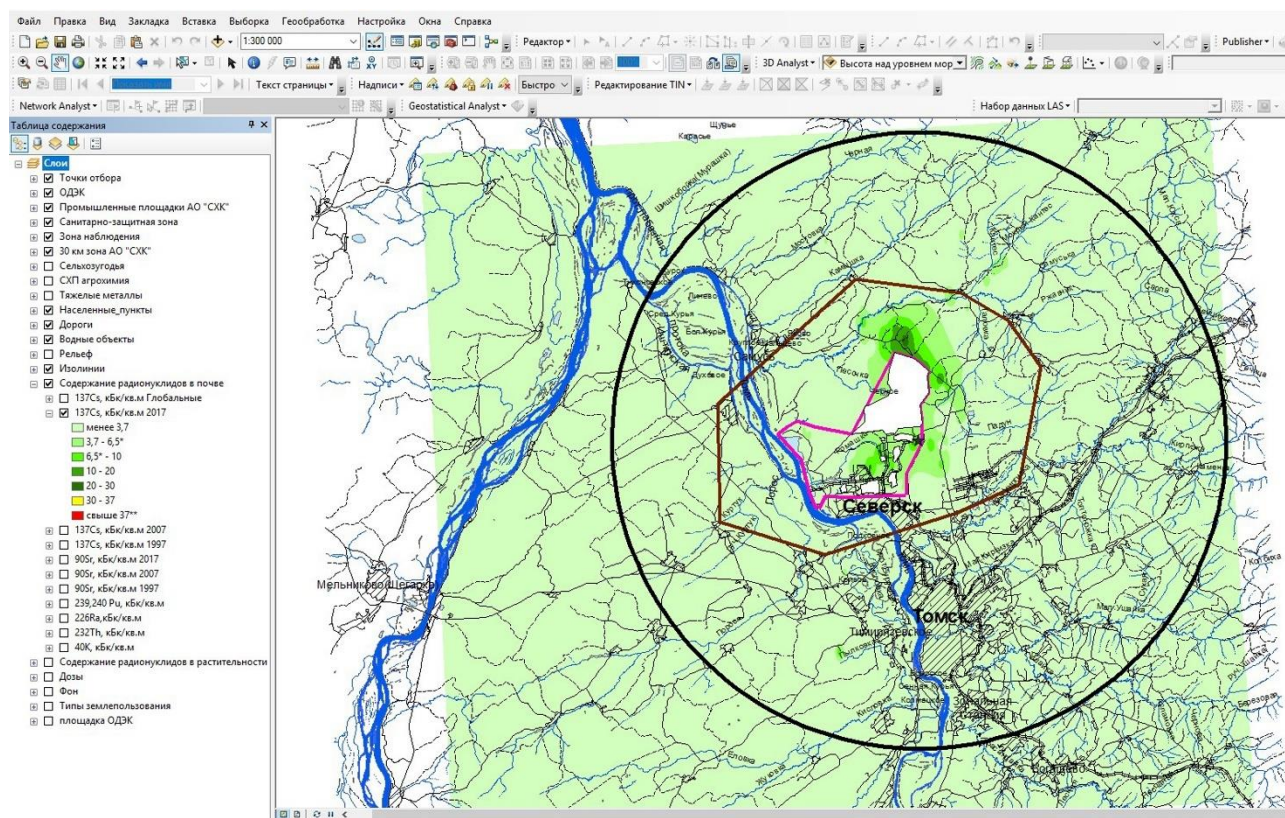


Рисунок 1 - Карта поверхностной активности ^{137}Cs , кБк/м²

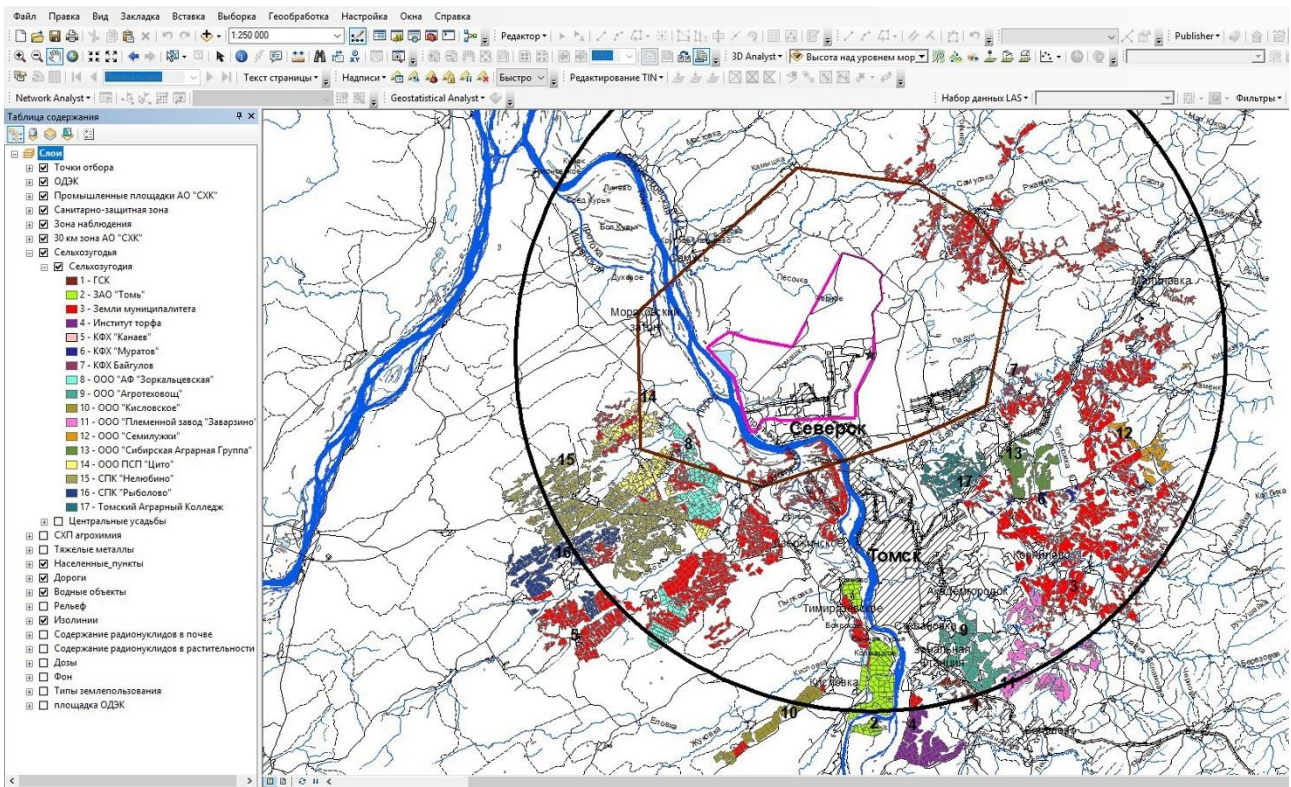


Рисунок 2 - Карта расположения сельскохозяйственных угодий

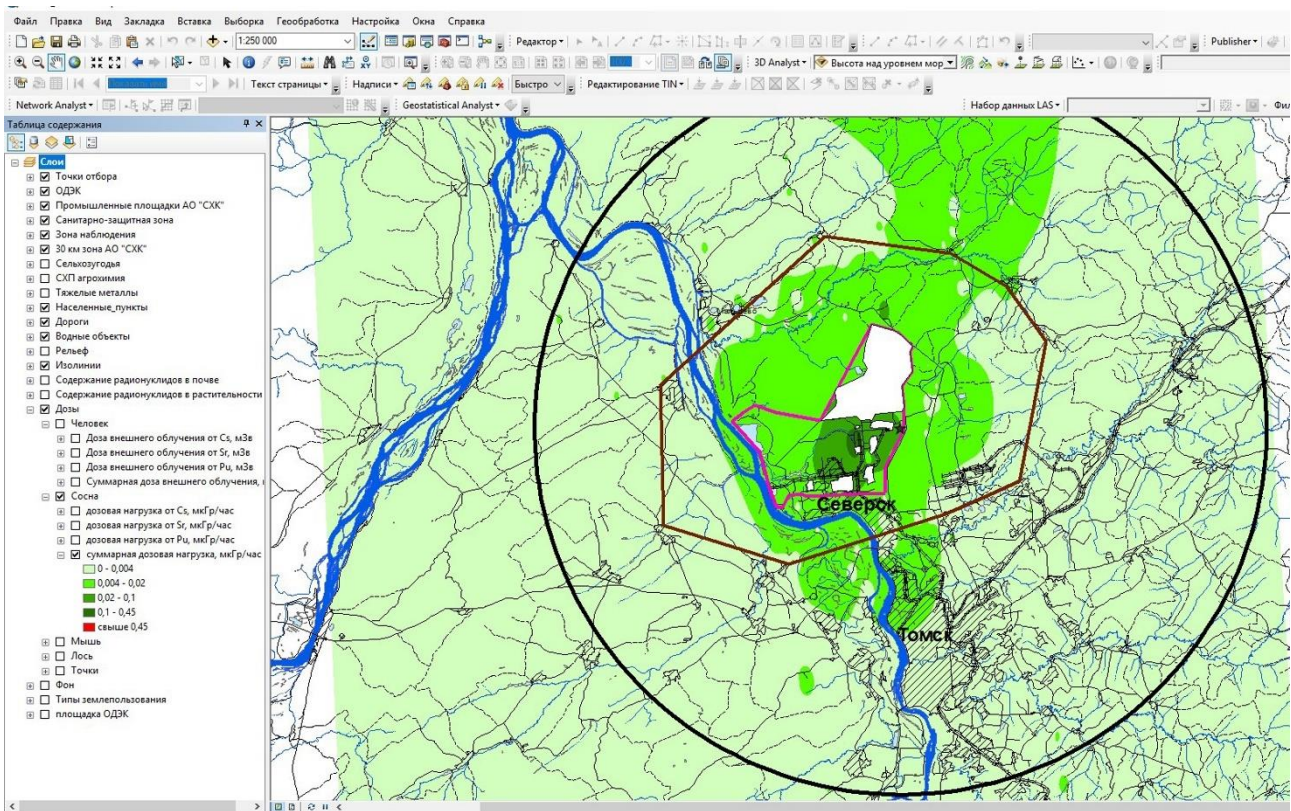


Рисунок 3 – Карта суммарной дозовой нагрузки на сосну мкГр/час

В разработанной геоинформационной системе радиозоологической обстановки в районе расположения АО «СХК» скомпилирован большой объем информации, на базе которой были построены

электронные карты, которые визуализируют современное радиоэкологическое состояние и дают

возможность анализа и прогнозной оценки радиационной обстановки в 30-ти км зоне АО «СХК».

GEOINFORMATION SYSTEM OF RADIO-ECOLOGICAL SITUATION IN THE AREA OF JSC "SCC»

Titov I.E.¹, Krechetnikov V.V.¹, Karpenko E.I.¹, Solomatin V.M.²

¹ Russian Institute of Radiology and Agroecology, 249032 Kaluga region, Obninsk, Kievskoe shosse 109 km, Russian Federation

² ИТСП «PRORYV», Moscow, Russian Federation

Based on the data obtained, as a result of a comprehensive survey, a geoinformation system of the radioecological situation in the area of JSC «SCC» was developed. The created library of electronic maps visualizes the current radioecological state and makes it possible to analyze and predict the radiation situation in the area of location of JSC «SCC».

Keywords: *geoinformation system, radioecological monitoring, Siberian Chemical Combine, electronic maps*

УДК 574:539

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРАНСПОРТА РАДИОАКТИВНЫХ ЧАСТИЦ В ПИЩЕВАРИТЕЛЬНОМ ТРАКТЕ КОРОВ

Тьен В.В.¹, Снегирев А.С.²

¹ Научно-исследовательский центр радиационных технологий

202A Street 11 - Линь Суан Уорд - Чт Дюк - Хошимин, Вьетнам

e-mail: vovantien.94@gmail.com

² ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии»

249032 Калужская область, г. Обнинск, Киевское шоссе, 109 км, Российская Федерация

e-mail: snegir.05@mail.ru

Представлена математическая модель поведения полидисперсных силикатных радиоактивных частиц в пищеварительном тракте коров. Компартментальная модель учитывает депонирование частиц на фундальной поверхности стенки вентрального мешка рубца и сетки, возможность обратного выхода частиц из депо фиксации, а также длительное пребывание частиц всех размеров в сычуге. Решения уравнений представлены в аналитическом виде, что даёт возможность разработки независимых программных средств, не связанных с обязательным применением Mathcad или Matlab.

Ключевые слова: *радиоактивные частицы, пищевая цепочка крупного рогатого скота, математическая модель транспорта*

В качестве исходных экспериментальных данных были использованы результаты НИР, полученные в 70-е гг. прошлого столетия, в полевых условиях по изучению поведения полидисперсных силикатных радиоактивных частиц в пищевой цепочке крупного рогатого и овец [1].

Для построения камерной модели транспорта силикатных радиоактивных частиц (РЧ) были выделены такие отделы ЖКТ, моторика которых определяет двигательную функцию аппарата пищеварения, а также отделы, где происходит замедление движения РЧ, их концентрирование и депонирование. Двигательная функция пищеварительного тракта жвачных коров в основном определяется моторикой преджелудков (рубец + сетка + книжка) и толстого отдела кишечника, в первую очередь проксимального участка

ободочной кишки и слепой кишки [2]. Анализ экспериментальных данных показал максимальное концентрирование, длительное пребывание РЧ и, соответственно, формирование наиболее высоких уровней облучения у крупного рогатого скота фундальной ворсинчатой поверхности стенки вентрального мешка рубца, сетки с её ячеистым строением слизистой оболочки, а также сычуга [1, 3].

Важным фактором депонирования частиц в содержимом рубца-сетки является жидкая консистенция содержимого вентрального мешка рубца и сетки по сравнению с другими отделами четырёхкамерного желудка. У крупного рогатого скота минимальное содержание сухого вещества приходится на содержимое сетки, а также вентрального мешка рубца и составляет от 4.5 до 7 % [4, 5].

Анализ экспериментальной информации о содержании частиц в отделах ЖКТ [1] позволил ограничиться следующими камерами: преджелудки с депо фиксации РЧ, сычуг и кишечник (рис. 1). Так как продолжительность экспериментального выпаса была сопоставима со временем перемешивания

кормовых масс в рубце (примерно 2 ч) и значительно меньше среднего времени пребывания содержимого в преджелудках (~ 30 ч) [6], то потребление животными РЧ в течение экспериментального выпаса (1 ч) принимали за однократное поступление [6].

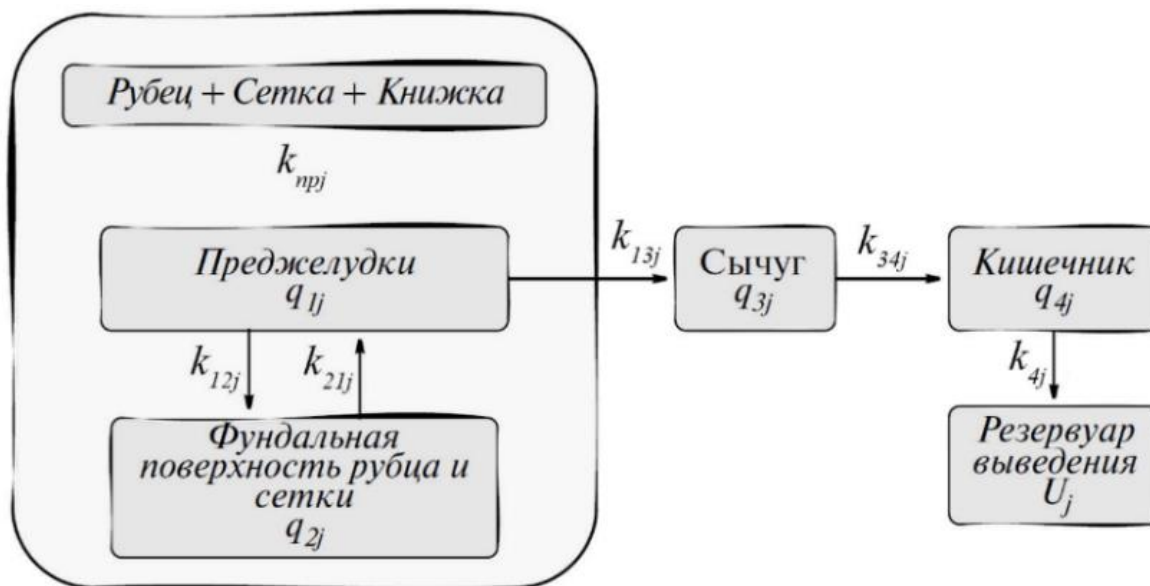


Рисунок 1 – Камерная модель ЖКТ коровы для описания транспорта полидисперсных частиц

В соответствие с принятой камерной моделью изменение содержания радиоактивных частиц в каждом из отделов ЖКТ, представленных на рисунке 1,

$$\frac{dq_{1j}(t)}{dt} = -(k_{12j} + k_{13j}) \cdot q_{1j}(t) + k_{21j} \cdot q_{2j}(t) \quad (1)$$

$$\frac{dq_{2j}(t)}{dt} = k_{12j} \cdot q_{1j}(t) - k_{21j} \cdot q_{2j}(t) \quad (2)$$

$$\frac{dq_{3j}(t)}{dt} = k_{13j} \cdot q_{1j}(t) - k_{34j} \cdot q_{3j}(t) \quad (3)$$

$$\frac{dq_{4j}(t)}{dt} = k_{34j} \cdot q_{3j}(t) - k_{4j} \cdot q_{4j}(t) \quad (4)$$

$$\frac{dU_j(t)}{dt} = k_{4j} \cdot q_{4j}(t) \quad (5)$$

Начальные условия:

$$q_{1j}(0) = q_{0j}; q_{2j}(0) = q_{3j}(0) = q_{4j}(0) = U_j(0) = 0 \quad (6)$$

Ниже даны решения дифференциальных уравнений, представляющие зависимости содержания

радиоактивных частиц в отделах пищеварительного тракта от времени после однократного перорального поступления без учета радиоактивного распада:

$$\omega_1 = \frac{k_{12j} + k_{13j} + k_{21j} + \sqrt{(k_{12j} + k_{13j} + k_{21j})^2 - 4 \cdot k_{21j} \cdot k_{13j}}}{2} \quad (7)$$

$$\omega_2 = \frac{k_{12j} + k_{13j} + k_{21j} - \sqrt{(k_{12j} + k_{13j} + k_{21j})^2 - 4 \cdot k_{21j} \cdot k_{13j}}}{2} \quad (8)$$

$$q_{1j}(t) = \frac{q_{0j}}{\omega_1 - \omega_2} \cdot \left[- (k_{21j} - \omega_1) \cdot e^{-\omega_1 t} + (k_{21j} - \omega_2) \cdot e^{-\omega_2 t} \right] \quad (9)$$

$$q_{2j}(t) = \frac{q_{0j} \cdot k_{12j}}{\omega_1 - \omega_2} \cdot (-e^{-\omega_1 t} + e^{-\omega_2 t}) \quad (10)$$

$$q_{npj}(t) = q_{1j}(t) + q_{2j}(t) \quad (11)$$

$$q_{3j}(t) = \frac{q_{0j} \cdot k_{13j} (k_{21j} - k_{34j})}{(\omega_2 - k_{34j})(\omega_1 - k_{34j})} \cdot e^{-k_{34j} t} + \frac{q_{0j} \cdot k_{13j} (k_{21j} - \omega_1)}{(\omega_1 - \omega_2)(\omega_1 - k_{34j})} \cdot e^{-\omega_1 t} - \quad (12)$$

$$- \frac{q_{0j} \cdot k_{13j} (k_{21j} - \omega_2)}{(\omega_1 - \omega_2)(\omega_2 - k_{34j})} \cdot e^{-\omega_2 t}$$

$$q_{4j}(t) = - \frac{q_{0j} \cdot k_{13j} \cdot k_{34j} (k_{21j} - k_{4j})}{(k_{4j} - k_{34j})(\omega_1 - k_{4j})(\omega_2 - k_{4j})} \cdot e^{-k_{4j} t} + \quad (13)$$

$$+ \frac{q_{0j} \cdot k_{13j} \cdot k_{34j} (k_{21j} - k_{34j})}{(k_{4j} - k_{34j})(\omega_2 - k_{34j})(\omega_1 - k_{34j})} \cdot e^{-k_{34j} t} +$$

$$+ \frac{q_{0j} \cdot k_{13j} \cdot k_{34j} (k_{21j} - \omega_1)}{(k_{4j} - \omega_1)(\omega_1 - \omega_2)(\omega_1 - k_{34j})} \cdot e^{-\omega_1 t} -$$

$$- \frac{q_{0j} \cdot k_{13j} \cdot k_{34j} (k_{21j} - \omega_2)}{(k_{4j} - \omega_2)(\omega_1 - \omega_2)(\omega_2 - k_{34j})} \cdot e^{-\omega_2 t}$$

$$U_j(t) = q_{0j} \cdot k_{13j} \cdot k_{34j} \cdot k_{4j} \cdot \left(\frac{k_{21j} - k_{4j}}{(k_{4j} - k_{34j})(\omega_1 - k_{4j})(\omega_2 - k_{4j})} \cdot e^{-k_{4j} t} - \right.$$

$$\left. - \frac{k_{21j} - k_{34j}}{(k_{4j} - k_{34j})(\omega_2 - k_{34j})(\omega_1 - k_{34j})} \cdot e^{-k_{34j} t} - \right.$$

$$\left. - \frac{k_{21j} - \omega_1}{(k_{4j} - \omega_1)(\omega_1 - \omega_2)(\omega_1 - k_{34j})} \cdot e^{-\omega_1 t} + \right.$$

$$\left. + \frac{k_{21j} - \omega_2}{(k_{4j} - \omega_2)(\omega_1 - \omega_2)(\omega_2 - k_{34j})} \cdot e^{-\omega_2 t} \right) + q_{0j} \quad (14)$$

$$F_j(t) = q_{0j} - U_j(t) \quad (15)$$

где q_{0j} – количество j -ой фракции, однократно поступившее в организм животного, принятое равным 100 % для каждой фракции частицы;

$q_{1j}, q_{2j}, q_{3j}, q_{4j}$ – содержание РЧ j -ой фракции в отделах ЖКТ (%), показанных на рис. 1;

$q_{npj} = q_{1j} + q_{2j}$ – содержание РЧ j -ой фракции в преджелудках, %;

U_j – содержание РЧ в резервуаре выведения, %;

F_j – выведение РЧ j -ой фракции из организма, %;

$k_{12j}, k_{21j}, k_{13j}, k_{34j}, k_{4j}$ – константы скорости выведения РЧ j -ой фракции из соответствующих отделов ЖКТ, ч⁻¹;

t – время, прошедшее после окончания экспериментального периода выпаса, ч.

Значения констант скорости транспорта РЧ определяли с использованием критериев адекватности результатов математического моделирования экспериментальным данным (коэффициенты детерминации и несогласия Тейла, критерий Фишера) путем комбинаторного перебора параметров камерной модели по заданной сетке значений. Расчеты выполняли с использованием решений системы дифференциальных уравнений в аналитическом виде и численными методами многофункциональной интерактивной вычислительной системы РТС Mathcad Prime 3.1., которые дали одинаковые результаты. Решения уравнений, представленные в аналитическом виде, дают возможность разработки независимых программных средств, не связанных с обязательным применением РТС Mathcard или MathLab.

Разработанная камерная модель может быть использована для оценки дозиметрических параметров облучения ЖКТ коровы радиоактивными частицами.

Список литературы

1. Козьмин Г.В., Епимахов В.Г. Закономерности поведения радиоактивных частиц в пищевой цепи и желудочно-кишечном тракте крупного рогатого скота // Радиационная биология. Радиозэкология. 2015. Т. 55. № 6. С. 632-646.

2. Алиев А.А. Обмен веществ у жвачных животных. М.: НИЦ «Инженер». 1997. 419 С.

3. Козьмин Г.В., Сарапульцев И.А., Хвостунов И.К., Расин И.М. Основные закономерности формирования поглощенных доз при облучении сельскохозяйственных животных / В кн.: Сельскохозяйственная радиология. Ред. Р.М. Алексахин и Н.А. Корнеев. М.: Экология. 1991. С. 128-156.

4. Baily C.B. Growth of digestive organs and their contents in Holstein steers: Relation to body and diet // Can. J. Anim. Sci. 1986. V. 66. P. 653-661.

5. Waghorn G.C. Changes in rumen digesta of cows during a restricted feeding period when offered fresh red clover, lucerne, or lucerne hay // New Zealand Journal of Agricultural Research. 1986. Vol. 29: 233-241.

6. Ehle, F.R. Influence of food particle density on particulate passage from rumen of Holstein cow / F.R. Ehle // J. Dairy Science. 1984. V 67. № 3. p. 693-697.

MODELING OF TRANSPORT OF RADIOACTIVE PARTICLES IN COWS DIGESTIVE TRACT

Tien V.V.¹, Snegirev A.S.²

¹ Research and Development Center for Radiation Technology, 202A Street 11 - Linh Xuan Ward - Thu Duc - Ho Chi Minh City, Vietnam

² Russian Institute of Radiology and Agroecology, 249032 Kaluga region, Obninsk, Kievskoe shosse 109 km, Russian Federation

A mathematical model of the behavior of polydisperse silicate radioactive particles in the digestive tract of cows has been developed on a modern scientific and methodological basis using archived experimental data. The compartmental model takes into account the deposition of particles on the fundal surface of the wall of the ventral sac of the rumen and the mesh, the possibility of the reverse release of particles from the depot fixation, as well as the prolonged stay of particles of all sizes in the abacus. Solutions of the equations are presented in an analytical form, which makes it possible to develop independent software tools that are not related to the mandatory use of Mathcad or Mathlab.

Keywords: radioactive particles, food chain of cattle, mathematical model of transport

УДК 574:539

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРАНСПОРТА РАДИОАКТИВНЫХ ЧАСТИЦ В ПИЩЕВАРИТЕЛЬНОМ ТРАКТЕ ОВЕЦ

Тьен В.В.¹, Снегирев А.С.²

¹ Научно-исследовательский центр радиационных технологий

202A Street 11 - Линь Суан Уорд - Чт Дюк - Хошимин, Вьетнам

e-mail: vovantien.94@gmail.com

Представлена математическая модель поведения полидисперсных силикатных радиоактивных частиц в пищеварительном тракте овец. Компартментальная модель учитывает депонирование частиц на фундальной поверхности стенки сычуга и возможность медленного обратного выхода частиц из депо фиксации. Решения уравнений представлены в аналитическом виде, что даёт возможность разработки независимых программных средств, не связанных с обязательным применением Mathcard или Matlab.

Ключевые слова: радиоактивные частицы, отделы желудочно-кишечного тракта овец, математическая модель транспорта

В качестве исходных данных были использованы результаты радиобиологических экспериментов по изучению закономерностей внутреннего облучения овец «горячими» радиоактивными частицами [1].

Для построения камерной модели транспорта силикатных радиоактивных частиц (РЧ) были выделены такие отделы ЖКТ, моторика которых определяет двигательную функцию аппарата пищеварения, а также отделы, где происходит замедление движения РЧ, их концентрирование и депонирование. Особенности транспорта РЧ заключаются в существенном замедлении перемещения радиоактивных частиц, по сравнению с кормовыми массами, в сычуге,

отличающимся минимальным содержанием сухого вещества, которое составляет не более 4.5-5.5 % [2]. Данное обстоятельство в сочетании с морфологией слизистой определяют лидирующее положение сычуга в процессе замедления транспорта в результате гравитационного осаждения РЧ в жидком содержимом и депонирования радиоактивных частиц складчатой поверхностью слизистой оболочки [1, 2].

На рисунке 1 показана камерная модель ЖКТ овец, принятая для описания транспорта РЧ с размерами 80-160 мкм после однократного поступления радиоактивных частиц с кормом.

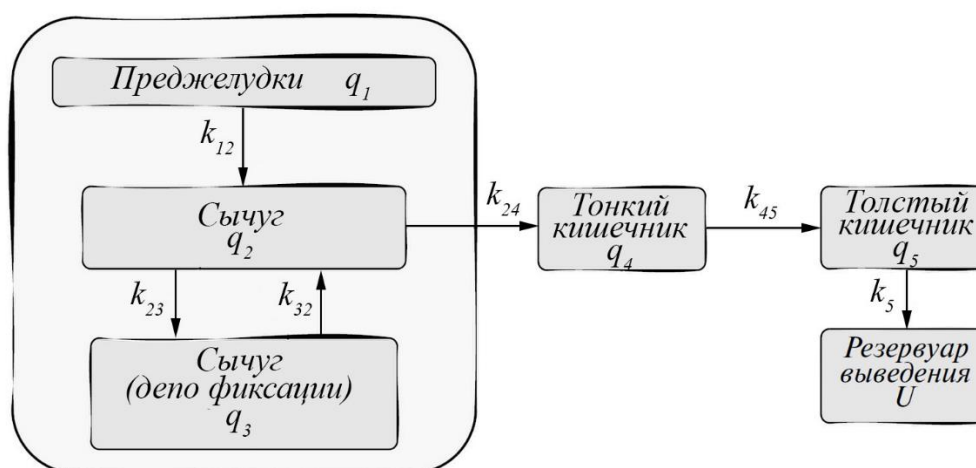


Рисунок 1 – Камерная модель ЖКТ овец для описания транспорта полидисперсных частиц

В соответствие с предложенной камерной моделью ЖКТ изменение содержания радиоактивных

частиц в отделах пищеварительного тракта описывается системой дифференциальных уравнений:

$$\frac{dq_1(t)}{dt} = -k_{12} \cdot q_1(t) \quad (1)$$

$$\frac{dq_2(t)}{dt} = k_{12} \cdot q_1(t) - (k_{23} + k_{24}) \cdot q_2(t) + k_{32} \cdot q_3(t) \quad (2)$$

$$\frac{dq_3(t)}{dt} = k_{23} \cdot q_2(t) - k_{32} \cdot q_3(t) \quad (3)$$

$$\frac{dq_4(t)}{dt} = k_{24} \cdot q_2(t) - k_{45} \cdot q_4(t) \quad (4)$$

$$\frac{dq_5(t)}{dt} = k_{45} \cdot q_4(t) - k_5 \cdot q_5(t) \quad (5)$$

$$\frac{dU(t)}{dt} = k_5 \cdot q_5(t) \quad (6)$$

Начальные условия:

$$q_1(0) = q_0; q_2(0) = q_3(0) = q_4(0) = q_5(0) = U(0) = 0 \quad (7)$$

Рассматривались два варианта решения системы дифференциальных уравнений в зависимости от величины k_{32} и соотношения величин параметров k_{12}, k_{23} и k_{24} .

Ниже даны решения дифференциальных уравнений, представляющие зависимости содержания радиоактивных частиц в отделах пищеварительного

тракта от времени после однократного перорального поступления без учета радиоактивного распада. Решение «А» соответствует условию $k_{32} \neq 0$. Решение «Б» дано для случая, когда $k_{32}=0$ и $k_{12}=k_{23}+k_{24}$. Следует отметить, что применение решения «Б» в отдельных случаях дает более точное описание динамики транспорта на участке пищеварительного тракта овец «сычуг – толстый отдел кишечника» при потренировании животными зерна пшеницы [3, 4] и РЧ [1].

Решение «А»

$$\omega_1 = \frac{k_{23} + k_{24} + k_{32} + \sqrt{(k_{23} + k_{24} + k_{32})^2 - 4 \cdot k_{32} \cdot k_{24}}}{2} \quad (8)$$

$$\omega_2 = \frac{k_{23} + k_{24} + k_{32} - \sqrt{(k_{23} + k_{24} + k_{32})^2 - 4 \cdot k_{32} \cdot k_{24}}}{2} \quad (9)$$

$$m = \frac{k_{12}}{(k_{32} - k_{12}) \cdot (k_{12} - k_{23} - k_{24}) + k_{23} \cdot k_{32}} \quad (10)$$

$$q_1(t) = q_0 \cdot e^{-k_{12}t} \quad (11)$$

$$q_2(t) = mq_0 \left[(k_{12} - k_{32})e^{-k_{12}t} + \frac{(\omega_2 - k_{12})(\omega_1 - k_{32})}{\omega_1 - \omega_2} e^{-\omega_1 t} - \frac{(\omega_1 - k_{12})(\omega_2 - k_{32})}{\omega_1 - \omega_2} e^{-\omega_2 t} \right] \quad (12)$$

$$q_3(t) = mk_{23}q_0 \left[-e^{-k_{12}t} - \frac{\omega_2 - k_{12}}{\omega_1 - \omega_2} e^{-\omega_1 t} + \frac{\omega_1 - k_{12}}{\omega_1 - \omega_2} e^{-\omega_2 t} \right] \quad (13)$$

$$q_4(t) = mk_{24}q_0 \left[-\frac{(k_{45} - k_{32})(\omega_1 - k_{12})(\omega_2 - k_{12})}{(k_{45} - k_{12})(k_{45} - \omega_1)(k_{45} - \omega_2)} e^{-k_{45}t} + \frac{k_{12} - k_{32}}{k_{45} - k_{12}} e^{-k_{12}t} + \right. \\ \left. + \frac{(\omega_2 - k_{12})(\omega_1 - k_{32})}{(\omega_1 - \omega_2)(k_{45} - \omega_1)} e^{-\omega_1 t} - \frac{(\omega_1 - k_{12})(\omega_2 - k_{32})}{(\omega_1 - \omega_2)(k_{45} - \omega_2)} e^{-\omega_2 t} \right] \quad (14)$$

$$q_5(t) = mk_{24}k_{45}q_0 \left[\frac{(k_5 - k_{32})(\omega_1 - k_{12})(\omega_2 - k_{12})}{(k_5 - k_{12})(k_5 - k_{45})(k_5 - \omega_1)(k_5 - \omega_2)} e^{-k_5 t} + \right. \\ \left. + \frac{(k_{45} - k_{32})(\omega_1 - k_{12})(\omega_2 - k_{12})}{(k_{45} - k_{12})(k_{45} - k_5)(k_{45} - \omega_1)(k_{45} - \omega_2)} e^{-k_{45}t} + \right. \\ \left. + \frac{(\omega_1 - k_{32})(\omega_2 - k_{12})}{(\omega_1 - \omega_2)(k_{45} - \omega_1)(k_5 - \omega_1)} e^{-\omega_1 t} - \frac{(\omega_1 - k_{12})(\omega_2 - k_{32})}{(\omega_1 - \omega_2)(k_{45} - \omega_2)(k_5 - \omega_2)} e^{-\omega_2 t} \right] \quad (15)$$

$$\begin{aligned}
U(t) = & mk_{24}k_{45}k_5q_0 \left[\frac{(k_5 - k_{32})(\omega_1 - k_{12})(\omega_2 - k_{12})}{(k_5 - k_{12})(k_5 - k_{45})(k_5 - \omega_1)(k_5 - \omega_2)k_5} e^{-k_5 t} - \right. \\
& - \frac{(k_{45} - k_{32})(\omega_1 - k_{12})(\omega_2 - k_{12})}{(k_{45} - k_{12})(k_{45} - k_5)(k_{45} - \omega_1)(k_{45} - \omega_2)k_{45}} e^{-k_{45} t} - \\
& - \frac{k_{12} - k_{32}}{(k_{45} - k_{12})(k_5 - k_{12})k_{12}} e^{-k_{12} t} - \frac{(\omega_2 - k_{12})(\omega_1 - k_{32})}{(\omega_1 - \omega_2)(k_{45} - \omega_1)(k_5 - \omega_1)\omega_1} e^{-\omega_1 t} + \\
& \left. + \frac{(\omega_1 - k_{12})(\omega_2 - k_{32})}{(\omega_1 - \omega_2)(k_{45} - \omega_2)(k_5 - \omega_2)\omega_2} e^{-\omega_2 t} \right] + q_0
\end{aligned} \tag{16}$$

$$F(t) = q_0 - U(t) \tag{17}$$

где q_0 – количество, однократно поступившее в организм животного, принятое равным 100 %;

q_1, q_2, q_3, q_4, q_5 – содержание РЧ в отделах ЖКТ (%), показанных на рис. 1;

$q_{\text{сыч}} = q_2 + q_3$ – содержание РЧ в сычуге, %;

U – содержание РЧ в резервуаре выведения, %;

F – выведение РЧ из организма, %;

$k_{12}, k_{23}, k_{32}, k_{24}, k_{45}, k_5$ – константы скорости выведения РЧ из соответствующих отделов ЖКТ, ч^{-1} ;

t – время, прошедшее после окончания экспериментального периода выпаса, ч.

Второй вариант (Б) допускает возможность $k_{32}=0$ и $k_{12}=k_{23}+k_{24}$, при этом решения системы дифференциальных уравнений имеют вид:

Решение «Б»

$$q_1(t) = q_0 e^{-k_{12} t} \tag{18}$$

$$q_2(t) = k_{12} q_0 t e^{-k_{12} t} \tag{19}$$

$$q_3(t) = q_0 \left[\frac{k_{23}(1 - e^{-k_{12} t})}{k_{12}} - k_{23} t e^{-k_{12} t} \right] \tag{20}$$

$$q_{\text{сыч}}(t) = q_2(t) + q_3(t) = q_0 \left[\frac{k_{23}(1 - e^{-k_{12} t})}{k_{12}} + (k_{12} - k_{23}) t e^{-k_{12} t} \right] \tag{21}$$

$$q_4(t) = \frac{k_{12} k_{24}}{k_{45} - k_{12}} q_0 \left[t e^{-k_{12} t} + \frac{e^{-k_{45} t} - e^{-k_{12} t}}{k_{45} - k_{12}} \right] \tag{22}$$

$$\begin{aligned}
q_5(t) = & \frac{k_{12} k_{24} k_{45} q_0 e^{-k_{12} t}}{(k_{45} - k_{12})(k_5 - k_{12})} \left[t - \frac{1}{k_5 - k_{12}} - \frac{1}{k_{45} - k_{12}} \right] + \\
& + \frac{k_{12} k_{24} k_{45} q_0}{k_5 - k_{45}} \left[\frac{e^{-k_{45} t}}{(k_{45} - k_{12})^2} - \frac{e^{-k_5 t}}{(k_5 - k_{12})^2} \right]
\end{aligned} \tag{23}$$

$$U(t) = q_0 \left(1 - \frac{k_{23}}{k_{12}} \right) - \frac{k_{24}k_{45}k_5q_0 e^{-k_{12}t}}{(k_{45} - k_{12})(k_5 - k_{12})} \left[t - \frac{1}{k_5 - k_{12}} - \frac{1}{k_{45} - k_{12}} + \frac{1}{k_{12}} \right] - \frac{k_{12}k_{24}q_0}{k_5 - k_{45}} \left[\frac{k_5 e^{-k_{45}t}}{(k_{45} - k_{12})^2} - \frac{k_{45} e^{-k_5 t}}{(k_5 - k_{12})^2} \right] \quad (24)$$

$$F(t) = q_0 - U(t) \quad (25)$$

Разработанная камерная модель может быть использована для оценки дозиметрических параметров внутреннего облучения организма овец при пероральном поступлении радиоактивных частиц. Решения уравнений представлены в аналитическом виде, что даёт возможность разработки независимых программных средств, не связанных с обязательным применением Mathcard или Matlab.

Список литературы

1. Козьмин Г.В., Епимахов В.Г., Снегирев А.С. с соавт. Транспорт радиоактивных частиц в желудочно-кишечном тракте овец // Радиационная биология. Радиэкология. 2018. Т. 58, № 3. С. 305-316.

2. Сельскохозяйственная радиэкология / Под ред. Алексахина Р.М. и Корнеева Н.А. М.: Экология. 1992. 400 С.

3. Grovum W.L., Williams V.J. Rate of passage of digesta in sheep. 6. The effect of level of food intake on mathematical predictions of the kinetics of digesta in the reticulorumen and intestines // British J. Nutrition. 1977. V. 38. № 3. P. 425-436.

4. Lopez S. Non-linear Functions in Animal Nutrition / In: Mathematical Modelling in Animal Nutrition / edited by J. France and E. Kebreab. Centre for Nutrition Modelling University of Guelph. Wallingford: Biddles Ltd, King's Lynn. 2008. P. 47-88.

MODELING OF TRANSPORT OF RADIOACTIVE PARTICLES IN THE DIGESTIVE TRACT SHEEP

Tien V.V.¹, Snegirev A.S.²

¹ Research and Development Center for Radiation Technology, 202A Street 11 - Linh Xuan Ward - Thu Duc - Ho Chi Minh City, Vietnam

² Russian Institute of Radiology and Agroecology, 249032 Kaluga region, Obninsk, Kievskoe shosse 109 km, Russian Federation

A mathematical model of the behavior of polydisperse silicate radioactive particles in the digestive tract of sheep has been developed on a modern scientific and methodological basis using archived experimental data. The compartmental model takes into account the deposition of particles on the fundus surface of the abomasum wall and the possibility of a slow reverse release of particles from the depot fixation. Solutions of the equations are presented in an analytical form, which makes it possible to develop independent software tools that are not related to the mandatory use of Mathcard or Matlab.

Keywords: *radioactive particles, sections of the gastrointestinal tract of sheep, mathematical model of transport*

УДК 539.163:636.4:611.3

ТРАНСПОРТ РАДИОАКТИВНЫХ ЧАСТИЦ В ЖЕЛУДОЧНО-КИШЕЧНОМ ТРАКТЕ СВИНЕЙ

Шаповалов С.Г., Козьмин Г.В.

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии»

249032 Калужская область, г. Обнинск, Киевское шоссе, 109 км, Российская Федерация

e-mail: ShapovalovStanislav93@gmail.com, kozmin@obninsk.ru

Представлен анализ основных закономерностей транспорта радиоактивных частиц в отделах желудочно-кишечного тракта свиней. Разработана модель транспорта силикатных ОРЧ в пищеварительном тракте. За основу данной математической модели взяты результаты радиобиологических экспериментов, выполненных на 14 подсвинок возрастом 2-2.5 месяца с массой 25-30 кг. Полученные параметры математической модели, могут быть

использованы для проведения расчетов поглощенных доз β -излучения для каждого из рассмотренных отделов ЖКТ после однократного поступления горячих радиоактивных частиц с кормом.

Ключевые слова: радиоактивные частицы, отделы желудочно-кишечного тракта свиней, математическая модель транспорта, константы скорости транспорта

Введение

Прогнозирование исхода радиационного поражения сельскохозяйственных животных при загрязнении окружающей среды и кормов «горячими» радиоактивными частицами является важной задачей радиоэкологии и ветеринарной радиобиологии. На сегодняшний день большинство публикаций, затрагивающих область сельскохозяйственной радиоэкологии, касаются вопросов поведения радиоактивных выпадений в растворимой форме и миграции радионуклидов по пищевым цепочкам сельскохозяйственных животных [1,2]. Современная профильная литература располагает значительным запасом накопленного материала по вопросам защиты человека и сельскохозяйственных животных от различного рода ионизирующих излучений [3]. Наряду с этим, сведения о транспорте и радиационных поражениях отделов желудочно-кишечного тракта (ЖКТ) радиоактивными частицами практически не имеют освещения в общедоступной современной литературе. Большинство авторов сходятся во мнении о том, что растворимые продукты ядерного деления распределяются в содержимом ЖКТ строго равномерно [4]. Иначе ведут себя оплавленные радиоактивные частицы, которые, попадая с кормом в ЖКТ, распределяются крайне неравномерно. При этом возможно наличие участков в ЖКТ, где дозовые нагрузки могут превышать средние значения в несколько раз [5].

В связи с вышеперечисленным, целью данной работы явился анализ закономерностей транспорта радиоактивных частиц в ЖКТ свиней. Актуальность работы также обусловлена схожестью особенностей

строения и ферментативного профиля пищеварительного тракта свиней и человека [6]. Данный факт дает основания для процедуры экстраполяции изученных радиобиологических эффектов горячих радиоактивных частиц применительно к желудочно-кишечному тракту человека.

Материалы и методы

Экспериментальные исследования проводили на 14 подсвинках возрастом 2–2.5 месяца и массой от 25 до 30 кг, благополучных по инфекционным и инвазионным заболеваниям. Перед началом опыта животных в течение 2–3 недель приучали к полному поеданию корма, в который вносили силикатные оплавленные радиоактивные частицы (ОРЧ) «урановой» модели, приближенно моделирующей радиационные характеристики присущие продуктам мгновенного деления (ПМД) [7]. Удельная активность частиц на время их поступления в организм животных составляла 3.7 Гбк/г.

Камерную модель, характеризующую транспорт радиоактивных частиц в пищеварительном тракте свиней, строили, используя экспериментальные данные, описывающие распределение радиоактивных частиц в отделах ЖКТ животных через различные промежутки времени после однократного поступления ОРЧ с кормом.

На рисунке 1 представлена камерная модель ЖКТ свиней, используемая для описания динамики содержания радиоактивных частиц в содержимом пищеварительного тракта.

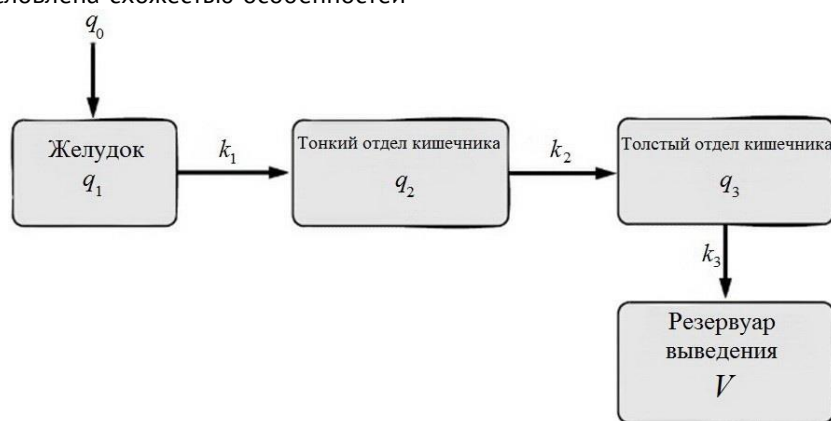


Рисунок 1 – Камерная модель транспорта ОРЧ в ЖКТ свиней.

Для данной модели введены следующие параметры транспорта:

q_0 – количество ОРЧ, однократно поступившее с кормом в организм свиньи (100 %); (2)

$q_1; q_2; q_3$ – содержание ОРЧ (%) в отделах ЖКТ на момент времени t , ч;

V – содержание ОРЧ в резервуаре выведения (%) к моменту времени t ;

$k_1; k_2; k_3$ – константы скорости выведения ОРЧ для каждого из отделов ЖКТ, $ч^{-1}$.

В соответствии с предложенной камерной моделью ЖКТ процесс изменения содержания радиоактивных частиц в отделах пищеварительного тракта свиней описывается следующей системой дифференциальных уравнений:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dq_1}{dt} &= -k_1 q_1; \\ \frac{dq_2}{dt} &= k_1 q_1 - k_2 q_2; \\ \frac{dq_3}{dt} &= k_2 q_2 - k_3 q_3; \\ \frac{dV}{dt} &= k_3 q_3. \end{aligned} \right\} (1)$$

Начальные условия:

$$q_1(0) = q_0;$$

$$q_2(0) = q_3(0) = V(0) = 0.$$

Принято, что выведение ОРЧ из желудка начинается через $t=2$ часа после введения. Расчеты выполнялись путем решения системы дифференциальных уравнений в аналитическом виде и использования численных методов расчета с помощью многофункциональной интерактивной вычислительной системы PTC Mathcad Prime 4.0.

Результаты и обсуждение

Значения необходимых констант скорости транспорта ОРЧ определяли с использованием критериев адекватности результатов математического моделирования данным, полученным в результате эксперимента, путем комбинаторного перебора параметров выше представленной модели. Установлено, что константы скорости транспорта $k_1=0.09$; $k_2=0.33$ и $k_3=0.08$ удовлетворительно описывают изменение содержания ОРЧ в желудке (q_1), тонком отделе кишечника (q_2), и толстом отделе кишечника (q_3) (рис. 2). Коэффициент детерминации (R^2) для каждой камеры составлял не менее 0.85. Для каждой из камер данной модели были получены значения коэффициента несовпадения Тейла (U), близкие к 0.

Как видно из рисунка 2 выведение 80 % ОРЧ из желудка происходит за 24 часа, практически полное выведение из тонкого кишечника – за 30-35 часов, из толстого кишечника в течение 35 часов выводится около 80 % ОРЧ.

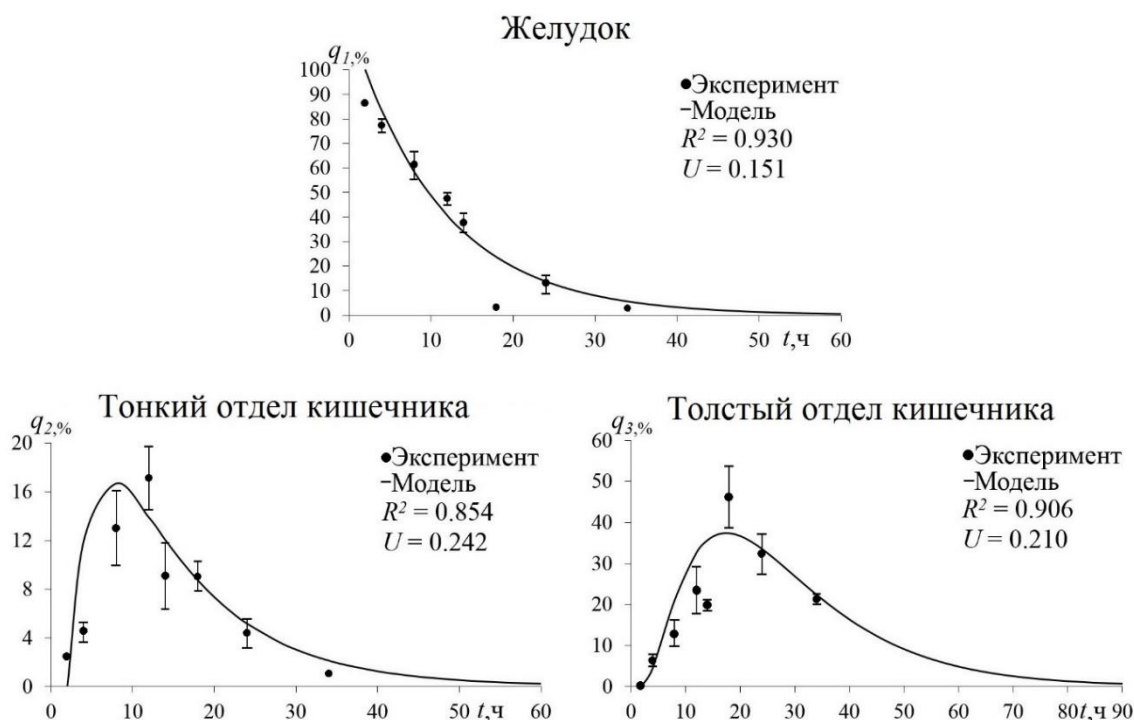


Рисунок 2 – Динамика содержания ОРЧ в отделах ЖКТ свиней (● эксперимент, — расчетная модель)

Заключение

Проведенные исследования распределения и транспорта оплавленных радиоактивных силикатных

частиц диаметром 80-160 мкм в желудочно-кишечном тракте свиней [5] позволили разработать математическую камерную модель и оценить её

биокинетические параметры. Выведение 80 % ОРЧ из желудка происходит за 24 часа, практически полное выведение из тонкого кишечника – за 30-35 часов, из толстого кишечника в течение 35 часов выводится около 80 % ОРЧ. Областей локализации оплавленных частиц в ЖКТ не наблюдается. С учетом введения в модель времени задержки выведения ОРЧ из желудка на $\tau=2$ часа результаты математического моделирования удовлетворительно согласуются с полученными экспериментальными данными.

Список литературы

1. Алексахин Р. М. Проблемы радиоэкологии: Эволюция идей. Итоги. М.: РАСХН, 2006. 880с.
2. Handbook of parameter values for the prediction of radionuclide transfer in terrestrial and freshwater environments. Vienna: IAEA, 2010. 194 p.
3. Радиационная медицина: руководство для врачей-исследователей и организаторов здравоохранения / под общ. ред. Л. А. Ильина. – М.: ИздАТ, 2001. Т. II: Радиационные поражения человека / В.М.

Абдуллаева [и др.]; науч. ред. А.К. Гуськова, Г.Д. Селидовкин. 432 с.

4. Москалев Ю.И. и др. В кн. Радиоактивные изотопы и организм. М., Медицина, 1969, с. 67-73.

5. Сарапульцев И.А., Расин И.М., Козьмин Г.В. Распределение поглощенных доз в желудочно-кишечном тракте свиней при поступлении с кормом оплавленных радиоактивных частиц / В сб.: Проблемы животноводства в зоне следа наземного ядерного взрыва. Под общ. ред. Б.Н. Анненкова 1980. С. 203-210.

6. Рыбакова А.В., Ковалева М.А., и др. Карликовые свиньи как объект доклинических исследований // Международный вестник ветеринарии. 2016. № 3. С. 168-176.

7. Козьмин Г.В., Бударков В.А., Зенкин А.С. с соавт. Радиационная технология моделирования сценария облучения животных при загрязнении пастбищных угодий «горячими» радиоактивными частицами / Сб. докл. Научно-техн. Конф. Радиационные технологии в сельском хозяйстве и пищевой промышленности. Обнинск: ВНИИРАЭ. 2018. С. 332-336.

RATE OF RADIOACTIVE PARTICLE PASSAGE IN PIGS GASTROINTESTINAL TRACT

Shapovalov S.G., Kozmin G.V.

Russian Institute of Radiology and Agroecology, 249032 Kaluga region, Obninsk, Kievskoe shosse 109 km, Russian Federation

The analysis of the main regularities of transport of radioactive particles in the gastrointestinal tract of pigs using the obtained experimental data is presented. A model of transport of silicate radioactive particles in the digestive tract was developed. This mathematical model is based on the results of radiobiological experiments performed on 14 pigs aged 2-2.5 months with a weight of 25-30 kg. The obtained parameters of the mathematical model can be used to calculate the absorbed doses of β -radiation for each of the of the gastrointestinal tract compartments after a single intake of «hot» radioactive particles with feed.

Keywords: radioactive particles, digestive tract of pigs, compartment model, kinetics parameters of transport of radioactive particles

УДК 004.6 + 004.7

РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ КОНЦЕПЦИИ «ИНТЕРНЕТ ВЕЩЕЙ»

Шестериков А.Ю.

*ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии»
249032 Калужская область, г. Обнинск, Киевское шоссе, 109 км, Российская Федерация
e-mail: a.shesterikov@u-vacuum.space*

Широкое применение находят цифровые технологии в инфраструктуре городов, сельском хозяйстве, научной деятельности. Благодаря большому количеству доступных датчиков, отработанным интерфейсам и способам связи, а также облачным вычислениям, открываются широкие возможности по их совместному применению. Целью данной работы является обзор возможных вариантов применения интернета вещей в сельском хозяйстве и мониторингу окружающей среды.

Ключевые слова: интернет вещей, мониторинг, анализ данных, сельское хозяйство, радиоэкология

В современном мире невозможно представить жизнь без интернета. С каждым годом сеть интернет становится доступнее для широкого круга людей, а варианты применения «всемирной паутины» растут. Помимо огромного количества интернет-сервисов активно развивается такое направление, как «интернет вещей» (англ. internet of things (IoT)). Формулировку «интернет вещей» (далее – IoT) используют в тех случаях, когда «вещь» (предметы, приборы, датчики и другие объекты повседневной жизни) снабжают подключением к сети и вычислительными функциями.

Применение IoT позволяет осуществлять довольно сложные задачи с использованием большого количества данных. Это может быть как интеллектуальный полив поля, в зависимости от влажности почвы (уровня осадков) на конкретном земельном участке, так и динамическая карта углекислого газа (пыльцы, радиационного фона и т.д.) с обновлением информации в реальном времени. Если рассматривать использование IoT в инфраструктуре предприятий, то возможно аккумулировать и обрабатывать данные по ряду показателей и оперативно решать возникшие проблемы, либо предоставлять данные экспертам для оптимизации и анализе рабочих процессов. Помимо этого, есть и другие полезные функции. Управление уличным освещением, уведомление населения о повышенном содержании веществ в воздухе, все это возможно с использованием IoT.

Довольно часто возникает необходимость мониторинга окружающей среды на участке большой площади. Если говорить об измерениях, выполняемых непосредственно человеком, то получение показателей займет некоторое время. Также потребуются дополнительные действия на обработку результатов для их дальнейшего использования.

В случае использования IoT можно получать желаемые показания с конкретного участка и при этом появляется возможность получения данных за установленные отрезки времени. Современный подход позволяет получать не только регулярные значения измерений, но и открывает доступ к более глубокому изучению состояния окружающей среды. Например, на основе полученных измерений можно визуализировать показания, накладывая результаты на карту местности, спрогнозировать дальнейшее развитие событий.

Источники, имеющиеся в свободном доступе, указывают, что использование IoT в фермерском хозяйстве способно обеспечить контроль влажности почвы, снизить затраты (в частности, пресной воды) и повысить производительность хозяйства [1].

Пресная вода – ценный ресурс и ее загрязнение является одной из основных причин многих заболеваний в мире. Благодаря использованию IoT в системе диспетчерского контроля и сбора данных, в одном из городов Индии, организован мониторинг трубопроводной воды в реальном времени, когда происходит измерение по нескольким параметрам

(скорость потока, температура, мутность, цвет). Экспериментальные данные подтвердили эффективность и надежность системы, а также её экономическую целесообразность [2].

Работы исследователей из Малайзии показывают, что IoT хорошо себя зарекомендовал в мониторинге радиационного фона [3]. В результатах работы авторы демонстрируют безопасный, недорогой и эффективный метод радиационного контроля с помощью IoT не только на загрязненных территориях, но и вблизи действующих атомных станций и других объектов, использующих источники ионизирующего излучения.

Работа M. Muniraj et al. посвящена мониторингу радиационного фона с привязкой к географическому положению [4]. В эксперименте были использованы такие комплектующие, как счётчик Гейгера-Мюллера, датчик системы глобального позиционирования и контроллера с использованием сети для связи с веб-сервером. Все составляющие были подключены к веб-серверу для обработки и отображения полученных данных. Результаты исследования совершенно определенно показали хорошие перспективы применения концепции IoT в целях мониторинга радиационного фона.

Существуют так же другие факторы, способные оказать на человека и другие живые организмы, достаточно сильный вред. Химические и радиоактивные отходы, взрывоопасные, токсичные, горючие вещества – еще одна важная тема в современном мире. Так, использование IoT, в целях повышения безопасности при транспортировке опасных химических веществ было предложено китайскими исследователями [5]. Идея заключается в том, чтобы в реальном времени отслеживать не только состояние перевозимого груза, но и водителя с транспортным средством. Это позволит значительно снизить риски и защитить персонал.

Идея мониторинга окружающей среды с применением IoT показывает заметное улучшение качества получаемой информации в городской среде [6].

Однако, следует отметить, что реализация IoT, как с целью улучшения сельского хозяйства, так и для проведения мониторинга окружающей среды, требуют существенных инвестиций. Такой вывод может стать препятствием для широкого развития IoT. Поэтому в данном направлении ведётся ряд исследований. Использование недорогой платформы для разработки, программных решений с открытым исходным кодом. Применение более дешевых технологий для изготовления аппаратной части устройств [7].

Также одним из важных направлений является обеспечение безопасности продуктов и услуг IoT. Связано это с тем, что из-за постоянного увеличения числа устройств, подключенных к интернету, возникают новые потенциально уязвимые места. В связи с чем, слабозащищенные устройства могут служить поводом для кибератак. Учитывая, что концепция IoT подразумевает объединение устройств в сеть, то

получение злоумышленником доступа к данной сети может нести отрицательное влияние на безопасность и устойчивость всей сети интернет, а не только локально.

Ярким примером может служить одна из самых масштабных DDoS-атак в истории, совершенная в октябре 2016 года на компанию Дун, которая предоставляет сетевую инфраструктуру и обслуживание DNS, в том числе для ключевых американских организаций. В результате атаки наблюдались проблемы с доступом к таким крупным сервисам, как Twitter, Amazon, Spotify, Netflix и др. [8].

В настоящий момент развитие IoT все еще набирает обороты. Одна из основных причин, по которой в будущем применение интернета вещей станет повсеместным, это возможность экономить природные ресурсы и делать сельское хозяйство более привлекательным для инвесторов. Помимо этого, стоит отметить широкие возможности в получении статистической информации для дальнейших исследований и работы.

Список литературы

1. F. Bua, X. Wang. A smart agriculture IoT system based on deep reinforcement learning // *Future Generation Computer Systems*. 2019. V. 99. P. 500-507. (<https://doi.org/10.1016/j.future.2019.04.041>)

2. K. Saravanan, et al. Real-time water quality monitoring using Internet of Things in SCADA // *Environmental Monitoring and Assessment*. 2018. P. 190:556 (<https://doi.org/10.1007/s10661-018-6914-x>)

3. K.A. Bapujee et al. Wireless Wide Area Radiation Monitoring Network Using Internet of Things // *Journal of Intelligent Manufacturing & Mechatronics*. 2019. V. 01. P. 14-20. (<https://doi.org/10.15282/mechatronika.v1i1.978>)

4. M. Muniraj et al. Geo Tagged Internet of Things (IoT) device for Radiation Monitoring // *International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics (ICACCI)*. 2017. (<https://doi.org/10.1109/icacci.2017.8125878>)

5. L. Guo et al. Design of Monitoring System for Hazardous Chemicals Logistics Based on Internet of Things // *3rd IEEE International Conference on Computer and Communications (ICCC)*. 2017. (<https://doi.org/10.1109/compcomm.2017.8322727>)

6. A. Iskhakov, R. Meshcheryakov. Intelligent System of Environment Monitoring on the Basis of a Set of IOT-Sensors // *International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON)*. 2019. (<https://doi.org/10.1109/SIBCON.2019.8729628>)

7. A. Tocchi et al. First step towards an IoT implementation of a wireless sensors network for environmental radiation monitoring // *IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC)*. 2017. (<https://doi.org/10.1109/i2mtc.2017.7969754>)

8. C. Koliass et al. DDoS in the IoT: Mirai and Other Botnets // *Computer*. 2017. P. 80-84. (<https://doi.org/10.1109/mc.2017.201>)

RADIOECOLOGICAL MONITORING OF THE ENVIRONMENT BY MEANS THE APPLYING OF THE CONCEPTION OF «INTERNET OF THINGS»

Shesterikov A.Yu.

Russian Institute of Radiology and Agroecology, 249032 Kaluga region, Obninsk, Kievskoe shosse 109 km, Russian Federation

Recently, digital technologies find out a lot of application in urban infrastructure, agriculture, and scientific performance. Due to the large amount of sensors, reliable interfaces and communication methods and cloud computing as well is appear broad opportunities for their use in combination. The main goal of this work is to review the possible uses of the Internet of things in agriculture and environmental monitoring.

Keywords: *internet of things, monitoring, data analysis, agriculture, radioecology*

УДК 631.171

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

Шишко В.И.

*ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии»
249032 Калужская область, г. Обнинск, Киевское шоссе, 109 км, Российская Федерация
e-mail: valentine585@yandex.ru*

Целью данной работы является доказательство перспективности применения БПЛА и метода NDVI в сельском хозяйстве. Предлагается оценить перспективность на основе электронных карт полей.

Ключевые слова: *беспилотный летательный аппарат (БПЛА), электронная карта, геоинформационная система (ГИС), NDVI*

Благодаря использованию беспилотных летательных аппаратов в сельском хозяйстве появляется возможность – проводить различные виды исследований. Имея небольшой вес, БПЛА способны находиться в воздухе долгое время и обследовать участки больших размеров.

Сейчас проблема контроля за сельскохозяйственными угодьями очень актуальна. Такие дефекты при посеве, как проплешины поля, гибель урожая после засухи или затопления, требуют оперативного наблюдения. Площади посевных полей не всегда позволяют это сделать быстро. Большинство оценок, производимых в таких случаях, делаются наземным путем, используя экспертную группу, которая выезжает на поля. С плоскости невозможно дать оценку всему масштабу происшествия. Поэтому, чтобы ускорить этот процесс, необходимо использовать аэрофотосъемку. Данные, которые мы получим с БПЛА, дают возможности для [1,3,4]:

- создания электронных карт полей;
- инвентаризации сельскохозяйственных угодий;
- оценки объема работ и контроля их выполнения;
- быстрого и эффективного построения карт по всходам;
- определения нормализованного вегетационного индекса (NDVI - NormalizedDifferenceVegetationIndex)
- оценки всхожести сельхозкультур;
- прогнозирования урожайности сельхозкультур;
- проверки качества пропашности;
- введения экологического мониторинга сельхоз - земель.

Беспилотный летательный аппарат запускается вручную, взлетает и садится в автоматическом режиме по заданному маршруту. Пролетая по заранее спланированному в ГИС маршруту, БПЛА фотографирует местность. Результатом данной съемки являются снимки высокого разрешения на запрограммированных точках по GPS координатам. По окончании полета БПЛА приземляется в ту же точку, откуда он взлетел [3,5]. Для каждого отдельного снимка получается цифровой набор информации - географические координаты центральной точки снимка, высота съемки, угол экспонирования и полный набор телеметрических данных для переноса и использования в общепринятых картах геоинформационных системах (например, ArcView или QGIS). Таким образом, все фотографии являются геопривязанными и их можношить в одну большую электронную карту [2,4].

Электронная карта поля – это средство инвентаризации земель, которое определяет ресурсный потенциал всех сельскохозяйственных угодий. Также это средство, позволяющее точно рассчитать нормы расхода горюче – смазочных материалов, нормы внесения удобрений и средств защиты растений (СЗР) в зависимости от площади. При составлении карт качества почв отдельных полей можно ввести дифференциальное внесение всех средств защиты растений и удобрений в различных частях поля, что позволяет гораздо сэкономить на внесении удобрений и СЗР, а также не перенасыщать почву. Карта полей предоставляет возможность вести паспорта полей и севооборот хозяйства, подсчитать нужное количество семенного материала, осуществлять мониторинг сельхоз - техники и определять не только расход топлива, но и эффективное использование рабочего времени [2,3].

Электронная карта даёт возможность вести базу данных за неограниченный промежуток времени и сразу по нескольким показателям. Преимущества электронной карты поля несомненны, она:

- предоставляет возможность вести учет и контроль всех сельскохозяйственных операций, потому что базируется на точных данных: площади полей, расстоянии дорог, населенных пунктов и т.д;
- помогает провести полный анализ условий, влияющих на рост растительности на данном поле;
- оптимизирует производство с целью получения максимальной прибыли, а также рационального использования в производстве ресурсов;
- даёт вести паспортные данные о сельскохозяйственных угодьях с учетом привязки карт к году урожая;
- предоставляет просмотр и аналитику тематических карт агрохимического мониторинга почв, возделываемой культуры, вносимых удобрений, урожайности, экономической эффективности культуры и пр.;
- даёт возможность для учёта и анализа последствий при различных неблагоприятных погодных условиях и других показателей посредством всех беспилотных летательных аппаратов (площади полеглости посевов, вымерзших участков посевов, стадии созревания, засоренность полей);
- формирует статистические справки и отчеты.

После того, как мы получили электронные карты, то нам предоставляется возможность проводить агрохимическое обследование полей и вносить дополнительную информацию в существующую базу данных.

Таким образом, если использовать беспилотные летательные аппараты в сельском хозяйстве, то можно обеспечить контроль всех земельных

ресурсов и прилежащих инфраструктур, а в сочетании с агрохимическим анализом почвы данные с БПЛА позволят создавать файлы предписания для дифференцированного внесения минеральных удобрений. Данный метод может существенно сократить временные затраты, что в итоге положительно скажется на полученном урожае.

Список литературы

1. Черепанов А.С., Дружинина Е.Г. Спектральные свойства растительности и вегетационные индексы. Геоматика 2009 №3. с.28-32.

2. Галкин, М.П. Использование ГИС технологий при построении цифровой модели рельефа: Галкин М.П., Долгирев А.В., Тарбаев В.А./ Сборник научных трудов конференции "Вавиловские чтения - 2013", Саратов: Ульяновский государственный педагогический университет им. И.Н. Ульянова, 2013. - С. 289-292.

3. Долгирев, А.В. Современные методы мониторинга сельскохозяйственных угодий: Долгирев А.В., Калашникова Е.Н. / Инновационные технологии и технические средства для АПК, Воронеж: Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I, 2015. - С. 83-88.

4. Долгирев, А.В. Применение компьютерных технологий при проведении мониторинга земель: Долгирев А.В., Кондракова С.А. / Кадастр недвижимости и мониторинг природных ресурсов: 5-я Всероссийская научно-техническая интернет-конференция. Под редакцией И.А. Басовой. Тула: Тульский государственный университет, 2015. - С. 295-297.

5. Тарбаев, В.А. Использование беспилотных систем для уточнения площади полей землепользователей: Тарбаев В.А., Долгирев А.В., Минаева К.Д. / Сборник научных трудов конференции "Вавиловские чтения -2015", Саратов: ООО "Амирит", 2015. - С. 261-262.

THE USE OF UNMANNED AERIAL VEHICLES IN AGRICULTURE

Shishko V.I.

Russian Institute of Radiology and Agroecology

249032 Kaluga region, Obninsk, Kievskoe shosse 109 km, Russian Federation

The purpose of this work is to substantiate the prospects of using unmanned aerial vehicles and NDVI methods for agriculture. It is proposed to assess the prospects on the basis of electronic field maps.

Keywords: *unmanned aerial vehicle (UAV), electronic map, geographic information system (GIS), NDVI*

Научное издание

Современные проблемы радиобиологии, радиоэкологии и агроэкологии

Сборник докладов
Международной молодежной конференции
(Обнинск, 3-4 октября 2019 г.)

ISBN 978-5-903386-57-4



9 785903 386574

Компьютерная верстка Шубина О.А.

Подписано в печать 25.09.2019 г.
Формат 60x90 1/8. Гарнитура PT Sans, AGLetterica.
Усл. печ. л. 42,75. Тираж 350 экз. Заказ № 43.

Издательство ФГБНУ ВНИИРАЭ
249032, г. Обнинск, Киевское шоссе, 109 км
www.rirae.ru

Отпечатано в ООО "Компания "Оптима-арт"
249038, г.Обнинск, ул. Гурьянова, д.21, оф.116
+7 484 395-56-46, info.optibook@gmail.com
www.optibook.ru