

**НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК БЕЛАРУСИ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«ИНСТИТУТ РАДИОБИОЛОГИИ
НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК БЕЛАРУСИ»**

Международный научный центр минимизации радиационных рисков

**NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF BELARUS
INSTITUTE OF RADIOBIOLOGY**

International Scientific Center for Radiation Risks Minimizing

РАДИОБИОЛОГИЯ: ВЫЗОВЫ XXI ВЕКА

**Материалы международной научной конференции,
посвященной 30-летию института радиобиологии
(27–30 сентября 2017 г.)**

RADIOBIOLOGY: CHALLENGES OF THE XXI CENTURY

**Proceedings of the International Scientific Conference,
Dedicated to the 30th anniversary of the Institute of Radiobiology
(September 27–30, 2017)**

**Гомель
2017**

УДК 577.34 + 005.745(06)

ББК 28.071.25

Р 15

Редакционная коллегия: кандидат медицинских наук *И. А. Чешик* (главный редактор); кандидат биологических наук *Н. И. Тимохина*; кандидат сельскохозяйственных наук *А. Н. Никитин*; кандидат биологических наук *С. Н. Сушко*; кандидат биологических наук *А. А. Дворник*

В сборнике представлены результаты научных исследований по актуальным проблемам радиобиологии.

Издание предназначено для научных и практических работников, преподавателей вузов, аспирантов и студентов, обучающихся по медицинским, биологическим и экологическим специальностям.

ISBN 978-985-506-969-1

© Государственное научное учреждение «Институт радиобиологии Национальной академии наук Беларуси, 2017
© Оформление. Учреждение образования «Гомельский государственный медицинский университет», 2017

СОДЕРЖАНИЕ

<i>И. А. Чешик, Н. И. Тимохина, А. Н. Никитин, С. Н. Сушко, Н. Н. Веялкина, А. А. Дворник, Г. А. Горох</i> Институт радиобиологии: основные итоги деятельности	11
<i>М. М. Kornet, О. А. Brazhko, М. Р. Zavgorodnii, V. M. Zavgorodnii, О. О. Brazhko</i> Antioxidant activity of 2-methylquinoline-4-thiol derivatives as a basis for radio- protective activity	17
<i>Shuichi Okumoto, Masaki Shintani, Teruo Higa</i> Analysis of radioactive cesium in paddy fields applied with effective microorganisms (EM 1®) in Fukushima	20
<i>Ж. В. Бакарикова, О. М. Жукова, М. Г. Герменчук, В. Л. Самсонов</i> Многолетняя динамика параметров вертикальной миграции цезия-137 в ти- пичных почвах Республики Беларусь	23
<i>С. И. Белянина</i> Особенности гигантских хромосом <i>Chironomus balatonicus devai</i>, Wülker, Scholl, 1983 (Diptera, Chironomidae) из озера Заводское Климовского района Брянской области	25
<i>В. Н. Бортновский</i> Функциональное питание как способ экологической защиты населения, про- живающего на радиоактивно загрязненных территориях	27
<i>Г. Г. Верещако, Н. В. Чуешова, Г. А. Горох, А. Е. Козлов, Е. В. Цуканова, М. А. Бахшаева</i> Оценка эффективности протекторных свойств ацетил-L-карнитина на пока- затели крови и репродуктивной системы крыс-самцов при длительном элек- тромагнитном воздействии от мобильного телефона (1745 МГц)	30
<i>Г. Г. Верещако, И. А. Чешик, В. И. Шалатонин, Г. А. Горох, Н. В. Чуешова, М. А. Бахшаева, А. Е. Козлов, Е. В. Цуканова</i> Изучение реакции крови и репродуктивной системы крыс-самцов на комби- нированное действие облучения в дозе 1,0 Гр и магнитного поля промышленной частоты (50 Гц)	34
<i>В. Д. Гладких, С. В. Козлов</i> К вопросу разработки радиозащитных лекарственных средств на основе про- изводных Δ^5-андростендиола-3β, 17β	38
<i>Т. Н. Глинская, Е. В. Толстая</i> Заболеваемость подростков Республики Беларусь, относящихся к 5-й группе первичного учета	40
<i>В. В. Головешкин, С. А. Калинин, Р. А. Ненашев, А. Н. Чудинов</i> Оценка миграционной способности радионуклидов в почвах зоны отчуждения Чернобыльской АЭС	44
<i>С. В. Гончаров, Н. Н. Веялкина, К. Н. Шафорост, С. Н. Сушко</i> Оптимизация режима облучения лабораторных животных ультрафиолетом для последующей оценки эффективности природных фотопротекторов	47
<i>Е. Н. Горбань, А. В. Паршиков</i> Коррекция кверцетином радиоиндуцированных изменений реактивности изолированных сосудов крыс	51

<i>Е. Н. Горбань, Н. А. Утко, Е. В. Подъяченко</i> Кораргин корректирует радиоиндуцированные изменения уровней стабильных метаболитов NO и показателей перекисного окисления липидов в тканях крыс разного возраста.....	53
<i>Л. А. Горбач</i> Заболевания, повышающие риск возникновения туберкулеза органов дыхания у детей и подростков, проживающих в наиболее пострадавших от Чернобыльской катастрофы районах.....	56
<i>Г. З. Гуцева, Г. А. Леферд</i> Влияние биологического препарата ЕМ-1 на формы содержания ¹³⁷Cs в почве.....	59
<i>М. Т. Джамбаев, Н. В. Барановская</i> Индикаторные свойства крови человека при радиоэкологической оценке территорий.....	61
<i>В. П. Жданович, А. Н. Никитин, Е. А. Клементьева, Г. А. Леферд, С. А. Арендарь, Н. Д. Адамович</i> Содержание стронция и урана неаварийного происхождения в объектах окружающей среды.....	64
<i>В. П. Жданович, А. Н. Никитин, Г. А. Леферд, С. А. Арендарь, Н. Д. Адамович</i> Актуальность исследований поведения стабильных и радиоактивных изотопов цезия и стронция в растительных экосистемах при изменяющихся климатических условиях.....	68
<i>М. В. Желтоножская, В. А. Желтоножский, А. В. Тугай, Т. И. Тугай, А. П. Черняев</i> Исследование взаимодействия микробиологического компонента почвы загрязненных территорий с топливно-содержательными материалами	72
<i>О. М. Жукова, М. Г. Герменчук, М. А. Подгайская</i> Подходы к картированию радиоактивного загрязнения территории ПГРЭЗ.....	75
<i>М. М. Кадацкая, М. Г. Герменчук</i> Некоторые методологические аспекты оценки дозы репрезентативного человека.....	78
<i>Е. А. Казакова, П. Ю. Волкова, С. А. Гераськин</i> Влияние хронического облучения на антиоксидантный статус сосны обыкновенной	82
<i>С. А. Калиниченко</i> Ландшафтное перераспределение значений мощности дозы γ-излучения в зависимости от типа формирования градиентов концентрации	85
<i>А. Ч. Кевра, О. М. Жукова, Ж. В. Бакарикова, М. Г. Герменчук, М. А. Подгайская, И. В. Жук, Т. В. Лисянович</i> Создание картографической базы данных для подготовки карт радоноопасности на территориях Беларуси и Сербии	88
<i>Е. В. Копыльцова, Э. Н. Цуранков</i> Практическая реализация системы дифференцированного использования кормов с различными уровнями загрязнения радионуклидами и программное обеспечение «Рацион⁺».....	91
<i>В. В. Копытков, С. А. Родин, А. А. Мартынюк</i> Влияние радиоактивного загрязнения почвы на допустимое время работающих при различных способах создания лесных культур.....	94

<i>М. В. Кудин, А. В. Углянец, Д. К. Гарбарук</i> Динамика и оценка прогнозов изменения радиоактивного загрязнения ¹³⁷Cs сосновых лесов зоны отчуждения Чернобыльской АЭС	97
<i>Н. В. Кулич, М. В. Желтоножская, В. А. Желтоножский, А. П. Черняев</i> Миграционные процессы на загрязненных территориях ближней 5-км зоны ЧАЭС	100
<i>А. Е. Кундузбаева, С. Н. Лукашенко</i> Формы нахождения искусственных радионуклидов в почвах семипалатинского испытательного полигона	103
<i>Н. В. Ларионова, С. Н. Лукашенко</i> Исследование вариативности коэффициентов накопления искусственных радионуклидов растениями в местах проведения наземных ядерных испытаний.....	106
<i>Л. П. Мамчиц</i> Заболееваемость острыми респираторными инфекциями населения Гомельской области в постчернобыльский период	109
<i>Т. И. Милевич, Е. Г. Попов, И. А. Чешик</i> Влияние радиационно-экологических факторов на параметры ядерной транслокации андроген-рецепторных комплексов.....	112
<i>А. А. Морозова, Д. Г. Сташкевич, М. А. Бахшаева, С. Н. Сушко</i> Коррекция нарушений, вызванных влиянием электромагнитного излучения промышленной частоты и облучения в дозе 1,0 Гр на сердечно-сосудистую систему.....	115
<i>В. Д. Музрукова, В. И. Павленко, С. Г. Семенов, С. Ю. Фадин, А. В. Чесноков</i> Меры радиационной защиты персонала при выводе из эксплуатации исследовательских реакторов НИЦ «Курчатовский институт»	117
<i>А. Н. Никитин, Д. В. Сухарева, Е. В. Мищенко</i> Влияние электромагнитного поля ММ-диапазона на изменение чувствительности растений к холодовому стрессу	121
<i>И. В. Орадовская, В. В. Феоктистов, А. А. Васильев, Г. Х. Викулов, М. Ф. Никонова</i> Влияние сезонных факторов на формирование иммунного статуса у персонала ядерно-химического производства	124
<i>М. В. Осипов, Е. П. Фомин, М. Э. Сокольников</i> Перспективы использования медико-дозиметрического регистра компьютерной томографии для оценки вклада медицинского облучения в радиогенный риск.....	128
<i>С. В. Осовец</i> Проблема межвидовой экстраполяции кривых риска	131
<i>А. В. Паницкий, С. Н. Лукашенко, Н. Ж. Кадырова</i> Параметры перехода радионуклидов в организм диких животных, обитающих в местах испытания ядерного оружия	134
<i>О. Г. Пархимович, К. Я. Буланова, Л. М. Лобанок, О. Д. Бичан, Т. И. Милевич, В. А. Кузут</i> Состояние кальциевого обмена в тромбоцитах крыс в ближайшие и отдаленные сроки после облучения	138

<i>А. Г. Подоляк, А. Ф. Карпенко, С. А. Тагай, Т. В. Ласько</i> Радиологические аспекты возврата в сельскохозяйственный оборот земель, выведенных по радиационному фактору в Республике Беларусь	142
<i>Е. Н. Поливкина, Н. В. Ларионова, О. Н. Ляхова, С. Н. Лукашенко</i> Исследование путей миграции трития в растения на примере <i>Helianthus Annus</i>.....	145
<i>Е. М. Прохорова, Н. П. Атаманюк, Е. А. Сова, И. П. Дрозд, А. И. Липская, В. В. Талько</i> Особенности изменения кроветворной системы потомков первого и второго поколений крыс, родители которых были подвержены влиянию инкорпорированного ¹³¹I	148
<i>Н. Д. Пузан, А. А. Сулова</i> Влияние терапевтических доз ионизирующего излучения на конформационное состояние сывороточного альбумина	152
<i>В. В. Розанов, И. В. Матвейчук, А. П. Черняев, З. К. Никитина, И. К. Гордонова, Ю. Ю. Литвинов, Е. Н. Лыкова</i> Инновационное развитие радиационной технологии стерилизации костных имплантатов.....	155
<i>А. Н. Романенко</i> Расчет доз критической группы населения, проживающей в зоне наблюдения Ривненской АЭС.....	158
<i>Г. А. Соколик, С. В. Овсянникова, М. В. Попеня, Е. В. Войникова</i> Изменение запаса биологически доступных кадмия, свинца и урана в почве в зависимости от температуры.....	161
<i>Н. И. Тимохина, С. Н. Сушко, Е. М. Кадукова, К. Н. Шафорост, С. В. Гончаров, Н. Н. Веялкина, С. О. Гапоненко</i> Влияние радиоактивного загрязнения природной среды на структуру популяций и генетические изменения у мышевидных грызунов	165
<i>Л. А. Чунихин, И. А. Чешик, Д. Н. Дроздов, А. Л. Чеховский, Н. Г. Власова, А. К. Карабанов, И. А. Жук</i> Республика Беларусь: чернобыльские загрязнения и радон в отдаленном периоде аварии	168
<i>Н. В. Шамаль, Е. А. Клементьева, Р. А. Король, А. А. Дворник, С. О. Гапоненко</i> Влияние бокаши разного состава на произрастание яровой пшеницы в условиях радиоактивного загрязнения почвы	171
<i>О. А. Шуранкова, А. Н. Никитин, Р. К. Спиров</i> Особенности накопления ¹³⁷Cs растениями в условиях кратковременного повышения температур при использовании удобрений	174
<i>И. В. Яночкин, А. В. Гаращенко, С. В. Смяткина</i> Рост и развитие молодняка крупного рогатого скота шаролезской и лимузинской пород, содержащегося на территории радиоактивного загрязнения	177
<i>И. В. Яночкин, А. В. Гаращенко, С. В. Смяткина</i> Содержание ¹³⁷Cs в мышечной ткани крупного рогатого скота специализированных мясных пород лимузинской и шаролезской пород при использовании вольного метода пастьбы на территории радиоактивного загрязнения	181

ABSTRACTS

- I. A. Cheshik, N.I. Tsimokhina, A. N. Nikitin, S. N. Sushko,
N. N. Veyalkina, A. A. Dvornik, G. A. Gorokh*
Institute of radiobiology: main results of activity 186
- M. M. Kornet, O. A. Brazhko, M. P. Zavgorodnii, V. M. Zavgorodnii, O. O. Brazhko*
**Antioxidant activity of 2-methylquinoline-4-thiol derivatives as a basis for radio-
protective activity 187**
- Shuichi Okumoto, Masaki Shintani, Teruo Higa*
**Analysis of radioactive cesium in paddy fields applied with effective microorganisms
(EM 1[®]) in Fukushima 187**
- Zh. V. Bakarykava, O. M. Zhukova, M. G. Germenhuk, V. L. Samsonov*
**Long-term dynamics of the vertical migration parameters of cesium-137 in typical
soils of Belarus 188**
- S. I. Belyanina*
**The features of giant chromosomes of *Chironomus balatonicus devai*, Wülker,
Scholl, 1983 (Diptera, Chironomidae) from the lake Zavodskoe Klimovsk district
Bryansk oblast 189**
- V. N. Bortnovsky*
**A functional food as the way ecological protection of the population living in the
radioactivepolluted territories 189**
- G. G. Vereschako, N. V. Chueshova, G. A. Goroch,
A. Y. Kazlou, E. V. Tsukanova, M. A. Bakshaeva*
**Estimation of the efficiency of the protective properties of acetyl-l-carnitine on the
indicators of blood and the reproductive system of the male rats under a long-term
electromagnetic exposure from mobile phone (1745 MHz)..... 190**
- G. G. Vereschako, I. A. Cheshik, G. A. Goroch, V. I. Shalatonin,
N. V. Chueshova, A. Y. Kazlou, M. A. Bakshaeva, E. V. Tsukanova*
**Study of the reaction of blood and the reproductive system of male rats on combined
effects of irradiation in a dose of 1.0 Gy and magnetic field of industrial frequency (50 Hz)..... 191**
- V. D. Gladkikh, S. V. Kozlov*
**To the development of radioprotective drugs on the basis of derivatives of Δ^5 -
androstenediol-3B, 17B..... 191**
- T. N. Glinskaya, E. V. Tolstaya*
**The morbidity of the adolescents' of the republic of belarus included in the 5th
primary accounting group..... 192**
- V. V. Goloveshkin, S. A. Kalinichenko, R. A. Nenashev, A. N. Chudinov*
Assessment of radionuclide migration capacity in soils of Chernobyl NPP exclusion zone 193
- S. V. Goncharov, N. N. Veyalkina, K. N. Shaforost, S. N. Sushko*
**The optimization of the mode of exposing laboratory rodents to ultraviolet for the
following evaluation of photoprotectors..... 193**

<i>E. M. Gorban, O. V. Parshikov</i> Correction by quercetin of radio-induced changes in reactivity of isolated vessels of rats	194
<i>E. N. Gorban, N. A. Utko, E. V. Podjachenko</i> Corargin corrected of radio-induced changes in the levels of stable metabolites no and lipid peroxidation indicators in tissues of rats of different age	195
<i>L. A. Gorbach</i> Diseases that increase the risk of pulmonary tuberculosis in children and adolescents living in the most affected by the Chernobyl disaster areas.....	195
<i>G. Z. Gutseva, G. A. Leferd</i> Influence of EM-1 biological preparation on the forms of content of cesium ¹³⁷Cs the soil	196
<i>M. T. Jambayev, N. V. Baranovskaya</i> Indicative properties of human blood in radioecological assessment of territories.....	197
<i>V. P. Zhdanovich, A. N. Nikitin, E. A. Klementjeva, G. A. Leferd, S. A. Arendar, N. D. Adamovich</i> The content of stable strontium (³⁸SR) and uranium (⁹²U) in the environmental objects	197
<i>V. P. Zhdanovich, A. N. Nikitin, G. A. Leferd, S. A. Arendar, N. D. Adamovich</i> The importance of the study of the behavior of stable and radioactive isotopes of cesium and strontium in plant ecosystems under changing climatic conditions.....	198
<i>M. V. Zheltonozhskaya, V. A. Zheltonozhsky, A. V. Tugay, T. I. Tugay, A. P. Chernyaev</i> Study of interaction of microbiological component of soils of contaminated territories with fuel-containing materials.....	199
<i>O. M. Zhukova, M. G. Germenchuk, M. A. Podgajskaya, Zh. V. Bakarykava</i> Approaches to the mapping of radioactive contamination of the psrer territory	200
<i>M. M. Kadatskaya, M. G. Germenchuk</i> Some methodological aspects for assessing dose of the representative person.....	200
<i>E. A. Kazakova, P. Yu. Volkova, S. A. Geras'kin</i> Oxidative stress and changes in the genetic structure of the chronically irradiated scots pine populations	201
<i>S. A. Kalinichenko</i> Landscape redistribution of γ-dose rate values depending on the composition type of concentration gradients	201
<i>A. Ch. Keura, O. M. Zhukova, Zh. V. Bakarikova, M. G. Germenchuck, M. A. Podgaiskaya, I. V. Zhuk, T. V. Lisyanyovich</i> Creating a cartographic database for preparation of radon spare cards in the territories of Belarus and Serbia	202
<i>E. V. Kopyltsova, E. N. Tsurankov</i> Differentiated use of feeds with various levels of radioactive contamination and introduction of «ration⁺» software.....	202

<i>V. V. Kopytkov, S. A. Rodin, A. A. Martynyuk</i> Influence of radioactive pollution of the soil on admissible time of forest culture workers at various ways of creation of forest cultures	203
<i>M. V. Kudin, A. V. Uhlianets, D. K. Garbaruk</i> Dynamics and forecast evaluation of ¹³⁷Cs radioactive contamination of pine forests in the Chernobyl exclusion zone	204
<i>N. V. Kulich, M. V. Zheltonozhskaya, V. A. Zheltonozhsky, A. P. Chernyaev</i> Migration processes in polluted areas next 5-km zone of the Chernobyl NPP	205
<i>A. Ye. Kunduzbayeva, S. N. Lukashenko</i> Speciation of artificial radionuclides in soils of Semipalatinsk test site.....	205
<i>N. V. Larionova, S. N. Lukashenko</i> Variability research in artificial radionuclides transfer factor for plants in venues of urface nuclear tests	206
<i>L. P. Mamchits</i> The incidence of acute respiratory infections of the population of Gomel region in post-chernobyl period	207
<i>T. I. Milevich, E. H. Popoff, I. A. Cheshik</i> Radioecological effects upon the androgen receptor complexes nuclear translocation	207
<i>A. A. Marozava, D. G. Stashkevich, M. A. Bakshayeva, S. N. Sushko</i> Correction of violations, which was caused by the effect of EMR with industrial frequency and irradiation in a dose of 1.0 Gr on the cardiovascular system	208
<i>V. D. Muzrukova, V. I. Pavlenko, S. G. Semenov, S. Yu. Fadin, A. V. Chesnokov</i> Measures of radiation protection of personal on a decommissioning of research reactors in NRC «Kurchatov institute»	208
<i>A. N. Nikitin, D. V. Suhareva, E. V. Michenko</i> Impact of the micro-range electromagnetic field on changing the sensitivity of plants to cold stress	209
<i>I. V. Oradovskaya, V. V. Feoktistov, A. A. Vasilyev, G. Kh. Viculov, M. F. Nikonova</i> The influence of age factor on immune status in personnel of nuclear-chemical production.....	210
<i>S. V. Osovets</i> Challenge of risk curves interspecies extrapolationñ	210
<i>M. V. Osipov, E. P. Fomin, M. E. Sokolnikov</i> Prospects of using the medico-dosimetric register of computed tomography to assess the contribution of medical exposure to the radiogenic risk.....	211
<i>A. V. Panitskiy, S. N. Lukashenko, N. Zh. Kadyrova</i> Parameters of radionuclides transfer into bodies of wild animals inhabiting the nuclear weapons testing venues.....	212

<i>O. G. Parhimovich, K. Y. Bulanava, L. M. Lobanok, O. D. Bichan, T. I. Milevich, V. A. Kugut</i>	
The state of calcium metabolism in rat platelets in the nearest and long term after irradiation	212
<i>A. G. Podolyak, A. F. Karpenko, S. A. Tagai, T. V. Lasko</i>	
Radiological aspects of returning farmlands previously withdrawn from agriculture due back to their agricultural use in Belarus	213
<i>Y. N. Polivkina, N. V. Larionova, O. N. Lyakhova, S. N. Lukashenko</i>	
Study of tritium transfer ways in plants for example <i>Helianthus Annus</i>.....	214
<i>Ye. M. Prokhorova, N. P. Atamanuyk, E. A. Sova, I. P. Drozd, A. I. Lypska, V. V. Talko</i>	
Characteristics of hematopoietic system in offsprings in the first and second generation of rats from parents internally irradiated by iodine-131	214
<i>V. V. Rozanov, I. V. Matveichuk, A. P. Chernyaev, Z. K. Nikitina, I. K. Gordonova, Ju. Ju. Litvinov, E. N. Lykova</i>	
Innovative development of bone grafts radiation sterilization technology.....	215
<i>O. Romanenko</i>	
Calculation of exposure doses for the critical group living in the rivne NPP observation zone	216
<i>G. A. Sokolik, S. V. Ovsianikova, M. V. Papenia, K. V. Voinikava</i>	
Change of reserve of biologically available cadmium, lead and uranium in soil depending of temperature	216
<i>N. I. Timochina, S. N. Sushko, E. M. Kadukova, K. N. Shaforost, S. V. Goncharov, N. N. Veyalkina, S. O. Gaponenko</i>	
Influence of radioactive pollution of the environment on the population structure and genetic changes in rodents.....	217
<i>L. Chunikhin, I. Cheshik, D. Drozdov, A. Chehovskij, N. Vlasova, A. Carabanov, I. Zhuk</i>	
Republic Belarus: Chernobyl contaminations & radon at the accident distant period.....	218
<i>N. Shamal, E. Klementjeva, R. Korol, A. Dvornik, S. Gaponenko</i>	
Influence of the bokashi of the different composition on the vegetation of star wheat in the conditions of radioactive pollution of the soil	218
<i>O. A. Shurankova, A. N. Nikitin, R. K. Spirov</i>	
Peculiarities of ¹³⁷Cs accumulation in plants under the conditions of short-term increasing of temperatures on the background of fertilizers	219
<i>I. V. Yanochkin, A. V. Garaschenko, S. V. Smyatkina</i>	
Growth and development of young cattle of the sharolais and limousine breeds raised on the territory of radioactive contamination.....	220
<i>I. V. Yanochkin, A. V. Garaschenko, S. V. Smyatkina</i>	
The concentration of ¹³⁷Cs in muscular tissue of the specialized beef cattle breeds sharolais and limousine applying the free-range grazing method on the territory of radioactive contamination	220

*И. А. Чешик, Н. И. Тимохина, А. Н. Никитин,
С. Н. Сушко, Н. Н. Веялкина, А. А. Дворник, Г. А. Горох*

**Государственное научное учреждение
«Институт радиобиологии Национальной академии наук Беларуси»
г. Гомель, Республика Беларусь
natim-2006@tut.by**

Институт радиобиологии Национальной академии наук Беларуси создан постановлением Президиума Академии наук БССР № 17 от 12 февраля 1987 г. в соответствии с решением Совета Министров СССР № 2618р от 26 декабря 1986 г. и постановлением Совета Министров БССР № 25 от 28 января 1987 г. для решения научных проблем ликвидации последствий катастрофы на ЧАЭС. Идейным вдохновителем и первым директором института стал академик Е. Ф. Конопля.

Основными научными направлениями учреждения явилось изучение механизма действия ионизирующей радиации на регуляцию метаболизма и функциональное состояние важнейших систем организма с целью разработки методов повышения его радиорезистентности; изучение закономерностей накопления и выведения из организма радионуклидов и создание способов воздействия на эти процессы; оценка влияния радиационно-экологической обстановки на жизнедеятельность организма. В 1988 г., в связи с присоединением к институту академических лабораторий экологического профиля, Президиумом АН БССР уточнены основные научные направления: оценка радиационно-экологической обстановки в республике, биологические и генетические последствия радиации, разработка способов снижения ее вредного воздействия.

Постановлением Совета Министров БССР № 273-20 от 19 августа 1987 г. институт утвержден головной организацией в республике по решению научных проблем, связанных с ликвидацией последствий аварии на Чернобыльской АЭС, при нем был создан Координационный совет по научному обеспечению Государственной программы Республики Беларусь по минимизации и преодолению последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС.

Со дня своего основания Институт радиобиологии участвовал в союзной Комплексной программе на 1986–1990 гг. по ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС по теме «Влияние радиоактивного загрязнения на флору и фауну» раздела I «Экология». С 1988 г. — в Программе научно-исследовательских и опытных работ учреждений Белорусской ССР в зоне отчуждения Чернобыльской АЭС на 1988–1990 гг. В 1989–1992 гг. институт проводил исследования в рамках Межреспубликанской программы комплексных исследований по разделу 2.28.10.1. Молекулярная радиобиология.

В 1988–1992 гг. Институт радиобиологии участвовал в Государственной союзно-республиканской программе неотложных мер по ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС по разделу «Контроль за уровнем загрязнения радионуклидами объектов окружающей среды и изучение процессов переноса продуктов деления и трансурановых элементов (контроль и прогноз радиационной обстановки)».

С 1990 г. он координировал выполнение раздела «Решение долговременных проблем радиобиологических и радиоэкологических последствий Чернобыльской катастрофы» Государственной Программы Республики Беларусь по преодолению последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС. В рамках данной программы институтом проведена работа по ряду важных направлений: изучение динамики поведения радионуклидов в объектах окружающей среды; оптимизация системы радиационно-экологического мониторинга и методических приемов его проведения; изучение эффектов малых доз и комбинированных воздействий, поиск способов коррекции вызванных ими повреждений. С 1998 г. институт участвовал в выполнении заданий Программы совместной деятельности по преодолению последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС в рамках Союзного государства.

В последующие годы научные исследования института были сосредоточены в рамках ГПФИ «Малые дозы излучения» (1996–2000), ГПФИ «Ионизирующие излучения» (2001–2003 гг.), «Регуляция функций» (2001–2003 гг.), ГПОФИ «Радиация и антропоэкология» (2003–2005), ГПОФИ «Радиация и экосистемы» (2006–2010), раздела «Радиация, экология и техносфера» подпрограммы «Природно-ресурсный потенциал» ГПНИ «Химические технологии и материалы, природно-ресурсный потенциал» (2011–2015). В настоящее время институт выступает в качестве головной организации по подпрограмме «Радиация и природные системы» ГПНИ «Природопользование и экология».

В 2003 г., в соответствии с поручением Президента Республики Беларусь А. Г. Лукашенко о сосредоточении в г. Гомеле научного потенциала, занимающегося проблемами последствий Чернобыльской катастрофы, постановлением Президиума Национальной академии наук Беларуси осуществлен перевод Института радиобиологии из Минска в Гомель. Для выполнения поставленных задач во вновь сформированных лабораториях института проведено переоснащение новейшим оборудованием, позволяющим выполнять исследования в области биохимии, молекулярной биологии, генетики, иммунологии и радиозэкологии на современном уровне.

Уже впервые послеаварийные годы институтом выполнены работы по характеристике радиозэкологической ситуации в фитоценозах зоны отчуждения; определению уровней содержания стронция-90 и других радионуклидов в почвах, исследованию процессов миграции радионуклидов в различных типах почв; изучению процессов накопления и переноса радионуклидов в поверхностных и подземных водах; изучению химических процессов формирования и изменения пространственного распределения трансурановых элементов (ТУЭ) в системе почва-воздух и изучению физико-химических свойств «горячих» частиц, содержащих ТУЭ. Начато изучение влияния радиозэкологической обстановки на растения и животных с целью выяснения возможных ближайших и отдаленных последствий, а также разработки методов пострадиационного восстановления. Уже осенью 1986 г. были получены первые оценки радиационной обстановки в республике и собран секционный материал умерших людей для оценки медицинских последствий катастрофы на ЧАЭС.

В области радиобиологии получены новые знания о метаболических изменениях, происходящих в организме, органах и тканях при действии ионизирующей радиации, о нейрогуморальной регуляции этих процессов. Экспериментальными исследованиями доказано, что: изменение исходного состояния эндокринных желёз усиливает радиационные последствия при любом виде облучения, увеличивая риск развития патологии; сочетание различных видов облучения ведет к усилению, а комбинированное действие в ряде случаев и к потенцированию развития негативных последствий; при облучении состояние репродуктивной системы в поколениях сопровождается нарушением образования как мужских, так и женских половых клеток, снижением синтеза половых гормонов, и рядом других изменений, вызывающих нарушения репродуктивной функции организма; внутриутробное облучение приводит к повреждению эндокринной, сердечно-сосудистой и других систем, нарушению обменных процессов и возникновению генетических повреждений у плода и потомства; отрицательные последствия хронического облучения в поколениях нарастают, увеличиваются и генетические повреждения.

В настоящее время в составе института функционирует 5 лабораторий: комбинированных воздействий, моделирования и минимизации антропогенных рисков, радиозэкологии, экспериментальных биологических моделей, эндокринологии и биохимии.

Лаборатория радиозэкологии (заведующий к.с.-х.н. А. Н. Никитин) создана в 2002 г. в результате объединения лабораторий радиозэкологии воздушной среды, радиозэкологии водных систем, группы радиометрии и дозиметрии и группы токсикологии. Ее первым руководителем стал к.х.н. В. П. Миронов. После перевода института в г. Гомель, к.б.н. В. П. Кудряшов организовал работу лаборатории на новом месте и внес большой вклад в развитие ее научных направлений. Перед лабораторией поставлены следующие задачи: анализ содержания и физико-химического состояния техногенных и естественных радионуклидов в компонентах экосистем на территории Беларуси для оценки дозовых нагрузок на биоту и

человека; анализ и прогноз перераспределения радионуклидов чернобыльского выброса, включения их в трофические цепи и выяснение факторов, влияющих на эти процессы; совершенствование методов оценки радиационной обстановки; разработка рекомендаций по рациональному природопользованию на техногеннонарушенных территориях.

В лаборатории выполнен комплекс работ по оценке динамики содержания и форм нахождения радионуклидов ^{137}Cs , ^{90}Sr , ТУЭ в воде, воздухе, почве, биоте, сельскохозяйственной продукции; определены основные факторы, оказывающие на них влияние; сделан прогноз радиационной обстановки и реконструированы начальные послеаварийные уровни загрязнения короткоживущими радионуклидами. Собранная информация послужила основой для оценки радиоэкологических последствий аварии на Чернобыльской АЭС.

Анализ поступления ТУЭ в организм жителей южных районов Гомельской области показал существенное увеличение, по сравнению с первым послеаварийным десятилетием, удельной активности трансурановых элементов в продукции животноводства и растениеводства, производимой в непосредственной близости от зоны отчуждения Чернобыльской АЭС. Это связано с изменением физико-химических форм нахождения ТУЭ в почве и увеличением активности ^{241}Am . Основной вклад в формирование дозы внутреннего облучения от трансурановых элементов, поступающих в организм на отдаленном этапе катастрофы на ЧАЭС, вносит потребление овощной продукции, в частности картофеля. Анализ накопленных данных позволил предложить подходы к снижению коэффициентов перехода плутония и америция в сельскохозяйственную продукцию.

Анализ форм нахождения ^{241}Am в тканях растений, произрастающих на территории Полесского государственного радиационно-экологического заповедника, показал наличие существенного пула, связанного с органическим веществом (более 50 % от общей активности). Происхождение и внутриклеточная локализация этой формы требуют дополнительного изучения. Однако выявленная закономерность свидетельствует об активном включении америция в биологический круговорот.

Показано, что, хотя преобладающий вклад в общую дозу облучения животных и растений на территории Полесского государственного радиационно-экологического заповедника вносит и будет вносить на протяжении ближайших десятилетий ^{137}Cs , трансурановые элементы способны сформировать достаточно мощное для проявления радиобиологических эффектов внутреннее облучение отдельных органов и тканей. Для животных критическими с этой точки зрения являются органы пищеварительной системы, для растений – подземные органы, особенно зимующие под землей почки возобновления.

Анализ закономерностей распределения радионуклидов предшественников и продуктов распада радона-222 (^{226}Ra , ^{210}Po , ^{210}Pb) в воздушной среде, почвах, поверхностных и подземных водах Республики Беларусь, их перехода в продукцию растениеводства позволил оценить вклад данных радионуклидов в дозу внутреннего облучения населения.

Итогом работ по заданиям государственных программ научных исследований явилось выявление основных факторов, определяющих биологическую доступность тяжелых металлов, в том числе радиоактивных (Pb, Cd, U, Ra и др.), в дерново-подзолистых почвах и разработка система показателей для определения миграционной способности тяжелых металлов в почвенно-растительном покрове и выявления критических элементов биогеоценозов с повышенным их накоплением. Разработаны методики определения содержания и физико-химического состояния радионуклидов и тяжелых металлов в объектах окружающей среды. Предложены новые способы снижения перехода радионуклидов в продукцию растениеводства, основанные на использовании биологически активных почвоулучшающих добавок и природных минерал-сорбентов.

В настоящее время в лаборатории радиоэкологии выполняются исследования влияния почвенных микроорганизмов и отклонений погодных условий от климатической нормы на поведение радионуклидов и тяжелых металлов в системе «почва-растение», совершенствуются методы оценки доз облучения естественных популяций животных и растений, а также проводятся работы по изучению влияния электромагнитных излучений крайне высокой частоты на адаптационный потенциал растительных организмов.

Лаборатория моделирования и минимизации антропогенных рисков (заведующий к.б.н. А. А. Дворник) образована в 2016 г. Основными направлениями деятельности лаборатории является: моделирование поведения загрязняющих веществ на естественных и антропогенно нарушенных территориях Республики Беларусь; разработка методов определения и способов снижения миграции загрязняющих веществ с целью минимизации последствий техногенного воздействия; разработка и совершенствование методологических подходов в оценке рисков антропогенных нагрузок и последствий чрезвычайных ситуаций; изучение влияния неионизирующего и ионизирующего излучения на морфофизиологические свойства растений.

В настоящее время в лаборатории выполняются мероприятия технического сопровождения работ по калибровке мобильной системы обнаружения радиации (BPRDS) и измерения *in situ*, проводимых с использованием данной системы, в рамках сотрудничества с Лундским университетом (Швеция) и Институтом радиационной гигиены им П. В. Рамзаева (Российская Федерация). В рамках задания по ГПНИ «Природопользование и экология» проводится анализ запаса трансурановых элементов в лесных горючих материалах и оценка потенциальной радиационной опасности при лесных пожарах. Ведутся работы по разработке систем поддержки принятия решений в области мониторинга лесных пожаров на радиоактивно загрязненных землях.

Лаборатория комбинированных воздействий (заведующий к.б.н. С. Н. Сушко) создана при непосредственном участии д.м.н. А. Ф. Маленченко в Институте ядерной энергетики АН БССР в 1974 г. Первоначально работа лаборатории была сосредоточена на разработке и использовании ядерно-физических методов анализа в биологии и медицине, впоследствии была преобразована в лабораторию радиоэкологии АЭС на четырехокиси азота, а затем — в лабораторию радиационно-токсикологической экологии.

Работы сотрудников лаборатории явились основополагающими для формирования нового радиобиологического направления — исследования модифицирующего эффекта ионизирующего излучения на реакцию организма при действии факторов нерадиационной природы в индукции нестабильности генома, мутагенеза и онкопатологии. В 2003 г. лаборатория радиационно-токсикологической экологии, входящая в состав Объединенного института энергетических и ядерных исследований «Сосны», была переведена в Институт радиобиологии НАН Беларуси, а затем вместе с ним перемещена в г. Гомель.

Основное научное направление исследований лаборатории в настоящее время — изучение радиационно-индуцируемых нарушений молекул, клеток и механизмов интеграции их реакций в эффекты на уровне организмов и популяций; трансгенерационные эффекты и реактивность животных, и их потомства к действию токсикантов в условиях радиоактивного загрязнения среды; видовая радиочувствительность и адаптация природных популяций животных в условиях радиоактивного загрязнения среды обитания.

Значительная часть исследований лаборатории посвящена разработке методов коррекции негативных последствий действия антропогенных факторов и повышения резистентности организма, поиску и оценке биологической эффективности средств природного происхождения, их влиянию на повышение качества и продолжительности жизни населения, в том числе пострадавшего при аварии на ЧАЭС. Основой создания функциональных препаратов природного происхождения нового поколения стали грибы, лишайники и органо-минеральные добавки.

Лабораторией впервые были представлены данные о содержании естественного урана в организме жителей Беларуси, механизме его действия, свидетельствующие о том, что при введении этого элемента в организм щитовидная железа также вовлекается в общий патологический процесс, претерпевая при этом значительные функциональные и морфологические изменения.

С первых дней аварии на ЧАЭС лаборатория активно включается в работу по изучению медико-биологических последствий аварии. Сотрудники лаборатории были в числе первой радиоэкологической комиссии исследователей, которая 3–7 мая 1986 г. по результатам непосредственных измерений гамма-фона на территории Гомельской области установила высокую неравномерность выпадения радиоактивных осадков на почву. Нейтронно-активационный анализ собранных образцов почвы, растений позволил определить наличие «горячих» частиц, что оказало значительное влияние на формирование стратегии защитных мероприятий.

Лабораторией обоснована некорректность оценки радиационного риска на основе модели оценки поглощенной дозы исходя из равномерного распределения активности в щитовидной железе. Установлено, что высокая функциональная гетерогенность тиреоидной ткани и неравномерность интратиреоидного распределения радиойода приводят к тому, что реальные уровни облучения микроучастков щитовидной железы могут на порядок и более превышать дозы, заложенные в оценку радиационного риска. Поэтому выполненные расчеты по стандартным параметрам не отражают реальной зависимости доза-эффект для сложившейся ситуации, так как эффективная доза определяется не только величиной поглощенной дозы и качеством излучения, но и фактором распределения излучения в объекте. Обоснованная д.м.н. А. Ф. Маленченко гипотеза о роли экологических факторов в патогенезе радиационного рака щитовидной железы в Беларуси получила экспериментальное подтверждение.

Многолетними исследованиями лаборатории установлено, что экологические особенности загрязненных территорий влияют на накопление радионуклидов в тканях животных разных таксономических групп, их морфофункциональные показатели, и в целом на формирование адаптационных механизмов.

Экспериментально обоснована эффективность средства радиозащитного и противоопухолевого действия на основе водных экстрактов из высших культивируемых грибов. Установлено повышение противоопухолевой резистентности потомства мышей, экспонированных в зоне ПГРЭС, выраженное в увеличении выживаемости и снижении интенсивности роста асцитной карциномы Эрлиха при приеме грибных экстрактов *Shizophillum commune* и *Hericium erinaceus*, за счет стимуляции иммунной системы, что может использоваться в комплексной терапии онкозаболеваний.

Лаборатория экспериментальных биологических моделей (заведующий к.б.н. Н. Н. Веялкина) создана в сентябре 2014 г. В состав лаборатории входит сектор радиационных воздействий и виварий. На базе сектора радиационных воздействий (руководитель к.б.н. Т. И. Милевич) с 1989 г. проводятся экспериментальные исследования влияния ионизирующего излучения различной мощности и дозового диапазона на организм. Виварий оборудован согласно СанПиН 2.1.2.12-18-2006, созданы все необходимые условия для содержания и разведения мелких лабораторных животных (мыши, крысы).

Сотрудниками лаборатории осуществляется организация, проведение экспериментальных работ по острому и хроническому облучению биологических объектов на гамма-установках, а также содержание и разведение линейных лабораторных животных. Качество лабораторных животных во многом определяет результат эксперимента. В условиях постоянно возрастающих требований к качеству лабораторных животных, сотрудники вивария выполняют работы по их разведению и содержанию, обеспечивающие необходимое качество и стандартность животных.

Сегодня биологическое моделирование патологических состояний при влиянии антропогенных факторов, является важнейшим методом научного познания, что обуславливает необходимость создания адекватных экспериментальных моделей, которые бы отражали механизмы возникновения и развития патологии у человека. Научным направлением деятельности лаборатории является разработка биологических моделей *in vivo* для исследования влияния радиационных и нерадиационных факторов на живые организмы их клетки и субклеточные элементы, научно-исследовательская деятельность в области экспериментального изучения нарушений в организме лабораторных животных при моделируемых патологических состояниях различного генеза.

Лаборатория эндокринологии и биохимии (заведующий Г. А. Горох), создана в 2003 г., после перевода института в г. Гомель, на базе лабораторий эндокринологии, биохимии и физиологии. В первые годы руководил лабораторией академик Конопля Евгений Федорович. В этот период основное направление исследований было связано с исследованием состояния важнейших систем организма в радиоэкологических условиях зоны отчуждения, а также при остром и хроническом воздействии гамма излучения от внешних и инкорпорированных источников, осуществлялся поиск биологически активных добавок к продуктам питания для коррекции изменений вызванных радиационными воздействиями.

В настоящее время диапазон исследований расширен за счет включения исследований состояний организма, находящегося под воздействием неионизирующих электромагнит-

ных излучений, магнитных полей и под их воздействием в сочетании с другими техногенными факторами. В выполненных в лаборатории исследованиях на экспериментальных животных показано негативное воздействие радиоэкологических условий зоны отчуждения на сердечнососудистую, эндокринную, репродуктивную системы и кровь. Исследован ряд биологически активных веществ на возможность их использования для коррекции негативных радиационных эффектов, некоторые из них внедрены для практического использования. В последние годы проведены исследования посвященные изучению воздействия неионизирующих электромагнитных излучений (излучения от сотовых телефонов) и магнитных полей на важнейшие системы животных. Установлены негативные явления в репродуктивной системе, отмечены нарушения в крови, центральной нервной и эндокринной системах. Ведется поиск веществ естественного происхождения для снижения выявленных эффектов.

Конечной целью всех исследований, проводимых в Институте радиобиологии, является практическое использование полученных результатов. В результате проведенных исследований предложен ряд препаратов, обладающих радиопротекторным действием. Для научно-производственных объединений республики были разработаны композиции и технологии пищевых продуктов с профилактическими свойствами. Создано 50 видов изделий, выпускавшихся пищевой промышленностью.

Проведены испытания эффективности радиопротекторного препарата селенметионин с метионином в условиях острого и хронического облучения. Разработан кальцийсодержащий препарат «Допинат» и его модификации «Допинат-йод», «Допинат-витамин Д», а также «Карбосил», которые используются в качестве пищевых добавок для обогащения хлебобулочных и других изделий, что позволяет снизить риск заболеваний, обусловленных дефицитом минеральных макро- и микронутриентов. На Хойникском хлебозаводе осуществлен промышленный выпуск хлебобулочных изделий, обогащенных БАД «Допинат», на ОАО «Милковита» осуществлен выпуск сырков обогащенных БАД «Карбосил». В Институте радиобиологии создан опытно-экспериментальный участок по выпуску БАД к пище.

Разработан ряд препаратов из микроорганизмов и грибов, на которые получены авторские свидетельства. Получены данные о высокой эффективности препарата из экстракта базидиального гриба вешенки, обладающего радиосорбционными и коррегирующими свойствами. Препарат разрешен Минздравом России к применению и организован его выпуск.

Разработки Института радиобиологии защищены патентами на изобретения и товарными знаками. Всего получено более 40 патентов. Для совершенствования и актуализации нормативно-методической базы радиационного мониторинга в институте разработано 19 методик выполнения измерений, утвержденных Комитетом по стандартизации и метрологии. Результаты исследований по влиянию малых доз радиации на организм и другие материалы положены в основу Концепции проживания населения на загрязненных территориях, содержащую систему современных научно обоснованных представлений о стратегических направлениях практических действий по совершенствованию условий проживания населения.

Результаты фундаментальных и прикладных исследований представлены в ряде монографий и сборников научных статей. Для обсуждения полученных результатов регулярно проводятся научные конференции и семинары по радиобиологической и радиоэкологической тематике.

В настоящее время основное внимание ученых института сосредоточено на решении следующих задач:

- оценка загрязнения территории Республики Беларусь и отдельных экосистем трансурановыми элементами, естественными радионуклидами;
- разработка новых способов регуляции поступления загрязняющих веществ и радионуклидов в сельскохозяйственные культуры.
- выяснение последствий постоянного хронического облучения ионизирующими и неионизирующими излучениями для потомства и поколений;
- совершенствование, разработка и внедрение новых макро- и микронутриентов, энтеросорбентов и других биодобавок, предназначенных для повышения устойчивости организма (человека и сельскохозяйственных животных) к воздействию неблагоприятных факторов окружающей среды.

ANTIOXIDANT ACTIVITY OF 2-METHYLQUINOLINE-4-THIOL DERIVATIVES
AS A BASIS FOR RADIOPROTECTIVE ACTIVITY

M. M. Kornet, O. A. Brazhko, M. P. Zavgorodnii, V. M. Zavgorodnii, O. O. Brazhko

«Zaporizhzhya National University»
Zaporizhzhya, Ukraine
kornetmarina77@gmail.com

Introduction

There is much evidence of the negative impact of excess FR. They play an important role in the pathogenesis of many diseases, triggering the carcinogenesis [1] and one of the most important factors in the process of biological aging and apoptosis. FR of ROS are superoxide-anion, singlet oxygen, peroxy compounds and toxic hydroxyl-ion [2]. ROS formed by the action of ionizing radiation are the main cause of radiation sickness, so one of the criteria for future radioprotectors is their high antiradical activity [3].

Search for new high-performance and low-toxic bioactive molecules conduct on the basis of natural and synthetic compounds. Various derivatives of quinoline are known as synthons in organic synthesis and effective biologically active compounds. Over the last decade have appeared many publications devoted to the antioxidant properties of various derivatives of quinoline [4].

Study of radioprotective activity and obtaining of statistically reliable data requires a significant amount of animals and time for carrying out such research. So for maximum efficiency of experimental data, it is advisable to conduct virtual screening (PASS forecast) regarding antiradical, antioxidant, membrane protective, radioprotective activities and perform studies of antioxidant, antiradical actions on a few models *in vitro*. The use of pulse voltammetry allows you to make some clarifications in the mechanism of antioxidant action of the investigated compounds and, in addition, conduct concurrent testing of them on antioxidant and antiradical activity for quite a short period of time.

The purpose of this work is the selection for virtual screening of potential antioxidants and radioprotectors among derivatives of *2-methylquinoline-4-thiols*, research their toxicity, AO and determine the prospectiveness of hit-compounds as potential radioprotectors.

Materials and methods

Forecast of antioxidant and radioprotective activity carried out in the mode of on-line by means of a computer program PASS (Prediction of Activity Spectra for Substances) [5].

For screening study of AOA in experiments *in vitro*, a method of evaluation of adrenaline oxidation inhibition is used. It is based on inhibition of physiologically active compounds by ROS. The non-enzymatic oxidation reaction of adrenaline to adrenochrome which happens in an alkaline environment, accompanied by the accumulation of the free anion-radical oxygen $O_2^{\cdot-}$. In biological systems, the speed of the process depends on the activity of the enzyme superoxide dismutase. In a chemical system *in vitro*, this reaction can be used for quantitative estimation of AOA of physiologically active compounds [6].

The method of pulse voltammetry gives an opportunity to generate on electrodes in aqueous environment hydroxyl radicals and other reactive oxygen intermediates. It can be a model of the elementary stages of redox reaction involving oxygen in biological systems [7, 8].

Study of acute toxicity parameters of compounds was carried out in experiments on untreated outbred male mice weight 22 ± 2 g. Substances were injected intraperitoneally. Was determined acute toxicity by using the quick method of determining average effective measures of influence on biological objects according to V. B. Prozorovskim [9].

Results and discussion

According to the results of the virtual PASS forecast and own research among more than a hundred derivatives of 2-methylquinoline-4-thiol, were selected 3 the most promising compounds (KM-9, 33, 51). The likelihood of manifestation of antioxidant, membrane protective and radio-

protective actions for these compounds reaches up to 40–50 % (Table 1) which makes further studies of these compounds very perspective.

It should be noted that the forecast of compounds of membrane protective action which are destroyed first in case of radiation, and the absence of negative effects — high toxicity, terato-, canciro, mutagenicity, and embryotoxicity.

The structure of derivatives of 2-methylquinoline-4-thiol (KM-9, 33, 51) corresponds to «Lipinski's rule», which defines the criteria for predicting bioavailability of any compound based on simple molecular traits (molecular mass, molar refraction, lipophilicity, the number of donors and electron acceptors of hydrogen bond) [10, 11].

Table 1 — Forecast of biological activity of 2-methylquinoline-4-thiols

Code of compound	The total number of descriptors	Biological activity and indicators Pa, Pi			
		free radical scavenger	oxygen scavenger	membrane integrity agonist	radiopro-tector
K-9	48	Pa-0,41 Pi-0,06	Pa-0,42 Pi-0,01	Pa-0,47 Pi-0,01	Pa-0,47 Pi-0,04
K-33	44	Pa-0,47 Pi-0,04	—	Pa-0,47 Pi-0,02	Pa-0,47 Pi-0,04
K-51	40	—	Pa-0,42 Pi-0,1	Pa-0,45 Pi-0,07	Pa-0,39 Pi-0,06

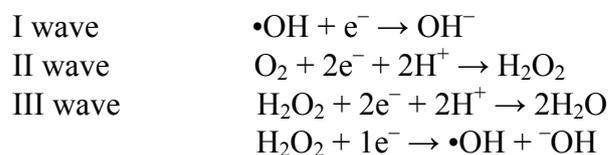
Experiments for the determination of acute toxicity have shown that compounds according to Sidorov's classification belong to low-toxic and non-toxic compounds, their LD₅₀ is in a range from 180 to 1140 mg/kg (table 2). Compounds with laboratory codes KM-9 and KM-33 have a relatively lower toxicity (1140 ± 96 and 357 ± 43 mg/kg, respectively) than cysteamine (250 ± 22 mg/kg), which is used as a standard medication with the original estimate of radioprotective properties of the compounds.

Selected compounds also showed the highest activity among the investigated derivatives of 2-methylquinoline-4-thiol on primary screening models of AOA determination by using the method of evaluation of adrenaline oxidation inhibition (table 2). It should be noted that at lower concentration (25 mmol) these compounds greatly exceed the standard medication — cysteamine.

Table 2 — The results of the previous evaluation of the antioxidant potential and toxicity of derivatives of 2-methylquinoline-4-thiol

Code of compound	AOA*, % (125 mmol)	AOA, % (25 mmol)	LD ₅₀ (mouse, mg/kg)
K-9	29	21	1139 ± 96
K-33	38	33	357 ± 43
K-51	47	42	179 ± 14
Cysteamine	62	15	250 ± 22

More deepening study of the AOA of compounds was conducted by a method of pulse voltammetry allowing to recreate processes that occur as a result of water radiolysis in a case of radiation. In case of copper cathode polarization in pulse mode dI/dE — E-current-voltage curve can select the wave of molecular oxygen (II) at E = -0.6 V, hydrogen peroxide (III) E = -1.1 V and hydroxyl radicals (I) when E = 0.2 V, which are formed in the process of peroxide recovery:



Changes in morphology and quantitative indexes of each of the volt-ampere curve by adding compounds in the background solution allow estimating the nature and degree of the interaction of compounds with oxygen and intermediates of its recovery.

Analyzing the influence of all three compounds on the current-voltage curves, possible to identify the following patterns:

— The first wave, the wave of hydroxyl radicals formation most effectively in a range of concentrations of $0.19\text{--}0.38 \times 10^{-3}$ mol/l influence compound KM-51, at higher concentrations – compounds of KM-9 and KM-33.

— The recovery process of oxygen (second wave) throughout the range of concentrations most effectively facilitates compound KM-51, compound KM-33 has a similar action only in the range of $0.19\text{--}0.38 \times 10^{-3}$ mol/l.

— Compound KM-51 most effectively reduces and III wave (the formation of peroxide), compounds of KM-9 and KM-33 also have antioxidant effects, and they affect the wave almost equally.

Conclusions

1. It is shown that derivatives of 2-methylquinoline-4-thiol KM-9, KM-33 and KM-51 according to Sidorov's classification belong to low-toxic and non-toxic compounds, their LD_{50} is in a range from 180 to 1140 mg/kg.

2. The study found that the compounds on superoxide generation model *in vitro*, show significant antioxidant activity (AOA = 21–47 %) and at low concentrations exceed standard medication — cysteamine. Results of AOA determination by using pulse voltammetry method defined the high activity of the studied compounds, they are referred to preventive antioxidants. Most effectively influenced all the waves of generation of ROS compound KM-51.

3. The results make appropriate research of derivatives of 2-methylquinoline-4-thiol (compounds of KM-9, 33, 51) as potential radioprotectors.

Acknowledgements

Separately want to thank the scientists of the Institute of Bioorganic chemistry and petrochemistry of NAS of Ukraine O. S. Kruglyak and G. S. Shapoval for determination of antiradical activity of compounds using the voltammetry method.

REFERENCES

1. Conjugate: A New Potent Antioxidant which Increases the GSH Level in Various Cell Lines / J. P. Oiry [et al.] // *Bioorganic Medicinal Chemistry Letters*, English. — 2001. — Vol. 11, № 9. — P. 1189–1192.
2. *Меньщикова, Е. Б.* Окислительный стресс. Проксиданты и антиоксиданты / Е. Б. Меньщикова. — М.: Слово, 2006. — 556 с.
3. *Газиев, А. И.* Пореждение ДНК в клетках под действием ионизирующей радиации / А. И. Газиев // *Радиационная биология и радиационная экология*. — 1999. — Т. 39, № 6. — С. 630–638.
4. *Хімія і біологічна активність 2(4)-гіохінолінів та 9-гіоакридинів: монографія / О. А. Бражко [та ін.].* — Запоріжжя: ЗНУ, 2013. — 234 с.
5. Chemical similarity assessment through multilevel neighborhoods of atoms: definition and comparison with the descriptors / D. Filimonov [et al.] // *Journal of chemical information and computer sciences*. — 1999. — Vol. 39, № 4. — P. 666–670.
6. *Методы оценки антиоксидантной активности веществ при иницировании свободно-радикальных процессов в исследованиях in vitro: метод. рекомендации.* — Киев: ДФЦ МОЗ Украины, 2002. — 26 с.
7. Патент 40767 UA, МПК G01 №21/00. Спосіб визначення антиоксидантної активності біологічно активних сполук (БАС) / Г. С. Шаповал, В. П. Громова. — Бюл. № 8.
8. *Експрес-метод оцінки ефективності антиоксидантів, радіопротекторів, Інформаційний лист № 68-2001 МОЗ України.*
9. *Прозоровский, В. Б.* Табличный экспрес-метод определения средних эффективных мер воздействия на биологические объекты / В. Б. Прозоровский // *Токсикологический вестник*. — 1998. — № 1. — С. 28–32.
10. *Токсичність та антиоксидантна активність 4-гіопохідних хіноліну з потенційними радіопротекторними властивостями / М. М. Корнет [та ін.] // Фармакологія та лікарська токсикологія.* — 2011. — № 3. — С. 11–16.
11. *Experimental and computational approaches to estimate solubility and permeability in drug discovery and development settings / C. A. Lipinski [et al.] // Adv. Drug. Del. Rev.* — 1997. — Vol. 23. — P. 3–25.

ANALYSIS OF RADIOACTIVE CESIUM IN PADDY FIELDS APPLIED
WITH EFFECTIVE MICROORGANISMS (EM 1[®]) IN FUKUSHIMA

Shuichi Okumoto¹, Masaki Shintani^{1,2} and Teruo Higa³

¹EM Research Organization, Inc., Okinawa, Japan, sokumoto@emro.co.jp,

²Tokyo Women's Medical University, Tokyo, Japan,

³International EM Technology Center, Meio University, Okinawa, Japan

Introduction

Research on countermeasures against radioactive contamination using EM started at the Institute of Radiobiology in Belarus (IRB) in the second half of the 1990s and it has been reported that application of Effective Microorganisms EM · 1[®] (in the following referred to as EM) increases the yield of agricultural crops and suppresses the transfer of radioactive Cs and Sr from soil to agricultural crops [1–3]. Based on these findings, we are conducting research and investigation on countermeasures against radioactive contamination by using EM in Fukushima Prefecture since 2011. So far, it has been reported that the application of EM and EM fermented compost has the effect of suppressing radioactive Cs transfer to agricultural crops and grasses [4–6]. However, we have not reported on the effects of EM in rice cultivation. We have been studying the radioactive Cs concentrations in brown rice and soil of paddy fields to which EM technology has been applied for several years. In this paper, we report some of the interesting findings obtained from analyzing the accumulated data.

Materials and methods

The two paddy fields that we researched were the long-term EM utilization paddy field (in Koriyama city) that has been using EM for 20 years and the short-term EM utilization paddy field (in Miyakoji town) that started using EM in 2013. We have regularly visited and investigated the long-term EM utilization paddy field since 2011 and the short-term EM utilization paddy field since 2013 after cropping restrictions were canceled. Both paddy fields engage in organic farming using EM, EM fermented compost, EM Bokashi, etc., without using potassium fertilizer such as potassium chloride. Radioactivity concentrations of ¹³⁴Cs and ¹³⁷Cs in the soil were measured using NaI(Tl) scintillation detector and its concentrations in brown rice were measured using a Germanium semiconductor detector. Exchangeable potassium content in the soil was measured only in 2016 using flame photometry.

Results and discussion

In 2011, after the nuclear power plant accident, even though it was said that the ratio of radioactive Cs easily absorbed by plants' roots in soil was high and the radioactive Cs in the soil of the long-term EM utilization paddy field was 3,579 Bq/kg, it was not detected in brown rice (detection limit < 1 Bq/kg). At the long-term EM utilization paddy field, radioactive Cs was not detected except in the brown rice harvested in 2012 (Table 1). At the short-term EM utilization paddy field, radioactive Cs concentrations detected in the brown rice harvested in 2013 and 2014 were 3.2 and 1.0 Bq/kg, respectively. However, it has not been detected since 2015 (Table 1). Radioactive Cs transfer from soil to brown rice at the long-term EM utilization paddy field was only detected in the brown rice harvested in 2012 and the transfer factor was very low at 0.0033. At the short-term EM utilization paddy field, the transfer factors were 0.00182 and 0.00063, respectively and showed a tendency to decline every year (Table 1). Several studies reported the transfer factor of brown rice harvested in 2011 in Fukushima. Kondo *et al.* reported that it was between 0.004 ~ 0.065 [7] and Endo *et al.*'s paper stated that it was between 0.013 ~ 0.017 [8]. The value of the transfer factor of EM grown brown rice was lower than these reported values.

The exchangeable potassium content in the soil immediately after the harvest was 28 mg/100g in the long-term EM utilization paddy field and 21 mg/100g in the short-term EM utilization paddy field (Table 1). In Fukushima Prefecture, as a measure for absorption inhibition,

application of potassium chloride is conducted with the aim of increasing the value of exchangeable potassium content to more than 25 mg/100g. The two researched paddy fields conducting organic farming with EM have not applied chemical fertilizer such as potassium chloride. However, it can be assumed that both paddy fields gained exchangeable potassium through straw residue, EM fermented compost, EM Bokashi, etc. Nikitin *et al.* reported that application of EM and EM Bokashi on the soil reduce the rate of water soluble Cs and ion exchangeable Cs, which are easily absorbed by plants [9]. It could be concluded that the transfer of radioactive Cs was suppressed on the EM utilization paddy fields due to the same mechanisms.

Table 1 — Radioactive Cs concentration in the soil and brown rice harvested from EM applied paddy fields

Paddy (Location)	Year	Variety	Radioactive Cs in brown rice (Bq/kg)	Radioactive Cs in soil (Bq/kg)	Transfer factor (TF)	Exchangeable K in soil (mg/100g)
LT EM paddy (Koriyama city)	2011	Koshihikari	ND	3579	0	—
	2012	Koshihikari	1.0	2992	0.00033	—
	2013	Koshihikari	ND	2250	0	—
	2014	Koshihikari	ND	1957	0	—
	2015	Koshihikari	ND	1279	0	—
	2016	Koshihikari	ND	1025	0	28
ST EM paddy (Miyakoji town)	2013	Hitomebore	3.2	1757	0.00182	—
	2014	Tennotsubu	1.0	1588	0.00063	—
	2015	Tennotsubu	ND	1463	0	—
	2016	Tennotsubu	ND	808	0	21

LT EM paddy — Long-term EM utilization paddy field

ST EM paddy — Short-term EM utilization paddy field

ND — Not detected (detection limit < 1.0 Bq/kg)

Compared with physical decay values, the radioactive Cs concentrations in soil showed a tendency to decrease in the long-term EM utilization paddy field from 2013 and in 2016, it was 47 % lower (Figure1).

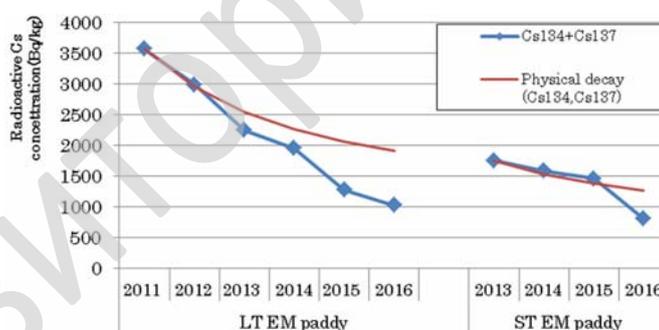


Figure1 — Radioactive Cs concentration in paddy soil using EM:

LT EM paddy — Long-term EM utilization paddy field;

ST EM paddy — Short-term EM utilization paddy field

According to the Fukushima Agricultural Technology Center's survey, the reduction rate of radioactive Cs concentrations on paddy fields for the past 5 years, between 2012 to 2016, was on par with the physical decay rate (around 37 %) or higher. On the other hand, at the long-term EM utilization paddy field, the reduction rate was 1.8 times greater at 66 % (Table 1). We observed reduction of radioactive Cs in soil on previous experiments conducted at pasture land and blueberry farm in Fukushima using EM and EM fermented compost [11, 12]. EM application study conducted at large-scale corn farm by the Institute of Radiobiology of Belarus reported that, EM application did not only increased the corn yield and suppressed the radioactive Cs transfer, but also reduced the concentration of ¹³⁷Cs in soil in proportion to the spray concentration of EM [13]. The reason that radioactive Cs concentrations at the two researched paddy fields reduced more than the physical decay rate is unknown. However, compared to the radioactive Cs concentrations of the adjoining conventional paddy fields, radioactive Cs concen-

trations in the soil of EM utilization paddy fields were more than 60 % lower (Figure 2). Therefore, it can be assumed that activation of soil microorganisms due to EM application has some kind of effect on reduction of radioactive Cs.

Conclusion

Continuous application of EM on rice paddy fields suppresses the radioactive Cs transfer from soil to brown rice. Fukushima Prefecture reported that the five year decay rate of radioactive Cs in the soil of 37 paddy fields was on par with or slightly higher than the physical decay rate. However, the decay rate of the long-term EM utilization paddy field for the same period was 1.8 times greater than the physical decay rate. These results suggest that using EM for soil improvement enhance the reduction of radioactive Cs in soil.

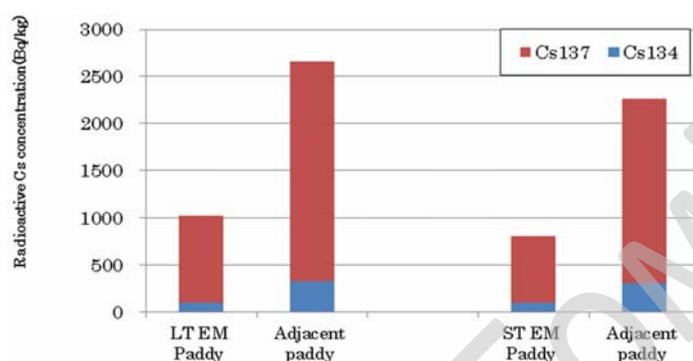


Figure 2 — Comparison of radioactive Cs concentration between paddy using EM and its adjacent paddy in 2016:

LT EM Paddy — Long-term EM utilization paddy field;

ST EM Paddy — Short-term EM utilization paddy field

REFERENCES

- Using microbiological preparations for reducing the transfer of ^{137}Cs and ^{90}Sr in lettuce and carrot / N. V. Shamal [et al.] // Collection of scientific papers «Vegetable farming». — 2010. — Vol. 18. — P. 361–367.
- Shamal, N. V. Effect of microbial preparation EM-1 Konkur on the accumulation of ^{137}Cs and ^{90}Sr by vegetable / N. V. Shamal, M. N. Zakharenka // In: Proceedings of the International Scientific Conference «Radiation and Chernobyl: Science and Practice». — 2011. — 231p.
- Effect of EM-preparation on accumulation of ^{137}Cs and productivity of corn / V. P. Zhdanovich [et al.] // Proceedings of the International Scientific Conference «Radiation and Environment and Technosphere». — 2013. — 64 p.
- Safe food production in Fukushima by applying technology of effective microorganisms (EM) / Shintani [et al.] // In: Proceedings of International Scientific Conference «Low Doses». — Gomel, 2013. — P. 165–166.
- Studies on the suppressive effect on and the relevant mechanism of the transfer of radioactive materials into crops through soil improvement by EM (Effective Microorganisms) / Shintani [et al.] // In: Proceedings of 2^{do} Conference for remediation of radioactive contamination in the environment. — Tokyo, 2013. — 131 p.
- Influence on the suppression of transfer of radioactive cesium from soil to grass using cow manure compost and its effluent fermented by Effective MicroorganismsTM / Okumoto [et al.] // In: Proceedings of International Scientific Conference «Radiobiology: <<MAYAK>>, Chernobyl, Fukushima». — Gomel, 2013. — P. 167–170.
- Exchangeable Cs/K ratio in soil is an index to estimate accumulation of radioactive and stable Cs in rice plant / Kondo [et al.] // Soil Science and Plant Nutrition. — 2015. — Vol. 61. — P. 133–143.
- Paddy-field contamination with ^{134}Cs and ^{137}Cs due to Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident and soil-to-rice transfer coefficients / Endo [et al.] // Journal of Environmental radioactivity. — 2015. — Vol. 116. — P. 59–64.
- Effect of Microbiological factor on redistribution of ^{137}Cs by physicochemical forms / Nikitin [et al.] // In: Proceedings of the International Scientific Conference «Radiation and Environment and Technosphere». — Gomel, 2013. — P. 113–115.
- Fukushima Agricultural Technology Center. Five years transition of radioactive cesium concentration and radiation dose rate in the soil of paddy and upland fields. Technical Report of Fukushima Agricultural Technology Center for 2016.
- Application of Effective MicroorganismsTM (EM) technology contributes to the reconstruction of a cycle based dairy farm in Fukushima (A case study) / Okumoto [et al.] // In: Proceedings of the International Scientific Conference «Radiobiology: man-made radiation». — Gomel, 2014. — 153 p.
- Shintani, M. A trial to bioremediate radioactively contaminated farm lands in Fukushima by using Effective Microorganisms / M. Shintani, S. Okumoto // International Scientific Conference «Radiation and Chernobyl: Science and Practice», held at Institute of Radiobiology of NAS of Belarus, Gomel, Republic of Belarus. 13–14 October 2011. — Gomel, 2011.
- Nikitin, A. Assessment of activated EM-1 and bokashi as a measure to decrease accumulation of ^{137}Cs and ^{90}Sr in crops / A. Nikitin // In: Proceedings of the EM Environmental Forum (Case study collection of Disaster Reconstruction Support Project 2014). Fukushima, Japan (in Japanese). — Gomel, 2014.

УДК 546.36:614.771(476)

МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА ПАРАМЕТРОВ ВЕРТИКАЛЬНОЙ МИГРАЦИИ ЦЕЗИЯ-137 В ТИПИЧНЫХ ПОЧВАХ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Ж. В. Бакарикова, О. М. Жукова, М. Г. Герменчук, В. Л. Самсонов

Государственное учреждение
«Республиканский центр по гидрометеорологии,
контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды»
г. Минск, Республика Беларусь
bzv@rad.org.by

Введение

Как известно, основными способами вертикальной миграции радионуклидов являются два механизма — диффузия, непосредственно вызывающая перемещение не только находящихся в растворе, но и адсорбированных ионов, и конвективный перенос радионуклидов вглубь почвы с потоком влаги. В результате конвективного переноса происходит смещение максимума концентрации радионуклида вглубь почвы, а диффузия вызывает расширение зоны его нахождения радионуклида с одновременным уменьшением максимума его концентрации.

Материал и методы

Многолетние наблюдения за процессами вертикальной миграции радионуклидов чернобыльского происхождения проводятся на сети ландшафтно-геохимических полигонов (ЛГХП) Гидромета. ЛГХП заложены в типичных ландшафтно-геохимических условиях в зонах с различными уровнями радиоактивного загрязнения.

Послойный отбор проб на ЛГХП осуществлялся на глубину 30 см с шагом 1 см. Измерения содержания цезия-137 в отобранных пробах почвы проводились на полупроводниковых гамма-спектрометрах.

Результаты исследования и их обсуждение

В первые годы после аварии на ЧАЭС скорость вертикальной миграции обуславливалась в основном двумя механизмами — диффузией и конвективным переносом радионуклидов вглубь почвы с потоком влаги, причем именно конвективный перенос определял глубину проникновения радионуклидов, т.е. глубину, на которую промигрировало более 1 % от общего запаса радионуклида в 30-см слое почвы.

В докладе представлены результаты исследований процессов вертикальной миграции цезия-137 на 4-х типах почв (дерново-подзолистая песчаная, дерново-подзолистая песчаная с признаками избыточного увлажнения, дерново-перегнойно-торфянисто-глеевая, аллювиальная торфяно-глеевая) за период 1993–2016 гг.

Анализ динамики параметров вертикальной миграции цезия-137 показывает, что процесс заглубления радионуклидов в дерново-подзолистой песчаной почве идет очень медленно, даже спустя 30 лет после чернобыльской аварии основной запас цезия-137 (более 90 %) сосредоточен в верхнем 5 см слое почвы. Глубина проникновения, т.е. глубина, на которую промигрировало более 1 % радионуклида от его содержания в 30-см слое почвы, достигла 11 см.

Процессы миграции цезия-137 вглубь дерново-подзолистой песчаной с признаками избыточного увлажнения почвы протекают гораздо интенсивнее, чем в дерново-подзолистой автоморфной почве. К 2016 г. в верхнем 5-см слое почвы осталось около 60 % от общего запаса радионуклида, в верхнем 10-см слое — около 80 %. Глубина проникновения достигла 17 см.

Глубина проникновения радионуклида в дерново-подзолистой перегнойно-торфянисто-глеевой почве составляет 15 см, что соизмеримо с глубиной проникновения цезия-137 в дерново-подзолистой избыточно увлажненной почве, однако распределение радионуклида по профилю существенно отличается: в верхнем 5-см слое почвы находится 70 % от его общего запаса, в верхнем 10-см слое — 86 %.

Глубина проникновения цезия-137 в аллювиальной торфяно-глеевой почве достигла 17 см, что соизмеримо с глубиной проникновения этого радионуклида как в дерново-подзолистой песчаной с признаками избыточного увлажнения почвы, так и в дерново-

подзолистой перегнойно-торфянисто-глеевой. Что касается фактического распределения радионуклидов по профилю почвы, то она практически совпадает с распределением в дерново-подзолистой перегнойно-торфянисто-глеевой почве: в верхнем 5-см слое почвы находится около 67 % от общего запаса радионуклида, в верхнем 10-см слое — 84 %.

Обработка результатов многолетних наблюдений за процессами вертикальной миграции радионуклидов чернобыльского происхождения, полученных на сети ЛГХП, и расчет количественных параметров вертикальной миграции производился с использованием квази-диффузионной модели (КДМ) [1]. Тестирование КДМ на фактических данных 1996 года свидетельствовало о том, что модель адекватно описывала процессы миграции [2].

С помощью КДМ были рассчитаны следующие количественные параметры вертикальной миграции радионуклидов по профилю почв:

- Коэффициент квазидиффузии, $D_{sr}, \times 10^{-7} \text{ см}^2/\text{с}$;
- Глубина среднего смещения, $x_{sr}, \text{ см}$;
- Линейная скорость смещения, $V, \text{ см/год}$

На графике, представленном на рисунке 1, отчетливо прослеживается тенденция снижения линейной скорости миграции цезия-137 вплоть до 2004–2005 гг., далее эта величина практически не изменяется, хотя наблюдаются небольшие флуктуации как в сторону увеличения, так и в сторону уменьшения.



Рисунок 1 — Динамика линейной скорости миграции цезия-137, V , см/год, по профилю различных типов почв

В настоящее время в почвах различного генезиса и степени увлажненности линейная скорость миграции ^{137}Cs приблизительно сравнялась и составляет 0,20–0,35 см/год, хотя в первое десятилетие после аварии она значительно варьировалась: для дерново-подзолистых почв различного гранулометрического состава эта величина составляла менее 0,4 см/год, для дерново-подзолистых песчаных и супесчаных с признаками избыточного увлажнения — 0,4–0,7 см/год, для дерново-подзолистых глееватых и глеевых — 0,7–1,2 см/год.



Рисунок 2 — Динамика величины среднего смещения ^{137}Cs по профилю почв

ЛИТЕРАТУРА

1. Прохоров, В. М. Миграция радиоактивных загрязнений в почвах / В. М. Прохоров. — М.: Энергоиздат, 1982.
2. Dynamics of radiation situation on the territory of Belarus and migration of radionuclides in different types of soils after Chernobyl catastrophe / E. Shagalova [et al.] // J. of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. — 2000. — Vol. 246, № 3. — P. 521–525.

УДК 576.316.35

ОСОБЕННОСТИ ГИГАНТСКИХ ХРОМОСОМ *CHIRONOMUS BALATONICUS* DEVAL, WÜLKER, SCHOLL, 1983 (DIPTERA, CHIRONOMIDAE) ИЗ ОЗЕРА ЗАВОДСКОЕ КЛИМОВСКОГО РАЙОНА БРЯНСКОЙ ОБЛАСТИ

С. И. Белянина

**Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Саратовский государственный медицинский университет имени В. И. Разумовского»
г. Саратов, Российская Федерация
microtus43@mail.ru**

Введение

После чернобыльской аварии необходима оценка долговременного действия радиации на генофонды популяций организмов, обитающих на загрязненных радиоактивным выбросом территориях. Хорошим объектом для этой оценки являются хирономиды, личинки которых обладают гигантскими хромосомами в клетках слюнных желез. Исследование кариотипа одного из широко распространенных видов хирономид — *Chironomus balatonicus* из водоема-охладителя Чернобыльской атомной станции в течение трех лет после аварии [1] показало изменение у этого вида генетического материала разного типа. Кариотип *Ch. balatonicus* до аварии в Чернобыле был изучен из разных российских популяций [3, 4, 5].

В Брянской области Климовский район, один из затронутых чернобыльским следом, находится сравнительно близко от чернобыльской зоны — на расстоянии примерно более 200 км.

Цель

Изучение особенностей хромосомного комплекса *Ch. balatonicus* из озера Заводское Климовского района Брянской области в 2016 г. и сравнение кариофонда этой популяции с кариофондом чернобыльской популяции *Ch. balatonicus*, изученной Н. А. Петровой [1, 2] в течение 3-х лет после аварии.

Материал и методы

Личинки *Ch. balatonicus* собраны 19 декабря 2016 г. в озере Заводское Климовского района Брянской области (водоем находится вблизи ряда озер Гомельской области Белоруссии. В пробе встречены в очень небольшом количестве личинки другого вида — *Ch. plumosus*. Личинок фиксировали на месте сбора в спирт-уксусной смеси (3:1). В лабораторных условиях готовили давленные, окрашенные ацетоорсеином, препараты гигантских хромосом из клеток слюнных желез личинок. Изучены кариотипы 53 особей. Порядки дисков в хромосомах и состав перестроек в них сравнивали с данными Н. А. Петровой [1] по кариофонду этого вида из чернобыльской зоны. При исследовании хромосом учитывали степень их фенотипической изменчивости — состояние дисковой структуры, степень компактности дисков, морфологию предтеломерных районов. Отмечали функциональное состояние таких локусов хромосом, как кольцо Бальбиани в плече В хромосомы I, ядрышкообразный организатор и два кольца Бальбиани в хромосоме IV; регистрировали появление спонтанных пухов, не характерных для генома этого вида, а также отмечали долю В-хромосом и частоты различного рода хромосомных перестроек в кариотипах.

Результаты исследования и их обсуждение

В целом дисковая структура хромосом четкая, но встречались кариотипы с плохо окрашенными, растянутыми хромосомами. Обнаружены две особи с пунктирной структурой хромосом, носящей мозаичный характер в клетках слюнной железы. Теломерные районы у части личинок с гранулярной структурой, но у большинства особей они разрыхлены с образованием

гетерохроматиновых фрагментов. Характерны одновременные теломерные контакты двух и даже трех разных хромосом. Ядрышковый организатор и кольца Бальбиани в хромосоме IV всегда активны, при этом в хромосоме IV в районе ядрышка иногда наблюдался выброс мелких гетерохроматиновых фрагментов (возможно в результате поломки центромерного участка). Кольцо Бальбиани в плече В хромосомы I полностью репрессировано. У части личинок кольцо Бальбиани в хромосоме IV гетерозиготно и это явление носило мозаичный характер в пределах клеток слюнной железы. Единичные спонтанные гетерозиготные пuffs (эктопическая генная экспрессия в одном из гомологов хромосом) отмечены в длинных хромосомах — в плечах А, С и Е. По данным Н. А. Петровой [1] в чернобыльской популяции *Ch. balatonicus* гетерозиготность по puffам и дискам достигала 50 %.

В кариофонде климовской популяции 100 % уровень гетерозиготности по инверсиям. Зарегистрировано шесть типов, гетерозиготных парацентрических инверсий: A12 (частота 35,9 %), C12 (28,7 %), D25 (1,8 %), D12 (71,7 %), D15 (7,2 %), G12 (22,6 %). Эти же типы инверсий найдены и Н.А. Петровой [1] в чернобыльской выборке *Ch. balatonicus*. Перипцентрическая гетерозиготная инверсия в хромосоме I в климовской популяции отмечена нами с частотой 34 %. Эта перестройка редко встречалась в популяциях *Ch. balatonicus* до 1986 г. [3]. В чернобыльской популяции [1] частота этой инверсии, в которой поражен жизненно важный участок — центромера — колебалась от 3,6 до 27,3 %. Высокая частота встречаемости перипцентрических инверсий (до 33 %) наблюдалась у малярийного комара после облучения рентгеновскими лучами [6]. Среднее число инверсий на особь у *Ch. balatonicus* из изученной нами популяции из Климова более двух. До аварии на чернобыльской станции число инверсий в других популяциях от 0 до 1,58 [4, 5]. У личинки с инверсией D25 обнаружен активный район, неизвестный в этой хромосоме в других порядках ее дисков. Считается [5], что это дополнительный ядрышковый организатор в геноме этого вида, неизвестный при других последовательностях дисков в плече D хромосомы II. В хромосомах I, III, и IV с небольшой частотой найдены структурно малые изменения в разных отделах, имеющие мозаичный характер (встречаются не во всех клетках слюнной железы). Эти изменения могут быть связаны с перестройками одного-нескольких дисков в разных отделах хромосом. В IV и II хромосомах встречались единичные нехватки дисков, в хромосоме II — потеря части теломерного района. В разных хромосомах отмечалось появление спонтанных puffов (эктопическая генная экспрессия) как в гомо-, так и гетерозиготном состояниях.

В кариотипах *Ch. balatonicus* из Климова отмечена высокая частота встречаемости (более 18 %) В-хромосом. В-хромосома была всегда представлена в виде бесструктурной сети из гетерохроматиновых точковых фрагментов, которая часто контактировала с центромерой хромосомы IV. В популяциях этого вида, исследованных нами до 1986 г. [3] В-хромосомы не встречались. В сибирских популяциях [5] частота В-хромосом колебалась от 0,9 до 4,2 %. У *Ch. balatonicus* в зоне Чернобыля после аварии [1] В-хромосомы отмечены с невысокой частотой — от 2 до 5 %. Появление В-хромосом у *Chironomus* связывалось [7] с поломками в околоцентромерном районе хромосомы IV, возникавшими, вероятно, в ходе мейоза. Наличие В-хромосом у растений и животных неблагоприятно влияет на приспособленность организмов [8] и служит сокращению численности вида при высокой плотности популяции. В популяциях мышей в регионе Телецкого озера, загрязненного от падения космических ракет с остатками топлива, наблюдался трехкратный рост числа В-хромосом за 1980–2002 гг. [9].

Заключение

Для популяции *Ch. balatonicus* из Климова (более 200 км от Чернобыля) Брянской области, исследованной в декабре 2016 года, характерен высокий уровень хромосомного полиморфизма, выражающегося в наличии в кариофонде шести типов гетерозиготных парацентрических и одного типа перипцентрической инверсий, высокой частоте В-хромосом в кариотипах, присутствии структурно малых изменений в разных отделах хромосом и появлении в разных хромосомах puffов *de novo*, как в гомо- так и гетерозиготным состояниях. Высокий уровень хромосомного полиморфизма позволяет, вероятно, существовать популяции *Ch. balatonicus* в затронутым чернобыльским следом районе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Петрова, Н. А. Реорганизация политенных хромосом личинок хирономид (Diptera, Chironomidae) и их реакция на мутагенное загрязнение окружающей среды (Чернобыльская катастрофа) / Н. А. Петрова. — РАН, Зоологический институт. — СПб., 2013. — С. 1–96.
2. Петрова, Н. А. Трехлетнее цитологическое исследование *Chironomus balatonicus* из зоны Чернобыля (1987–1989) / Н. А. Петрова, П. В. Михайлова // В кн.: Экология, эволюция и систематика хирономид. — Тольятти, Борок: ИБВВ и ИЭВБ РАН, 1996. — С. 18–22.
3. Белянина, С. И. Кадастр порядков дисков в политенных хромосомах видов *Chironomus* группы *plumosus*. I. Кариофонд *Chironomus balatonicus* / С. И. Белянина, Н. В. Логинова // Цитология. — 1993. — Т. 35, № 4. — С. 87–92.
4. Гундерина, Л. И. Дифференциация цитогенетической структуры природных популяций видов-двойников группы *plumosus* / Л. И. Гундерина, И. И. Кикнадзе, В. В. Голыгина // Генетика. — 1999. — Т. 35, № 5. — С. 606–614.
5. Karyotypes of Palearctic and Holarctic species of the genus *Chironomus* [Electronic resource] / I. Kiknadze [et al.]. — Novosibirsk: Academic Publishing House «GEO», 2016. — 489 p.
6. Плешкова, Г. Н. Типы, частота и межхромосомное распределение радиационно-индуцированных хромосомных перестроек у малярийного комара *Anopheles messeae* / Г. Н. Плешкова, Н. Г. Плевако // Цитология. — 1982. — Т. 24, № 2. — С. 469–476.
7. Keyl, H.-G. В-chromosome bei *Chironomus* / H.-G. Keyl, K. Hagele // Chromosoma. — 1971. — Vol. 35. — P. 402–408.
8. Иванов, Ю. Н. В-хромосомы и программа исследования их действия в регуляции плотности популяции вида / Ю. Н. Иванов // Хромосома: матер. междунар. конф. — Новосибирск, 2012. — С. 100–102.
9. Борисов, Ю. М. Метапопуляционные системы А- и В-хромосом мелких млекопитающих в пространстве и времени / Ю. М. Борисов // Хромосома: матер. междунар. конф. — Новосибирск, 2012. — С. 56–57.

УДК 613.3:614.876

ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ ПИТАНИЕ КАК СПОСОБ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ НАСЕЛЕНИЯ, ПРОЖИВАЮЩЕГО НА РАДИОАКТИВНО ЗАГРЯЗНЕННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ

В. Н. Бортновский

Учреждение образования
«Гомельский государственный медицинский университет»
г. Гомель, Республика Беларусь
kafog2@mail.ru

Существенное отрицательное влияние на здоровье людей, проживающих на радиоактивно загрязненных территориях (РЗТ), оказывают факторы как радиационной, так и нерадиационной природы, различающиеся по происхождению, характеру и интенсивности воздействия [1].

Часть факторов существовали на загрязненных территориях и ранее, в доаварийный период, причем их характер, интенсивность и значимость после аварии не претерпели существенных изменений. Среди них важнейшими являются антропогенное химическое загрязнение окружающей среды и ряд других. На территории Республики Беларусь выделяют ряд зон, характеризующихся по разным причинам острой экологической ситуацией. В их числе – зона влияния аварии на ЧАЭС.

Изменения, обнаруживаемые в состоянии здоровья населения, проживающего на РЗТ, имеют неспецифический применительно к источникам ионизирующих излучений (ИИ) характер. Коррекция этих нарушений должна быть комплексной [2].

Одно из важных направлений экологической защиты населения, проживающего на РЗТ, — массовая алиментарная профилактика последствий облучения, рассчитанная на длительную защиту населения в условиях обширного радиоактивного загрязнения окружающей среды.

Какая научная основа питания при воздействии ИИ следует иметь в виду, что они должны соответствовать современным требованиям к функциональному питанию. Функциональное питание объединяет продукты естественного или искусственного происхождения, которые предназначены для систематического ежедневного употребления и оказывают регулирующее действие на физиологические функции, биохимические реакции и психосоциальное поведение человека через нормализацию его микробиологического статуса [3]. К основным классам продуктов функционального питания относятся пробиотические микроорганизмы, аминокислоты, олигосахариды, минералы, растительные волокна, полиненасыщенные жирные кислоты, витамины, антиоксиданты и др.

Алиментарные средства различны по механизму действия и обеспечивают, в частности: снижение риска канцерогенеза на единицу дозы при уже имевшем место или продолжающемся облучении; снижение дозовых нагрузок внутреннего облучения путем уменьшения резорбции в желудочно-кишечном тракте и ускорение выведения радионуклидов, поступивших внутрь организма с пищей и водой.

Уменьшение всасывания радионуклидов в желудочно-кишечном тракте может происходить как за счет изотопного обмена (обогащение диеты стабильным аналогом или близким по свойствам химическим элементом, например, обогащение диеты кальцием для защиты от радиоактивного стронция), так и последующей элиминации поглощенных радионуклидов из организма путем назначения соответствующих веществ и соединений, обладающих сорбционными свойствами (альгинаты, пектины, ферроцин и т. п.).

Говоря о снижении всасываемости радионуклидов за счет сорбции необходимо учитывать ее сопряженность с опасностью выведения из организма жизненно важных эссенциальных микронутриентов. Радиопротекторное питание на фоне сопутствующего комплексного поступления в организм тяжелых металлов, пестицидов и других ксенобиотиков должно соответствовать основным положениям концепции функционального питания [4]. Радиопротекторный эффект нутриентов проявляется на разных уровнях метаболизма, что обусловлено существованием дифференцированных пусковых механизмов. Согласно точке зрения авторов, первый механизм радиозащиты формируется на уровне системы пищеварения, где могут связываться радионуклиды; второй — на субклеточном и клеточном уровнях; третий — направлен на ликвидацию или уменьшение свободнорадикального окисления; четвертый — предусматривает с помощью нутриентов раннее формирование комплекса антиканцерогенной защиты; пятый — обеспечивает уменьшение выраженности мутагенных эффектов в половых клетках. При составлении рационов лечебно-профилактического радиопротекторного питания следует учитывать следующие направления их биологического действия: устранение метаболических нарушений, нормализации иммунного статуса, выведение радионуклидов и прочих токсических веществ из организма, радиопротекторное действие.

Современная концепция радиопротекторного питания обуславливает необходимость внесения изменений в рацион относительно потребления белков, жиров и углеводов. Следует указать на необходимость достаточной обеспеченности организма полноценными белками — источниками незаменимых, в том числе серосодержащих аминокислот. Последние являются носителями сульфгидрильных групп, которые легче окисляются активными радикалами.

Важным принципом организации радиопротекторного питания является адекватность его минерального компонента. При этом особое внимание должно уделяться нормализации обмена кальция, магния, фосфора, йода, селена, цинка, железа и меди. Установлены протекторные свойства кальция в отношении не только цезия, но и других ксенобиотиков, в частности свинца. Обогащение рациона биодоступным кальцием способствует неспецифической стимуляции адаптационных систем организма, снижению степени неблагоприятного воздействия и вместе с тем частоты и тяжести метаболических нарушений, обуславливающих наследственную и неопластическую патологию [5].

Радиопротекторный рацион должен удовлетворять суточную потребность в минеральных веществах, базирующуюся на общепринятых нормах. Дополнительное потребление микроэлементов, участвующих в процессах кроветворения (железо, медь, марганец, ко-

бальт), как и ряд витаминов, является крайне необходимым для предупреждения широко распространенной, особенно среди детей и женщин, железодефицитной анемии. Кроме того, следует иметь в виду, что нарушение питания детей, проживающих на радиоактивно загрязненных территориях, носит стойкий и длительный характер, являясь одним из факторов риска, снижающих устойчивость их к воздействию малых доз ионизирующего излучения и стресса. Согласно основным принципам составления рациона для населения, подвергнувшегося воздействию экологических риск-факторов вследствие аварии на ЧАЭС, особое внимание должно уделяться алиментарному поступлению пектинов, растительных фенолов, полисахаридов, альгиновой кислоте.

Жизнедеятельность человека на РЗТ закономерно сопровождается адаптивной перестройкой защитных функций и снижением резистентности организма. Не вызывает сомнения практическая важность разработки мер по управлению адаптационным процессом в условиях радиоэкологического неблагополучия и повышения радиорезистентности организма.

Существенное значение для ускорения процесса адаптации и повышения радиорезистентности организма играет достаточная витаминная обеспеченность. Занимая ключевые позиции в клеточном и тканевом метаболизме, витамины оказывают влияние на все важнейшие функции организма [6].

В поисках новых средств активизации процессов реституции и рациональной коррекции функционального состояния организма учащейся молодежи, проживающей в условиях радиоэкологического неблагополучия, мы остановились на витаминном комплексе «Витусйод», в состав которого входят 11 витаминов и йод.

Было обследовано 68 лиц в возрасте 19–23 лет в осенне-зимний период. Калорийность рациона питания обследуемых была адекватна энерготратам организма обследуемых. Опытная группа, состоявшая из 20 человек, систематически на протяжении 2 месяцев дополнительно получала ежедневно ретинола ацетата 3000 МЕ, токоферола — 10 мг, тиамин бромид — 2 мг, рибофлавина — 2 мг, пантогената кальция — 10 мг, цианкобаламина — 5 мкг, фолиевой кислоты — 75 мг, йода — 0,1 мг. Контрольная группа (48 человек) получала плацебо. Исследование проводилось до начала приема витаминного комплекса и после завершения курса дополнительной витаминизации.

Установлено, что неспецифическая резистентность организму лиц, получавших дополнительную витаминизацию, становится существенно выше, по сравнению с контрольной группой. Среди защитных механизмов активизируемых дополнительным приемом витаминов, наибольшую выраженность имеют изменения клеточных факторов неспецифической защиты. Их активизация происходит как за счет нарастания интенсивности фагоцитоза, так и нормализации защитных функций крови. Наиболее выраженные положительные сдвиги происходили в таких показателях резистентности, как интенсивность фагоцитоза и эффективность внутриклеточного переваривания, значения которых превышали данные контроля соответственно на 75,1 и 27,6 %.

Результаты индивидуального анализа течения адаптационного процесса, проведенного на основе прогностических критериев, разработанных В. С. Новиковым и В. Н. Бортновским [7], также свидетельствуют о благоприятном влиянии витаминного комплекса «Витусйод» на неспецифические механизмы адаптации обследуемых. При дополнительной витаминизации течение адаптационного процесса у всех обследуемых было удовлетворительным, а явлений дезадаптации, преморбидных состояний и заболеваний не отмечалось. В то же время у 17 человек контрольной группы регистрировалось неудовлетворительное течение адаптации, а у 12 лиц развились заболевания инфекционно-воспалительного генеза.

Приведенные данные имеют значение для обоснования рациональной системы повышения сниженной неспецифической резистентности организма в условиях постоянного проживания населения на РЗТ.

Резюмируя изложенное, следует сделать вывод о том, что функциональное питание является важным направлением профилактики экзависимых состояний и заболеваний. Однако в Республике Беларусь оно не носит системного характера и не закреплено в законодательной базе, что не позволяет осуществлять его развитие на государственном уровне.

ЛИТЕРАТУРА

1. Радиационная безопасность и здоровье населения : монография / В. С. Новиков [и др.]. — СПб.: Профессионал; Гомель, 2014. — 264 с.
2. Бортновский, В. Н. Пути и способы повышения радиорезистентности организма участников ликвидации последствий крупномасштабных радиационных аварий / В. Н. Бортновский // Чернобыль: 30 лет спустя: материалы междунар. науч. конф. Гомель, 21–22 апр. 2016. — Гомель: Ин-т радиологии, 2016. — С. 34–37.
3. Шендеров, Б. А. Медицинская микробная экология и функциональное питание: в 3 т. / Б. А. Шендеров. — М.: Грантъ, 1998. — Т. III: Пробиотики и функциональное питание. — 288 с.
4. Новиков, В. С. Физиолого-гигиенические основы функционального питания человека при длительном воздействии ионизирующих излучений / В. С. Новиков, В. Н. Бортновский // Вестник образования и развития науки Российской академии естественных наук. — 2016. — № 4. — С. 81–87.
5. Бортновский, В. Н. Влияние пищевой смеси «Амивис» на процессы реституции у подводников после длительных походов / В. Н. Бортновский, И. А. Погорелов // Морской медицинский журнал. — 1994. — Т. 2, № 1. — С. 19–21.
6. Новиков, В. С. Влияние различных доз некоторых витаминов на неспецифические механизмы адаптации человека / В. С. Новиков, В. Н. Бортновский // Физиология человека. — 1985. — Т. 11, № 1. — С. 134–137.
7. Новиков, В. С. Способ определения состояния адаптационного процесса / В. С. Новиков, В. Н. Бортновский // Авторское свидетельство 1377735 СССР, А1, 1986, Бюллетень изобретений № 8.

УДК [616.15 + 616.6]-092.9:[621.395.721.5:537.531]

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОТЕКТОРНЫХ СВОЙСТВ АЦЕТИЛ-L-КАРНИТИНА НА ПОКАЗАТЕЛИ КРОВИ И РЕПРОДУКТИВНОЙ СИСТЕМЫ КРЫС-САМЦОВ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ ОТ МОБИЛЬНОГО ТЕЛЕФОНА (1745 МГц)

Г. Г. Верещако, Н. В. Чуешова, Г. А. Горох, А. Е. Козлов, Е. В. Цуканова, М. А. Бакиаева

Государственное научное учреждение
«Институт радиобиологии Национальной академии наук Беларуси»
г. Гомель, Республика Беларусь
natalya-chueshova@tut.by

Введение

Электромагнитное излучение, создаваемое мобильными телефонами (МТ), несмотря на низкую интенсивность, способно вызывать биологические эффекты в организме. В связи с этим возникает обоснованное беспокойство по поводу его безопасности для здоровья человека. Неблагоприятные эффекты излучения МТ проявляются на ЦНС, крови, репродуктивной системе [1, 2]. Опасность этого облучения для человека выдвигает необходимость поиска защитных средств, позволяющих предотвратить неблагоприятное влияние этого воздействия. В связи с этим представляет интерес изучить в условиях облучения свойства ацетил-L-карнитина, применяемого для нормализации функционального состояния организма [3].

Цель

Исследовать протекторные свойства ацетил-L-карнитина на некоторые гематологические показатели и репродуктивной системы крыс-самцов, подвергнутых электромагнитному воздействию от мобильного телефона (1745 МГц, ППЭ 0,2–20 мкВт/см², 8 час/день) в течение месяца.

Материал и методы исследования

Опыты проводили на белых крысах линии Вистар (исходный возраст 52–54 дня, масса 174,38 ± 1,19, всего 48 животных), которые были разделены на 3 группы: 1-я группа — контроль; 2-я группа — животные, которых подвергали электромагнитной экспозиции от МТ (1745 МГц, ежедневно, 8 час/день, на протяжении 30 дней); 3-я группа — животные, подвергнутые электромагнитному воздействию от МТ, как описано выше, и получавшие ацетил-L-карнитин (7 мкг/кг, через день, 30 дней).

Электромагнитную экспозицию крыс (1745 МГц, в режиме имитации разговора) осуществляли с помощью экспериментальной установки, как описано ранее [4]. Во время облучения осуществлялся дистанционный контроль наличия ЭМП, плотность потока энергии которого измерялась и она находилась в пределах 0,2–20,0 мкВт/см².

После декапитации у животных собирали кровь, в которой на гемоанализаторе Celltac MEK-63-18 J/K (Япония) определяли число лейкоцитов, лимфоцитов, моноцитов, гранулоцитов. Выделяли органы репродуктивной системы. В суспензии ткани семенника методом проточной цитометрии (Cytomics FC 500, Beckman Coulter, США) оценивали состав клеточных популяций сперматогенных клеток (по содержанию ДНК): сперматогонии (2С), прелептотенные сперматоциты (сперматоциты в S-фазе), сперматоциты I порядка (4С), круглые (1С), удлинённые (НС1) и продолговатые сперматиды (НС2) [5]. Из эпидидимиса выделяли сперматозоиды, количество которых подсчитывали, определяли их жизнеспособность, индекс DFI (фрагментация ДНК), число апоптотических и некротических клеток и содержание фруктозы в семенных пузырьках [4, 5].

Для обработки и статистического анализа полученных данных применяли пакеты программ «Statistica» 10.0 (StatSoft, Inc., USA), Excel и GraphPad Prism 5. В качестве критерия однородности применялся однофакторный дисперсионный анализ (one-way ANOVA). Для сравнения дисперсионных комплексов использовали критерий Тьюки (Tukey's test). Различия считали достоверными при $p < 0,05$.

Результаты исследования и их обсуждение

Электромагнитное воздействие от МТ (1745 МГц) на 1-е сут после ее прекращения вызывает достоверно выраженную лейкопению, обусловленную падением количества лимфоцитов и моноцитов, однако число гранулоцитов при этом повышается (таблица 1). На 30-е сут умеренная лейкопения сохраняется за счет сниженного числа лимфоцитов при сохраняющемся повышенном количестве моноцитов и гранулоцитов. Введение ацетил-L-карнитина нормализует количество лейкоцитов в крови облученных животных, а в отношении лимфоцитов эффекты препарата носят неоднозначный характер.

Таблица 1 — Изменение показателей крови крыс-самцов на 1-е и 30-е сутки после электромагнитного воздействия от мобильного телефона (1745 МГц, 4 час/день, 1 месяц) и при введении ацетил-L-карнитина (7 мг/кг, через день в течение месяца)

Группы животных	Лейкоциты ($N \times 10^9/л$)	Лимфоциты ($N \times 10^9/л$)	Моноциты ($N \times 10^9/л$)	Гранулоциты ($N \times 10^9/л$)
1-е сутки				
Контроль	11,46 ± 0,47	7,32 ± 0,33	1,74 ± 0,09	2,88 ± 0,40
ЭМИ	9,56 ± 0,32*	6,32 ± 0,31*	1,92 ± 0,18*	3,67 ± 0,32
ЭМИ + ALCAR	10,36 ± 0,83	5,67 ± 0,78*	2,03 ± 0,11*	3,19 ± 0,67
30-е сутки				
Контроль	11,20 ± 0,44	6,82 ± 0,83	1,42 ± 0,07	2,95 ± 0,51
ЭМИ	10,55 ± 0,46	5,35 ± 0,35	1,81 ± 0,15*	3,39 ± 0,31
ЭМИ + ALCAR	11,09 ± 0,63	4,95 ± 0,28	2,45 ± 0,18*	3,69 ± 0,27

Примечание: ALCAR (ацетил-L-карнитин); * — достоверно к контролю при $p \leq 0,05$.

Анализ популяций сперматогенных клеток на 1-е сут после экспозиции животных показывает преимущественно достоверное увеличение числа клеток начальных этапов дифференцировки и круглых сперматид — гаплоидных клеток, содержащих одинарный набор хромосом. Однако на стадии последующей трансформации сперматид от удлинённых (НС1) к продолговатым (НС2), наблюдается их снижение по сравнению с контролем на 12,1 % ($P < 0,05$) и 7,6 % соответственно. Характер направленности процесса сперматогенеза в сторону его ускорения на начальных этапах дифференцировки клеток сохраняется и на 30-е после облучения.

Применение ацетил-L-карнитина практически не оказывало влияния на процесс сперматогенеза в ткани семенника как в начальный, так и отдаленный периоды (1-е и 30-е сут) после прекращения электромагнитного воздействия.

Количество эпидидимальных сперматозоидов на 1-е сут после электромагнитного воздействия несколько снижается (93,1 % к контролю), в то время как ацетил-L-карнитин вызывает повышение их числа в группе облученных животных, которое по сравнению с электромагнитным воздействием имеет достоверный характер. Положительное действие препарата на исследуемый показатель сохраняется при электромагнитной экспозиции и в отдаленном периоде (рисунок 1).

Анализ жизнеспособности сперматозоидов при электромагнитном воздействии (1745 МГц) показывает ее падение в различные сроки после экспозиции, а применение ацетил-L-карнитин позитивно влияет на восстановление этого показателя в клетках, особенно значительно в первый срок наблюдения.

Электромагнитная экспозиция (1745 МГц) не оказывает влияние на величину индекса DFI (маркер повреждения ДНК) в эпидидимальных сперматозоидах на 1-е и 30-е сут после прекращения облучения, что свидетельствует о недостаточности энергии излучения, чтобы вызвать прямое нарушение структуры ДНК в половых клетках. Отмечается, что введение ацетил-L-карнитина в дозе 7 мг/кг (через день, 30 дней) приводило к снижению индекса DFI, как у контрольных, так и у облученных животных, что, обусловлено влиянием препарата, повышающего антиоксидантный статус и, усиливая защиту половых клеток от АФК. Об улучшении значения индекса DFI в сперматозоидах человека при приеме L-карнитина, сообщается в публикации [6].

Установлено, что электромагнитная экспозиция животных вызывает существенное повышение гибели сперматозоидов, как путем апоптоза, так и некроза, а у облученных крыс-самцов, получавших ацетил-L-карнитин, их гибель в начальном периоде повышается несколько больше, чем при электромагнитном излучении. Тем не менее, в отдаленном периоде (30-е сут) препарат значительно снижал апоптоз эпидидимальных сперматозоидов, но не влиял на некроз клеток (таблица 2).

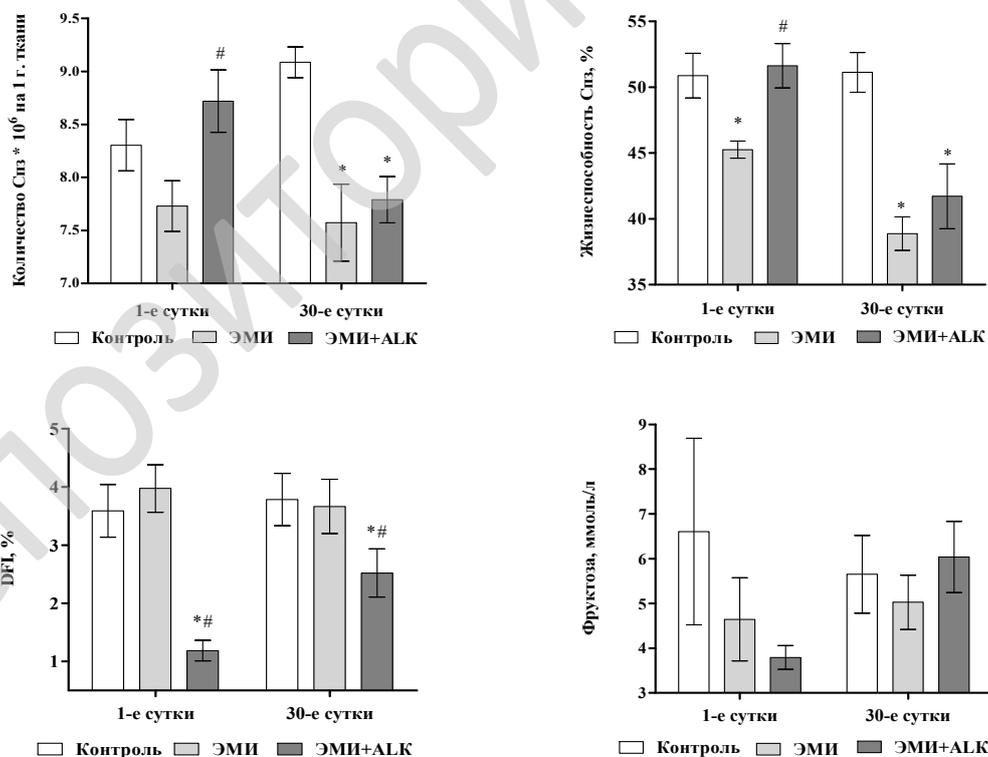


Рисунок 1 — Изменение количества, жизнеспособности, фрагментации ДНК (индекса DFI) эпидидимальных сперматозоидов (Спз) и содержания фруктозы в семенных пузырьках крыс на 1-е и 30-е сут после электромагнитного воздействия от мобильного телефона (1745 МГц, 8 час/день, 30 дней) и при введении ацетил-L-карнитина (7 мг/кг, через день в течение месяца) облучаемым животным

Примечание: * — достоверно к контролю; # — достоверно к группе облучения при $p < 0,05$.

Таблица 2 — Количественный анализ программированной и некротической гибели эпидидимальных сперматозоидов, облученных ЭМИ (1745 МГц, 30 дней) и получавших ацетил-L-карнитин (7,0 мг/кг, через день, 30 дней)

Сперматозоиды	Контроль	ЭМИ	ЭМИ + ALCAR
1-е сут			
Апоптотические, %	0,23 ± 0,04	0,39 ± 0,04*	0,44 ± 0,05*
Некротические, %	2,00 ± 0,21	2,63 ± 0,21*	2,76 ± 0,17*
30-е сутки			
Апоптотические, %	1,35 ± 0,23	2,39 ± 0,33*	0,89 ± 0,13
Некротические, %	1,59 ± 0,09	2,25 ± 0,21*	2,23 ± 0,10*

Примечание: Ап Спз — апоптотические сперматозоиды; Нк Спз — некротические сперматозоиды; * — достоверно к контролю при $p < 0,05$.

Нормализующее действие ацетил-L-карнитина у облученных животных от МТ (1745 МГц) обнаруживается также в отдаленном периоде на содержании фруктозы в семенных пузырьках, уровень которой в контроле в этот период составляет $5,65 \pm 0,87$ мМ. У облученных животных на 30-е сут содержание фруктозы снижается до $5,03 \pm 0,61$ мМ, в то время как при введении препарата оно достигает $6,04 \pm 0,79$ мМ, тем самым, создавая более благоприятные условия для энергетического обеспечения клеток.

Таким образом, ацетил-L-карнитин (7 мг/кг) оказывает позитивное влияние на нормализацию числа лейкоцитов крови и некоторых показателей репродуктивной системы животных на фоне длительного электромагнитного излучения от МТ (1745 МГц). В большей степени оно проявляется в восстановлении количества и жизнеспособности эпидидимальных сперматозоидов. В отдаленном периоде под влиянием препарата наблюдается снижение программированной гибели клеток и превышение уровня фруктозы в семенных пузырьках не только по сравнению с облученными животными, но также к контролю. Отмечается также положительное влияние ацетил-L-карнитина на индекс DFI в эпидидимальных сперматозоидах. Полученные данные позволяют сделать вывод о перспективности использования ацетил-L-карнитина для защиты крови и репродуктивной системы самцов при длительном электромагнитном воздействии в диапазоне мобильной связи (1745 МГц).

ЛИТЕРАТУРА

1. Григорьев, Ю. Г. Сотовая связь и здоровье: электромагнитная обстановка, радиобиологические и гигиенические проблемы, прогноз опасности / Ю. Г. Григорьев, О. А. Григорьев. — М.: Экономика, 2016. — 574 с.
2. Верещако, Г. Г. Проблемы репродукции у мужчин, вызванные использованием мобильного телефона / Г. Г. Верещако // Проблемы репродукции. — 2014. — № 4. — С. 73–78.
3. Копелевич, В. М. Витаминоподобные соединения L-карнитин и ацетил-L-карнитин: от биохимических исследований к медицинскому применению / В. М. Копелевич // Укр.биохим.журн. — 2005. — Т. 77. — С. 25–45.
4. Верещако, Г. Г. Реакция органов репродуктивной системы и эпидидимальных сперматозоидов крыс на электромагнитное излучение от мобильного телефона (1800 МГц) различной продолжительности / Г. Г. Верещако, Н. В. Чуешова // Радиационная биология. Радиозэкология. — 2017. — Т. 57, № 1. — С. 71–76.
5. Радиационное поражение сперматогенных клеток и эпидидимальных сперматозоидов крыс линии Вистар после внешнего облучения / Г. Г. Верещако [и др.] // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. біял. навук. — 2017. — № 2. — С. 40–45.
6. Kanter, M. Antiapoptotic effect of L-carnitine on testicular irradiation in rats / M. Kanter, Y. Topcu-Tarladacalisir, S. Parlar // J. Mol Histol. 2010. — Vol. 41, № 2–3. — P. 121–128.

ИЗУЧЕНИЕ РЕАКЦИИ КРОВИ И РЕПРОДУКТИВНОЙ СИСТЕМЫ КРЫС-САМЦОВ НА КОМБИНИРОВАННОЕ ДЕЙСТВИЕ ОБЛУЧЕНИЯ В ДОЗЕ 1,0 Гр И МАГНИТНОГО ПОЛЯ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЧАСТОТЫ (50 Гц)

*Г. Г. Верещако, И. А. Чешик, В. И. Шалатонин, Г. А. Горох,
Н. В. Чуешова, М. А. Бакиаева, А. Е. Козлов, Е. В. Цуканова*

Государственное научное учреждение
«Институт радиобиологии Национальной академии наук Беларуси»
г. Гомель, Республика Беларусь
natalya-chueshova@tut.by

Введение

В окружающей среде существует значительное количество факторов, которые могут вызывать негативные эффекты как в организме в целом, так и на уровне клетки и тканевых систем. Широко распространенными факторами окружающей среды являются ионизирующая и неионизирующая радиация, химическое загрязнение, стресс, недостаточная физическая активность и др. Обычно их действие носит не изолированный, а комбинированный характер, что, как правило, усложняет картину наблюдаемых изменений, которые могут суммироваться или, напротив, приводить к ослаблению эффектов. В связи с этим представляет значительный интерес изучения влияния комбинированного действия внешнего ионизирующего облучения и магнитного поля промышленной частоты на некоторые наиболее чувствительные системы организма [1].

Цель

Исследование биологических эффектов в крови и репродуктивной системе крыс-самцов, подвергнутых облучению в дозе 1,0 Гр и последующему продолжительному воздействию магнитным полем промышленной частоты (МП ПЧ, 50 Гц, 0,4 мТ), изолированно и сочетано в начальном и отдаленном периодах после экспозиции.

Материал и методы исследования

Исследования выполняли на крысах-самцах линии Вистар (исходный возраст 4 мес, масса $361,36 \pm 4,42$ г), находившиеся на стандартном пищевом рационе вивария и имевшие свободный доступ к питьевой воде. Контролем служили животные аналогичного возраста и пола, содержавшиеся в таких же условиях и не подвергавшиеся никаким воздействиям.

Все животные были разделены на 4 группы: 1-я группа — контроль; 2-я группа — животные, подвергнутые воздействию МП ПЧ (50 Гц, 0,4 мТ, 4 часа/день, 5 дней/неделю, количество дней экспозиции — 28); 3-я группа — крысы, облученные в дозе 1,0 Гр (источник — ^{137}Cs , м.д. 46 сГр/мин); 4-я группа — животные, облученные в дозе 1,0 Гр, а затем подвергнутые длительному воздействию МП ПЧ, как описано выше.

Источник синусоидального магнитного поля с частотой 50 Гц состоит из двух рядом расположенных одинаковых радиальных катушек (катушки Гельмгольца), соединенных последовательно таким образом, чтобы обеспечить в них одинаковое направление тока. Расстояние между центрами катушек примерно равно их радиусу. Это позволяет обеспечить наибольшую однородность магнитного поля в рабочей зоне установки. Рабочая зона с магнитным полем, воздействующим на объект исследования, формируется между центрами катушек ($50 \times 50 \times 50$ см).

Оценку состояния крови и репродуктивной системы крыс-самцов проводили на 1-е и 30-е сутки после экспозиции МП ПЧ, а по отношению к облучению в дозе 1,0 Гр — 40-е и 70-е сутки, соответственно. Предварительно взвешенных животных подвергали декапитации, собирали кровь, в которой определяли количество лейкоцитов и лейкоцитарных элементов крови (лимфоциты, моноциты, гранулоциты) на гемоанализаторе Celltac MEK-63-18 J/K (Япония). Выделяли семенники с придатками (эпидидимисы) и семенные пузырьки,

массу которых оценивали и с последующим расчетом их относительной массы. В суспензии ткани семенника методом проточной цитометрии (Cytomics FC 500, Beckman Coulter, США) анализировали количественный состав популяции сперматогенных клеток по содержанию ДНК, в том числе: сперматогонии (2С), сперматоциты в S-фазе, сперматоциты I порядка (4С), круглые (1С), удлинённые (НС1) и продолговатые сперматиды (НС2), подсчитывали количество сперматозоидов, выделенных из эпидидимиса, их жизнеспособность, индекс DFI (фрагментация ДНК), число апоптотических и некротических форм клеток, активность глицеральдегид-3-фосфатдегидрогеназы (ГФДГ), активность акрозина и содержание фруктозы в семенных пузырьках, как описано ранее [2].

Результаты исследования и их обсуждение

Установлено, что на 1-е сут после внешнего облучения в дозе 1,0 Гр и сочетанного действия 1,0 Гр + МП ПЧ (50 Гц) наблюдается умеренная лейкопения, в то время как длительное воздействие МП ПЧ вызывает более выраженное снижение числа лейкоцитов в крови ($p < 0,05$). Падение числа лейкоцитов в крови обусловлено в основном снижением лимфоцитов, особенно значительным при сочетанном действии двух исследуемых факторов. В отдаленном периоде (30-е сут) лейкопения сохраняется только после воздействия МП ПЧ (50 Гц), в то время как комбинированное действие двух факторов приводит к лейкоцитозу, обусловленным превышением уровня гранулоцитов в крови (таблица 1).

Таблица 1 — Изменение показателей крови крыс-самцов, подвергнутых острому ионизирующему облучению в дозе 1,0 Гр и последующему воздействию излучения МП ПЧ (50 Гц, 0,4 мТл, 4 час/день, 5 дней в неделю, 28 дней) и их комбинированному влиянию на 1-е и 30-е сутки после прекращения экспозиции в магнитном поле

Группы животных	Лейкоциты ($N \times 10^9/л$)	Лимфоциты ($N \times 10^9/л$)	Моноциты ($N \times 10^9/л$)	Гранулоциты ($N \times 10^9/л$)
1-е сутки				
Контроль	13,70 ± 0,90	9,50 ± 0,65	1,52 ± 0,14	2,68 ± 0,68
1,0 Гр	10,64 ± 0,37*	6,77 ± 1,35	1,25 ± 0,06	2,75 ± 0,89
50 Гц	11,60 ± 0,56	5,66 ± 0,58	1,63 ± 0,06	4,30 ± 0,46
1,0 Гр + 50 Гц	11,32 ± 0,81	4,56 ± 0,45*	3,04 ± 0,51	3,72 ± 0,76
30-е сутки				
Контроль	8,18 ± 1,11	5,56 ± 0,94	0,80 ± 0,20	1,82 ± 0,21
1,0 Гр	7,46 ± 0,78	4,66 ± 0,61	0,82 ± 0,12	1,98 ± 0,24
50 Гц	8,66 ± 0,98	4,64 ± 0,51	1,24 ± 0,27*	2,78 ± 0,43*
1,0 Гр + 50 Гц	10,23 ± 1,08	5,51 ± 0,81	1,85 ± 0,20*	2,86 ± 0,29*

* — Достоверно к контролю при $p \leq 0,05$.

Уровень метаболитов NO в сыворотке крови экспериментальных животных при сочетанном влиянии ионизирующего излучения и магнитного поля как на 1-е, так и на 30-е сут от контроля практически не отличаются, а при воздействии МП ПЧ на 30-е сут выявляется снижение указанного показателя на 27 %, которое не имеет достоверного характера. Масса семенников крыс в начальном периоде после внешнего облучения (1,0 Гр) падает на 33,72 %, а при сочетанном действии двух антропогенных факторов более чем на 25 %, в то время как масса семенных пузырьков в начальном периоде после всех видов воздействия имеет тенденцию к повышению. В отдаленном периоде масса семенников частично восстанавливается, но не достигает значений контроля после внешнего облучения и сочетанном действии двух факторов. Масса эпидидимисов после облучения в дозе 1,0 Гр и сочетанном действии 1,0 Гр + МП ПЧ (50 Гц) имеет тенденцию к снижению, более выраженную в отдаленном периоде.

Анализ состава популяций сперматогенных клеток различных этапов дифференцировки на 1-е сутки после указанных воздействия и их комбинированного влияния свидетельствует о значительной дезинтеграции процесса сперматогенеза, которое выражается в стимуляции начального этапа сперматогенеза и характеризуется увеличением

количества сперматогоний и сперматоцитов 1-го порядка (таблица 2). Последующие стадии сперматогенеза на стадии округлых сперматид имеют отчасти разнонаправленный характер, а количество сперматид на последующих заключительных стадиях (НС1 и НС2) снижаются при всех видах воздействий и в большинстве случаев имеет статистически значимый характер.

В отдаленном периоде в процессе сперматогенеза, судя по полученным данным, при действии исследуемых факторов сохраняются значительные нарушения, имеющие менее существенный характер при изолированном воздействии МП ПЧ (50 Гц), но более выраженные при сочетанном действии внешнего облучения (1,0 Гр) и МП ПЧ (50 Гц). Например, число круглых сперматид повышается на 39,9 %, а количество удлинённых сперматид достигает 49,9 %, что в последующем отражается на продукции спермиогенеза. Анализируя количественные и качественные показатели эпидидимальных сперматозоидов при изолированном и сочетанном действии внешнего облучения в дозе 1,0 Гр и МП ПЧ (50 Гц) отмечаем значительное ухудшение их свойств. Во всех случаях в начальном периоде после воздействий количество клеток достоверно снижается в пределах 22,4–32,9 %, а их жизнеспособность падает еще в большей степени. Значительно повышается гибель клеток, как путем апоптоза, так и путем некроза. Уровень фруктозы в семенных пузырьках имеет тенденцию к повышению, активность ГАФДГ к снижению, однако при сочетанном действии 1,0 Гр + МП ПЧ (50 Гц) она резко возрастает, а активность акрозина изменяется незначительно.

Таблица 2 — Изменение количественного состава популяций сперматогенных клеток крыс, подвергнутых острому ионизирующему облучению в дозе 1,0 Гр и последующему воздействию излучения МП ПЧ (50 Гц, 0,4 мТл, 4 час/день, 5 дней в неделю, 28 дней) и их комбинированному влиянию на 1-е и 30-е сутки после прекращения экспозиции в магнитном поле

Сперматогенные клетки	Контроль	50 Гц	1,0 Гр	1,0 Гр + 50 Гц
1-е сутки после облучения 50 Гц				
2С	7,22 ± 0,48	8,48 ± 1,06	7,41 ± 0,17	8,58 ± 0,29 ^{*#^}
S-phasa	1,73 ± 0,08	1,93 ± 0,19	2,37 ± 0,19 [*]	1,79 ± 0,12 [^]
4С	3,19 ± 0,69	4,75 ± 0,44	4,06 ± 0,31	4,41 ± 0,40
1С	33,27 ± 1,19	39,54 ± 1,05 [*]	30,04 ± 2,18	31,79 ± 1,30
НС1	18,37 ± 0,80	16,84 ± 1,23	29,06 ± 2,14 [*]	24,65 ± 1,85 ^{*#}
НС2	35,70 ± 0,52	26,94 ± 0,53 [*]	26,39 ± 1,33 [*]	28,44 ± 1,27 ^{*#}
30-е сутки после облучения 50 Гц				
2С	7,46 ± 0,41	8,06 ± 0,36	8,58 ± 0,26 [*]	9,06 ± 0,55 [*]
S-phasa	2,58 ± 0,20	2,31 ± 0,09	2,37 ± 0,16	2,65 ± 0,18
4С	7,22 ± 0,78	6,99 ± 0,49	7,84 ± 0,53	8,60 ± 0,53 [#]
1С	37,70 ± 2,70	43,63 ± 2,13	46,77 ± 0,90 [*]	52,76 ± 1,45 ^{*#^}
НС1	39,39 ± 2,95	34,16 ± 1,98	27,50 ± 1,21 [*]	19,64 ± 1,96 ^{*#^}
НС2	5,04 ± 0,46	4,15 ± 0,68	5,56 ± 0,49	6,01 ± 1,10

Примечание: 2С — сперматогонии; S-phasa — сперматоциты в прелептотене; 4С — сперматоциты I порядка, 1С — круглые, НС1 удлинённые и НС2 и продолговатые сперматиды; * — достоверно к контролю; # — достоверно к группе 50 Гц, ^ — достоверно к группе 1,0 Гр при p < 0,05.

Данные о количественном и качественном состоянии эпидидимальных сперматозоидов крыс, подвергнутых изолированному и сочетанному действию внешнего облучения и экспозиции МП ПЧ (50 Гц) в отдаленном периоде указывают на сохранение выраженных нарушений исследуемых показателей зрелых половых клеток и низком уровне их восстановления.

Таким образом, результаты исследований свидетельствуют о том, что внешнее облучение в дозе 1,0 Гр, длительная экспозиция МП ПЧ (50 Гц) в отдельности и совместно вызывают значительные нарушения изучаемых показателей крови и репродуктивной системы крыс-самцов в начальном и отдаленном периодах. Комбинированное действие рассматриваемых факторов в большинстве случаев оказывает на процесс сперматогенеза и спермиогенеза, количественные и качественные показатели эпидидимальных сперматозоидов эффекты, превышающее влияние каждого из изучаемых антропогенных факторов в отдельности.

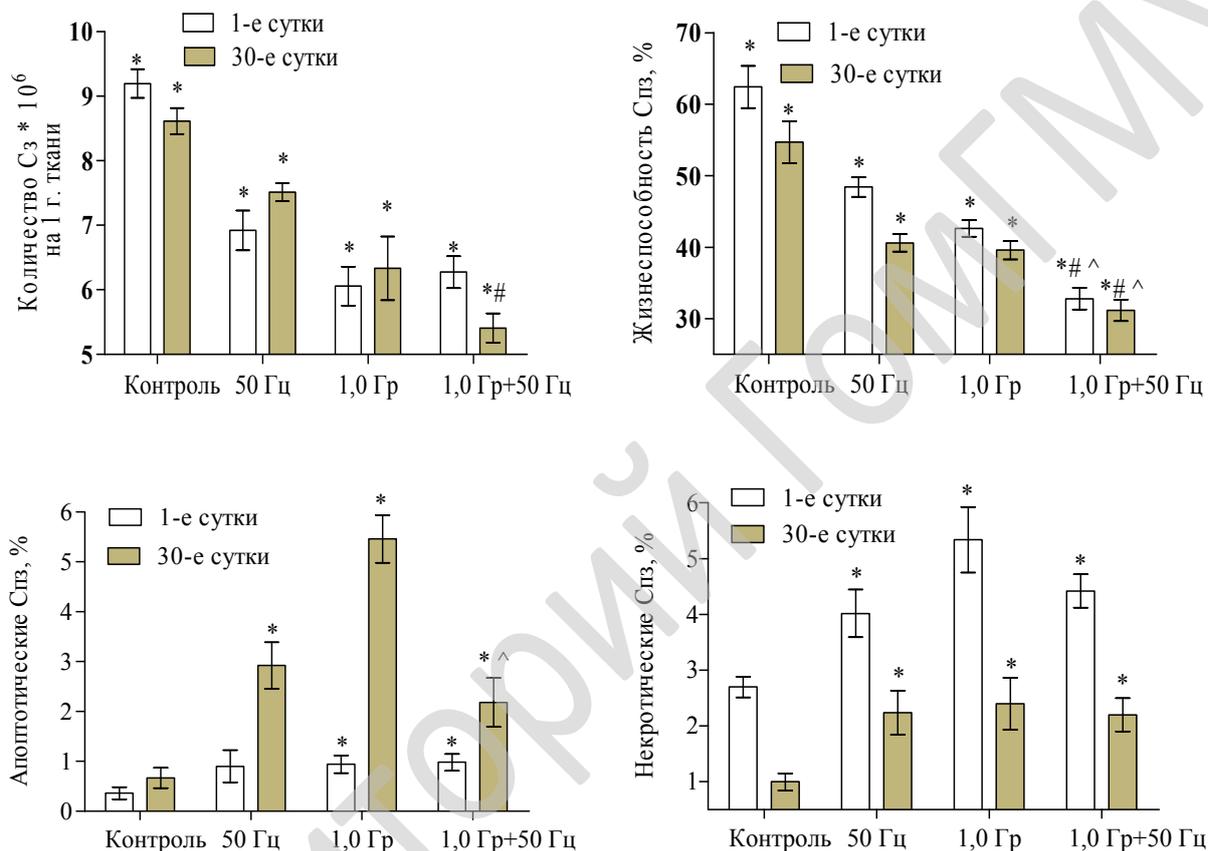


Рисунок 1 — Изменение количества, жизнеспособности, апоптотических и некротических сперматозоидов, выделенных из эпидидимисов крыс, подвергнутых острому ионизирующему облучению в дозе 1,0 Гр и последующему воздействию МП ПЧ (50 Гц, 0,4 мТл, 4 час/день, 5 дней в неделю, 28 дней) и их комбинированному влиянию на 1-е и 30-е сутки после прекращения экспозиции в магнитном поле

Примечание: * — достоверно к контролю; # — достоверно к группе 50 Гц; ^ — достоверно к группе 1,0 Гр при $p < 0,05$

ЛИТЕРАТУРА

1. Комбинированное биологическое действие ИИ и других вредных факторов окружающей среды (научный обзор) / В. Г. Петин [и др.] // Радиация и риск (Бюллетень Национального радиационно-эпидемиологического регистра). — 2001. — Вып. № 12. — С. 117–131.
2. Радиационное поражение сперматогенных клеток и эпидидимальных сперматозоидов крыс линии Вистар после внешнего облучения / Г. Г. Верещако [и др.] // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. біял. навук. — 2017. — № 2. — С. 40–45.

**К ВОПРОСУ РАЗРАБОТКИ РАДИОЗАЩИТНЫХ ЛЕКАРСТВЕННЫХ СРЕДСТВ
НА ОСНОВЕ ПРОИЗВОДНЫХ Δ^5 -АНДРОСТЕНДИОЛА-3 β , 17 β**

В. Д. Гладких, С. В. Козлов

**Федеральное государственное унитарное предприятие
Научно-производственный центр «Фармзащита»
Федерального медико-биологического агентства России
г. Москва, Российская Федерация
gladkich2007@rambler.ru**

С момента открытия соединений, обладающих свойствами радиопротекторов, в середине 1950-х гг., поиски новых веществ, обладающих этим типом активности, велись среди химических соединений, способных вызывать гипоксию тканей или к перехвату свободных радикалов, возникающих при радиационном поражении структур клетки. Радиозащитное действие эстрогенов было обнаружено в 40-х гг. прошлого века [1, 2]. В 50–60-х гг. — экспериментально было показано, что после введения эстрогенов или их синтетических нестероидных аналогов (диэтилстильбестрола) развивается состояние гиперэстрогенизма, сопровождающееся длительным (до 2–3 недель) повышением общей неспецифической устойчивости организма к действию радиации.

К началу 2000-х гг. исследования по разработке радиопротекторов на основе стероидных гормонов активизировались. В настоящее время из гормональных препаратов, обладающих противолучевыми свойствами, наиболее широко исследуется Δ^5 -андростендиол-3 β , 17 β (5-AED) [3–6].

5-AED является одним из интермедиатов в биохимической последовательности синтеза тестостерона из холестерина. В зависимости от гормонального статуса, образовавшийся тестостерон может переходить под действием 5 α -редуктазы в более сильный андроген — 5 α -дигидротестостерон, или же под действием ароматазы (P-450arom, CYP19) — в 17 β -эстрадиол. Поскольку 5-AED является предшественником, как андрогенов, так эстрогенов, это соединение нашло применение в качестве биологически активной добавки к пище [7].

В экспериментальных исследованиях 5-AED показал явную радиопротекторную активность. В работах [5, 6] соединение вводилось подопытным мышам (male C3H/HeN и male CD2F1) за 24 ч до полного облучения γ - или Рентгеновскими лучами. В зависимости от условий проведения облучения и дозы препарата, была показана выживаемость мышей в интервале от 60 до 100 %. В работе [3] показана способность 5-AED увеличивать общую резистентность облученных (γ -) мышей (female B6D2F1) к воздействию бактериальной инфекции. Токсическую дозу 5-AED авторы работы [4] не смогли определить, т. к. при дозе в 4800 мг/кг смерти в выборке из 52 мышей не было.

Радиозащитный механизм 5-AED до конца не выяснен. Авторы работы [6] связывают радиопротекторные свойства 5-AED с его способностью к экспрессии генов *ddb-1*, *ddb-2* и *gadd45a*, кодирующих соответственно группу белковых факторов (DDB-1 белок и др.), ответственных за формирование иммунного ответа на радиационное поражение, а так же контролирующих восстановление поврежденных клеток или, же их апоптоз. В работе [3] показана способность 5-AED стимулировать продукцию клеток костного мозга.

Апробированный на различных биологических моделях, препарат оказался эффективным в условиях как острого, так и пролонгированного облучения. В настоящее время 5-AED рассматриваются в США как один из наиболее перспективных потенциальных радиопротекторов широкого спектра действия.

Основной проблемой, стоящей на пути создания лекарственной формы 5-AED и её использования в качестве радиопротектора длительного действия, является его низкая растворимость в воде.

В большинстве случаев стероидные препараты вводят подкожно в жировую клетчатку в растительных маслах, так как при пероральном приеме большая их часть претерпевает дезактивацию ферментами печени. К тому же, подобного рода доставка стероидных препаратов осложняется, как правило, воспалительными процессами [8].

В цитированных выше исследованиях [3–6] 5-AED вводился подкожно в полиэтиленгликоле с молекулярной массой 400 за 24 ч до радиационного поражения подопытных животных. При воспроизведении этих работ мы обнаружили, что подкожное введение композиции 5-AED в ПЭГ-400 приводит к неоднозначным и плохо воспроизводимым результатам, что, на наш взгляд, связано с низкой жирорастворимостью препарата.

В литературе описаны различные подходы увеличения биодоступности стероидов посредством микронизация субстанции 5-AED или приготовление композиций на основе 5-AED в полиэтиленгликолях с различной молекулярной массой.

Для увеличения биодоступности 5-AED предлагается использовать классические методы биохимии стероидов и фармакологии стероидных препаратов. Так в частности, для увеличения жирорастворимости стероидных препаратов целесообразно использовать сложные эфиры стероидов с алифатическими карбоновыми кислотами. Возможно использование и сложных эфиров стероидов с алифатическими дикарбоновыми кислотами, что также повышает водорастворимость стероидных препаратов.

Для увеличения водорастворимости 5-AED нами предлагается использование метаболитов II-й фазы метаболизма этого гормона, а именно: конъюгатов с фосфатами, сульфатами, сахарами или же нуклеотидами. Наибольший интерес, на наш взгляд, представляют сульфаты стероидов (сульфоконъюгаты) по причине их высокой растворимости в воде, а следовательно и возможности в кратчайшие сроки достижения необходимой концентрации 5-AED для формирования радиопротекторного эффекта.

В организме млекопитающих стероиды претерпевают превращение в сульфаты под действием кофактора 3'-фосфоаденозин-5'-фосфосульфата, в присутствии фермента сульфотрансферазы, в дальнейшем полученные сульфаты транспортируются с белками-переносчиками — альбумином и др. [9]. *In vitro* сульфатирование стероидов осуществляется под действием различных реагентов, наибольшее распространение для этой цели получили комплексы третичных аминов и триоксида серы общего вида — $R_3N \cdot SO_3$ [10; 11]. К сожалению низкая стабильность этих комплексов и трудности, возникающие при их транспортировке, делают этот класс соединений труднодоступными. Это обстоятельство побудило нас к развитию нового метода сульфатирования.

Из литературы [11] известно, что большинство сульфатов стероидов в виде неорганических солей в водных растворах обладают низкой стабильностью по причине их сольволиза водой, как растворителем. Так же в литературе существует крайне мало упоминаний о сульфатах стероидов в свободном виде, это связывают с предположением о низкой стабильности этих сульфатов в кислотной форме [9]. Мы предлагаем использовать в качестве противоионов протонированные органические основания, обладающие низкой токсичностью.

Получение производных 5-AED с большей биологической доступностью, открывает возможность получения лекарственных форм радиопротектора длительного действия, обладающего низкой токсичностью и значимой эффективностью.

ЛИТЕРАТУРА

1. Treadwell, A. Effect of combining estrogen with lethal doses of roentgen-ray in Swiss mice / A. Treadwell, W. U. Gardner, J. H. Lawrence // *Endocrinology*. — 1943. — Vol. 32, № 2. — P. 161–164.
2. Influence of estrogens on the acute X-irradiation syndrome / H. M. Patt [et al.] // *Am. J. Physiol.* 1949. — Vol. 159, № 2. — P. 269–280.
3. Androstendiol stimulates myelopoiesis and enhances resistance to infection in gamma-irradiated mice / M. H. Whitnall [et al.] // *International Journal of Immunopharmacology*. — 2000. — Vol. 22. — P. 1–14.
4. Radioprotective efficacy and acute toxicity of 5-androstenediol after subcutaneous or oral administration in mice / M. H. Whitnall [et al.] // *Immunopharmacology and Immunotoxicology*. — 2002. — Vol. 24, № 4. — P. 595–626.
5. Administration of 5-androstenediol to mice: Pharmacokinetics and cytokine gene expression / V. K. Singh [et al.] // *Experimental and Molecular Pathology*. — 2008. — Vol. 84. — P. 178–188.
6. 5-AED enhances survival of irradiated mice in a G-CSF-dependent manner, stimulates innate immune cell function, reduces radiation-induced DNA damage and induces genes that modulate cell cycle progression and apoptosis / M. B. Grace [et al.] // *Journal of Radiation Research*. — 2012. — Vol. 53. — P. 840–853.

**ЗАБОЛЕВАЕМОСТЬ ПОДРОСТКОВ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ,
ОТНОСЯЩИХСЯ К 5-Й ГРУППЕ ПЕРВИЧНОГО УЧЕТА**

Т. Н. Глинская, Е. В. Толстая

**Государственное учреждение
«Республиканский научно-практический центр трансфизиологии
и медицинских биотехнологий»
г. Минск, Республика Беларусь
glinsky@tut.by,**

**Учреждение образования
Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова
Белорусского государственного университета
г. Минск, Республика Беларусь
eltol@mail.ru**

Введение

Подростковое население является самой динамичной популяционной когортой, поскольку временной период пребывания в данном возрасте достаточно короткий, и одновременно информативной с медико-демографической точки зрения, так как позволяет, в определенной степени, судить о перспективах состояния здоровья молодых взрослых в ближайшем будущем и об эффективности лечебно-профилактической и диспансерной работы среди детского населения. Данный подход в полной мере относится к изучению состояния здоровья населения, пострадавшего в результате катастрофы на Чернобыльской АЭС, включая 5-ю группу первичного учета (ГПУ), к которой относятся граждане, проживающие на территории радиоактивного загрязнения в зоне с правом на отселение, в зоне с периодическим радиационным контролем. Оценке состояния заболеваемости пострадавшего подросткового населения в отсроченном периоде времени после катастрофы на ЧАЭС посвящено немногочисленное число научных публикаций [1]. Выявление неблагоприятных тенденций позволяет оценить влияние комплексного воздействия факторов внешней среды на изучаемые показатели спустя 25–30 лет после аварии и определять возможные направления и объем медицинских и иных мероприятий, направленных на улучшение состояния здоровья подросткового населения. Целью исследования явилась оценка в динамике (2009–2015) состояния заболеваемости, диагностированной в предыдущие годы (ЗДПГ) подросткового населения Республики Беларусь (15–17 лет), относящегося к 5-й ГПУ. К случаям ЗДПГ относятся хронические заболевания, длительно текущие острые заболевания и их последствия.

Материал и методы исследования

Анализировались официальные статистические данные за 2009–2015 гг. численности и заболеваемости всего населения и пострадавшего подросткового населения Республики Беларусь в возрасте 15–17 лет. Заболеваемость изучалась для 5-й ГПУ и не пострадавшего населения (разница между численностью всего подросткового населения и пострадавшего детского населения, относящегося к 3–6-й ГПУ). Диагностированные в предыдущие годы случаи заболеваний рассчитывались как разница между числом случаев общих и первичных заболеваний.

Результаты исследования и их обсуждение

Данная группа пострадавшего населения — 5-я ГПУ — является довольно многочисленной, в структуре пострадавшего подросткового населения Республики Беларусь она занимает около 90 %, а в структуре всего подросткового населения страны около 15 %. За период времени с 2009 по 2015 гг. численность подросткового населения снизилась, это касается как анализируемой группы (5-я ГПУ) и совокупной группы пострадавшего населения (3–6-я ГПУ), так и группы не пострадавшего населения (таблица 1).

Таблица 1 — Динамика численности пострадавшего и непострадавшего в результате катастрофы на ЧАЭС подросткового населения Республики Беларусь, 2009–2015 гг.

Группа населения 15–17 лет	Среднегодовая численность населения 15–17 лет, чел.		Абсолютный прирост, чел.	Темп прироста, %
	2009 г.	2015 г.		
ГПУ 3–6	58712	45169	-13543	-23,1
ГПУ 5	51930	42167	-9763	-18,8
Непострадавшие	300011	227696	-72314	-24,1
Все население	358721	272865	-85857	-23,9

На протяжении всего периода наблюдения интенсивные уровни диагностированной в предыдущие годы заболеваемости в популяции подростков 5-й ГПУ были выше, чем у непострадавших сверстников (2009 г. — на 10 %, 2015 г. — на 18 %). В начале анализируемого периода в структуре ЗДПГ подросткового населения 5-й ГПУ лидировали болезни органов пищеварения (более 20 %), болезни глаза (15,4 %), психические расстройства (11,2 %), болезни органов дыхания (10,8 %), болезни эндокринной системы (9,9 %) и болезни костно-мышечной системы (8,5 %). Данные классы болезней обуславливали около 77,0% всех случаев ЗДПГ. Далее с вкладом причины в структуру от 1 до 5 % следовали болезни нервной системы, болезни мочеполовой системы, болезни системы кровообращения, врожденные аномалии, болезни кожи, класс «симптомы, признаки» и болезни уха. Замыкали рейтинг причин классы инфекционных и паразитарных болезней, новообразований, болезней крови, последствия травм и причина «беременность, роды» (таблица 2).

По сравнению с уровнями ЗДПГ, регистрируемыми в популяции непострадавшего населения, подростки 5-й ГПУ демонстрировали достоверно более высокие уровни заболеваемости по пяти причинам: болезни органов пищеварения (превышение на 3358,5⁰/₀₀₀₀ или в 1,3 раза), болезни органов дыхания (превышение на 2850,3⁰/₀₀₀₀ или в 1,7 раза), болезни эндокринной системы (превышение на 2555,1⁰/₀₀₀₀ или в 1,6 раза), болезни мочеполовой системы (превышение на 491,9⁰/₀₀₀₀ или в 1,2 раза), врожденные аномалии (превышение на 238,9⁰/₀₀₀₀ или в 1,13 раза).

В то же время в непострадавшей популяции были выявлены достоверно более высокие показатели ЗДПГ по причинам: инфекционные и паразитарные болезни (в 2 раза), болезни глаза (в 1,2 раза), болезни системы кровообращения (в 1,2 раза), болезни кожи (в 2,3 раза), «симптомы, признаки» (в 1,2 раза). В группе сравнения (непострадавшее население) в структуре причин лидирующие места последовательно занимали болезни глаза, болезни органов пищеварения, психические расстройства, болезни костно-мышечной системы, болезни органов дыхания, болезни эндокринной системы, болезни системы кровообращения, болезни нервной системы.

За прошедший шестилетний период времени популяция подростков сменилась дважды. Анализ причин ЗДПГ в 2015 г. выявил, что совокупный уровень такой заболеваемости вырос на 16,2 % у подростков 5-й ГПУ и на 7,3 % у непострадавшего населения. При этом тенденция к наличию более высокого уровня ЗДПГ сохранялась в изучаемой группе пострадавшего населения (5-я ГПУ).

Положительная динамика заболеваемости ЗДПГ отмечалась в группе пострадавшего населения при болезнях органов пищеварения (темпы прироста — -26,7 %), болезнях нервной системы (-10,1 %), а также для класса «симптомы, признаки» (-61,9 %) и последствия травм (-31,8 %). Динамика практически отсутствовала для классов болезней мочеполовой системы и психических расстройств.

В отношении остальных причин ЗДПГ был зарегистрирован рост показателей. Наиболее неблагоприятные изменения были установлены в отношении четырех классов болезней: болезни глаза (абсолютный прирост 5132,2⁰/₀₀₀₀, темпы прироста +50,5 %), болезни эндокринной системы (абсолютный прирост 3814,5⁰/₀₀₀₀, темпы прироста +58,3 %), болезни костно-мышечной системы (абсолютный прирост 3123,5⁰/₀₀₀₀, темпы прироста +56 %), и врожденные аномалии (абсолютный прирост 1689,5⁰/₀₀₀₀, темпы прироста +82,3 %). Менее значимый абсолютный прирост был отмечен для классов болезней кожи (абсолютный

прирост 756,3 ‰, темп прироста +77,8 %), болезней системы кровообращения (абсолютный прирост 616 ‰, темп прироста +19,5 %). Описанная динамика показателей обусловила изменение рейтинговой значимости отдельных причин. На лидирующие позиции ЗДПГ у пострадавшего населения в порядке убывания вышли классы болезней глаза (+1 ранг), эндокринной системы (+3 ранга), органов пищеварения (-2 ранга), костно-мышечной системы (+2 ранга), психические расстройства (-2 ранга), болезни органов дыхания (-2 ранга), болезни системы кровообращения (+2 ранга).

По сравнению с группой не пострадавшего населения подростки 5-й ГПУ характеризовались более высокими уровнями ЗДПГ по следующим причинам: болезни эндокринной системы (в 2,3 раза); врожденные аномалии (в 1,4 раза); новообразования, болезни костно-мышечной системы, болезни уха, болезни органов пищеварения (в 1,3 раза); болезни системы кровообращения, травмы и болезни мочеполовой системы (в 1,2 раза).

Таблица 2 — Уровни заболеваемости, диагностированной в предыдущие годы (ЗДПГ), пострадавшего в результате катастрофы на ЧАЭС подросткового населения Республики Беларусь, 2009–2015 гг.

Причины заболеваемости, диагностированной в предыдущие годы (классы болезней)	2009 г.			2015 г.			Темп прироста, %
	ЗДПГ, ‰ P ± m _p	ранг	удельный вес, %	ЗДПГ, ‰ P ± m _p	ранг	удельный вес, %	
Всего	65875,2 ± 356,2*	—	100	76552,8 ± 426,1*	—	100	+16,2**
Инфекционные и паразитарные болезни	248,4 ± 21,9*	15	0,4	305,9 ± 26,9*	16	0,40	+23,1
Новообразования	423,6 ± 28,6*	14	0,6	623,7 ± 38,5*	13	0,8	+47,2**
Болезни крови	240,7 ± 21,5*	16	0,4	360,5 ± 29,2*	14	0,5	+49,8**
Болезни эндокринной системы	6539,6 ± 112,2*	5	9,9	10354,1 ± 156,7*	2	13,5	+58,3**
Психические расстройства	7350,3 ± 119,0*	3	11,2	7275,8 ± 131,4*	5	9,5	-1,0
Болезни нервной системы	3331,4 ± 80,1*	7	5,1	2995,2 ± 84,3*	10	3,9	-10,1**
Болезни глаза	10161,8 ± 139,9*	2	15,4	15294 ± 190,4*	1	20,0	+50,5**
Болезни уха	622 ± 34,6*	13	0,9	768,4 ± 42,7*	12	1,0	+23,5**
Болезни системы кровообращения	3152,3 ± 77,9*	9	4,8	3768,3 ± 94,5*	7	4,9	+19,5**
Болезни органов дыхания	7111,5 ± 117,0*	4	10,8	6846,6 ± 127,4*	6	8,9	-3,7
Болезни органов пищеварения	13847,5 ± 163,3*	1	21,0	10147,7 ± 155,1*	3	13,3	-26,7**
Болезни кожи	972,5 ± 43,3*	11	1,5	1728,8 ± 64,0*	11	2,3	+77,8**
Болезни костно-мышечной системы	5572,9 ± 103,6*	6	8,5	8696,4 ± 143,6*	4	11,4	+56,0**
Болезни мочеполовой системы	3250,5 ± 79,1*	8	4,9	3196,8 ± 87,1*	9	4,2	-1,7
Беременность, роды и послеродовой период	25 ± 6,9*	18	0,04	40,3 ± 9,8*	18	0,05	+61,2
Врожденные аномалии	2052,8 ± 62,9*	10	3,1	3742,3 ± 94,2*	8	4,9	+82,3**
Симптомы, признаки и отклонения от нормы	847,3 ± 40,4*	12	1,3	322,5 ± 27,7*	15	0,422	-61,9**
Травмы	125,2 ± 15,5*	17	0,2	85,4 ± 14,2*	17	0,121	-31,8

Примечание: * — $p < 0,05$ (достоверность интенсивного показателя); ** — $p < 0,05$ (достоверность различий интенсивных показателей)

То есть, для подросткового населения 5-й ГПУ установленный ранее, в 2009 г., более высокий уровень диагностированной в предыдущие годы заболеваемости по пяти причинам (болезни органов пищеварения, болезни органов дыхания, болезни эндокринной системы, болезни мочеполовой системы и врожденные аномалии) по отношению к не пострадавшему населению сохранялся спустя шесть лет. Более того, для двух из перечисленных классов болезней (болезни эндокринной системы и врожденные аномалии) динамика пока-

зателей ЗДПГ была неблагоприятной (рост в 1,6 и 1,8 раза). Следует отметить, что эндокринная патология преимущественно была обусловлена болезнями щитовидной железы (более 75 % случаев, из которых более половины случаев составлял нетоксический диффузный зоб), на сахарный диабет приходилось около 2 % случаев. В структуре врожденных аномалий лидировали врожденные аномалии системы кровообращения и врожденные аномалии и деформации костно-мышечной системы, на совокупную долю которых приходилось более 60 % случаев.

В 2015 г. перечень причин ЗДПГ 5-й ГПУ с высокими значениями (по сравнению с нестрадавшей популяцией) дополнился классом болезней уха: показатель превысил аналогичное значение в нестрадавшей популяции в 1,3 раза и характеризовался неблагоприятной динамикой, — вырос по отношению к уровню 2009 г. в 1,2 раза.

В группе нестрадавшего населения по ряду причин были установлены более высокие уровни ЗДПГ по сравнению с подростковым населением 5-й ГПУ, в частности по классу «инфекционные и паразитарные болезни» (в 1,3 раза); болезни нервной системы (в 1,3 раза), «симптомы, признаки» (в 3 раза). Динамика показателей ЗДПГ нестрадавшего населения характеризовалась значимым ростом для класса врожденные аномалии (в 1,5 раза), для болезней органов дыхания (в 1,4 раза), болезней нервной системы и болезней глаза (в 1,2 раза), болезней костно-мышечной системы и болезней крови. Положительная динамика ЗДПГ нестрадавшего населения отмечена в отношении класса болезней органов пищеварения (темп прироста — -23 %) и болезней кожи (темп прироста — -18 %). Рейтинг ведущих причин ЗДПГ у нестрадавшего населения (1–8-е место) остался неизменным.

Заключение

Оценка ЗДПГ является достаточно информативной, поскольку позволяет нивелировать влияние сезонной заболеваемости и эпидемических подъемов.

Установлены существенные различия в отношении изучаемых показателей между популяциями подростков 5-й ГПУ и нестрадавшего населения. Показано, что ЗДПГ имеет более высокие интенсивные уровни в группе пострадавшего населения на протяжении всего периода наблюдения. Основными причинами ЗДПГ у подростков 5-й ГПУ являются болезни глаза, эндокринной системы, органов пищеварения, костно-мышечной системы, психические расстройства, болезни органов дыхания, болезни системы кровообращения, врожденные аномалии. На протяжении всего периода наблюдения уровни ЗДПГ пострадавшего населения по пяти причинам (болезни органов пищеварения, органов дыхания, эндокринной системы, мочеполовой системы и врожденные аномалии) были существенно выше, чем у нестрадавшего населения, при этом для болезней эндокринной системы и врожденных аномалий динамика показателей была неблагоприятной. Такие особенности можно объяснить более значимым комплексным воздействием факторов внешней и внутренней среды именно на пострадавшее население.

В группе нестрадавшего населения также имела место неблагоприятная, но менее выраженная, динамика показателей ЗДПГ по причинам болезни эндокринной системы, врожденные аномалии. В обеих популяциях наблюдался рост ЗДПГ по причине болезни костно-мышечной системы и болезни глаза.

Установленные особенности и различия в уровнях и динамике ЗДПГ по отдельным причинам необходимо использовать при планировании и проведении диспансерных, профилактических и иных мероприятий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Корнев, Н. М. Состояние здоровья детей, рожденных в семьях родителей, облученных вследствие аварии на Чернобыльской АЭС / Н. М. Корнев, Г. А. Бориско, В. Л. Кашина-Ярмак // Здоровье ребенка. — 2012. — № 6. — С. 66–70.

**ОЦЕНКА МИГРАЦИОННОЙ СПОСОБНОСТИ РАДИОНУКЛИДОВ
В ПОЧВАХ ЗОНЫ ОТЧУЖДЕНИЯ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС**

В. В. Головешкин, С. А. Калиниченко, Р. А. Ненашев, А. Н. Чудинов

**Государственное природоохранное научно-исследовательское учреждение
«Полесский государственный радиационно-экологический заповедник»
г. Хойники, Республика Беларусь
goloveshkin.victor@yandex.ru**

Введение

Изучения вертикального распределения радионуклидов и параметров их миграции в почвенном покрове является одной из важнейших задач при оценке и прогнозировании радиоэкологической ситуации на территории, загрязненной продуктами чернобыльского выброса.

Почва является наиболее важным инерционным звеном, и от скорости миграции радионуклидов в почве во многом зависят темпы их распространения по всей цепочке. Отечественными и зарубежными учеными был получен обширный материал по интенсивности миграционных процессов, трансформации форм нахождения радионуклидов в почвах, по переходу их из почв в растения [1–6].

Цель

Изучить характер вертикального распределения радионуклидов (^{137}Cs , ^{90}Sr , и ^{241}Am) и параметры их миграции в почвах с различным режимом увлажнения основных фитоценозов зоны отчуждения Чернобыльской АЭС.

Материал и методы исследования

Объектами исследования являлись пять типичных фитоценозов Полесского государственного радиационно-экологического заповедника, характеризующиеся различной степенью увлажнения и уровнем радиоактивного загрязнения. Фитоценоз 1 — березняк: расположен в закрытой ложбине, где в весенний период грунтовые воды поднимаются до глубины 15 см от поверхности почвы. Почва дерново-подзолистая с расположенным под подстилкой оторфованным гумусовым горизонтом (5–15 см). Фитоценоз 2 — черноольшаник: расположен на берегу ручья. Почва торфянисто-подзолисто-глеевая. В черноольшанике в весенний период уровень грунтовых вод составляет 25 см. Фитоценоз 3 — дубрава: расположена на берегу искусственного затопления, образованного в результате перекрытия Погонянского канала. Грунтовые воды в дубраве поднимаются до глубины 40 см. Почва дерново-подзолистая глеевая. Фитоценоз 4 — залежь: представлена суходольным лугом. Почва дерново-подзолистая, супесчаная, слабоподзоленная, пахотная. Глубина залегания грунтовых вод около 150 см. Фитоценоз 5 — сосняк: почва дерново-подзолистая, песчаная. Глубина залегания грунтовых вод — 250 см.

По условиям увлажнения почвы березняка и черноольшаника — гидроморфные, дубравы — полугидроморфные, залежи и сосняка — автоморфные.

Отбор проб почвы проводился по почвенному разрезу послойно: верхний слой 0–10 см с интервалом 1 см, далее — с интервалом 5 см. Образцы подстилки отбирались по схеме 50 × 50 см. Образцы почвы отбирались на глубину 100 см.

В лабораторных условиях пробы подстилочного слоя и почвы высушивались при температуре 20–25 °С. По окончании пробоподготовки образцы помещались в сосуды «Маринелли» (объем 1 л), или «денты» (0,1 л) для последующего определения радионуклидов. Для получения количественных данных, характеризующих содержание радионуклидов в подстилочном слое и почве, использовались методики выполнения измерений, включенные в Перечень методик радиационного контроля, действующих на территории Республики Беларусь. Определение содержания ^{137}Cs , ^{90}Sr и ^{241}Am в образцах проводилось методами гамма-спектрометрии.

Математическая и статистическая обработка результатов исследования осуществлялась на персональном компьютере с помощью пакетов прикладных программ.

Результаты исследований и их обсуждение

Результаты данных исследований показали, что характер миграции радионуклидов и неоднородность их распределения существенно зависят от типа фитоценозов и режима их увлажнения. В настоящее время более быстро процесс миграции ^{137}Cs в лесных фитоценозах происходит в почвах, формирующихся в условиях полугидроморфного и гидроморфного условий увлажнения. Лесная подстилка таких почв содержит меньшую долю радионуклида (4,9–11,1 %), чем 5–10 см слой почвы (15,5–28,8 %), в отличие от распределения его в автоморфных почвах — 17,2 и 15,1 % — соответственно.

Другим немаловажным фактором является тип органогенного слоя. Растительность на полугидроморфных и гидроморфных почвах представлена лиственными насаждениями, ежегодный опад которых на следующий год большей частью минерализуется, а содержащиеся в нем радионуклиды перемещаются в нижележащие минеральные слои почвы. Подстилка хвойного леса имеет более длительные сроки биологического разрушения, чем лиственного, соответственно связывает большее количество радионуклида на более длительный срок, а проникновение в минеральные слои почвы значительно меньше. В экосистемах с полным отсутствием лесной подстилки (залежи, луга и т. д.) естественно происходит миграция в минеральные слои большего количества радионуклидов.

Анализ вертикального распределения радионуклидов показал, что в верхнем 5-см слое минеральной части почвы сосредоточена, что в верхнем 5-см слое минеральной части почвы сосредоточена основная доля ^{241}Am (64,5–78,2 %) и ^{137}Cs (45,8–70,4 %), а в десятисантиметровом слое содержится от 67,2 до 81,8 % ^{90}Sr . В полугидроморфных и гидроморфных почвах в слое 10–15 см содержится 2,6–4,7 % ^{137}Cs , 2,1–4,9 % ^{90}Sr , 2,2–2,8 % ^{241}Am . Для автоморфных почв эти данные составляют 1,5–3,2 %, 1,9–3,2 %, 2,3–3,6 % соответственно. В слой 15–20 см мигрировало в почвах с избыточным увлажнением до 2,4 % ^{137}Cs , 3,6 % ^{90}Sr , 2,7 % ^{241}Am . Для почв с автоморфным режимом увлажнения эти показатели имели значения 2,3; 1,9 и 3,4 % соответственно. Во всех фитоценозах в слой 30–100 см мигрировало не более 4,1 % ^{137}Cs и 11,3 %, ^{90}Sr . ^{241}Am в этих слоях почвы не обнаружен.

Результаты оценки центров запаса радионуклидов в почвах фитоценозов с различным режимом увлажнения представлены в таблице 1.

Таблица 1 — Глубина проникновения 50 % запаса радионуклидов в почвах с различным режимом увлажнения

Тип почвы	Глубина слоя, см		
	^{137}Cs	^{90}Sr	^{241}Am
Гидроморфные	5,85–8,73	10,43–14,78	4,96–5,13
Полугидроморфные	5,67	6,88	4,82
Автоморфные	4,94–5,24	5,61–6,40	4,89–5,07

В автоморфных почвах (сосняк, залежь) максимум концентрации ^{137}Cs находится на глубинах 4,94–5,24 см, а в полугидроморфных и гидроморфных почвах на глубине 5,67 см и 5,85–8,73 см соответственно.

Большой подвижностью обладает ^{90}Sr , что усиливается в условиях избыточного увлажнения почв. Глубина проникновения 50 % ^{90}Sr в почвах с избыточным увлажнением составляет 6,88–14,78 см, тогда как в автоморфных почвах 5,61–6,40 см. А вот положение центров запаса ^{241}Am мало зависит от условий увлажнения и находится в пределах 4,82–5,13 см.

Максимальная плотность загрязнения радионуклидами минеральной части почв лесных фитоценозов наблюдается в верхнем 0–1-см слое: 10,1–29,1 % ^{137}Cs , 9,1–30,6 % ^{90}Sr и 17,6–41,5 % ^{241}Am . В почве залежи наибольшая плотность загрязнения находится в слое 1–2 см: 18,2 % ^{137}Cs , 16,7 % ^{241}Am и 15,2 % ^{90}Sr .

В таблице 2 представлены данные по скорости вертикальной миграции радионуклидов (^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{241}Am) по профилю почв зоны отчуждения Чернобыльской АЭС.

Скорость миграции центров запаса ^{137}Cs составила для автоморфных почв 0,29–0,40 см/год, для полугидроморфных — 0,45 см/год и гидроморфных почв 0,51–0,56 см/год. Следует отметить, что скорость вертикальной миграции ^{90}Sr в 1,3–1,9 раз превышает скорость миграции ^{137}Cs и составляет 0,46–0,51 см/год, 0,59 и 0,92–0,99 см/год соответственно. Скорость миграции центров запаса ^{241}Am находится на уровне 0,32 см/год, 0,43 и 0,38–0,45 см/год соответственно.

Таблица 2 — Скорость вертикальной миграции радионуклидов (^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{241}Am) по профилю почв, см/год

Тип почвы	Скорость миграции, см/год		
	^{137}Cs	^{90}Sr	^{241}Am
Гидроморфные	0,51–0,56	0,92–0,99	0,38–0,45
Полугидроморфные	0,45	0,59	0,43
Автоморфные	0,29–0,40	0,46–0,51	0,32

Для изучения влияния режима увлажнения на скорость вертикального распределения радионуклидов в почвах использовался расчетный показатель — коэффициент увлажнения. Коэффициент увлажнения — соотношение между количеством выпадающих атмосферных осадков за год или другое время и испаряемостью определенной территории.

Методом корреляционного анализа данных доказано, что величина скорости вертикальной миграции радионуклидов в почвах зависит от значения коэффициента увлажнения: расчетный коэффициент линейной корреляции Пирсона составлял 0,37 для ^{137}Cs и 0,88 для ^{90}Sr при уровне значимости менее 0,01 и критическом значении корреляции Пирсона 0,59 для ^{137}Cs и ^{90}Sr . Степень корреляционной связи для ^{137}Cs умеренная ($r > 0,30–0,49$), а ^{90}Sr сильная ($r > 0,70$). Для ^{241}Am коэффициент линейной корреляции Пирсона составлял 0,50. Степень корреляционной связи для ^{241}Am средняя ($r > 0,50–0,69$).

Заключение

В результате изучения характера вертикального распределения радионуклидов по профилю почв различных экосистем была установлена слабо выраженная подвижность как ^{137}Cs , ^{90}Sr , так и ^{241}Am в почвах с автоморфным режимом увлажнения и несколько более интенсивная миграция на участках с повышенной степенью увлажнения в полугидроморфных и гидроморфных почвах. Под действием совокупных природных факторов часть радионуклидов переходит в подвижные формы и может поступать в почвенный раствор. Высокая степень увлажнения почв увеличивает миграцию радионуклидов вниз по их профилю.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кудельский, А. В. Миграция радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr в почвах после катастрофы на Чернобыльской АЭС / А. В. Кудельский, В. И. Пашкевич, С. В. Овсянникова // Чернобыль: 30 лет спустя: материалы междунар. науч. конф. (Гомель, 21–22 апр. 2016 г.). — Гомель: Ин-т радиологии, 2016. — С. 127–130.
2. Прохоров, В. М. Миграция радиоактивных загрязнений в почвах. Физико-химические механизмы и моделирование / В. М. Прохоров. — М.: Энергоатомиздат, 1981. — 98 с.
3. О снижении содержания ^{137}Cs в продукции растениеводства, подвергшейся загрязнению после аварии на Чернобыльской АЭС / Р. М. Алексахин [и др.] // Доклады РАСХН, 1995. — № 3. — С. 20–21.
4. Анисимов, В. С. О формах нахождения и вертикальном распределении ^{137}Cs в почвах в зоне аварии на Чернобыльской АЭС / В. С. Анисимов, Н. И. Санжарова, Р. М. Алексахин // Почвоведение. — 1991. — № 9. — С. 31–40.
5. Химические формы нахождения долгоживущих радионуклидов и их трансформация в почвах зоны аварии на ЧАЭС / Ц. И. Бобовникова [и др.] // Почвоведение. — 1990. — № 10. — С. 20–25.
6. Salbu, B. Speciation of radionuclides -analytical challenges within environmental impact and risk assessments / B. Salbu // Journal of Environmental Radioactivity. — 2007. — № 96 (1–3). — P. 47–53.

**ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМА ОБЛУЧЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ ЖИВОТНЫХ
УЛЬТРАФИОЛЕТОМ ДЛЯ ПОСЛЕДУЮЩЕЙ ОЦЕНКИ
ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИРОДНЫХ ФОТОПРОТЕКТОРОВ**

С. В. Гончаров, Н. Н. Веялкина, К. Н. Шафорост, С. Н. Сушко

Государственное научное учреждение
«Институт радиобиологии Национальной академии наук Беларуси»
г. Гомель, Республика Беларусь
combinexpro@mail.com

Введение

Проблемы защиты кожи от негативных последствий воздействия ультрафиолетового излучения весьма актуальны. Доля УФ в солнечной радиации, достигающей земли — около 10 %. Инициированные УФ-лучами фотобиологические процессы многообразны. В одних случаях они оказывают терапевтическое действие [1, 2], при других (избыток инсоляции) могут провоцировать обострения и осложнения течения ряда заболеваний. Природа ряда фотобиологических процессов (например, опухоли кожи) может быть выявлена только в специальных исследованиях.

UVC-лучи с самой короткой длиной волн (200–290 нм), обладая самой высокой энергией, наиболее опасны; все они задерживаются в стратосфере. UVB (290–320 нм) в основном поглощается в эпидермисе; эти лучи обладают сильным повреждающим действием и отвечают за многие острые и хронические побочные эффекты [3]. Механизмы повреждающего действия UVB на кожу касаются изменения структуры и функции ДНК, фотоинактивации белков и повреждения биомембран.

UVA (320–400 нм) имеет наименьшую энергию, но обладает самой высокой способностью проникать через атмосферу и кожу (в эпидермис и дерму), где обуславливает значительный риск возникновения неопластической трансформации клеток кожи. Сегодня этим лучам отводится первостепенная роль в фотостарении кожи [4]. Важную роль при этом играет воспаление и усиленная продукция активных форм кислорода и азота [5, 6]. На фоне истощения ферментативного и неферментативного звеньев антиокислительной системы развивается *окислительный стресс*, увеличенная скорость окислительного повреждения липидов, протеинов и ДНК, ведущего к ускорению клеточного старения и соматического мутагенеза [7, 8]. UVA не вызывает солнечного ожога, не запуская сигнальную систему организма. Кумулятивное же действие UVA и UVB способно причинить гораздо больше вреда организму, поскольку развитие патологий выявляется не своевременно.

Цель

Оценить эффективность режимов облучения ультрафиолетом лабораторных грызунов *in vivo* для построения оптимальной модели эксперимента и выявления адекватных функциональных параметров оценки.

Материал и методы исследования

Исследования выполнены на мышах линии Af (возраст 2,5–3 мес.), находившихся на стандартной диете в виварии. Воздействие UV-A/B (на расстоянии 15 см от кожи) осуществляли источником, состоящим из 4 ламп, в течение 5–30 мин через 2–3 суток после удаления шерсти депилятором. Энергетический максимум UV-излучателя (280–450 нм) — 315 нм, расчетная интегральная мощность потока 1446 мкВт/см². Доля UV-B — 40 % от всего UV диапазона [9]. Воздействие UV-C проводили аналогично, используя UV-C-лампу ламинарного бокса. Мышей выводили из опыта на 1-е и 4-е сутки после облучения. Аналогично производили облучение крыс.

Проводили замер кожной складки; срезали лоскут кожи со спины и пробойником высекали 2 кожных диска, которые немедленно взвешивали. Определяли уровень MetHb в эритро-

цитах по EVELLYN-MALLOY [10]. Флуоресценцию сывороточного альбумина исследовали на спектрофлуориметре «Solar CM 2203» (λ возб. = 420 нм, λ рег. = 450–650 нм). Определяли общую (ОКА) и эффективную концентрации альбумина (ЭКА), индекс токсичности (ИТ), резерв связывания альбумина (РСА). Уровень продуктов перекисного окисления липидов (ПОЛ) оценивали по концентрации ТБК-реактивных продуктов (ТВБАРС) в сыворотке крови по И. Д. Стальной и Olikawa [11]. Определяли частоту микроядер (МЯ) в кератиноцитах.

Результаты исследований и их обсуждение

Изменение длины волны УФ может избирательно возбуждать и модифицировать разные биомолекулы. В первой серии опытов апробированы различные режимы облучения при иммобилизации животных в цилиндрах с выделением окошка на спинной стороне. Облучение участка кожи как посредством UV-A/B, так и UV-C, в течение 30 мин не вызывало у мышей через 24–96 ч и у крыс через 96 ч каких-либо заметных реакций со стороны кожи, а также изменений уровня MetHb в крови. При облучении участка кожи мышей Af посредством UV-A/B и UV-C в течение 15 мин не происходило существенных изменений показателей альбумина. Облучение при 30 мин вызывало через 24 ч значимое снижение ОКА и ЭКА, не влияя на величину РСА и ИТ (таблица 1).

Таблица 1 — Показатели сывороточного альбумина при различных режимах воздействия ультрафиолета на кожу (с иммобилизацией мышей в цилиндрах)

	UV-A/B				UV-C			
	ОКА, г/л	ЭКА, г/л	РСА, %	ИТ	ОКА, г/л	ЭКА, г/л	РСА, %	ИТ
Контроль	49,56 ± 6,01	36,12 ± 2,86	73,37 ± 6,23	0,37 ± 0,12	49,91 ± 2,22	33,67 ± 0,73	67,54 ± 2,01	0,48 ± 0,04
Облучение 15 минут	38,48 ± 2,31	29,50 ± 1,72	76,81 ± 4,94	0,31 ± 0,09	45,25 ± 2,56	30,23 ± 2,26	66,76 ± 2,04	0,50 ± 0,04
Облучение 30 минут	38,46 * ± 1,41	27,78 * ± 2,21	72,27 ± 5,89	0,39 ± 0,11	38,54 * ± 6,06	24,00 * ± 5,17	61,81 ± 4,48	0,62 ± 0,11

* — Статистически значимые различия с контролем (при $p \leq 0,05$).

Оценка уровня ТБК-продуктов у мышей не выявила изменений в 1 сут. при облучении UV-A/B в течение 5–15 мин, а значимое снижение наблюдали, начиная с 30 мин. Схожий эффект возникал при облучении UV-C в течение 15 мин в те же сроки и не происходил при экспозиции 30 мин. У крыс на 4 сут. наблюдалась только тенденция повышения уровня ТБК-продуктов. Стабильности эффекта при выбранном времени экспозиции не наблюдается, нет однозначной тенденции и в межвидовом плане.

Оценены цитогенетические показатели кератиноцитов лабораторных грызунов при воздействии UV-A/B и UV-C (в течение 15 и 30 мин) *in vivo*. Было обнаружено, что доля клеток с МЯ у мышей при 30 мин экспозиции UV-C увеличилась практически в 2 раза ($0,5 \pm 0,13$) по сравнению с экспозицией 15 мин ($0,28 \pm 0,1$). Однако эти данные между собой статистически достоверно не различались. Тем не менее, в этих группах доля таких клеток значимо превысила контроль в 9,3–16,7 раз (рисунок 1).

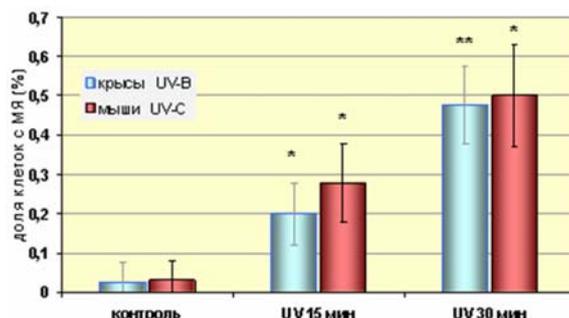


Рисунок 1 — Выход МЯ в кератиноцитах лабораторных грызунов на 4-е сутки после воздействия УФ: UV-A/B — крысы и UV-C — мыши.

Примечание. * — статистически значимые различия с контролем (при $p \leq 0,05$);

** — статистически значимые различия между группами «UV 15 мин» и «UV 30 мин» (при $p \leq 0,05$).

В коже крыс происходили аналогичные изменения — доля клеток с МЯ на 4-е сутки после облучения течение 15 и 30 минут превысила контроль в 6,7–16 раз соответственно. Однако группы «UV-A/B 15 мин» и «UV-A/B 30 мин» статистически значимо различались, при 30 мин экспозиции выход клеток с МЯ в 2,4 раза превысил таковой при 15 мин.

Таким образом, на данном этапе исследований, нами выяснено, что, независимо от диапазона УФ у обоих видов грызунов в одни и те же сроки после облучения в одинаковом режиме уже на 4-е сутки отмечаются статистически значимые различия с необлученным контролем. Данные изменения имеют схожую тенденцию у обоих видов грызунов и обнаруживают дозозависимость. В связи с этим исследуемый показатель для дальнейших исследований является адекватным, достаточно чувствительным и берется в качестве одного из критериев оценки воздействия как УФ-излучения, так и потенциальных фотопротекторов.

На основании результатов предыдущей серии экспериментов — повышения уровня МЯ в кератиноцитах мышей и возрастания MetHb в эритроцитах на 4-е сутки после облучения UV-C — во второй серии экспериментов методология была изменена. Выведение мышей производили на 4-е сутки после 30 мин облучения UV-A/B без иммобилизации, MetHb далее не измеряли, используя всю кровь для получения сыворотки и снятия максимально возможного количества биохимических показателей.

Так, после предварительной 5-кратной обработки кожи диметилсульфоксидом (ДМСО) на предмет фотосенсибилизации им кожи к моменту облучения UV-A/B на коже было хорошо заметное шелушение. На 4-е сутки после экспозиции у облученных мышей были выраженные ожоги кожи спины с образованием корки; отмечался отек, что было видно по толщине кожной складки и массе кожных дисков (таблица 2).

Таблица 2 — Параметры кожи крыс и мышей на 4-е сутки после воздействия UV-A/B

Группа	Толщина кожной складки, мм		Вес двух кожных дисков, г	
	крысы	мыши	крысы	мыши
Контроль	2,21 ± 0,21	0,983 ± 0,04	0,32 ± 0,03	0,13 ± 0,01
UV-A/B 15 мин	2,55 ± 0,28	—	0,37 ± 0,05	—
UV-A/B 30 мин	2,69 ± 0,24	1,62* ± 0,25	0,38 ± 0,03	0,19* ± 0,03

* — Статистически значимые различия с контролем (при $p \leq 0,05$).

Аппликации ДМСО не отразились на исследуемых биохимических показателях: уровне альбумина и ТБК-продуктов. Облучение статистически значимо снижало ОКА и ЭКА, изменений РСА, ИТ и ТБК-продуктов не происходило.

Дополнительно проводили эксперимент и на белых крысах. За 72 ч до облучения животным удаляли с части спины шерстяной покров. Облучение производили без иммобилизации в клетках с низкими стенками. Контроль содержали в идентичных клетках на время эксперимента. Выведение животных из эксперимента проводили на 4 сутки после облучения. Было показано, что воздействие UV-A/B в течение 15 и 30 мин вызывает увеличение кожной складки и массы кожного диска облученного участка кожи экспериментальных животных. Наблюдали выраженную эритему, особенно при облучении в течение 30 мин., у некоторых животных отмечено образование струпа. В группе животных, подвергнутых 15 мин облучению, отмечена умеренно-выраженная или выраженная эритема, в подкожной клетчатке наблюдалось расширение и полнокровие капиллярной сети. У облученных при 30 мин животных эритема была от выраженной до резко-выраженной. Отмечалось образование ожога и струпа, в подкожной клетчатке наблюдалось расширение капилляров и полнокровие капиллярной сети.

Заключение

Апробация режимов облучения ультрафиолетом и оценка его эффектов на грызунах показала, что облучение (как UV-A/B, так и UV-C) участка кожи у мышей без иммобилизации или с ней в течение 4 суток после воздействия относительно стабильно снижает ОКА и ЭКА, не оказывает существенного влияния на уровень MetHb и ТБК-продуктов в сыворотке крови. После воздействия UV-A/B и UV-C (в течение 15 и 30 минут) на иммобилизованных животных доля кератиноцитов с микроядрами значительно возрастает и имеет дозовую зависимость как у мышей, так и у крыс. В последующем нежелательно применять иммобилизацию мышей и крыс ввиду создания дополнительного фактора — стресса, способного исказить реальную картину. При свободном облучении у обоих видов выявляются схожие и устойчивые морфологические эффекты, отмеченные на 4 сутки после 30 мин облучения УФ, которые, как было показано на кератиноцитах, связаны и со скрытой патологией. Применение ДМСО как растворителя для нанесения препаратов на кожу оказалось относительно безопасным и для дальнейших исследований нами признано приемлемым.

При изучении потенциальных фотопротекторов относительно эффективны из упомянутых морфологических тестов оценка эпидермиса (без внешнего слоя дермы), капиллярной сети подкожной клетчатки, измерение кожной складки и кожных дисков. Для оценки состояния внутренней среды эффективно исследование показателей про- и антиоксидантной системы крови, в особенности активность ферментов (каталаза, СОД ферменты системы глутатиона и др.)

ЛИТЕРАТУРА

1. Impact of UVA exposure on psychological parameters and circulating serotonin and melatonin / T. Gambichler [et al.] // BMC Dermatol. — 2002. — Vol. 12 (2). — P. 6–8.
2. Акимов, В. Г. Биологические эффекты ультрафиолетового облучения кожи / В. Г. Акимов // Вестн. дерматол. венерол. — 2008. — № 3. — С. 81–84.
3. Epstein, J. H. Photocarcinogenesis, skin cancer, and aging / J. H. Epstein // J. Am. Acad. Dermatol. — 1993. — № 9. — P. 487–492.
4. Intrinsic aging vs photoaging: a comparative histopathological, immunohistochemical, and ultrastructural study of skin / M. El-Domyati [et al.] // Exp. Dermatol. — 2002. — Vol. 11. — P. 398–405.
5. Pentland, A. P. Active oxygen mechanisms of UV inflammation / A. P. Pentland // Adv Exp Med Biol. — 1994. — Vol. 366. — P. 87–97.
6. Darr, D. Free radicals in cutaneous biology / D. Darr, I. Fridovich // J. Invest Dermatol. — 1994. — Vol. 102(5). — P. 671–675.
7. Identification of free radicals induced by UV irradiation in collagen water solutions / N. Metreveli [et al.] // J Photochem Photobiol B. — 2008. — Vol. 93 (2). — P. 61–65.
8. Free radical-induced damage to DNA: mechanisms and measurement / M. Dizdaroglu [et al.] // Free Radic Biol Med. — 2002. — Vol. 32(11). — P. 1102–1115.
9. Петренёв, Д. Р. Особенности клеточных ответов кератиноцитов человека (HaCaT) на воздействие УФ-излучения (UV-B) / Д. Р. Петренёв, А. Д. Наумов // Сахаровские чтения 2012 года: экологические проблемы XXI века: материалы 12-й межд. науч. конф.; г. Минск, 17–18 мая 2012 г. / под ред. С. П. Кундаса, С. С. Позняка. — Минск: МГЭУ им. А. Д. Сахарова, 2012. — С. 243–244.
10. Кушаковский, М. С. Клинические формы повреждения гемоглобина / М. С. Кушаковский. — М.: Медицина, 1968. — 326 с.
11. Стальная, И. Д. Метод определения малонового диальдегида помощью тиобарбитуровой кислоты / И. Д. Стальная, Т. Г. Гаришвили. — М.: Медицина, 1977. — С. 63–64.

**КОРРЕКЦИЯ КВЕРЦЕТИНОМ РАДИОИНДУЦИРОВАННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ
РЕАКТИВНОСТИ ИЗОЛИРОВАННЫХ СОСУДОВ КРЫС**

Е. Н. Горбань, А. В. Паришков

Государственное учреждение
«Институт геронтологии имени Д. Ф. Чеботарёва»
Национальной академии медицинских наук Украины
г. Киев, Украина
engorban@meta.ua

Введение

Радиоиндуцированные нарушения регуляции сосудистого тонуса обусловлены накоплением активных форм кислорода в клетках сосудов, расстройством эндотелиальной функции, длительным воспалением, нарушением чувствительности эндотелия к инсулину (Инс) [1, 2]. Кверцетин (QC) способен влиять на уровень продукции активных форм кислорода в эндотелии сосудов и препятствовать развитию оксидативного стресса [3, 4]. Прямые вазодилататорные эффекты одновременно с повышением эндотелиальной функции являются главными механизмами, которые обеспечивают протекторное действие QC [5, 6].

Цель

Изучить возможность предотвращения негативного влияния рентгеновского облучения (R-обл) крыс в сублетальной дозе на регуляцию сосудистого тонуса с помощью липосомной формы QC.

Материал и методы исследования

Исследование проведено на взрослых (7–8 мес) крысах-самцах разделенных на 3 группы: 1-я — контроль; 2-я — однократное R-обл (7 Гр); 3-я — R-обл (7 Гр) с последующим курсовым введением, начиная со следующего дня после облучения, липосомного QC, 4-кратно, внутривентриально через день в дозе 0,6 мг/кг по QC; крыс брали в острый опыт через 30 сут после облучения.

Исследованы агонист- и инсулин-зависимые реакции сосудов, изолированных у подопытных крыс. Фрагменты торакального отдела аорты (ТА), мезентериальной артерии (МА) и воротной вены (ВВ) очищали от остатков жировой и соединительной тканей, разрезали на кольца шириной до 1 мм. Механографические исследования изолированных сосудов (ИС) проводили на экспериментальной установке [7]. Кольцевые фрагменты ИС растягивали с предшествующей нагрузкой 0,5–1,0 г на двух стальных крючках, расположенных в проточной горизонтальной камере (0,5 мл), которую заполняли раствором Кребса (0,5–1,0 мл/мин) при 36 °С. Силу сократительных реакций ИС регистрировали в изометрическом режиме с помощью тензометрических датчиков (ФТК-0.1), аналогоци-фрового преобразователя Lab-Trax 4-CDA и программного обеспечения Data Trax 2 (WPI, США). Наличие эндотелий-зависимых реакций оценивали как способность сосудов, предварительно сокращенных фенилэфрином (ФЭ, 3×10^{-6} М), дозо-зависимым образом расслабляться в ответ на ацетилхолин (АХ, 10^{-9} – 10^{-5} М), и выражали в % относительно уровня максимального тонического напряжения в стационарной фазе [4]. Фрагменты ВВ растягивали с постоянной предварительной нагрузкой (0,8 г), выдерживали в течение 30–40 мин в проточной камере для достижения стабильного уровня спонтанных регулярных сокращений. Исследование дозо-зависимого влияния серотонина (Сер, 10^{-8} – 10^{-4} М) отдельно и в присутствии Инс (0,001 Ед/мл) на сократительную активность ВВ осуществляли путем периодической стимуляции полосок Сер (3 мин) с последующим отмыванием раствором Кребса (10 мин).

Результаты исследования и их обсуждение

Способность ФЭ-сокращенных фрагментов ТА контрольных крыс расслабляться под действием АХ ($EC_{50} \sim 3,8 \pm 0,9 \times 10^{-8}$ М, $E_{max} \sim 77,3 \pm 4,2$ %) повышалась в присутствии Инс

($EC_{50} \sim 1,7 \pm 0,2 \times 10^{-8}$ М, $E_{max} \sim 88,9 \pm 2,3$ %), о чем свидетельствовали сдвиг кривой доза-эффект влево (EC_{50}) и рост амплитуды эндотелий-зависимого ответа (E_{max}) (рисунок 1). Фрагменты ТА, облученных крыс, характеризовались более высоким уровнем расслабления ($EC_{50} \sim 3,7 \pm 0,1 \times 10^{-8}$ М, $E_{max} \sim 90,5 \pm 0,4$ %) по сравнению с сосудами контрольных животных. Вместе с тем, наблюдался значительный сдвиг вправо кривой доза-эффект на АХ и угнетение расслабления таких сосудов в присутствии Инс ($EC_{50} \sim 5,9 \pm 1,1 \times 10^{-8}$ М, $E_{max} \sim 68,8 \pm 2,6$ %). Фрагменты ТА облученных крыс после курсового введения QC, демонстрировали такие реакции на АХ отдельно ($EC_{50} \sim 3,3 \pm 0,6 \times 10^{-8}$ М, $E_{max} \sim 75,8 \pm 2,9$ %) и в присутствии Инс ($EC_{50} \sim 2,2 \pm 0,4 \times 10^{-8}$ М, $E_{max} \sim 85,0 \pm 2,6$ %), которые по своему значению достоверно не отличались от таковых в контроле.

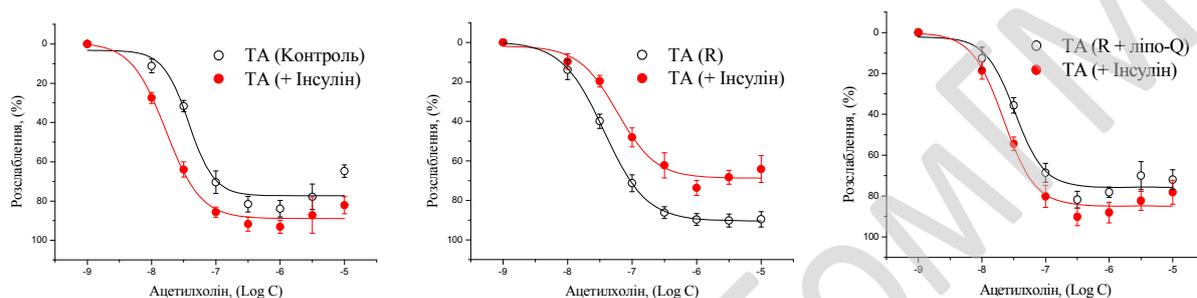


Рисунок 1 — Расслабление фрагментов ТА крыс, сокращенных ФЭ (10^{-6} М) в ответ на АХ отдельно и в присутствии Инс (0,001 Ед/мл). Здесь и на рисунке 2: интактный контроль (контроль), через 30 сут после R-облучения (R), через 30 сут после R-облучения и последующего курсового введения липосомного QC (R + липо-Q)

Результаты экспериментов, которые проводили на ФЭ-сокращенных фрагментах МА изолированных у контрольных крыс, продемонстрировали особенности реакции этих сосудов по сравнению с аортой, а именно высокий уровень максимального расслабления при меньшей чувствительности к АХ отдельно ($EC_{50} \sim 1,2 \pm 0,1 \times 10^{-7}$ М, $E_{max} \sim 91,4 \pm 2,5$ %) и в присутствии Инс ($EC_{50} \sim 1,0 \pm 0,1 \times 10^{-7}$ М, $E_{max} \sim 93,5 \pm 1,8$ %). Исследование фрагментов МА, изолированных у облученных крыс, показало значительное угнетение эндотелий-зависимых ответов сосудов на АХ ($EC_{50} \sim 1,2 \pm 0,1 \times 10^{-7}$ М, $E_{max} \sim 76,5 \pm 2,0$ %), которое становилось еще более выразительным в присутствии Инс ($EC_{50} \sim 1,2 \pm 0,3 \times 10^{-7}$ М, $E_{max} \sim 61,7 \pm 3,4$ %). Также необходимо отметить, что фрагменты МА, изолированные у облученных крыс после курсового введения QC, расслаблялись под влиянием АХ ($EC_{50} \sim 9,6 \pm 0,3 \times 10^{-8}$ М, $E_{max} \sim 90,2 \pm 1,1$ %) и Инс ($EC_{50} \sim 7,4 \pm 0,5 \times 10^{-8}$ М, $E_{max} \sim 88,7 \pm 1,5$ %) на одинаковом уровне с сосудами контрольных крыс.

Данные, полученные на фрагментах ВВ (рисунок 2), демонстрируют способность Сер дозо-зависимым образом повышать амплитуду и частоту сократительной активности ВВ контрольных крыс ($EC_{50} \sim 1,7 \pm 0,4 \times 10^{-6}$ М). Добавление Инс не сказывалось существенно на уровне сократительных реакций ВВ при дальнейшей стимуляции Сер ($EC_{50} \sim 1,9 \pm 0,1 \times 10^{-6}$ М). Фрагменты ВВ, изолированные у облученных крыс, демонстрировали значительные различия в чувствительности к стимуляции Сер отдельно ($EC_{50} \sim 2,1 \pm 0,6 \times 10^{-6}$ М) и в присутствии Инс ($EC_{50} \sim 8,2 \pm 2,0 \times 10^{-7}$ М). Также наблюдалось повышение на ~50 % уровня сократительной активности ВВ (E_{max}) под влиянием Инс. Однако, фрагменты ВВ, изолированные у облученных крыс после курсового введения QC, демонстрировали сократительный ответ на Сер ($EC_{50} \sim 1,9 \pm 0,8 \times 10^{-6}$ М) и инсулин ($EC_{50} \sim 1,4 \pm 0,2 \times 10^{-6}$ М), приближенный к уровню активности сосудов контрольных животных.

Заключение

Курсовое применение липосомного QC после однократного R-облучения крыс в сублетальной дозе, предотвращает развитие выявленных пострадиационных нарушений реакций сосудов исследованных типов.

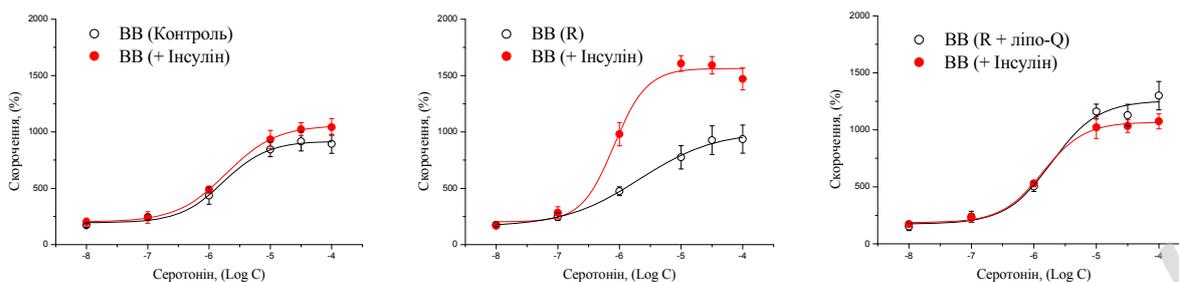


Рисунок 2 — Сокращение фрагментов ВВ крыс в ответ на Серотонин отдельно и в присутствии Инс (0,001 Ед/мл)

ЛИТЕРАТУРА

1. Mechanisms of endothelial dysfunction after ionized irradiation: selective impairment of the nitric oxide components of endothelium-dependent vasodilatation / A. Soloviev [et al.] // Br. J. Pharmacol. — 2003. — Vol. 138, № 5. — P. 185–191.
2. Hoel, D. G. Ionizing radiation and cardiovascular diseases / D. G. Hoel // Ann. NY Acad. Sci. — 2006. — Vol. 1076. — P. 309–317.
3. Mahesh, T. Quercetin alleviates oxidative stress in streptozotocin-induced diabetic rats / T. Mahesh, V. P. Menon // Phytother. Res. — 2004. — Vol. 18, № 2. — P. 123–127.
4. Machha, A. Chronic treatment with flavonoids prevents endothelial dysfunction in spontaneously hypertensive rat aorta / M. Machha, M. R. Mustafa // J. Cardiovasc. Pharmacol. — 2005. — Vol. 46, № 1. — P. 36–40.
5. Ajay, M. Effects of flavonoids on vascular smooth muscle of the isolated rat thoracic aorta / M. Ajay, A. U. Gilani, M. R. Mustafa // Life Sci. — 2003. — Vol. 74, № 5. — P. 603–612.
6. Nitric oxide (NO) scavenging and NO protecting effects of quercetin and their biological significance in vascular smooth muscle / G. Lopez-Lopez [et al.] // Mol. Pharmacol. — 2004. — Vol. 65, № 4. — P. 851–859.
7. Soloviev, A. Evidence for the involvement of protein kinase C in depression of endothelium-dependent vascular responses in spontaneously hypertensive rats / A. Soloviev, A. Parshikov, A. Stefanov // J. Vasc. Res. — 1998. — Vol. 35, № 5. — P. 272–278.

УДК 57.084:[577.121 + 547.915.5]

КОРАРГИН КОРРЕКТИРУЕТ РАДИОИНДУЦИРОВАННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ УРОВНЕЙ СТАБИЛЬНЫХ МЕТАБОЛИТОВ NO И ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПЕРЕКИСНОГО ОКИСЛЕНИЯ ЛИПИДОВ В ТКАНЯХ КРЫС РАЗНОГО ВОЗРАСТА

Е. Н. Горбань, Н. А. Утко, Е. В. Подьяченко

Государственное учреждение
«Институт геронтологии имени Д. Ф. Чеботарёва»
Национальной академии медицинских наук Украины
г. Киев, Украина
engorban@meta.ua

Введение

Существенная роль в регуляции сосудов отводится их эндотелию. Из всех факторов, синтезируемых эндотелием, наиболее существенная роль в регуляции основных его функций принадлежит фактору релаксации — оксиду азота (NO) [1–3]. В условиях воздействия ИИ именно NO-продуцирующая функция эндотелия оказывается наиболее уязвимой. С возрастом синтез NO уменьшается, кроме того, усиливается чувствительность сосудистой стенки к действию сосудосуживающих факторов [4]. Поэтому перспективен поиск терапевтических возможностей восстановления радиационно-индуцированных нарушений функции эндотелия.

В Институте геронтологии им. Д. Ф. Чеботарева НАМН Украины был разработан новый комбинированный препарат «Кораргин», в состав которого в качестве действующих веществ входят предшественник эндотелиального расслабляющего фактора — L-аргинин, повышающий продукцию эндогенного NO, и инозин, улучшающий метаболические процессы в миокарде [5].

Цель

Изучить влияние препарата «Кораргин», на уровни стабильных метаболитов (СМ) NO, ТБК-активных продуктов и активность ферментов антиоксидантной защиты (АОЗ) в ряде органов и тканей взрослых и старых крыс, подвергнутых воздействию ИИ.

Материал и методы исследования

Исследование проведено на 18 взрослых (7–8 мес.) и 18 старых (23–24 мес.) крысах-самцах, подразделенных на 3 группы: 1-я — контрольная; 2-я — однократное рентгеновское облучения (R-облучение) в дозе 5 Гр, крыс брали в опыт через 30 сут после R-облучения; 3-я — крысы, которым после облучения ежедневно на протяжении 30 сут добавляли в пищу препарат «Кораргин» из расчета 100 мг на 1 кг массы тела.

В плазме крови и гомогенатах тканей аорты и сердца определяли уровни СМ NO (нитрит-анионов NO_2^- и нитрат-анионов NO_3^-). Интенсивность свободнорадикального окисления в тканях оценивали по уровню малонового диальдегида (МДА), активности ферментов антиоксидантной защиты (АОЗ) — супероксиддисмутазы (СОД), каталазы (Кат) и глутатионпероксидазы (ГП). Статистическая обработка полученных результатов выполнена с использованием стандартных методов.

Результаты исследования и их обсуждение

У взрослых крыс через 30 сут после облучения наблюдалось достоверное снижение суммарного уровня СМ NO ($\text{NO}_2^- + \text{NO}_3^-$)-анионов в плазме крови и ткани аорты как за счет уровня NO_2^- -анионов, так и за счет NO_3^- -анионов; в ткани миокарда происходило достоверное снижение уровня NO_2^- -анионов по сравнению с контролем (таблица 1). У старых крыс через 30 сут после облучения уровни СМ NO в крови достоверно не изменялись; в ткани аорты происходило достоверное снижение уровня NO_2^- -анионов. Известно, что дефицит NO играет особую роль в возникновении и патогенезе многих заболеваний сердечно-сосудистой системы. Выявлено повышение уровня NO_3^- -анионов в ткани сердца старых облученных крыс по сравнению с контролем. Известно, что NO_3^- -анион является наиболее окисленным метаболитом NO. Повышение его содержания в ткани сердца облученных старых крыс может свидетельствовать не только об активации синтеза NO изоферментом индуцибельной NO-синтазы, но также и об активации окислительного метаболизма [6].

Введение в рацион животных кораргина в течение 30 сут после облучения не приводило к достоверным изменениям уровней СМ NO в плазме крови у животных обеих возрастных групп по сравнению с группой облученных животных; предотвращало снижение уровней NO_2^- и NO_3^- -анионов в ткани аорты взрослых крыс: уровень NO_2^- -анионов в ткани аорты животных этой группы был достоверно повышен по сравнению с группой облученных животных и не отличался от значений в контроле; Введение в рацион старых облученных крыс кораргина не приводило к достоверным изменениям уровней СМ NO в ткани аорты по сравнению с контролем; приводило к повышению суммарного уровня СМ NO ($\text{NO}_2^- + \text{NO}_3^-$) в ткани сердца. Введение в рацион взрослых облученных крыс кораргина приводило к повышению уровня NO_3^- -анионов в ткани сердца взрослых крыс по сравнению с контролем.

Таблица 1 — Влияние кораргина на уровни СМ NO в крови, тканях аорты и сердца крыс разного возраста через 30 сут после R-облучения, нмоль/мг белка ($M \pm m$)

Показатель	Контроль		Облучение		Облучение + кораргин		
	взрослые	старые	взрослые	старые	взрослые	старые	
Кровь	NO_2^-	$2,08 \pm 0,58$	$1,60 \pm 0,14$	$0,70 \pm 0,18^\#$	$1,78 \pm 0,68$	$0,64 \pm 0,16$	$1,61 \pm 0,11^*$
	NO_3^-	$15,54 \pm 0,99$	$4,16 \pm 1,70^*$	$10,50 \pm 1,28^\#$	$5,50 \pm 0,98^*$	$9,28 \pm 1,22$	$4,18 \pm 0,32^*$
	$\text{NO}_2^- + \text{NO}_3^-$	$17,62 \pm 0,98$	$5,76 \pm 1,23$	$11,20 \pm 1,12^\#$	$7,28 \pm 0,92^*$	$9,92 \pm 1,02$	$5,70 \pm 0,92^*$
Аорта	NO_2^-	$1,78 \pm 0,43$	$0,60 \pm 0,06^*$	$0,78 \pm 0,08^\#$	$0,38 \pm 0,07^\#$	$1,26 \pm 0,13^a$	$0,47 \pm 0,07^*$
	NO_3^-	$1,19 \pm 0,37$	$0,63 \pm 0,03$	$0,30 \pm 0,03^\#$	$0,70 \pm 0,28$	$0,89 \pm 0,28$	$0,73 \pm 0,08$
	$\text{NO}_2^- + \text{NO}_3^-$	$2,97 \pm 0,11$	$1,16 \pm 0,15^*$	$1,08 \pm 0,42^\#$	$1,18 \pm 0,22$	$1,54 \pm 0,31$	$1,20 \pm 0,20$
Сердце	NO_2^-	$2,71 \pm 0,03$	$2,31 \pm 0,02$	$2,42 \pm 0,06^\#$	$2,55 \pm 0,11$	$2,51 \pm 0,07$	$2,67 \pm 0,14$
	NO_3^-	$6,61 \pm 0,79$	$7,66 \pm 0,10$	$6,86 \pm 0,11$	$10,01 \pm 1,05^\#$	$9,57 \pm 0,85^a$	$12,96 \pm 0,82^*$
	$\text{NO}_2^- + \text{NO}_3^-$	$9,32 \pm 0,82$	$9,97 \pm 0,75$	$9,28 \pm 0,92$	$12,56 \pm 1,92$	$12,08 \pm 1,25$	$15,63 \pm 1,52^*$

Примечания (здесь и в таблице 2). * — $P < 0,05$ по сравнению с данной группой взрослых крыс; # — $P < 0,05$ по сравнению с соответствующей возрастной группой контроля; a — $P < 0,05$ по сравнению с соответствующей возрастной группой облученных крыс.

Таким образом, введение кораргина в рацион облученных животных благоприятно влияло на уровни СМ NO в исследуемых тканях, что должно положительно сказываться на эндотелии сосудов.

Исследовано влияние добавления в рацион облученных животных разного возраста препарата «Кораргин» на процессы перекисного окисления липидов (ПОЛ) и систему АОЗ в ткани сердца (таблица 2).

Таблица 2 — Влияние кораргина на показатели ПОЛ в ткани сердца крыс разного возраста через 30 сут после R-облучения, $M \pm m$

Показатель	Контроль		Облучение		Облучение + кораргин	
	взрослые	старые	взрослые	старые	взрослые	старые
МДА, мкмоль/л	1,27 ± 0,10	1,38 ± 0,20	1,65 ± 0,10 [#]	1,12 ± 0,40	1,30 ± 0,01 ^α	1,52 ± 0,10
СОД, ед / (мг белка • мин)	16,19 ± 1,49	15,66 ± 1,88	18,27 ± 0,59	14,54 ± 0,79*	15,05 ± 0,89 ^α	14,2 ± 1,73
Кат, мкмоль / (мг белка • мин)	16,54 ± 1,44	15,50 ± 0,64	13,85 ± 0,87	16,19 ± 1,63	17,43 ± 1,45 ^α	16,48 ± 1,06
ГП, нмоль / (мг белка • мин)	42,66 ± 7,23	47,48 ± 2,29	58,39 ± 2,78 [#]	37,64 ± 11,64	52,43 ± 9,24	40,62 ± 7,53

У взрослых крыс через 30 сут после однократного облучения в ткани сердца наблюдалось повышение интенсивности процессов ПОЛ (уровня МДА) по сравнению с контролем. Добавление кораргина в рацион облученных животных в течение 30 сут после облучения предотвращало это повышение.

Добавление кораргина в рацион взрослых облученных животных приводило к достоверному снижению СОД-активности в ткани сердца по сравнению с группой облученных животных до уровня в контроле. Уровень Кат-активности в ткани сердца взрослых облученных крыс, в рацион которых добавляли кораргин, достоверно повысился по сравнению с группой облученных животных. Введение кораргина в рацион облученных крыс обеих возрастных групп не приводило к достоверным изменениям уровня ГП-активности в ткани сердца по сравнению с контролем и группой облученных животных.

Заключение

Добавление в рацион взрослых и старых крыс в течение 30 сут после однократного R-облучения в дозе 5 Гр препарата «Кораргин», содержащего предшественник синтеза NO — L-аргинин, благоприятно сказывалось на показателях системы NO в крови, тканях аорты и сердца животных обеих возрастных групп и на процессах ПОЛ и активности ферментов АОЗ в ткани сердца.

ЛИТЕРАТУРА

1. Nitric Oxide: Biology and Pathobiology. — Ed. L. J. Ignarro. — Acad. Press, San Diego, 2000. — 1003 p.
2. McCleverty, J. A. Chemistry of Nitric Oxide Relevant to Biology / J. A. McCleverty // Chem. Rev. — 2004. — Vol. 104, № 2. — P. 403–418.
3. Ивашкин, В. Т. Клиническое значение оксида азота и белков теплового шока / В. Т. Ивашкин, О. М. Драпкина. — 2-е изд. — М.: ГЭОТАР-Медиа, 2011. — 376 с.
4. Gates, P. E. Human endothelial function and microvascular ageing / P. E. Gates, W. D. Strain, A. C. Shore // Exp. Physiol. — 2009. — Т. 94, № 3. — P. 311–316.
5. Безруков, В. В. Влияние кораргина на тонус сосудистой стенки и функцию миокарда у крыс разного возраста / В. В. Безруков, Н. В. Сыкало, О. В. Берук // Пробл. старения и долголетия. — 2010. — Т. 19, № 3. — С. 222–226.
6. Вплив еналаприлу на синтез оксиду азоту, окисний метаболізм і тонус судин у старих щурів / В. Ф. Сагач [та ін.] // Фізіол. журн. — 2007. — Т. 53, № 4. — С. 15–25.

**ЗАБОЛЕВАНИЯ, ПОВЫШАЮЩИЕ РИСК ВОЗНИКНОВЕНИЯ ТУБЕРКУЛЕЗА
ОРГАНОВ ДЫХАНИЯ У ДЕТЕЙ И ПОДРОСТКОВ, ПРОЖИВАЮЩИХ В НАИБОЛЕЕ
ПОСТРАДАВШИХ ОТ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ КАТАСТРОФЫ РАЙОНАХ**

Л. А. Горбач

**Государственное учреждение
«Республиканский научно-практический центр “Мать и дитя”»
г. Минск, Республика Беларусь
larisa-horbach@yandex.ru**

Введение

До настоящего времени чернобыльская авария остается самой крупной катастрофой в истории атомной энергетики. Массивный выброс больших количеств радиоактивных веществ в окружающую среду в результате аварии привел к загрязнению земель, вод, биоты на обширных территориях стран Европы. Изучение состояния здоровья населения, проживающего на пострадавших территориях, остается актуальным как для трех наиболее пострадавших от аварии стран — Беларуси, России и Украины, так и для всего мирового сообщества.

Уровень заболеваемости туберкулезом среди детского и подросткового населения разных районов Беларуси в период до чернобыльской катастрофы не имел значительных колебаний [1]. Однако после чернобыльской катастрофы был отмечен стремительный рост заболеваемости туберкулезом среди детского населения наиболее пострадавших районов [1, 2]. Согласно исследованиям И. В. Брылиной с соавт. заболеваемости туберкулезом среди детского населения Гомельской области после чернобыльской катастрофы увеличилась в 3,1 раза: с 4,1 на 100 тыс. человек в 1985 г. до 12,8 в 1996 г. [2].

Цель

Изучение спектра заболеваний, при которых отмечается высокий относительный риск возникновения туберкулеза органов дыхания у детей и подростков, проживающих в наиболее пострадавших от чернобыльской катастрофы районах.

Материал и методы исследования

Нами была сформирована база данных, включающая информацию о 438 детей и подростков с впервые выявленным туберкулезом органов дыхания, проживающих в Республике Беларусь. Все лица из сформированной базы данных были разделены на две группы по месту проживания. Первая группа включала 56 лиц, проживающих в наиболее пострадавших от чернобыльской катастрофы районах, вторая группа — 382 человека, проживающих во всех остальных районах Республики Беларусь, не входящих в перечень наиболее пострадавших районов. Перечень наиболее пострадавших районов был составлен в соответствии с Постановлением Совета Министров Республики Беларусь № 845 от 9 июня 2000 г. [3]. Он включал 21 район Брестской, Гомельской, Могилевской областей.

Нами была собрана и проанализирована вся информация, которая касалась наличия заболеваний или состояний, которые могли привести к заболеванию туберкулезом лиц, включенных в настоящее исследование.

Обработка данных проводилась с помощью вычисления критерия Стьюдента, критериев χ^2 и z . Вычисляемые коэффициенты сопоставлялись с их критическим значением для 5 % уровня значимости.

Было проведено вычисление относительных рисков возникновения туберкулеза органов дыхания для лиц, перенесших различные заболевания, в сопоставлении с группой сравнения. В группу сравнения были включены 22 человека, не имеющих никаких факторов риска, сопутствующих или перенесенных заболеваний. Вычисление относительных рисков проводилось с использованием четырехпольной таблицы сопряженности, куда вносилось число лиц с той или иной патологией, число лиц группы сравнение и численность

населения наиболее пострадавших и остальных районов страны согласно данным Национального статистического комитета Республики Беларусь. Значения относительного риска и границ доверительного интервала сравнивались с единицей. Если относительный риск имел значение выше 1, то делался вывод о том, что исследуемый фактор повышает частоту исходов (возникновение туберкулеза). Если оба значения — и нижней, и верхней границы доверительного интервала — находились по одну сторону от 1, то делался вывод о статистической значимости выявленной связи между фактором и исходом с вероятностью ошибки $p < 0,05$.

Результаты исследования и их обсуждение

Анализируемые группы пациентов не отличались между собой по среднему возрасту. В 1-й группе средний возраст пациентов составил $15,4 \pm 3,8$ лет, во 2-й — $14,3 \pm 4,3$ лет. Различие между группами не достоверно — $t = 1,813$; $p = 0,071$. При анализе структуры обеих групп по полу также достоверных различий не выявлено. В обеих группах преобладали лица женского пола: 62,5 % (35) девочек и 37,5 % (21) мальчиков в 1-й группе, 51 % (195) девочек и 49 % (187) мальчиков — во 2-й группе. Различие между группами не достоверно — $\chi^2 = 2,130$, $p = 0,144$. Таким образом, анализируемые группы были сопоставимы по среднему возрасту и полу.

Результаты вычислений относительных рисков возникновения туберкулеза органов дыхания у детей и подростков, проживающих в районах, не относящихся к наиболее пострадавшим, представлены в таблице 1.

Таблица 1 — Относительные риски возникновения туберкулеза органов дыхания у детей и подростков, проживающих в районах, не относящихся к наиболее пострадавшим

Наименование заболеваний, которые могли способствовать возникновению туберкулеза	Величина относительного риска	Верхняя и нижняя границы 95 % доверительного интервала
Острая респираторная инфекция (недавно отмечалась либо свыше 3 раз в течение последнего года)	2,431	1,47–4,02
Бронхит	2,927	1,794–4,776
Ветряная оспа (недавно отмечалась либо в течение последнего года)	3,523	2,183–5,683
Острая респираторная вирусная инфекция (недавно отмечалась либо свыше 3 раз в течение последнего года)	9,079	5,834–14,129

Как видно из таблицы 1, относительные риски возникновения туберкулеза органов дыхания у детей и подростков, проживающих в районах, не относящихся к наиболее пострадавшим, были достоверно высокими в случае заболевания острой респираторной инфекцией (2,431), острой респираторной вирусной инфекцией (9,079), бронхитом (2,927) и ветряной оспой (3,523). При этом самый высокий относительный риск отмечался в случае заболевания острой респираторной вирусной инфекцией — 9,079, а самый низкий — при острой респираторной инфекции 2,431.

Спектр заболеваний, которые достоверно повышали относительный риск возникновения туберкулеза органов дыхания у детей и подростков, проживающих в наиболее пострадавших районах, был шире по сравнению с детьми и подростками, проживающими в остальных районах. Он включал помимо 4 заболеваний, которые отмечались у детей и подростков из районов, не относящихся к наиболее пострадавшим, дополнительно еще 5 заболеваний — дискинезия желчевыводящих путей, анемия, гастрит, пневмония, перинатальная энцефалопатия. Это показано в таблице 2.

Как видно из таблицы 2, самый высокий относительный риск возникновения туберкулеза у детей и подростков, проживающих в наиболее пострадавших районах, отмечался в случаях заболевания острой респираторной вирусной инфекцией — 20,607, а самый низкий — при дискинезии желчевыводящих путей — 3,254.

Таблица 2 — Относительные риски возникновения туберкулеза органов дыхания у детей и подростков, проживающих в наиболее пострадавших районах

Наименование заболеваний, которые могли способствовать возникновению туберкулеза	Величина относительного риска	Верхняя и нижняя границы 95 % доверительного интервала
Дискинезия желчевыводящих путей	3,254	1,319- 8,025
Анемия	3,796	1,622 - 8,886
Острая респираторная инфекция (недавно отмечалась либо свыше 3 раз в течение последнего года)	4,338	1,932 – 9,745
Гастрит	4,881	2,247 - 10,6
Пневмония	5,423	2,568 - 11,452
Ветряная оспа (недавно отмечалась либо в течение последнего года)	6,508	3,221 – 13,149
Перинатальная энцефалопатия	6,508	3,221 – 13,149
Бронхит	11,93	6,607- 21,543
Острая респираторная вирусная инфекция (недавно отмечалась либо свыше 3 раз в течение последнего года)	20,607	12,189 - 34,838

Выводы

1. Относительные риски возникновения туберкулеза органов дыхания у детей и подростков, проживающих в районах, не относящихся к наиболее пострадавшим, были достоверно высокими в случае заболевания острой респираторной инфекцией (2,431), острой респираторной вирусной инфекцией (9,079), бронхитом (2,927) и ветряной оспой (3,523).

2. Спектр заболеваний, которые достоверно повышали относительный риск возникновения туберкулеза органов дыхания у детей и подростков, проживающих в наиболее пострадавших районах, был шире по сравнению с детьми и подростками, проживающими в районах, не относящихся к наиболее пострадавшим.

3. Относительные риски возникновения туберкулеза органов дыхания у детей и подростков, проживающих в наиболее пострадавших районах, были достоверно высокими в случае заболевания дискинезией желчевыводящих путей (3,254), анемией (3,796), острой респираторной инфекцией (4,338), гастритом (4,881), пневмонией (5,423), ветряной оспой (6,508), перинатальной энцефалопатией (6,508), бронхитом (11,93), острой респираторной вирусной инфекцией (20,607).

4. Полученные результаты исследования могут быть использованы для дифференцированного подхода к проведению противотуберкулезных мероприятий среди детей и подростков, с учетом их проживания в наиболее пострадавших от чернобыльской катастрофы районах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Борщевский, В. В. Тенденции в заболеваемости туберкулезом после Чернобыльской аварии в Беларуси / В. В. Борщевский, О. М. Калечиц, А. В. Богомазова // Медико-биологические аспекты аварии на ЧАЭС. — 1996. — № 1. — С. 33–37.
2. Брылина, И. В. Особенности туберкулеза органов дыхания у детей Гомельской области после аварии на ЧАЭС / И. В. Брылина, Е. И. Соколовский, Д. Ю. Рузанов // Чернобыль-Вильседе VII: матер. междунар. науч. конгр. — Гомель, 1997. — С. 67.
3. Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 9 июня 2000 г. № 845 «О некоторых мерах экономической поддержки организаций потребительской кооперации, расположенных в наиболее пострадавших от аварии на Чернобыльской АЭС районах республики» // Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь, 5/3381. Собрание декретов, указов Президента и постановлений Правительства Республики Беларусь. — 2000. — № 16. — С. 469.

**ВЛИЯНИЕ БИОЛОГИЧЕСКОГО ПРЕПАРАТА ЕМ-1
НА ФОРМЫ СОДЕРЖАНИЯ ^{137}Cs В ПОЧВЕ**

Г. З. Гуцева, Г. А. Леферд

**Государственное научное учреждение
«Институт радиобиологии Национальной академии наук Беларуси»
г. Гомель, Республика Беларусь
guzewa@mail.ru**

Поскольку в переходе радионуклидов по биологическим цепям «почва» – «растение» – «животные» – «человек», почва является первоначальным звеном и источником поступления радионуклидов, то научные разработки в области поведения радионуклидов в почвах позволяют на практике определять возможности получения продуктов с наименьшим содержанием радионуклидов и создавать базу для реабилитации загрязненных территорий.

Опыт проводился в лабораторных условиях. Почва, массой 1 кг, помещалась в стеклянные вегетационные сосуды, которые находились в лаборатории искусственного климата при стандартной освещенности 100 лк, с температурой воздуха 25 °С и абсолютной влажности воздуха 20,3 г/м³ [1]. Почва в различных режимах, согласно схеме опыта с периодичностью раз в 21 день, обрабатывалась ЕМ-1 путем равномерного опрыскивания в норме 100 мл препарата на 1 кг (стакан) почвы.

Количество повторностей каждого варианта — 4. Продолжительность эксперимента — 6 месяцев.

Проведенные исследования показали, что внесение биологического препарата ЕМ-1 приводит к снижению концентрации ^{137}Cs в почве. Снижение содержания радионуклида относительно контрольного варианта (1), без увлажнения наблюдалось по всем вариантам опыта, где вносился биологический препарат. По сравнению с контрольным вариантом (2), где почва периодически увлажнялась, статистически значимое снижение концентрации ^{137}Cs наблюдалось в варианте с внесением в почву отрубей и обработкой 10 % ЕМ-1 и в варианте, где почва обрабатывалась 10 % ЕМ-1 и находилась в термостате.

Общеизвестно, что своеобразным «транспортным средством», с помощью которого могут трансформироваться и передвигаться в почве все химические вещества и биологические загрязнители (яйца геогельминтов, простейшие, бактерии, вирусы) является почвенная влага. Кроме того, все химические и биохимические процессы, протекающие в почве, осуществляются в водной среде, водных растворах.

Поскольку в состав биологического препарата ЕМ-1 входят фотосинтезирующие и молочнокислые бактерии, а также дрожжи, актиномицеты и ферментирующие грибы, то есть организмы, на жизнедеятельность которых влияет влажность почвы, то нами производился учет этого показателя по всем вариантам опыта (рисунок 1).

Из приведенных данных видно, что почва в варианте ЕМ-1 10 % + отруби и в варианте ЕМ-1 10 % в термостате характеризовалась избыточным увлажнением, что способствовало активности микроорганизмов, входящих в состав препарата ЕМ-1.

После окончания эксперимента нами проводилось измерение ^{137}Cs по слоям почвы. Сравнительный анализ влияния увлажнения и внесения биологического препарата ЕМ-1 на содержание ^{137}Cs в различных слоях почвы показал, что наиболее значительное содержание радионуклида наблюдается в верхнем шести сантиметровом слое почвы, который подвергался наибольшему освещению, более интенсивному испарению влаги и больше пересыхал. В среднем шестисантиметровом слое почвы концентрация ^{137}Cs меньше, чем в верхнем слое. Самая низкая концентрация радионуклида в почве наблюдалась ниже 12 см, в нижнем 6-см слое (рисунок 1).

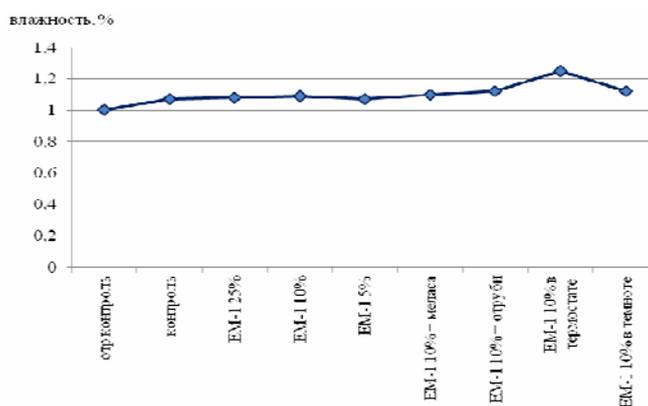


Рисунок 1 — Влажность почвы

О влиянии увлажнения почвы на концентрацию в ней ^{137}Cs указывает разница его содержания по слоям почвы в контрольном варианте, где почва только увлажнялась. Здесь наиболее всего цезий концентрировался в верхнем слое, а наименее в нижнем.

Почва является ведущим звеном миграции радионуклидов, так как особенности их взаимодействия с компонентами почвенного комплекса определяют характер движения изотопов в остальных звеньях биологического цикла. Поскольку потребление радионуклидов растениями, как и других химических элементов, из почвы определяется прочностью связи последних с почвой и изменением ее с течением времени, следует располагать данными о состоянии и формах нахождения радионуклидов в почвенных разновидностях. Изучение форм соединений радионуклидов в почвах позволяет понять механизмы поступления их в растения и наметить пути возможного ограничения миграции в трофических цепях: «почва» «растения» «животные» «человек» [2].

Для количественной оценки потенциальной биологической доступности радионуклидов, сорбированных почвой, широкое распространение получил метод последовательных экстракций [3, 4]. Для оценки прочности связи радионуклида ^{137}Cs с почвой нами определялось относительное содержание: 1) обменной и растворимой формы; 2) неподвижной связанной с оксидами железа и марганца формы; 3) формы связанной с органическими соединениями.

Анализируя полученные результаты, видно, что основная масса радионуклида находится в почве в недоступной для растений форме связанной с органическими соединениями, а в доступной для растений обменной форме находится мизерное количество ^{137}Cs (рисунок 2).

Представленные данные свидетельствуют, что внесение в почву биологического препарата EM-1 в различных концентрациях влияет на формы содержания в почве ^{137}Cs . В контрольных вариантах в доступной для перехода в растения обменной и растворимой формы ^{137}Cs в 1,5 раз больше, чем в вариантах с внесением биологического препарата EM-1. Таким образом, результаты исследований свидетельствуют, что внесение в почву биологического препарата EM-1 позволяет снизить доступность ^{137}Cs для растений.

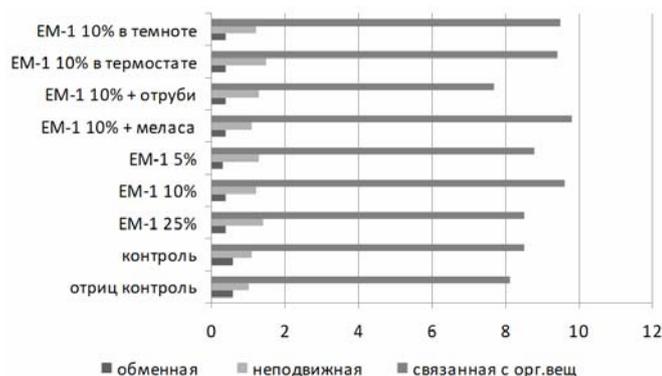


Рисунок 2 — Формы содержания ^{137}Cs в почве, в зависимости от внесения биологического препарата EM-1 (%)

За прошедшие 30 лет с момента аварии на ЧАЭС произошло физико-химическое старение радионуклидов, и изменились формы нахождения их в почве. Анализ полученных нами результатов показывает, что наибольшее количество ^{137}Cs — 84 % находится в почве в форме связанной с органическими соединениями, 12% - в неподвижной форме связанной с оксидами железа и марганца и лишь 4 % радионуклида содержится в почве в обменной и растворимой форме, доступной для растений.

Таким образом, проведенные исследования свидетельствуют, что:

— влажность почвы является важным показателем, влияющим на активность микроорганизмов, входящих в состав препарата ЕМ-1;

— радионуклид ^{137}Cs сконцентрирован в верхнем шести сантиметровом слое почвы, который подвергался наибольшему освещению и более интенсивному испарению влаги;

— внесение в почву биологического препарата ЕМ-1 позволяет снизить доступность ^{137}Cs для растений;

— в доступной для растений, обменной и растворимой форме ^{137}Cs в почве находится 4 %, в форме связанной с органическими соединениями — 84 % и в неподвижной форме связанной с оксидами железа и марганца — 12 %.

ЛИТЕРАТУРА

1. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта / Б. А. Доспехов. — М.: Колос, 1979. — 416 с.
2. Коммунальная гигиена / Е. И. Гончарук [и др.]. — Киев: Здоровье, 2006. — 792 с.
3. Агеец, В. Ю. Система радиэкологических контролей в агрофере Беларуси / В. Ю. Агеец. — Минск: РНИУП «Институт радиологии», 2001. — 250 с.
4. Chemical speciation in the environment. Second edition / Ed. by A. M. Ure, C. M. Davidson. — Wiley, 2002. — 452 p.

УДК 616.15:614.876

ИНДИКАТОРНЫЕ СВОЙСТВА КРОВИ ЧЕЛОВЕКА ПРИ РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОЦЕНКЕ ТЕРРИТОРИЙ

М. Т. Джамбаев^{1, 2}, Н. В. Барановская¹

¹Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет»
г. Томск, Российская Федерация
merci-semei@mail.ru,

²РГКП «Научный исследовательский институт радиационной медицины и экологии»
г. Семей, Казахстан

Введение

Состояние окружающей среды, прежде всего, характеризуется элементным составом природных объектов. Нарушение естественного миграционного процесса химических элементов в результате антропогенного воздействия может привести к их накоплению или недостатку в отдельных звеньях миграционной цепи. Живое вещество, в том числе и организм человека, является одним из главных звеньев такой цепи.

Биогеохимические особенности крови человека позволяют использовать этот материал в качестве индикатора изменения состояния окружающей среды [3]. Ранее проведенные исследования показали, что общий уровень содержания элементов в крови, обусловленный поступлением элементов с пищей, водой, воздухом является показателем региональных особенностей и способствует ее использованию в качестве индикаторной среды [2]. В радиэкологических исследованиях кровь также успешно используется в качестве индикатора техногенной нагрузки. Накопление в крови человека широкого спектра химических элементов, включая редкоземельные и радиоактивные элементы, является показателем присутствия ядерного техногенеза в исследуемой территории [1].

Материал и методы исследования

Нами был исследован элементный состав крови человека проживающего в населенных пунктах Новопокровка, Зенковка, Кокпекты, которые расположены на территории прилегающей к бывшему Семипалатинскому испытательному ядерному полигону. Исследуемые населенные пункты в соответствии с законом Республики Казахстан от 18 декабря 1992 года «О социальной защите граждан пострадавших вследствие ядерных испытаний на Семипалатинском испытательном ядерном полигоне» относятся к повышенной, максимальной и минимальной зоне радиационного риска соответственно (рисунок 1).

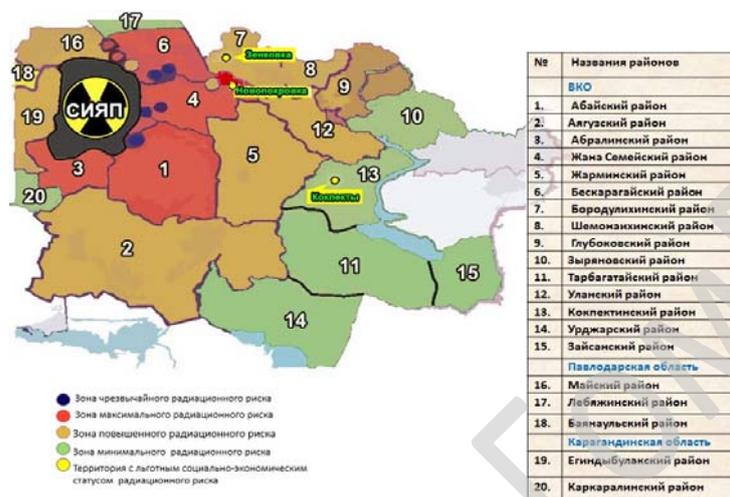


Рисунок 1 — Схема-карта разделения территорий подвергшихся воздействию ядерных испытаний на СИАЯП по зонам радиационного риска

В каждом населенном пункте было отобрано по 10 проб крови человека. Основными критериями при отборе проб был факт проживания респондентов на исследуемой территории не менее 10 лет, а также отсутствие у них патологий внутренних органов и хронических заболеваний.

Для определения элементного состава крови был применен инструментальный нейтронно-активационный анализ с облучением тепловыми нейтронами на базе лаборатории ядерно-геохимических методов исследования кафедры полезных ископаемых и геохимии редких элементов Томского политехнического университета.

Результаты исследования и их обсуждение

В результате проведенного анализа были определены содержания 28 химических элементов в составе крови человека. Полученные результаты были подвергнуты статистической обработке. Были рассчитаны такие показатели как среднее арифметическое, максимальное и минимальное значение, медиана и мода, стандартное отклонение, стандартная ошибка и коэффициент вариации.

Было установлено, что в составе крови человека, большими интервалами разброса отличаются такие элементы как Ca, Sc, Co, As, Sb, Ba, Ce, Nd, Tb, Yb, Hf, Ta, Au, Th, U что, скорее всего, свидетельствуют о том, что данные химические элементы имеют логнормальное распределение. Коэффициенты вариации таких элементов как Co, Sc, As, Sr, Ag, Sb, Cs, Ba, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Yb, Lu, Hf, Ta, Au, Th, U $\geq 50\%$. Следует отметить, что ряд химических элементов, таких как Cr, Sr, Sb, Yb, Ta, в больше 50 % случаях были определены ниже порога чувствительности.

Сравнительный анализ средних значений показал, что в составе крови жителей села Новопокровка Ca и Yb отличаются низким и высоким значением на один порядок соответственно, по сравнению с их содержанием в составе крови жителей других исследуемых территорий. Составы крови жителей населенного пункта Зенковка отличаются высоким значением Co, Sb, Au, U на один порядок и низким значением Nd на один порядок по сравнению с их содержанием в составе крови жителей сравниваемых территорий. В населенном пункте Кокпекты содержания Sr, Ba, Lu в крови человека выше, содержание Ag

ниже на один порядок, по сравнению с их содержанием в составе крови жителей других рассматриваемых населенных пунктов.

В таблице 1 представлены геохимические ряды накопления и химических элементов в составе крови человека, а так же суммарные показатели загрязнения крови человека, проживающего на сравниваемых территориях. Так же в данной таблице для крови человека каждой территории рассчитаны суммы коэффициентов концентраций всей группы элементов определяемых методом ИНАА и суммы коэффициентов концентраций элементов с коэффициентами концентрации $\geq 1,5$.

Из таблицы видно, что широким спектром накапливаемых элементов в составе крови человека отличается населенный пункт Новопокровка. Сумма коэффициентов концентраций элементов накапливаемых в крови человека $\geq 1,5$ для данной территории составляет 14,3 из 32, тогда как для других территорий это значение равно 11 из 31,2 и 1,9 из 30,8 для населенных пунктов Зенковка и Кокпекты соответственно. Суммарный показатель загрязнения элементами накапливаемых ≥ 1 выше в населенном пункте Новопокровка. Следует отметить, что суммы коэффициентов концентраций элементов накапливаемых $\geq 1,5$ населенных пунктов Зенковка и Новопокровка находятся на одном уровне, при этом количество таких элементов в крови села Зенковка составляет 5, в крови села Новопокровка 9 элементов, что говорит о более высоких значениях коэффициентов концентраций в селе Зенковка. Также для села Зенковка отличительным является накопление в крови U.

На рисунке 2 представлен график сравнения содержания химических элементов в составе проб крови человека исследуемых территорий с литературными данными [2].

Из рисунка видно, что в составе проб крови человека села Новопокровка литературные данные превышают такие элементы как Na, Fe, Zn, As, Rb, Sr, Sb, Ba, Th, U. В составе проб крови села Зенковка элементами превышающими литературные данные являются Ca, Fe, Zn, As, Sr, Sb, Ba, Au, U. В населенном пункте Кокпекты в составе проб крови человека литературные данные превышают As, Sr, Ba, Th, U.

Таблица 1 — Геохимические ряды накопления и химических элементов и суммарные показатели загрязнения крови человека сравниваемых территорий

Населенный пункт	Геохимические ряды	Суммарные показатели загрязнения
Новопокровка	Ca _{2,2} Yb _{2,2} Ta _{1,9} Ce _{1,8} Lu _{1,8} Ba _{1,8} Eu _{1,7} Sc _{1,6} Cs _{1,5} Hf _{1,3} Th _{1,2} Nd _{1,2} Na _{1,1} Sm _{1,1} Zn _{1,1} La _{1,1} Cr _{1,0} Br _{1,0} Fe _{1,0} Rb _{1,0} \sum К.К. (28) = 31,2 \sum К.К. $\geq 1,5$ = 14,3	Z (СПН, КК ≥ 1) = 9,6
Зенковка	U _{2,4} Au _{2,4} Sb _{2,1} Co _{2,1} Sr _{1,9} As _{1,4} Br _{1,2} Fe _{1,0} Cr _{1,0} Zn _{1,0} \sum К.К. (28) = 30,8 \sum К.К. $\geq 1,5$ = 11	Z (СПН, КК ≥ 1) = 7,5
Кокпекты	Tb _{1,9} Nd _{1,3} Ag _{1,3} Rb _{1,1} Na _{1,1} Sm _{1,1} Hf _{1,1} Th _{1,0} La _{1,0} Fe _{1,0} Cr _{1,0} \sum К.К. (28) = 22,0 \sum К.К. $\geq 1,5$ = 1,9	Z (СПН, КК ≥ 1) = 2,8

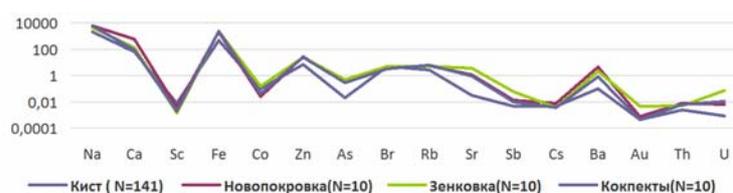


Рисунок 2 — График сравнения содержания химических элементов в составе проб крови человека исследуемых территорий с литературными данными

Заключение

Таким образом, были выявлены геохимические особенности накопления химических элементов в составе крови человека, проживающего на территории, прилегающей к быв-

шему Семипалатинскому испытательному ядерному полигону. Рассчитанные суммарные показатели накопления химических элементов соответствуют рангам зон радиационного риска, установленных согласно закону Республики Казахстан от 18 декабря 1992 года «О социальной защите граждан пострадавших вследствие ядерных испытаний на Семипалатинском испытательном ядерном полигоне». Наблюдается тенденция сравнительно высоких значений коэффициентов концентраций в населенном пункте Зенковка. Отличительной характеристикой для состава крови человека данной территории является значительный уровень накопления U (2, 4). Для крови населенного пункта Новопокровка характерен широкий спектр накапливаемых элементов, включая редкоземельные и радиоактивные элементы. В целом для всех территорий характерно высокое накопление Sr, U в исследуемых территориях что, скорее всего, отражает специфику техногенной нагрузки исследуемого региона.

ЛИТЕРАТУРА

1. Барановская, Н. В. Геохимический состав крови человека как индикатор техногенного воздействия / Н. В. Барановская // Проблемы геологии и освоения недр. Труды Пятого Международного симпозиума имени академика М. А. Усова студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященного столетию горно-геологического образования в Сибири. — 2001. — Т. 2. — С. 492–493.
2. Элементный состав органов и тканей человека по данным инструментального нейтронно-активационного анализа / Л. П. Рихванов [и др.] // Тяжелые металлы и радионуклиды в окружающей среде: матер. V Междунар. науч.-практ. конф.; Семипалатинский гос. пед. ин-т, 15–18 окт. — Семей, 2008. — Т. 2. — С. 26–36.
3. Иржак, Л. И. Состав и функции крови / Л. И. Иржак // Сорос. образов. журн. — 2001. — Т. 7, № 2. — С. 11–19.

УДК 553.493.42 + 553.495

СОДЕРЖАНИЕ СТРОНЦИЯ И УРАНА НЕАВАРИЙНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ В ОБЪЕКТАХ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

*В. П. Жданович, А. Н. Никитин, Е. А. Клементьева,
Г. А. Леферд, С. А. Арендарь, Н. Д. Адамович*

Государственное научное учреждение
«Институт радиобиологии Национальной академии наук Беларуси»
г. Гомель, Республика Беларусь
zhdanovich.vp@tut.by

Введение

Главным природным источником стронция и урана являются почвообразующие породы (магматические и осадочные) и минералы [1, 6].

Поступление их в биосферу вследствие техногенного воздействия осуществляется разнообразными путями. Важнейшим из них является выброс при высокотемпературных процессах в черной и цветной металлургии, при обжиге цементного сырья, сжигании минерального топлива. Кроме того, источником загрязнения биоценозов могут служить орошение водами с повышенным содержанием этих металлов, внесение осадков бытовых сточных вод в почву в качестве удобрения. Вторичное загрязнение происходит также вследствие выноса стронция и урана из отвалов рудников или металлургических предприятий водными или воздушными потоками, поступления больших количеств их при постоянном внесении высоких доз органических, минеральных удобрений и пестицидов [2].

Часть техногенных выбросов стронция и урана, поступающих в атмосферу в виде аэрозолей, переносится на значительные расстояния и вызывает глобальное загрязнение. Другая часть с гидрохимическим стоком попадает в бессточные водоемы, где накапливается в водах и донных отложениях и может стать источником вторичного загрязнения. Соединения изотопов их сравнительно быстро распространяются по объемам водного объекта. Частично они выпадают в осадок в виде карбонатов, сульфатов, частично адсорбируются на

минеральных и органических осадках. В результате содержание их в отложениях постоянно растёт. Этому способствует повышение кислотности воды, сильное зарастание водоемов, интенсификация выделения CO₂ в результате деятельности микроорганизмов [2, 6].

Загрязнение поверхностных и подземных вод отходами производства и потребления — общемировая проблема, однако для Республики Беларусь, как и множества других развивающихся стран, эта проблема усугубляется практически полным отсутствием современной инфраструктуры и экологоприемлемых технологий обращения с отходами. В результате, из строя выводятся многие эксплуатационные скважины, отдельные крупные водозаборы и месторождения подземных вод, соответственно уменьшаются и ранее оцененные ресурсы питьевых подземных вод — этого важнейшего геологического и стратегического потенциала Беларуси [1, 4].

Сельскохозяйственное загрязнение характеризуется меньшей интенсивностью, но охватывает обширные площади сельхозугодий и является, таким образом, региональным.

Поэтому основными задачами исследований являются:

— выявление наличия стронция и урана естественного происхождения в водах из подземных источников нецентрализованного водоснабжения (колодцы, колонки) в Гомельском регионе;

— анализ этих элементов в почве и различных группах растительных сообществ на участках территориально прилегающих к исследуемым источникам водоснабжения;

— анализ содержания стронция и урана в источниках подземных вод;

— разработка технологий ведения производства, снижающих риск проникновения их в подземные воды.

Материал и методы исследования

Изучали проблему на реперных площадках водоисточников, которые характеризовались следующим образом (таблица 1).

Таблица 1 — Характеристика экспериментальных площадок

№ площадки водоисточника	Глубина водоисточников, м	Почва и растительность площадок	Координаты площадок
			широта, долгота
1	4 м	Почва дерново-подзолистая, легкосуглинистая. Одуванчик лекарственный; клевер луговой; подорожник большой; тысячелистник обыкновенный; пырей ползучий; двукисточник тростниковидный; сирень обыкновенная	59° 29' 20,8" 30° 57' 47,3"
2	7,8 м	Почва дерново-подзолистая, связносупесчаная. Одуванчик лекарственный; чистотел большой; жасмин тонколиственный	52° 28' 07,1" 30° 48' 08,9"
3	10 м	Почва дерново-подзолистая легкосуглинистая. Одуванчик лекарственный; крапива двудомная	52° 28' 06,3" 30° 47' 54,3"
4	2 м	Почва дерново-подзолистая среднесуглинистая. Двукисточник тростниковидный; пузыреплодник калинолистный; клен ложноплатановый	52° 27' 51,1" 30° 54' 53,1"
5	4 м	Почва дерново-подзолистая связносуглинистая. Вишня садовая; клен ложноплатановый	52° 28' 42,3" 30° 56' 33,8"
6	8 м	Почва дерново-подзолистая, связносупесчаная. Ежа сборная; ослинник двулетний	52° 17' 14,5" 31° 03' 47,6"
7	9,5 м	Почва дерново-подзолистая рыхлосупесчаная. Чернокорень лекарственный; слива домашняя	52° 17' 21,3" 31° 04' 02,1"
8	6 м	Почва дерново-подзолистая рыхлосупесчаная. Тысячелистник обыкновенный; одуванчик лекарственный	52° 17' 39,0" 31° 05' 02,5"
9	16 м	Почва дерново-подзолистая рыхлосупесчаная. Сумчатник пастуший	52° 18' 24,5" 31° 04' 32,9"
10	10 м	Почва дерново-подзолистая рыхлосупесчаная. Ветреница; щавель кислый; тысячелистник обыкновенный; ячмень обыкновенный; ежа сборная	52° 18' 38,1" 31° 03' 31,6"

В результате на 10 площадках были отобраны сопряженные пробы воды, растительности и почвы для проведения дальнейших исследований. Отбор проб воды производился в емкости из химически стойких полимерных материалов. *Отбор проб растительности* и сопряженных проб почвы осуществляли в 3-кратной повторности.

Отбор проводили в сухую погоду, в период с мая по июнь. Исследуемые растения в количестве, достаточном для определения в них анализируемых элементов, срезали на уровне 3–4 см от поверхности почвы и взвешивали. В зависимости от вида, их разделяли на части (листья, стебли, соцветия) для последующего исследования [3].

Для масс-спектрометрического анализа проб воды отбирали аликвоту объемом $50,0 \pm 0,2$ мл от гомогенной водной пробы в трехкратном повторении [4, 5, 7, 8]. Пробы почвы отбирали буром Малькова длиной 20 см с внутренним диаметром 4 см [3].

Результаты исследования и их обсуждение

Повсеместно в почве на экспериментальных площадках стабильный стронций находится в количествах от 6,2 до 39,6 мг/кг почвы (таблица 2).

Наибольшее его количество зафиксировано на площадках со связными почвами (площадки: 6 — 39,6; 4 — 22,8 и 2 — 18,0 мг/кг почвы). Самые низкие значения содержания его отмечены в почвах легкого механического состава (площадки 7–10 (6,2–9,8 мг/кг почвы). Почвы среднесвязанного механического состава (легко и связносуглинистые) по содержанию стабильного стронция заняли промежуточное положение (13,8–15,5 мг/кг почвы).

В воде подземных источников стабильный стронций не обнаружен. Растительной массой он накапливается также в незначительных количествах и не зависит от гранулометрического состава почвы, а в большей мере от вида произрастающей культуры. содержанию его в почве (таблица 3).

Таблица 2 — Содержание стронция и урана в почве и воде источника (мг/кг)

Площадка	Sr	U	
	почва	почва	вода*
1	$13,8 \pm 0,2$	$0,5 \pm 0,007$	0,00021
2	$18,0 \pm 0,2$	$0,4 \pm 0,004$	0,001
3	$15,5 \pm 0,3$	$0,3 \pm 0,003$	0,0027
4	$22,8 \pm 0,3$	$0,6 \pm 0,007$	0,00034
5	$14,7 \pm 0,2$	$0,4 \pm 0,004$	0,00125
6	$39,6 \pm 0,6$	$0,2 \pm 0,007$	0,000018
7	$6,2 \pm 0,11$	$0,2 \pm 0,002$	0,000011
8	$7,8 \pm 0,11$	$0,3 \pm 0,003$	0,000018
9	$9,8 \pm 0,12$	$0,3 \pm 0,002$	0,000234
10	$9,2 \pm 0,14$	$0,3 \pm 0,005$	0,000003

* — Ошибка измерения 0,9–9,7%.

Таблица 3 — Содержание стронция и урана в растительности (мг/кг)

Площадка	Растительность	Sr	U
1	Разнотравье (одуванчик, клевер, подорожник, тысячелистник, пырей)	$7,8 \pm 0,105$	$0,004 \pm 0,0001$
	Двуклосточник тростниковидный	$5,5 \pm 0,140$	$0,004 \pm 0,0001$
	Сирень обыкновенная, цветы + молодые побеги	$6,7 \pm 0,106$	$0,006 \pm 0,0001$
	Сирень обыкновенная, прошлогодние побеги	—	$0,006 \pm 0,0001$
2	Чистотел большой	$9,8 \pm 0,129$	$0,004 \pm 0,0001$
	Одуванчик лекарственный	$8,8 \pm 0,189$	$0,009 \pm 0,0002$
	Чубушник тонколистный, листья + молодые побеги	$14,9 \pm 0,136$	$0,007 \pm 0,0002$
	Чубушник тонколистный, прошлогодние побеги	$13,4 \pm 0,084$	$0,011 \pm 0,0002$
3	Крапива двудомная	—	$0,004 \pm 0,0001$
	Одуванчик лекарственный	$16,1 \pm 0,157$	$0,008 \pm 0,0003$

Окончание таблицы 3

Площадка	Растительность	Sr	U
4	Двуклосточник тростниковидный	14,0 ± 0,513	0,006 ± 0,0002
	Пузыреплодник калинолистный, листья + молодые побеги	19,8 ± 0,177	0,018 ± 0,0007
	Пузыреплодник калинолистный, прошлогодние побеги	6,3 ± 0,111	0,002 ± 0,0001
	Клен ложноплатановый, листья + молодые побеги	36,4 ± 0,315	0,019 ± 0,0003
	Клен ложноплатановый, прошлогодние побеги	6,2 ± 0,055	0,003 ± 0,0001
5	Вишня садовая, цветы + листья	23,8 ± 0,272	0,015 ± 0,0004
	Клен ясенелистный, листья + молодые побеги	12,1 ± 0,152	0,005 ± 0,0002
	Клен ясенелистный, прошлогодние побеги	—	0,017 ± 0,0003
6	Ежа сборная	29,5 ± 0,344	0,002 ± 0,0002
	Ослинник двулетний	49,9 ± 27,862	0,003 ± 0,0001
7	Чернокорень лекарственный	10,1 ± 0,261	0,016 ± 0,0003
	Слива домашняя, листья + молодые побеги	32,2 ± 0,572	0,006 ± 0,0002
	Слива домашняя, прошлогодние побеги	22,6 ± 0,299	0,018 ± 0,0006
8	Одуванчик лекарственный	19,3 ± 0,241	0,038 ± 0,0007
	Тысячелистник обыкновенный	36,7 ± 0,565	0,018 ± 0,0002
9	Сумчатник пастуший	35,9 ± 0,486	0,008 ± 0,0002
10	Разнотравье (ветреница, щавель, тысячелистник)	—	0,005 ± 0,0002
	Ячмень яровой	—	0,006 ± 0,0002
	Ежа сборная	9,9 ± 0,245	0,001 ± 0,0002

Высокие показатели накопления (35,9–49,9 мг/кг) отмечены на площадках 4, 6, 8 и 9 в молодых побегах и листьях клена ложноплатанового (36,4 мг/кг), ослиннике двулетнем (49,9 мг/кг), тысячелистнике обыкновенном (36,7 мг/кг), пастушьей сумке (35,9 мг/кг).

Самые низкие поступления стронция характеризуют однолетние побеги и цветы сирени обыкновенной (6,7 мг/кг), двуклосточника тростниковидного (5,5–14,0 мг/кг), двулетние побеги пузыреплодника калинолистного и клена ложноплатанового (6,3–6,2 мг/кг). Остальные растения накапливали стронций в пределах 14,0–32,2 мг/кг.

Отсутствие стабильного изотопа стронция в источниках подземных вод предполагает отсутствие его в материнской породе, а в почвы, прилегающие к данным водоисточникам, стабильный стронций поступил техногенным путем.

Стабильный элемент уран в почве экспериментальных площадок находился в близких интервалах от 0,2 до 0,6 мг/кг почвы (таблица 2). Самые высокие количества его отмечены также, как и стронция, в более связных почвах (площадки 1, 2, 4, 5 (0,4–0,6 мг/кг почвы), а самые низкие — на площадках с более рыхлым гранулометрическим составом 6–10 и 3 (0,2–0,3 мг/кг почвы).

Содержание урана в воде источников было невысоким (0,001–0,000003 мг/л), что не представляет угрозы живым организмам. Следует отметить, что при низком содержании его в воде, источники площадок с более связными грунтами (2, 3, 5) отличаются повышенным содержанием (0,001–0,0027 мг/л). Вода источников с площадок с более легкими почвами (6, 7, 8, 10) содержала незначительное количество урана (0,000003–0,000018 мг/л).

Содержание стабильного урана в растениях (таблица 3) также было невысоким (0,001–0,038 мг/кг) и не зависело от вида почвы и содержания его в почве. При таком положении, большей способностью накапливать уран обладают: одуванчик лекарственный (0,008–0,038 мг/кг), чернокорень лекарственный (0,016 мг/кг), тысячелистник обыкновенный (0,018 мг/кг), молодые побеги и листья пузыреплодника калинолистного (0,018 мг/кг) и клена ложноплатанового (0,019 мг/кг), а также прошлогодние побеги клена ясенелистного, чубушника тонколистного и сливы домашней (0,018–0,011 мг/кг). Все другие растения и их части накапливают небольшие количества урана (0,001–0,009 мг/кг).

Заключение

1. Количество стронция и урана естественного происхождения в почве экспериментальных источников связано с гранулометрическим составом их. В более связных почвах изотопов этих элементов значительно больше (стронция — от 18,0 до 39,6 и урана — 0,4–0,6 мг/кг почвы), а на рыхлых — меньше (соответственно: 6,2–9,8 и 0,2–0,3 мг/кг почвы).

2. В воде экспериментальных источников изотопы стабильного стронция отсутствуют. Вероятно, это связано с отсутствием этого элемента в материнской породе.

3. Уран в экспериментальных источниках подземных вод содержится в незначительных количествах (0,001–0,000003 мг/л), но и это количество — большее (0,001–0,0027 мг/л) сопоставимо более связным почвам, а меньшее (0,000003–0,000018 мг/л) — более рыхлым (легким).

4. Поступление стронция и урана в растения не зависит от количества их в почве и гранулометрического состава почвы, а в большей мере связано с видом растения и его биологией.

5. Больше стронция накапливают однолетние побеги и листья клена ложноплатанового (36,4), ослинника двулетнего (49,9), тысячелистника обыкновенного (36,7 мг/кг) и пасушей сумки (35,9 мг/кг массы). Наоборот, низкими накоплениями элемента характеризуются однолетние побеги, листья и цветы сирени обыкновенной (6,7), двукисточника тростниковидного (5,5–14,0), двулетние побеги пузыреплодника калинолистного и клена ложноплатанового (6,3–6,2 мг/кг массы).

6. Большой способностью накапливать уран обладают: одуванчик лекарственный (0,008–0,038), чернокорень лекарственный (0,016), тысячелистник обыкновенный (0,018), молодые побеги и листья пузыреплодника калинолистного и клена ложноплатанового (0,018–0,019), а также двулетние побеги клена ясенелистного, чубушника тонколистного и сливы домашней (0,018–0,011 мг/кг массы). Все другие растения и их части накапливают небольшие количества урана (0,001–0,009 мг/кг массы).

ЛИТЕРАТУРА

1. Биоиндикация и биотестирование — методы познания экологического состояния окружающей среды / Т. Я. Ашихмина [и др.]. — Киров, 2005.
2. Головатый, С. Е. Научные основы минимизации накопления тяжелых металлов в растениеводческой продукции на дерново-подзолистых почвах: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук / С. Е. Головатый. — Минск, 2003. — 48 с.
3. ГОСТ 17.4.3.01-83 Охрана природы. Почвы. Общие требования к отбору проб = Nature protection. Soils. General requirements for sampling. — Введ. 01.07.84. — М.: Издательство стандартов, 1984. — 8 с.
4. www.agrovodcom.ru/zz_metall.html, 2011/
5. ISO 5667-3:2003 Качество воды. Отбор проб. Часть 3. Руководство по хранению и обращению с пробами воды.
6. Коллектив авторов. Популярная библиотека химических элементов: в 2 кн. — М., 1988.
7. СТБ ISO 17294-1-2007, Качество воды. Применение масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой. Часть 1. Общие требования, 01.05.2008, 13.060.50.
8. СТБ ISO 17294-2-2007, Качество воды. Применение масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой. Часть 2. Определение 62 элементов, 01.05.2008, 13.060.50.

УДК [546.36 + 546.42]:[582:551.58]

АКТУАЛЬНОСТЬ ИССЛЕДОВАНИЙ ПОВЕДЕНИЯ СТАБИЛЬНЫХ И РАДИОАКТИВНЫХ ИЗОТОПОВ ЦЕЗИЯ И СТРОНЦИЯ В РАСТИТЕЛЬНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ ПРИ ИЗМЕНЯЮЩИХСЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

В. П. Жданович, А. Н. Никитин, Г. А. Леферд, С. А. Арендарь, Н. Д. Адамович

Государственное научное учреждение

«Институт радиобиологии Национальной академии наук Беларуси»

г. Гомель, Республика Беларусь

zhdanovich.vp@tut.by

Введение

В результате аварии на Чернобыльской АЭС среди радиоизотопов выброса наиболее опасными, и, имеющими продолжительный (≈ 30 лет) период полураспада, оказались ^{137}Cs и ^{90}Sr [2]. Радиоактивное загрязнение в результате этой катастрофы охватило значительные площади территории республики Беларусь [2, 10]. В начальный период после катастрофы загрязненность сельскохозяйственных угодий повсеместно характеризовалась чрезвычайно высокими уровнями радиации за счет короткоживущих изотопов, прежде всего

йода-131. В последующий период радиэкологическая обстановка определялась действием долгоживущих изотопов ^{137}Cs , ^{90}Sr , трансурановыми элементами $^{238, 239, 240, 241}\text{Pu}$ и ^{241}Am [2, 10, 14, 15]. Более половины подвергшихся загрязнению земель представляют дерново-подзолистые почвы легкого гранулометрического состава, характеризующиеся низкой емкостью поглощения, малым содержанием гумуса и вторичных минералов, повышенной гидроморфностью и высокими коэффициентами перехода радионуклидов в сельскохозяйственные культуры [2, 10]. Вполне определенно известно [1, 3, 4], что, присутствуя в живых тканях, стабильные изотопы цезия (133) и стронция (84, 86, 87 и 88), вступая во взаимосвязи с радиоактивными изотопами, способствуют накоплению последних в тканях растительных и животных организмов. Поэтому в радиобиологическом плане актуален вопрос изучения поведения указанных стабильных элементов при разной концентрации их в растительном организме и влияние на этот процесс изменяющихся микроклиматических условий. Что же представляют собой стабильные изотопы цезия и стронция и какова их роль для человека?

Цезий (Cs) [13] — химический элемент с атомным номером 55. В стабильном виде представляет собой мягкий щелочной металл золотистого цвета (немного светлее, чем чистое золото). Цезий был открыт 1860 году в чистом виде его удалось выделить только в 1882 году среди всех полученных человеком металлов цезий обладает самой высокой химической активностью: на воздухе он окисляется почти сразу с воспламенением. При попадании в организм цезий очень быстро усваивается ЖКТ и поступает в кровь. Его концентрация в органах и тканях человека относительно равномерна, но около 80 % накапливается в мышцах, 8 % — в скелете, остальная часть равномерно распределяется в сердце, печени и крови, достигая в последней концентрации до 2,8 мкг/л. Выводится преимущественно с мочой и калом.

Он способствует усилению иммунитета за счет значительного увеличения титра компонента и повышения активности лизоцима и фагоцитарной активности лейкоцитов.

Самые высокие концентрации цезия обнаружены в пресноводных водорослях и арктических наземных растениях, в особенности в лишайниках. Среди местных продуктов питания особо следует выделить листовую салат и грибы опята. Повышенная концентрация цезия отмечается в мясе северного оленя и северо-американских водоплавающих птиц.

Цезий-133, который включен в биохимический оборот, не представляет опасности для человека, в отличие от цезия-137, который, как уже было отмечено, образуется в результате ядерного синтеза. Даже микроскопические дозы изотопа цезия могут вызывать лучевую болезнь.

Стронций (Sr) [11, 12] — химический элемент, занимающий в периодической системе элементов 38-е место. При нормальных условиях представляет собой щелочноземельный серебристо-белый металл, очень пластичный, мягкий и ковкий (легко режется ножом). На воздухе очень быстро окисляется кислородом и влагой, покрываясь окисью желтого цвета. Химически очень активен. Его радиоактивный изотоп ^{90}Sr крайне опасен для здоровья. Он образуется при ядерных реакциях в реакторах и во время ядерных взрывов, и при попадании в организм человека откладывается в костном мозге и очень часто приводит к весьма трагическим последствиям, поскольку буквально блокирует кроветворение. Но обычный, нерадиоактивный, стронций в разумных дозах не только не опасен, а просто необходим человеческому организму. Он практически не токсичен, нерадиоактивен и применяется при лечении остеопороза, кариеса зубов, в виде аппликаторов для лечения глазных и кожных болезней, склеротических изменений и в качестве противоопухолевого средства. Стронций обнаруживается почти во всех живых организмах, как в растениях, так и в животных. Синергистом и одновременно антагонистом стронция является кальций, который по своим химическим свойствам весьма близок к нему. Стронций является аналогом кальция и может легко его замещать в костной ткани без особых последствий для здоровья. Кстати, именно это химическое свойство стронция делает крайне опасным его упомянутый радиоактивный изотоп. Почти весь (99%) стронций откладывается в костной ткани, и только менее 1 % его задерживается в остальных тканях организма.

Поступающий в организми стронций усваивается только на 5–10 %. Его всасывание происходит преимущественно в двенадцатиперстной и подвздошной кишках, выводится стронций в основном через почки, в меньшей степени — с желчью. В кале обнаруживается только неабсорбированный стронций.

Особую опасность представляет радиоактивный стронций-90. Накапливаясь в костях, он не только поражает костный мозг, препятствуя выполнению организмом кроветворной функции, но и вызывает лучевую болезнь, поражает мозг и печень, в тысячи раз увеличивает риск развития онкологических заболеваний, в особенности рака крови.

Усугубляет ситуацию еще то обстоятельство, что стронций-90 имеет длительный период полураспада (28,9 лет) — как раз средняя продолжительность генерации людей. Стронций-90 при попадании в почву вытесняет кальций из почвенного поглощающего комплекса и в последующем усваивается растениями, животными и, по пищевой цепи, приходит к человеку со всеми вытекающими из этого последствиями. Особенно много стронция накапливают корнеплоды и вегетативная часть растений. Зараженные радиоактивным стронцием сельскохозяйственные угодья могут быть выведены из оборота на многие годы.

Материал и методы исследования

Основной целью исследований является установление количественных характеристик поступления стабильных изотопов цезия и стронция в разные виды растений при изменяющихся микроклиматических условиях и связей данного процесса с аккумуляцией радиоактивных изотопов разными органами растений.

Для достижения поставленной цели будут:

— установлены количественные параметры накопления стабильных изотопов цезия и стронция овсом и озимой пшеницей при двух уровнях (мин и макс) обогащения ими почвы на участках с разными микроклиматическими условиями с учетом агрохимических свойств и гранулометрического состава дерново-подзолистых почв;

— выявлены уровни аккумуляции ^{137}Cs и ^{90}Sr сельскохозяйственными культурами и связь этого показателя с уровнями содержания их стабильных изотопов с микроклиматическими условиями местности;

— разработана концептуальная модель оценки и минимизации негативных экологических последствий загрязнения среды изотопами стронция и цезия.

Место проведения исследований

В производственных посевах ОАО «Гомельский тепличный комбинат», н. п. Старое Село, Ветковский район.

Схема исследований

Полевые опыты будут выполнены в виде закрепленных постоянных реперных площадок (3 × 3 м) в производственных посевах овса и озимой пшеницы, на каждой из которых будет выделен контроль и шесть площадок (1 × 1 м каждая) с концентрациями солей стабильных цезия (мин и макс. 2,1 и 21 г/м²) и стронция (30 г/м² на каждую опытную делянку) в трехкратном повторении для каждого из двух микроклиматических участков по каждой сельскохозяйственной культуре:

3 / I макс. доза ст. Cs (21 г/м ²)	2 / I мин. доза ст. Cs (2,1 г/м ²)	3 / II макс. доза ст. Cs (21,0 г/м ²)
1 / I Контроль	1 / II Контроль	1 / III Контроль
2 / II мин. доза ст. Cs (2,1 г/м ²)	3 / III макс. доза ст. Cs (21 г/м ²)	2 / III мин. доза ст. Cs (2,1 г/м ²)

Для решения поставленных задач будет использован комплекс общепринятых агрохимических и биологических методов исследования почв и растений из сопряженных почвенных и растительных проб, отобранных на реперных площадках [5, 6–9, 14, 15].

Для проведения измерений мощности дозы с целью оценки однородности загрязнения реперных участков будет использован дозиметр-радиометр МКС АТ1125А [9]. Пробы почвы будут взяты буром Малькова длиной 20 см и внутренним диаметром 4 см (5 уколов с площадки) [15].

Основные агрохимические показатели почв будут определены по общепринятым методикам: гумус — по Тюрину; обменная кислотность pH_{KCl} — потенциометрическим методом; гидролитическая кислотность — по Каппену; подвижные формы фосфора и калия — по Кирсанову; кальций и магний — на ICP масс-спектрометр ELAN DRC-II.

Содержание цезия-137 из объединенной пробы с последующим выделением средней пробы будет определено на гамма-спектрометрическом комплексе фирмы «Canberra» (США) на основе коаксиального германиевого детектора GX 2018 с расширенным энергетическим диапазоном с погрешностью не более 20 % [5].

Определение содержания ^{90}Sr в почве и сельскохозяйственных культурах будет проводиться по стандартным методикам, утвержденным Госстандартом Республики Беларусь [7, 8, 14, 16].

Внутреннее облучение населения ТУЭ при потреблении исследуемой с/х продукции будет производиться расчетным методом [5, 8, 12].

Полученные данные будут статистически обработаны дисперсионным методом по Б. А. Доспехову.

Ожидаемые результаты

Будут получены предварительные данные по параметрам перехода цезия и стронция в сельскохозяйственные культуры в зависимости от микроклиматических условий местности. Они позволят установить зависимости и закономерности взаимосвязей стабильных, радиоактивных изотопов и микроклиматических условий. На их основании будут разработаны эффективные приемы регулирования поступления цезия и стронция в фитомассу растений, а также будет разработана концептуальная модель оценки и минимизации экологических последствий загрязнения среды изотопами стронция и цезия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Голутвина, М. М. Контроль за поступлением радиоактивных веществ в организм человека и их содержанием / М. М. Голутвина, Ю. В. Абрамов, под ред. Л. А. Булдакова. — М.: Энергоатомиздат, 1989. — 176 с.
2. 20 лет после чернобыльской катастрофы: последствия в Республике Беларусь и их преодоление. Национальный доклад / под ред. В. Е. Шевчука, В. Л. Гурачевского. — Минск: Комитет по проблемам последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС при Совете Министров Республики Беларусь, 2006. — 112 с.
3. Кульмянёва, Л. Р. Радыебiялoгiя у пiтаннiях i адказах / Л. Р. Кульмянёва. — Минск: Нар. асвета, 1997. — 144 с.
4. Лисовская, Д. П. Радиология пищевых продуктов: учеб. пособие / Д. П. Лисовская, Л. А. Галун. — Гомель: УО «Белорусский торгово-экономический университет потребительской кооперации», 2003. — 296 с.
5. Методы контроля. Химические факторы. Определение содержания химических элементов в диагностируемых биосубстратах, препаратах и биологически активных добавках методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной аргоновой плазмой. Методика: Утверждена Главным Государственным санитарным врачом РФ 29.06.2003 г, № МУК 4.1.1483-03. — М.: НДП «Альянс-Медиа», 2003. — 17 с.
6. Применение масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой. Качество воды. Часть 1. Общие требования: СТБ ISO 17294-1-2007. — Минск: Госстандарт, 2007. — 33 с.
7. Применение масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой. Качество воды. Часть 2. Определение 62 элементов: СТБ ISO 17294-2-2007. — Минск: Госстандарт, 2007. — 17 с.
8. Методика определения активности стронция-90 и трансураниевых элементов в биологических объектах: МВИ. МН 1892-2003. — Введ. 2003-04-30. — Минск: ИРБ НАН Б, 2003. — 17 с.
9. Методика выполнения измерений мощности эквивалентной дозы гамма-излучения дозиметрами и дозиметрами-радиометрами. — МВИ. МН. 2513-2006.
10. Рекомендации по ведению сельскохозяйственного производства в условиях радиоактивного загрязнения земель Республики Беларусь на 2012–2016 годы. — Минск, 2012. — 124 с.
11. Романчукевич, Т. Стронций в организме: значение, нехватка и избыток, стронций в *продуктах food / stroncij.html*
12. Рыбак, А. Стронций в организме человека / А. Рыбак [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://zdips.ru/zdorovoe-pitanie/mineraly/1649-strontsij-v-organizme-cheloveka.html>. — Дата доступа: 09.08.2015.
13. Рыбак, А. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://zdips.ru/zdorovoe-pitanie/mineraly/1657-tsezij-v-organizme-cheloveka.html>. — Дата доступа: 12.08.2015.
14. SpeedWave™ MWS-2, Microwave Digestion System with Built-in, Non-Contact Temperature Measurement, V.5.1 User Manual, Germany, Order no.: MWS2_53-0112-93-00-03-002. — 90 с.
15. ТНПА «Основные положения обследования, оценки радиационной обстановки и построение карт загрязнения радионуклидами территории Республики Беларусь» Утв. Советом Министров РБ, 29.01.93 г.
16. Методика аналитического контроля. Радионуклиды. Определение содержания в пробах методом гамма-спектрометрии. Утв. гл. инж. Московского НПО «Радон» В. М. Чебышевым 26.01.88 г.].

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКОГО
КОМПОНЕНТА ПОЧВЫ ЗАГРЯЗНЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ
С ТОПЛИВНО-СОДЕРЖАТЕЛЬНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ**

*М. В. Желтоножская¹, В. А. Желтоножский²,
А. В. Тугай³, Т. И. Тугай³, А. П. Черняев¹*

¹«Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д. В. Скобельцына»
Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова

г. Москва, Российская Федерация,

²«Институт ядерных исследований Национальной академии наук Украины»,

³«Институт микробиологии и вирусологии имени Д. К. Заболотного
Национальной академии наук Украины»

г. Киев, Украина

Введение

В настоящее время наблюдается систематическое поступление трансурановых элементов (ТУЭ) в окружающую среду как результат ядерных взрывов, аварийных выбросов на предприятиях ядерно-энергетического цикла, катастроф, захоронения отработанного ядерного топлива и др. Особый вклад в эти процессы вносит авария на Чернобыльской АЭС. В результате разрушения 4-го энергоблока в окружающую среду попало 2–3 % радионуклидов, находящихся в активной зоне реактора. За время работы 4-го энергоблока ЧАЭС в активной зоне реактора накопилось $6,6 \cdot 10^{-2}$ МКи $^{239,240}\text{Pu}$ и 5 МКи ^{241}Pu . ^{241}Pu с периодом полураспада 14 лет распадается на ^{241}Am . Можно оценить, что в настоящее время активность ^{241}Am составляет $(10\text{--}12) \cdot 10^{-2}$ МКи и (2–3) % этой активности находятся в окружающей среде в виде топливных выпадений. Таким образом в настоящее время именно ^{241}Am является доминирующим альфа-излучателем в зоне аварии на ЧАЭС. Исследования миграции радионуклидов на сильно загрязненных территориях 30-км зоны ЧАЭС показали, что в настоящее время активность ^{241}Am прослеживается до глубины 50–60 см [1–3]. Этот факт указывает на то, что в почвах происходят интенсивные процессы деструкции топливных выпадений. Можно предполагать, что такие изменения в скорости миграции этого радионуклида происходят при участии почвенных микромицетов, способствующих переводу ^{241}Am и ^{137}Cs , входящих в состав топливных частиц в подвижные биологически доступные ионообменные формы. Это предположение базируется также на выявленной ранее способности ряда видов микромицетов, в частности, *Cladosporium cladosporioides* к деструкции топливных частиц различного радионуклидного состава, что приводило к «разрыхлению» последних, при этом у отдельных штаммов микромицетов обнаружена способность аккумулировать ^{137}Cs и ^{152}Eu [4–6].

Материал, методы и результаты исследования

В работе было использовано два штамма вида *Cladosporium cladosporioides*: и *C. cladosporium* 4, выделенный с территории Зоны отчуждения ЧАЭС и, как было установлено ранее, проявляющий радиоадаптивные свойства и *C. cladosporium* 4061, выделенный с территорий с фоновым уровнем радиации, у которого отсутствовали радиоадаптивные свойства. Исследования взаимодействия «микромицет — топливная частица» проводили при культивировании микромицетов в жидкой среде в олиготрофных условиях (с использованием среды Чапека с 1 г/л глюкозы) при 25 ± 2 °С на протяжении 60 дней. После окончания экспозиции отделяли все компоненты исследуемой системы: «горячие частицы», культуральную жидкость, мицелий. Затем определяли удельную активность каждого компонента этой системы. Основные γ -спектроскопические измерения выполнялись на антикомптоновском спектрометре с Ge-детектором. Удельную активность ^{90}Sr в пробах определяли на β -спектрометре «СЕБ-50». Измененные спектры обрабатывали с использовани-

ем модифицированной программы Beta+ путем сравнения со спектрами стандартных источников ($^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$, ^{137}Cs , ^{40}K и суммы $^{90}\text{Sr} + ^{90}\text{Y}$, ^{137}Cs). Количество биомассы определяли гравиметрически.

Для исследований были выбраны топливные «горячие» частицы («г. ч.») подобные по физико-химическим свойствам с повышенным содержанием ^{241}Am . В таблице 1 приведены данные об активности основных радионуклидов и K_x -излучении U. Как видно общая активность частицы SL-4 почти вдвое выше таковой SL-15. При этом соотношение ^{241}Am и ^{137}Cs в них было подобным. Анализ спектров K_x -излучения Zr и U показал, что в составе используемых частиц масса урана составляет 12 % в SL-15 и 8% в SL-4.

Таблица 1 — Абсолютная активность образцов топливных частиц

Топливная частица	Активность радионуклидов, Бк		
	^{137}Cs	^{241}Am	^{90}Sr
SL-15	3420	364	2030
SL-4	6590	908	4010

Примечание: погрешность измерений составила 5 % для ^{137}Cs и ^{241}Am , 10% для ^{90}Sr

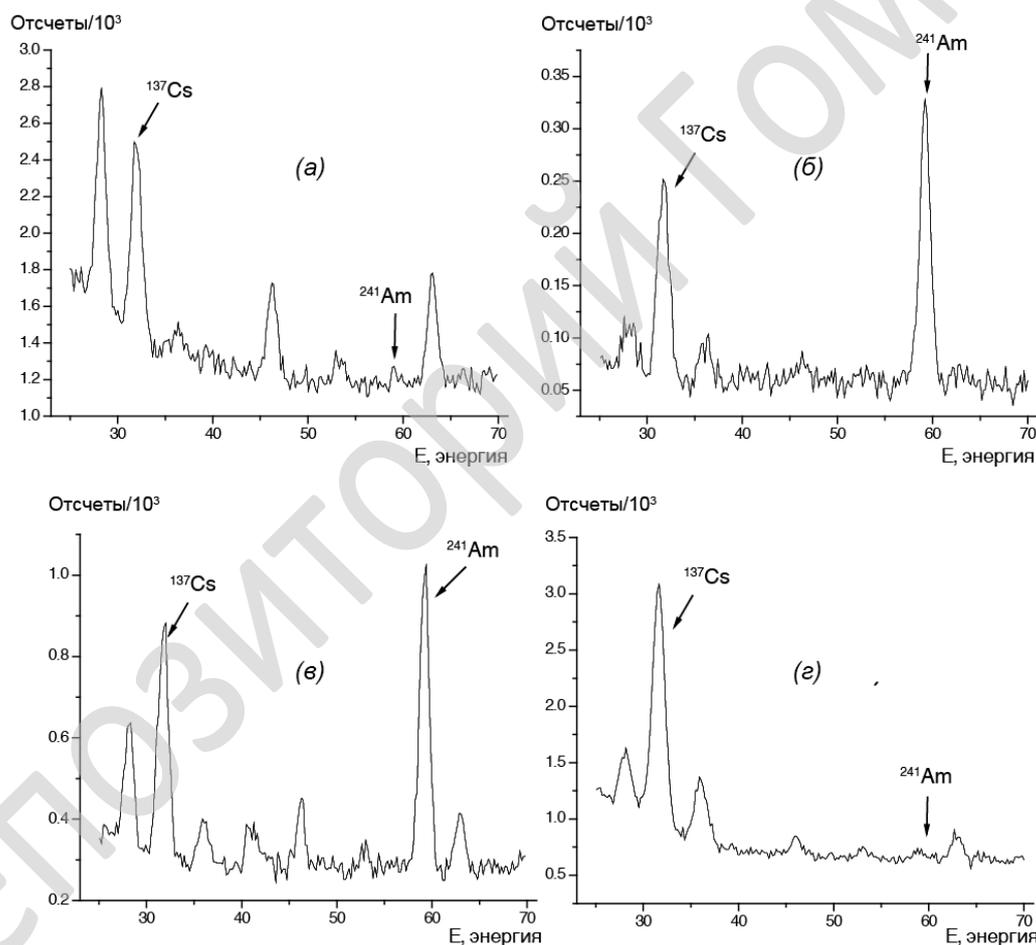


Рисунок 1 — Фрагменты γ -спектров низкоэнергетической области фонового излучения (а), мицелий после эксперимента с топливной частицей SL-4 (б), мицелий после эксперимента с топливной частицей SL-15 (в), культуральная жидкость после эксперимента с SL-4 без мицелля (г).

Исследования проводились в два этапа. На первом этапе были созданы две установки для исследования взаимодействия микромицетов с топливными частицами: в одну установку топливная частица (SL-4) была полностью погружена в культуральную жидкость с штаммом *C. cladosporium* 4061, а во второй установке частица SL-15 была погружена в эту же среду не полностью. Через 60 дней из культуральной жидкости обеих установок было

выделено 7,6 мг мицелия из штаммов, взаимодействовавших с частицей SL-15 и 16 мг мицелия из штаммов, взаимодействовавших с частицей SL-4. Исследование спектров гамма-лучей выделенного мицелия показало наличие в ней соизмеримых активностей ^{137}Cs и ^{241}Am . Спектрометрическое исследование оставшейся культуральной жидкости показало наличие в ней ^{137}Cs и ^{241}Am , но активность ^{241}Am была на два порядка меньше активности ^{137}Cs . На рисунке 1 а, б, в, г приведены фрагменты спектров произведенных измерений, в таблице 2 приведены результаты об аккумуляции этих радионуклидов. Как видно в пределах статистической погрешности эти данные совпадают. Поэтому дальнейшие исследования мы проводили с топливными частицами полностью погруженными в культуральную жидкость. Такая геометрия опытов существенно уменьшает влияние внешних факторов и позволяет обеспечить доступ мицелия ко всей поверхности горячих частиц.

Таблица 2 — Аккумуляция радионуклидов *C. cladosporioides* при культивировании на жидкой питательной среде с топливными частицами в различном положении

Топливная частица/штамм	Масса мицелия, мг	Аккумуляция радионуклидов (Бк/г)	
		^{137}Cs	^{241}Am
Поверхностное положение SL-15 / штамм 4061	7,6	71	21
Погруженное положение SL-4 / штамм 4061	16	81	21

Примечание: погрешность измерений составила 10 %

На втором этапе было проведено сравнительное исследование способности штаммов *C. cladosporium*, обладающего (*C. cladosporium* 4) и не обладающего (*C. cladosporium* 4061) радиоадаптивными свойствами переводить радионуклиды, входящие в состав топливных частиц, в биологически доступные формы в процессе культивирования в системе частица — микромицет в жидкой питательной среде. Частицы были помещены в культуральную жидкость, так чтобы обеспечить максимальный доступ мицелия ко всей поверхности частицы. Через 50 дней эксперимента были исследованы активности радионуклидов в культуральной жидкости и в мицелиальной биомассе микромицетов. На рисунке 2 а, б, в приведены фрагменты спектров в низкоэнергетической области. Как видно наблюдается повышенный выход ^{241}Am (в культуральной жидкости ^{241}Am в 50 раз меньше).

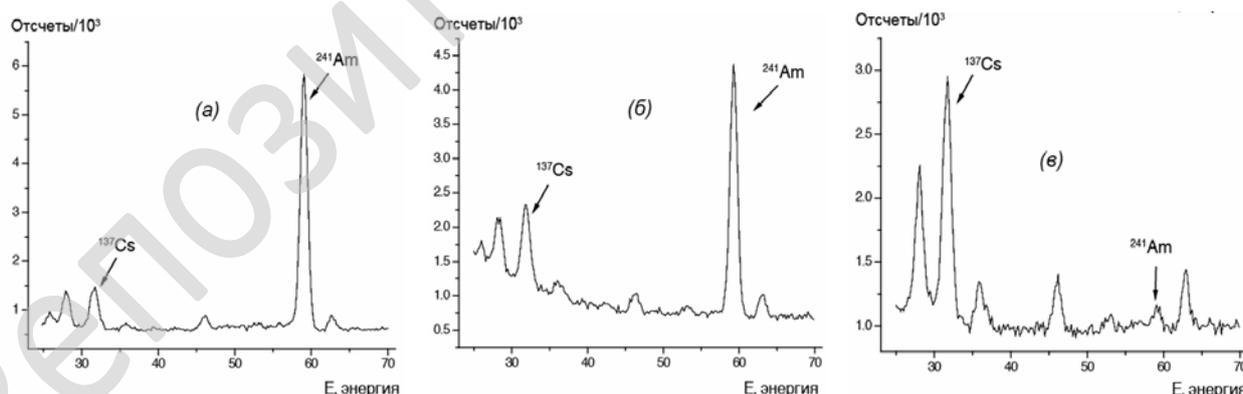


Рисунок 2 — Фрагменты γ -спектров низкоэнергетической области мицелий после эксперимента с топливной частицей SL-4 для штамма *C. cladosporium* 4 (а) мицелий после эксперимента с топливной частицей SL-4 для штамма *C. cladosporium* 4061 (б) культуральная жидкость после эксперимента с SL-4 и штаммом *C. cladosporium* 4 без мицелия (в)

При анализе β -спектров не было обнаружено достоверного накопления ^{90}Sr ни в культуральной жидкости, ни в мицелии исследуемых микромицетов (на уровне 0,03–0,05 от активности ^{137}Cs). В таблице 3 приведены результаты о массе и накопленной активности ^{241}Am и ^{137}Cs в расчете на г биомассы *C. cladosporioides* 4061 и *C. cladosporioides* 4, а также рассчитаны коэффициенты перехода радионуклидов в системе топливная частица — микромицет.

Таблица 3 — Аккумуляция радионуклидов *C. cladosporioides* при культивировании на жидкой питательной среде с топливными частицами в погруженном положении

Топливная частица/штамм	Масса мицелия, мг	Аккумуляция радионуклидов (Бк/г)		Коэффициенты перехода радионуклидов из частиц в мицелий	
		¹³⁷ Cs	²⁴¹ Am	¹³⁷ Cs	²⁴¹ Am
SL-4 / штамм 4	30	9	17	$4,0 \times 10^{-5}$	56×10^{-5}
SL-15 / штамм 4061	47	11	6,4	$1,5 \times 10^{-4}$	$8,7 \times 10^{-4}$

Примечание. Погрешность измерений не превышала 10 %

Заключение

Полученные результаты открывают новые возможности по изучению взаимодействия различных микромицетов с трансурановыми радионуклидами, что в дальнейшем позволит разработать щадящие методы очистки загрязненных трансурановыми элементами территорий (полигоны проведения наземных ядерных испытаний, территории горно-обогатительных комбинатов, хранилища ядерного топлива, участки, загрязненные в результате радиационных аварий).

ЛИТЕРАТУРА

1. Vertical Migration of Radionuclides in the Vicinity of the Chernobyl Confinement Shelter / M. D. Bondarkov [et al.] // Health Physics. — 2011. — Vol. 101(4). — P. 362–367.
2. Исследование радионуклидного состава фрагментов лавовых топливосодержащих материалов из 4 энергоблока ЧАЭС / В. А. Желтоножский [и др.] // Радиохимия. — 2011. — Т. 53, Вып. 5. — С. 453–459.
3. Исследование вертикальной миграции радионуклидов на территории полигона «Рыжий лес» / М. В. Желтоножская [и др.] // Ядерная физика и энергетика. — Т. 12, № 4. — 2011. — С. 394–399.
4. Effects of Ionizing Radiation on the Antioxidant System of Microscopic Fungi With Radioadaptive Properties Found in the Chernobyl Exclusion Zone / T. I. Tugay [et al.] // Health Physics. — 2011. — Vol. 101(4). — P. 375–382.
5. Влияние низких доз облучения на рост *Aspergillus versicolor* и *Paecilomyces lilacinus* / Т. И. Тугай [и др.] // Микробиологический журнал. — 2013. — Т. 75, № 4. — С. 33–40.
6. Способность ряда почвенных микроскопических грибов взаимодействовать с редкоземельными и трансурановыми элементами ¹⁵²Eu и ²³⁹Pu / Н. Н. Жданова [и др.] // Иммунопатология, аллергология, инфектология / Экология грибов и человека. Грибы экстремальных местообитаний и биодеструкторы. — 2010. — Вып. 1. — С. 61.

УДК 614.876

ПОДХОДЫ К КАРТИРОВАНИЮ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ТЕРРИТОРИИ ПОЛЕССКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО РАДИАЦИОННО-ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ЗАПОВЕДНИКА

О. М. Жукова, М. Г. Герменчук, М. А. Подгайская

Государственное учреждение
«Республиканский центр по гидрометеорологии,
контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды
г. Минск, Республика Беларусь
zom@rad.org.by

Введение

Обследование территории Полесского государственного радиационно-экологического заповедника (ПГРЭЗ) для последующего картирования проводилось в рамках выполнения мероприятия «Реализация комплексного проекта по созданию тематического атласа современных и прогнозных аспектов последствий аварии на Чернобыльской АЭС на пострадавших территориях России и Беларуси» Программы совместной деятельности по преодолению последствий чернобыльской катастрофы в рамках Союзного государства и проекта ОБСЕ ««Анализ экологического риска в зоне отчуждения на белорусско-украинской границе». В проведении полномасштабного обследования территории ПГРЭЗ принимали участие 7 организаций, методическое руководство осуществлял Республиканский центр по

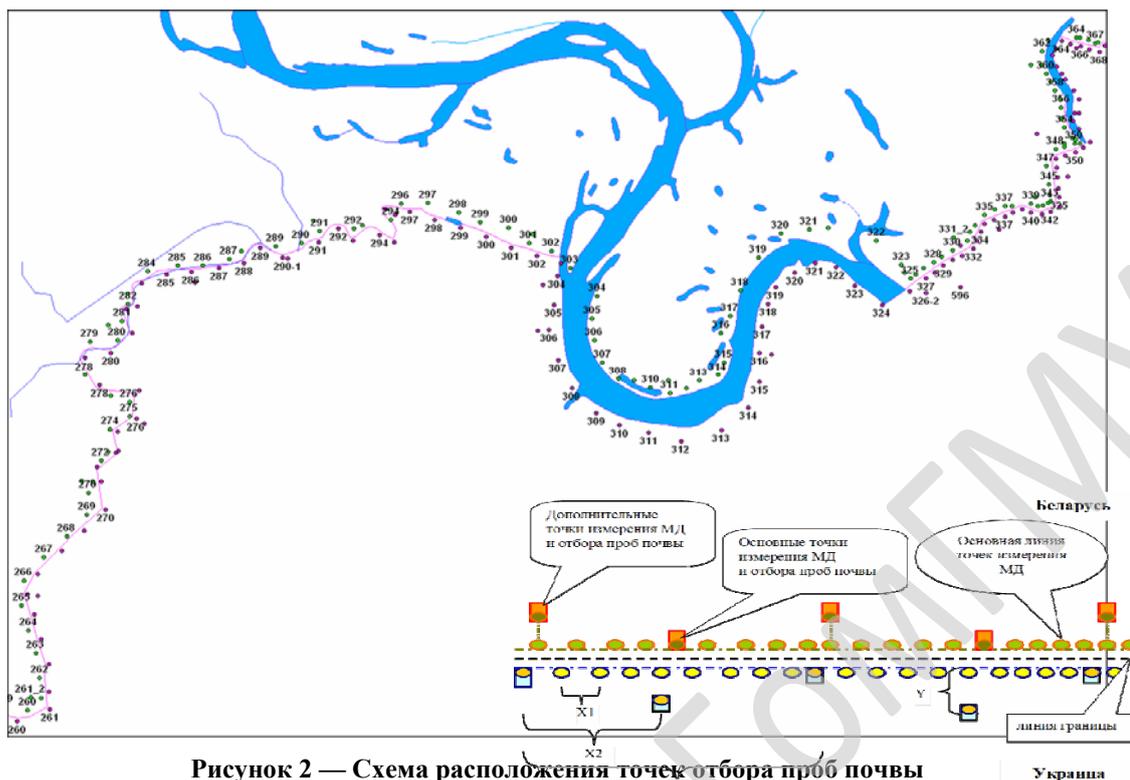


Рисунок 2 — Схема расположения точек отбора проб почвы и измерений МД вдоль украинско-белорусской границы

Результаты исследования и их обсуждение

Для хранения и обработки данных в СУБД Microsoft Access была спроектирована картографическая БД. В БД каждая точка ассоциировалась с определенной площадкой регулярной сетки наблюдений. Площадка ориентировалась на определенный квадрат сетки и на элементы местности, имеющие координатную привязку.

Картографическая БД включала таблицы, связанные взаимоотношениями, каждая из которых соответствовала своему объекту логической модели БД.

Моделирование хода изолиний выполнено с использованием программного обеспечения DB_grid, разработанного НПО «Тайфун». Результаты обследования территории ПГРЭЗ, выгруженные из картографической БД в виде массива географически привязанных данных в сетке с нерегулярным шагом, использовались в качестве входных данных в ПО DB_grid. Далее формировались тематические слои радиоактивного загрязнения территории ПГРЭЗ в обменном формате Mid/Mif. Тематические слои далее интегрировались и обрабатывались в среде ГИС MapInfo.

В результате полномасштабного обследования территории ПГРЭЗ были подготовлены карты радиоактивного загрязнения ПГРЭЗ ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{241}Am , $^{238,39,40}\text{Pu}$, карта-прогноз радиоактивного загрязнения ^{241}Am территории ПГРЭЗ по состоянию на 2056 год. Кроме того, подготовлена карта ретро-прогноз загрязнения территории ПГРЭЗ ^{241}Pu .

Выполнены расчеты распределения территории ПГРЭЗ по уровням загрязнения радионуклидами (в процентах).

Построение картосхем распределения МД, плотности загрязнения линии белорусско-украинской границы ^{137}Cs , изотопами Pu и ^{241}Am проводилось на основании массивов данных, полученных ПГРЭЗ (Беларусь) и ГСП «Чернобыльский спецкомбинат» (Украина) в рамках проекта. Каждая точка измерения МД и точка отбора проб почвы имела географические координаты. При построении картосхем данные, полученные из двух источников, были объединены в единый массив данных.

Для построения картосхемы плотности загрязнения территории приграничной полосы изотопами Pu использованы реальные данные по плотности загрязнения территории ^{241}Am и соотношения активностей ТУЭ, представленных в таблице 1.

Таблица 1 — Соотношения активностей ТУЭ

Радионуклид	V_{sy}^i (мкЗв·ч ⁻¹) / (кБкм ⁻²)	Относительная активность радионуклидов в почвах I зоны* зоны отчуждения ЧАЭ по состоянию на 2013 г.
²³⁸ Pu	5,81 E-08	0,28
²³⁹ Pu+ ²⁴⁰ Pu	1,66 E-07	0,56
²⁴¹ Am	1,68 E-05	1,0

* — Участок границы, находящийся в 10-км зоне Чернобыльской АЭС

Построение картосхем радиоактивного загрязнения произведено в геоинформационной системе MapInfo и с использованием программного комплекса построения стохастических полей на основе пространственно распределенных данных DBGrid (разработчик НПО «Тайфун», Росгидромет). Для восстановления значений поля в узлах сетки в DBGrid использован метод статистической интерполяции кригинга.

Заключение

Подготовленные карты радиоактивного загрязнения территории ППРЭЗ включены в Тематический атлас современных и прогнозных аспектов последствий аварии на Чернобыльской АЭС на пострадавших территориях России и Беларуси.

Карто-схемы распределения МД, плотности загрязнения линии белорусско-украинской границы ¹³⁷Cs, изотопами Pu и ²⁴¹Am в зоне отчуждения Чернобыльской АЭС были использованы при оценке ожидаемых доз облучения при выполнении работ, расчете времени пребывания персонала на загрязненной территории и разработке Инструкции (регламент) по обеспечению безопасности персонала при выполнении работ на загрязнённой территории, в том числе при выполнении работ по демаркации белорусско-украинской границы в зоне отчуждения Чернобыльской АЭС.

УДК 614.876

НЕКОТОРЫЕ МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОЦЕНКИ ДОЗЫ РЕПРЕЗЕНТАТИВНОГО ЧЕЛОВЕКА

М. М. Кадацкая, М. Г. Герменчук

**Государственное учреждение
«Республиканский центр по гидрометеорологии,
контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды»
г. Минск, Республика Беларусь
ammoad@gmail.com**

Введение

До выхода новых рекомендаций МКРЗ в 2007 г. для оценки доз облучения населения использовалось понятие «критической группы». МАГАТЭ в руководящих документах 1996 г. давало понятие «критической группы» как «группы лиц из состава населения, которая является достаточно однородной с точки зрения облучения, полученного от данного источника излучения и данным путем облучения, и для членов которой типично получение наибольших эффективных или эквивалентных доз по данному пути облучения от данного источника».

Однако в дальнейшем МКРЗ пришла к мнению, что прилагательное «критическая» имеет в своем подтексте кризисное значение, никогда не предававшееся этому определению. Более того, слово «группа» зачастую воспринималось неверно — в контексте того, что при использовании концепции критической группы дозы оцениваются индивидуально.

В связи с развитием вероятностных методов оценки доз облучения населения и накопленным опытом применения концепции критической группы, МКРЗ решила заменить дан-

ное понятие в Публикации 101 (2006 г.) на «репрезентативного» человека (лица) [1]. Это понятие относится к индивиду (реальному или гипотетическому), чьи дозовые характеристики могут быть использованы для проверки соответствия дозовым пределам. Также и отмечается, что доза такого индивида должна быть представительна для наиболее облученных лиц из населения. Таким образом, «репрезентативный» человек условно равняется среднему члену критической группы, понятие которой использовалось ранее, при этом он лучше описывается статистически.

В Республике Беларусь внедрены современные международные подходы в области радиационной защиты. Так, в Санитарных нормах и правилах «Требования к радиационной безопасности», утвержденных постановлением Министерства здравоохранения от 28 декабря 2012 г. № 213, введено понятие «репрезентативное лицо», а также определено, что пределы доз облучения относятся к дозе облучения репрезентативного лица. Однако до сих пор отсутствуют строго описанные методологические подходы к оценке доз в соответствии с новым понятием.

Задача данной работы заключается в анализе возможных методологических подходов для оценки доз населения в целях радиационной защиты на основе современных международных рекомендаций и адаптации международных подходов к условиям Республики Беларусь с учетом ситуаций существующего, планируемого и возможного аварийного облучения. Данные подходы должны быть разработаны с учетом сложившейся в стране практики обеспечения радиационной безопасности населения на основе данных радиационного мониторинга окружающей среды.

Материал и методы исследования

Любой источник излучения создает множество индивидуальных доз. Обычно невозможно контролировать непосредственно дозу человека, поэтому ограничиваются контролем радиационного загрязнения объектов окружающей среды, которые могут привести к облучению людей (для внутреннего облучения), либо на мощности дозы гамма-излучения или плотности радиоактивного загрязнения территории населенного пункта (для внешнего облучения) [2]. Поэтому для радиационной защиты населения необходимо охарактеризовать человека, доза облучения которого будет ставиться в соответствие с граничной дозой. Этот индивид и принято называть «репрезентативный человек». МКРЗ считает цель радиационной безопасности достигнутой, когда значение дозы репрезентативного человека меньше соответствующей граничной дозы, при этом радиационная защита оптимизирована [1].

Однако в Публикации 101 дается только общая концепция оценки дозы репрезентативного человека, расчетной методики оценки дозы МКРЗ не приводит.

МКРЗ ранее рекомендовала использовать понятия «практика» и «вмешательство», сейчас радиационная защита строится на анализе ситуации облучения: планируемое, аварийное или существующее [1]. Оценка дозы населения может быть прогнозной или ретроспективной. Прогнозные дозы рассчитываются для гипотетических лиц, а ретроспективные рассчитываются для конкретных лиц. В таблице 1 представлены некоторые примеры оценки доз населения в различных ситуациях облучения.

Таблица 1 — Варианты применения дозовых оценок

Ситуация облучения	Тип оценки	
	прогнозная	ретроспективная
Планируемая	Определение соответствия дозовых оценок граничным дозам	Оценка дозы до начала работы объекта
Существующая	Прогноз хронического облучения в будущем (например, после реабилитации)	Оценка дозы, полученной населением до настоящего момента
Аварийная	Противоаварийное планирование	Оценка дозы, полученной в результате аварийного облучения

При оценке дозы репрезентативного лица должны быть учтены все значимые пути облучения; пространственное распределение радионуклидов в окружающей среде; характеристика образа жизни и деятельности; различные возрастные группы населения.

При оценке дозы репрезентативного человека могут быть использованы как детерминистические, так и вероятностные подходы. Детерминистический подход основан на прямом использовании параметров образа жизни и деятельности людей и данных радиационного мониторинга. Вероятностный — на использовании законов распределения параметров образа жизни, деятельности людей и данных радиационного мониторинга, получая в результате распределение возможных доз. При этом МКРЗ особо отмечает, что применение детерминистического и вероятностного метода с одними и теми же значениями не обязательно приводит к математически эквивалентным результатам [1]. Экспертная оценка и вовлечение заинтересованных сторон важны для получения приближенных к реальности доз облучения населения.

Один из самых простых и распространенных *детерминистических подходов* — скрининг, приводящий к очень консервативной оценке дозы. Но если эти консервативные результаты показывают, что они значительно ниже установленных граничных доз, то необходимость более детальной оценки дозы отпадает.

Другой *детерминистический подход* оценки дозы облучения заключается в оценке параметров образа жизни и деятельности, путей поступления радионуклидов для определения наиболее облучаемой группы людей. Подобная оценка проводится с привлечением экспертов, анализа данных измерений или простыми вычислениями. Иногда такие группы легко идентифицируются, в других ситуациях применяют итеративный процесс. В конечном итоге с учетом всех путей поступления определяется наиболее облученная группа. Средняя доза этой группы принимается равной дозе репрезентативного человека.

Также для оценки дозы можно использовать *вероятностные подходы*. В этом случае распределение доз населения зависит от неопределенностей как данных радиационного мониторинга объектов окружающей среды, так и данных образа жизни и деятельности человека.

При прогнозной вероятностной оценке дозы МКРЗ рекомендует определять репрезентативного человека так, чтобы вероятность получения дозы для любого человека выше была менее 5 % [1]. Если таких окажется несколько десятков, следует дополнительно исследовать их данные и в случае подтверждения факта превышения граничной дозы необходимо рассмотреть вопрос оптимизации радиационной защиты.

В случае доминирования одного или нескольких путей облучения, экспертами может быть принято решение об учете только значительных путей облучения. Основные подходы к оценке дозы репрезентативного человека приведены в таблице 2.

Таблица 2 — Методы, используемые для оценки дозы репрезентативного человека

Данные для оценки дозы	Методы расчета	
	вероятностный	детерминистический
Данные о радиоактивном загрязнении окружающей среды	Распределение оцененных или измеренных концентраций	Отдельные значения параметров
Данные образа жизни	Диапазон или фиксированные значения данных образа жизни	Среднее значение наиболее сильно облученной группы или 0,95 квантиль соответствующих национальных/региональных данных
Дозовый коэффициент	Фиксированное значение, основанное на возрасте	Фиксированное значение, основанное на возрасте
Доза репрезентативного человека	Репрезентативный человек определяется таким образом, что вероятность того, что наугад выбранный человек из населения получит большую дозу, будет менее 5 %	Вычисление дозы с учетом вышеперечисленных величин

Современная парадигма радиоэкологии предполагает, что в отличие от представлений прошлого века, когда преимущественно рассматривалась цепочка «выпадения → продукты питания → доза» [3], в настоящее время в рассмотрение должны быть включены также пути миграции радионуклидов в резервуарах биосферы. Это обусловлено тем, что при

масштабном и долговременном радиоактивном загрязнении окружающей среды в биосфере за счет миграции радионуклидов создаются вторичные источники радиационной опасности за счет увеличения радиоактивного загрязнения в отдельных элементах биосферы. Результаты радиационного мониторинга окружающей среды после катастрофы на Чернобыльской АЭС свидетельствуют о возникновении таких источников, например, накопление радионуклидов в донных отложениях рек и водоемов, мелиоративных сооружений, в понижениях ландшафтов, в растительности, на геохимических барьерах почв, в болотистых почвах и т. д.

Важно понимать, что при прогнозной оценке дозы в ситуации существующего и аварийного облучения необходимо учитывать возможные разнонаправленные тенденции изменения удельной радиоактивности в объектах окружающей среды. С одной стороны — уменьшение удельной активности радионуклидов в объектах окружающей среды за счет процессов радиоактивного распада, а с другой стороны — ее увеличение в отдельных резервуарах биосферы за счет миграции радионуклидов в биосфере или за счет распада материнских радионуклидов. Примером может служить увеличение активности америция-241 в окружающей среде после катастрофы на Чернобыльской АЭС.

Таким образом, результаты радиационного мониторинга окружающей среды позволяют не только изучить основные пути формирования доз для репрезентативного человека, но и получать достоверные оценки загрязнения окружающей среды для количественных оценок самой дозы. При этом такие оценки могут быть развернутыми как в пространстве, так и во времени.

Результаты исследования и их обсуждение

В Республике Беларусь налажена система проведения радиационного мониторинга как часть Национальной системы мониторинга окружающей среды, основные положения которой утверждены Постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 14 июля 2003 г. № 949 «О Национальной системе мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь». Порядок проведения радиационного мониторинга определяется Положением о порядке проведения радиационного мониторинга и использования его данных, утвержденным постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 17 мая 2004 г. № 576.

По результатам радиационного мониторинга на территориях, загрязненных в результате катастрофы на Чернобыльской АЭС, на первом этапе была выявлена пространственная неравномерность выпадений, что позволяет выделить определенные территории, где дозы сравнимы. Так, из карт ближней зоны ЧАЭС следует, что трансурановые радионуклиды выпали в результате аварии преимущественно в 30-ти километровой зоне, стронция-90 — в основном на юге Гомельской области. В дальнейшем были оценены и изменения радиоактивного загрязнения во времени. Такие оценки можно разделить на три категории: ретроспективные (например, загрязнение территории Беларуси радиоактивным йодом в 1986 г.), текущие (загрязнение территории Беларуси цезием-137, стронцием-90 и плутонием-238, 239, 240) и прогнозные (прогноз загрязнения америцием-241 на 2058 г., цезием-137 на 2046 г.).

Таким образом, в зависимости от данных радиационного мониторинга окружающей среды можно выделить несколько схожих по степени загрязненности территорий, и для каждой такой территории определить репрезентативного человека исходя из приведенных выше подходов.

Кроме того, подходы к определению репрезентативного человека будут отличаться в зависимости от ситуации облучения. В ситуации существующего и аварийного облучения доза для репрезентативного человека будет определяться по результатам радиационного мониторинга окружающей среды. В ситуации планируемого облучения (в частности от такого радиационно-опасного объекта, как АЭС) подход к определению репрезентативного человека будет базироваться на использовании данных отчета о воздействии на окружающую среду (нормальная эксплуатация) и моделей, которые имеются для расчета запроектных аварий (в случае возникновения чрезвычайной ситуации).

Выводы

В Республике Беларусь, как и во всем мире, на данный момент отсутствуют строго описанные методики оценки дозы репрезентативного человека.

Необходимость разработки такой методики является актуальной проблемой для обеспечения радиационной защиты населения и проведения дозового мониторинга в ситуации существующего облучения. Методика также необходима в связи с введением в эксплуатацию Белорусской АЭС для оценки доз облучения населения за счет выбросов радионуклидов при нормальной эксплуатации станции, а также в случае возникновения чрезвычайных ситуаций и определения соответствия получаемых доз величинам нормативно установленных дозовых ограничений.

Радиационный мониторинг территорий, загрязненных в результате аварии на Чернобыльской АЭС, показал, что в зависимости от радиоактивного загрязнения окружающей среды, имеется возможность обеспечить детализированные подходы к радиационной безопасности, выделяя несколько типов репрезентативного человека для каждого конкретного типа загрязнения и ситуации облучения.

ЛИТЕРАТУРА

1. ICRP, 2006a. Assessing dose of the representative person for the purpose of radiation protection of the public and the optimisation of radiological protection: Broadening the process. ICRP Publication 101. Ann. ICRP 36(3).

2. Закон Республики Беларусь от 26 мая 2012 г. № 385-З «О правовом режиме территорий, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате катастрофы на Чернобыльской АЭС», Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь от 06.06.2012 г., № 2/1937.

3. О поведении радиоактивных продуктов деления в почвах, их поступлении в растения и накоплении в урожае / под. ред. В. М. Клечковского. — М.: АН СССР, 1956. — 177 с.

УДК 582.475:614.876

ВЛИЯНИЕ ХРОНИЧЕСКОГО ОБЛУЧЕНИЯ НА АНТИОКСИДАНТНЫЙ СТАТУС СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ

Е. А. Казакова, П. Ю. Волкова, С. А. Гераськин

**Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии»
г. Обнинск, Российская Федерация
elisabethafeb19@gmail.com**

Введение

До настоящего времени огромные территории лесных массивов подвергаются хроническому низкодозовому облучению вследствие аварии на Чернобыльской АЭС. Однако существует недостаточно данных о долгосрочных биологических последствиях хронического радиационного воздействия для природных популяций, в частности, о его влиянии на генетическую структуру популяций сосны обыкновенной. Также не ясна реакция антиоксидантной системы сосны на хроническое облучение.

Изучение изоферментного полиморфизма и антиоксидантного статуса в популяциях сосны обыкновенной позволит выяснить, как природные популяции адаптируются к техногенному стрессу и оценить долгосрочные последствия антропогенного воздействия на экосистемы.

Материал и методы исследования

Проведено исследование семи популяций сосны, произрастающих на радиоактивно загрязненных в результате Чернобыльской аварии территориях: четырех в Брянской области (Россия) и трех в Гомельской (Беларусь). В качестве контроля выбраны два участка в Брянской области с фоновым уровнем радиоактивного загрязнения. Для оценки параметров радиоактивного загрязнения были отобраны пробы почвы и шишек.

Почвы всех экспериментальных участков оказались близки по основным физико-химическим характеристикам, а содержание тяжелых металлов, как в почвенных образцах, так и в шишках не превышало допустимых уровней. Мощность поглощенной дозы генера-

тивными органами сосны дозы (от 10 до 66,6 мГр/год) была оценена с помощью специально разработанной дозиметрической модели. Более подробное описание объекта исследования и анализа параметров радиоактивного загрязнения представлены в работе [1].

Для проведения изоферментного анализа были выбраны следующие популяционно-генетические маркёры: глюкозо-6-фосфатдегидрогеназа (G6PD), малатдегидрогеназа (MDH) и лейцинаминопептидаза (LAP). Шишки с семенами были отобраны на брянских участках (мощность дозы 10–38,6 мГр/год). Ферменты экстрагировали из эндоспермов семян сосны обыкновенной. Получившиеся гомогенаты центрифугировали. Электрофоретический анализ ферментов проводили в вертикальных пластинах 7,5 % полиакриламидного геля. Аллозимы идентифицированы по их относительной электрофоретической подвижности. Проанализировано 6380 локус-тестов.

По результатам электрофоретического анализа изоферментного полиморфизма была проведена оценка аллельного разнообразия, оценена частота мутаций в изучаемых локусах, основные показатели, характеризующие генетическое разнообразие, а также подразделённость и дифференциацию популяций.

Оценка активности изучаемых ферментов в семенах сосны обыкновенной проводилась методом спектрофотометрии.

Для анализа концентраций антиоксидантов (восстановленного (GSH), окисленного глутатиона (GSSG) и аскорбиновой кислоты) и малонового диальдегида на каждом экспериментальном участке была отобрана хвоя с 15–18 деревьев. По 5 хвоинок с каждого дерева гомогенизировали в жидком азоте. Осадок ресуспендировали в 1 мл холодного экстрагирующего раствора (5 % фосфорная кислота, 1 мМ ЭДТА, 0,1 % муравьиная кислота). Гомогенаты центрифугировали. Экстракцию повторяли дважды, супернатанты объединяли. Комбинированный супернатант фильтровали и немедленно анализировали. Анализ концентраций целевых соединений выполняли с использованием ультравысокоэффективной жидкостной хроматографической системы Shimadzu LC-30.

Статистическая обработка результатов проводилась в программах «Microsoft Office Excel 2007, 2010», «Statistica» 10.0. Значимость различий оценивалась с использованием критерия Стьюдента. Для оценки наличия связи между мощностью дозы и показателями генетического разнообразия популяций, а также концентрациями антиоксидантов использовали корреляционный анализ.

Результаты исследования и их обсуждение

В популяциях сосны обыкновенной малатдегидрогеназа представлена пятью полиморфными локусами, а лейцинаминопептидаза одним. В локусе *mdh-1* выявлены восемь аллелей. В локусах *mdh-2* и *mdh-3* по два, при этом аллели имеют одинаковую электрофоретическую подвижность относительно друг друга. Возможно, это связано с их принадлежностью к одной группе сцепления. В локусе *mdh-4* один аллель, а в *mdh-5* — два. У лейцинаминопептидазы идентифицировано одиннадцать аллелей.

Глюкозо-6-фосфатдегидрогеназа представлена продуктами двух различающихся по электрофоретической подвижности локусов за исключением двух наиболее загрязненных участков в Брянской области (33,1 и 38,6 мГр/год), где у фермента был идентифицирован только один полиморфный локус. При анализе локусов в каждом из них выявлено три аллеля.

Показано, что общая частота мутаций статистически значимо возрастает вместе с мощностью поглощенной дозы (10–38,6 мГр/год) на участках. Сильная зависимость между уровнем радиационного воздействия и частотой мутационных событий в изучаемых эндоспермах ($r = 0,88$, $p = 0,021$) указывает на повышение темпов мутационного процесса в экспериментальных популяциях.

В исследуемых популяциях полиморфность ферментных локусов составляла от 70 до 93,3 %. Но уровень полиморфизма не зависел от мощности дозы хронического облучения.

Оценка гетерозиготности экспериментальных популяций показала, что значения как ожидаемой, так и наблюдаемой гетерозиготности на участке с мощностью дозы 38,6 мГр/год статистически значимо выше, чем на контрольных участках (0,02 и 0,23 мГр/год). При этом ожидаемая гетерозиготность увеличивалась с ростом уровня радиоактивного загряз-

нения ($r = 0,85$, $p = 0,032$), а значимой корреляции наблюдаемой гетерозиготности с плотностью радиоактивного загрязнения не обнаружено ($r = 0,72$, $p = 0,10$). На всех исследуемых участках наблюдаемая гетерозиготность оказалась выше ожидаемой. Следовательно, в изучаемых популяциях наблюдается избыток гетерозигот (индекс фиксации Райта на всех участках имеет отрицательные значения от $-0,281$ до $-0,501$).

Внутрипопуляционное разнообразие характеризуется высоким и средним уровнем изменчивости. Существует значимая корреляция показателя с радиационным воздействием ($r = 0,81$, $p = 0,04$). На участке с мощностью дозы $38,6$ мГр/год обнаружено увеличение эффективного числа аллелей по сравнению с контролем. Данный параметр показал наиболее сильную корреляцию с уровнем радиоактивного загрязнения ($r = 0,90$, $p = 0,015$). Статистически значимой корреляции доли редких аллелей с уровнем радиоактивного загрязнения не обнаружено ($r = 0,64$, $p = 0,17$).

Среднее значение коэффициента F_{st} для всех популяций равнялась $0,060$. Это означает, что 94 % генетической изменчивости у сосны сосредоточено внутри популяций. Такой высокий процент изменчивости является характерным для хвойных растений [2], а 6 % приходится на межпопуляционную составляющую. Отрицательные величины показателей F_{is} и F_{it} указывают на то, что популяции сосны обыкновенной испытывают избыток гетерозигот.

На основании значений коэффициентов генетической дистанции, кластерный анализ разделил изучаемые популяции Брянской области на две четко различающиеся группы. В первую группу вошли популяции с двух наиболее загрязненных брянских участков, а во вторую группу популяции с менее загрязненных участков.

Активность изучаемых ферментов в семенах сосны обыкновенной с ростом уровня радиоактивного загрязнения не изменялась.

Для сопоставления показателей мутационного процесса и антиоксидантного статуса в хронически облучаемых популяциях сосны обыкновенной был проведен хроматографический анализ концентраций низкомолекулярных антиоксидантов. Показано, что концентрации антиоксидантов не зависят от уровня радиационного воздействия ($r = 0,45$, $p > 5$ % для GSH, $r = 0,45$, $p > 5$ % для GSSG, $r = 0,14$, $p > 5$ % для аскорбиновой кислоты). При этом выявлено, что для наиболее загрязненных участков (Беларусь) ($50,9$ и $66,6$ мГр/год), концентрации GSH повышались по сравнению с контрольными участками, тогда как концентрации GSSG уменьшались. Соотношение концентраций GSH/GSSG оказалось существенно выше на участках с наибольшими мощностями доз ($50,9$ и $66,6$ мГр/год) и демонстрировало значимую корреляцию ($r = 0,67$, $p < 0,05$) с уровнем радиационного воздействия. Оценка концентраций малонового диальдегида показала, что уровни малонового диальдегида зависят от величины радиационного воздействия ($r = 0,63$, $p < 0,05$) и имеют тенденцию к увеличению с ростом мощности дозы хронического облучения. Так на участке с мощностью дозы $66,6$ мГр/год уровень малонового диальдегида статистически значимо выше, чем его концентрации в контрольных популяциях.

Заключение

Таким образом, для наиболее загрязнённых экспериментальных популяций мы обнаружили изменения антиоксидантного статуса и повышенный уровень оксидативного стресса по сравнению с контрольными популяциями. Хронический окислительный стресс, в свою очередь, может обуславливать наблюдаемые нами изменения в генетической структуре экспериментальных популяций.

Даже более 30 лет спустя после Чернобыльской аварии растительные популяции остаются прекрасным объектом для исследования долговременных биологических последствий хронического радиационного воздействия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Effects of radioactive contamination on Scots pines in the remote period after the Chernobyl accident / S. A. Geras'kin [et al.] // *Ecotoxicology*. — 2011. — Vol. 20. — P. 1195–1208.
2. Генетическое разнообразие и дифференциация популяций лесообразующих видов хвойных в Средней Сибири / А. Я. Ларионова [и др.] // *Хвойные бореальной зоны*. — 2007. — Т. 24, № 2–3. — С. 235–242.

ЛАНДШАФТНОЕ ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЗНАЧЕНИЙ МОЩНОСТИ ДОЗЫ γ -ИЗЛУЧЕНИЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТИПА ФОРМИРОВАНИЯ ГРАДИЕНТОВ КОНЦЕНТРАЦИИ

С. А. Калиниченко

Государственное природоохранное научно-исследовательское учреждение
«Полесский государственный радиационно-экологический заповедник»
г. Хойники, Республика Беларусь
s-a-k@list.ru

Введение

Изучение пространственного распределения радионуклидов представляет несомненный практический интерес, т. к. позволяет выявить своеобразие пространственной структуры геохимических полей разного генезиса и точнее учитывать экологическое влияние неоднородностей природного фона. К тому же закономерности вторичного перераспределения радионуклидов в ландшафтно-геохимических системах типа вершина-склон замыкающее понижение наименее изучены, несмотря на то, что именно такого рода неоднородности способны определять реальные условия проживания людей в населенных пунктах и загрязненность сельхозпродукции. Подобные исследования имеют большие перспективы, поскольку развитие современных средств прямых измерений в сочетании с применением ГИС-технологий дает возможность получать и оперативно представлять информацию о характере распределения тех или иных элементов (как стабильных, так и радиоактивных) в виде подробных эколого-геохимических карт [1, 2].

Материал и методы исследования

Исследования проведены на территории экспериментального полигона с высоким перепадом высот, охватывающего большую часть, так называемого урочища «Ясева гора». Экспериментальный полигон расположен в ближней зоне (отчуждения) ЧАЭС в районе исследовательской станции «Масаны» на расстоянии 12 км от эпицентра аварии. Высота высшей точки полигона над уровнем моря — 151 м, перепады высот составляют 15,2 м. Географические координаты и высоты крайних угловых точек участка представлены в таблице 1.

Таблица 1 — Координаты полигона исследований «Ясева гора»

Стороны света	Запад	Север	Восток	Юг
Широта	51.512854°	51.512709°	51.511862°	51.511738°
Долгота	30.017266°	30.018800°	30.019042°	30.017572°
h, м	141	135	143	131

Размер экспериментального полигона составил 100 × 100 м. При исследовании пространственной неоднородности радиоактивных выпадений был использован метод вложенных квадратов. Измерения мощности дозы γ -излучения (МД) были проведены на высоте 1 м и 3–4 см от поверхности почвы весной, в сухую погоду, до отрастания травянистой растительности, при помощи дозиметра-радиометра МКС (EL) — 1117А. Съёмка высот на территории экспериментального полигона была проведена вручную, при помощи вешек, мерных реек, линейки и строительного уровня. Статистическая обработка результатов проведена стандартными биометрическими методами (вариационная статистика и корреляционный анализ) [3].

Результаты исследования и их обсуждение

На данном этапе нами была предпринята попытка оценить характер пространственного распределения значений МД на поверхности почвы и на высоте 1 м в условиях ландшафта со значительным для территории зоны отчуждения перепадом высот.

Начальным этапом наших исследований было построение подробной карты высот, исследуемого полигона с шагом фиксирования контрольных точек каждые 5 м. В результате проделанной работы была проведена компьютерная визуализация нашей экспериментальной площадки, которая позволила установить места возможных наибольших геохимиче-

ских аномалий и участки перехода от элювиальных к трансэлювиальным и трансэлювиально-аккумулятивным ландшафтам (рисунок 1).

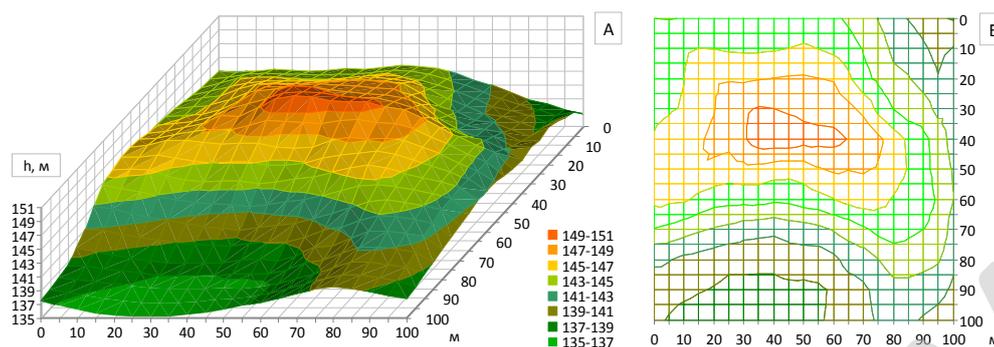


Рисунок 1 — Геодезические промеры высот на территории экспериментального полигона «Ясева гора» (А — гистограмма поверхности; Б — проекция сверху), м

Был исследован характер распределения растительности по поверхности холма, установлены участки, лишенные живого наземного покрова. Так в восточном, северном и западном направлении расположены участки, занятые сосняком мшистым, где интенсивно идут процессы лесоформирования. По южному же склону в условиях песчаной почвы бедной элементами питания скорость биологических процессов замедленна, а процесс вымывания органических остатков происходит быстрее. Соответственно изменяется и трофность участков, определяемая плодородием почвы. Трофность участков может меняться и под пологом леса, где происходит перераспределение благоприятных условий роста, при этом большое значение имеет рельеф и экспозиция склонов.

Проведенные нами измерения МД на высоте 3–4 см на территории экспериментального полигона «Ясева гора» показали невысокую вариабельность, коэффициент вариации значений МД составил 12,3 % (рисунок 2).

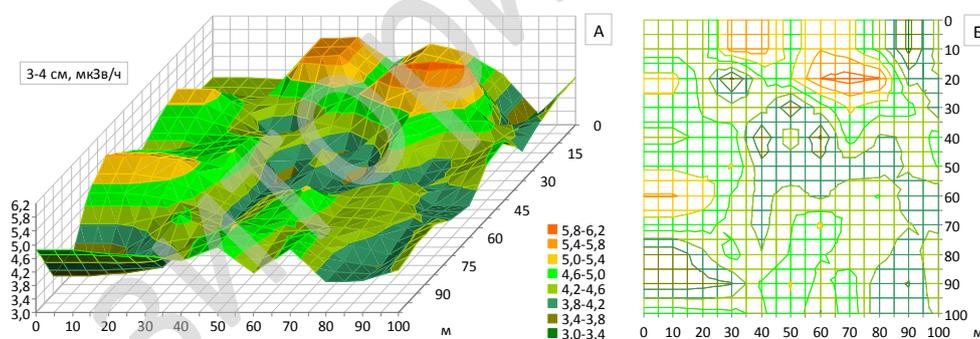


Рисунок 2 — Латеральное распределение МД γ -излучения на высоте 3–4 см на территории экспериментального полигона «Ясева гора» (А — гистограмма поверхности; Б — проекция сверху), мкЗв/ч

На высоте 1 м от поверхности почвы вариабельность была еще несколько ниже ($V = 9,1\%$) (рисунок 3), что закономерно в связи с нивелированием значений эманации от точечных источников с увеличением высоты. При этом коэффициент корреляции между значениями МД на высоте 1 м и на поверхности почвы составляет 0,79, что аналогично полученным нами ранее данным для других экспериментальных полигонов.

Формирование γ -фона в исследуемом биогеоценозе, как видно из представленных гистограмм, в значительной степени происходит под влиянием вторичного перераспределения радионуклидов в поверхностном слое почвы с течением времени, прошедшего с момента черныбыльских выпадений. Под действием ветров, атмосферных осадков, механического воздействия живых организмов и биогенной миграции на поверхности холма идет изменение микрорельефа поверхности и факторов биологической и химической трофности. Вместе с этим происходит и смещение радиоактивных элементов, распределение их между различными типами ландшафтов и образование градиентов концентраций в местах свала, пони-

жениях и водоотводящих канавках. В результате этих процессов мы наблюдаем заметное снижение значений МД на вершине и увеличение их в понижениях и на склонах холма.

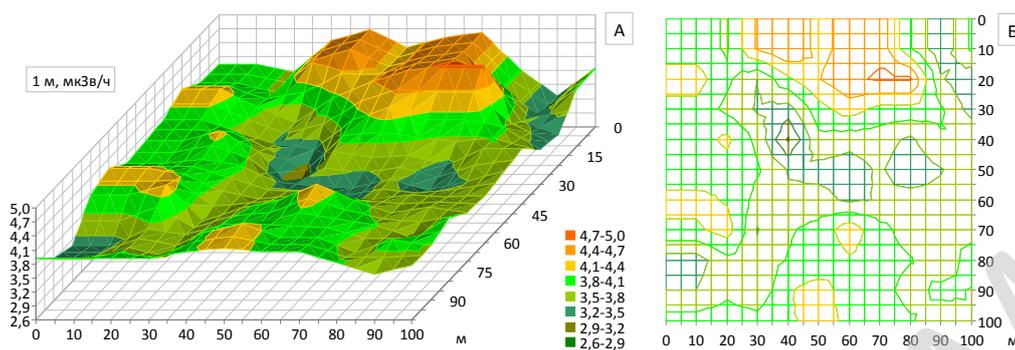


Рисунок 3 — Латеральное распределение МД γ -излучения на высоте 1 м на территории экспериментального полигона «Ясева гора» (А — гистограмма поверхности; Б — проекция сверху), мкЗв/ч

Значительную роль в процессах вторичного перераспределения, конечно же, играет первоначальное формирование мультифрактальной картины радиоактивного загрязнения поверхности почвы, что определяет неоднородность распределения на длительное время, и снижение вариабельности при этом будет происходить в большинстве случаев крайне медленно. В данных условиях не приходится ожидать тесной корреляционной связи между распределением радиоактивности в почве и перепадами высот. Низкие отрицательные значения коэффициентов корреляции позволяют говорить нам лишь о тенденции в зависимости распределения значений МД от высотных уровней ($r_{xy} = -0,06, -0,04$). Изменение значений МД на территории исследуемого биогеоценоза на поверхности почвы и на высоте 1 м имеет идентичную картину проекционных следов. При этом наблюдается обратная зависимость значений МД от высоты — на вершине холма зафиксированы наиболее низкие значения МД.

При расчете параметров вариационных рядов были оценены показатели медианных значений, модальных классов, асимметрии и эксцесса. При заданных объемах выборок, ошибки асимметрии и эксцесса составляют: $S_{As} = 0,24$ и $S_{Ex} = 0,48$ для значений МД на высоте 3–4 см и 1 м от поверхности почвы. Расчеты критериев достоверности оценок (t_{As}, t_{Ex}) и полученные величины медианы и моды показали, что распределение значений МД γ -излучения очень близко к нормальному закону. Это подтверждает и проверка по биометрическим таблицам. При исследовании пространственного распределения МД γ -излучения наблюдается правосторонняя (положительная) асимметрия вариационной гистограммы, направленная в сторону образцов с наибольшими значениями.

Заключение

Несмотря на значительную идентичность между параметрами распределения мощности дозы на различной высоте от поверхности почвы и видимую обратную зависимость МД от высотных уровней, достоверную связь между этими категориями установить не удалось. Если и есть зависимость распределения радиоактивных элементов в пространстве в зависимости от изменения ландшафтных характеристик, то отклонения, связанные с существенной неоднородностью первоначальных выпадений, не позволяют при данных методических подходах этого обнаружить. Конечно же, структурные колебания микрорельефа, где его выпуклые формы являются зонами сноса, а вогнутые — зонами накопления радиоактивности играют определенную роль в горизонтальном распределении радионуклидов, но влияние ряда других факторов внешней среды эту роль нивелирует.

ЛИТЕРАТУРА

1. Коробова, Е. М. Особенности пространственного распределения Cs-137, K-40 и стабильного йода в почвах суперкальвных ландшафтов поймы р. Ипуть / Е. М. Коробова, С. Л. Романов, В. Ю. Берёзкин // Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека, материалы IV межд. конф., — Томск, 2013. — С. 295–298.
2. Романов, С. Л. Опыт применения модернизированного прибора VIOLINIST-III в полевых радиэкологических исследованиях / С. Л. Романов, Е. М. Коробова, В. Л. Самсонов // Ядерные измерительно-информационные технологии. — 2011. — Т. 3, № 39. — С. 56–61.
3. Лакин, Г. Ф. Биометрия: учеб. пособие / Г. Ф. Лакин. — 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Высш. шк., 1980. — 293 с.

УДК 546.296(476) (497.11)

СОЗДАНИЕ КАРТОГРАФИЧЕСКОЙ БАЗЫ ДАННЫХ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ КАРТ РАДОНООПАСНОСТИ НА ТЕРРИТОРИЯХ БЕЛАРУСИ И СЕРБИИ

*А. Ч. Кевра¹, О. М. Жукова¹, Ж. В. Бакарикова¹, М. Г. Герменчук¹,
М. А. Подгайская¹, И. В. Жук², Т. В. Лисянович²*

¹Государственное учреждение
«Республиканский центр по гидрометеорологии,
контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды»,
²Государственное научное учреждение
«Объединенный институт энергетических и ядерных исследований — Сосны»
Национальной академии наук Беларуси
г. Минск, Республика Беларусь
nastya.kevra@mail.ru

Введение

Гипотеза о том, что радиоактивный газ — радон может вызвать заболевание раком легких стала очевидной лишь в 1970-х гг. XX в. когда выяснилось, что значительное количество американских шахтеров, добывающих уран в 1940-х гг. для программы создания ядерного оружия, заболело раком легких. Проведенные в 1970-х гг. скрининговые измерения концентраций радона в воздухе жилых, производственных и общественных помещений показали, что облучение радоном в некоторых зданиях может быть достаточно высоким и в некоторых случаях сравнимо даже с облучением в урановых рудниках. Поэтому с 1970–1990-х гг. в различных странах начали проводиться широкомасштабные исследования по мониторингу радона в воздухе зданий и других объектах окружающей среды, которые продолжаются до настоящего времени.

Объемная активность радона в почвенном воздухе и плотность потока радона с поверхности почвенных грунтов (ППР), а, следовательно, и концентрация радона в воздухе помещений, крайне чувствительны к любым, даже самым слабым внешним воздействиям, таким как колебания метеорологических условий (прежде всего атмосферного давления и температуры воздуха и почвы), флуктуации газопроницаемости почв за счет изменения их влагонасыщенности, изменения напряженного состояния приповерхностных грунтов за счет экзогенных процессов, лунных приливных явлений, солнечной активности и т. п. [1]

Высокий вклад радона (Rn-222) в дозу облучения населения объясняется его физико-химическими свойствами. Достаточно большой период полураспада (3,8 сут.) и химическая инертность радона способствует его миграции от эманлирующих образований на значительные расстояния через различные среды с последующим выходом в атмосферу. Почвогрунты и горные породы являются главным источником поступления радона в атмосферу вследствие его эксхалляции [1].

Учитывая обширные негативные последствия катастрофы на ЧАЭС очевидна необходимость мер по снижению компонентов дополнительного облучения, в частности — радона.

Проведен комплекс экспериментальных и расчетных исследований в рамках широкомасштабного мониторинга (Научно-технический проект «Составление радоновых карт и оценка дозы облучения населения радоном в Беларуси и Сербии») основного дозообразующего фактора — радона и его дочерних продуктов распада в воздухе жилых и производственных помещениях и в окружающей среде Республики Беларусь, разработана структура базы данных экспериментальных исследований для подготовки карт радонового риска для Республики Беларусь и Республики Сербия.

Материал и методы исследования

Существующие в Сербии и Беларуси системы сбора и использования данных измерений радона-222 в воздухе зданий и сооружений, в объектах окружающей среды, с точки

зрения собираемой информации, мало чем отличаются. В конечном итоге, в базе данных должны быть собраны данные измерений радона-222 в воздухе зданий и сооружений и в объектах окружающей среды. В Сербии и Беларуси данные измерений радона-222 в воздухе зданий и сооружений, в объектах окружающей среды включают:

- обязательную географическую привязку (долгота, широта);
- дату развертывания детектора/сбора (установки и снятия радиометра радона);
- данные политико-административного деления (область, район, сельский совет или муниципалитет, населенный пункт);
- объект окружающей среды;
- адрес здания или сооружения;
- тип здания или сооружения (жилое, общественное);
- назначение здания или сооружения (магазин, парикмахерская и прочее, если школа, то год строительства школы, тип конструкции (строительный материал), количество учеников и учителей);
- описание помещения, где выполнялось измерение радона-222;
- организация, проводившая измерения;
- тип прибора;
- прочие сведения, дающие полное понимание данных.

Результаты исследования и их обсуждение

В Гидромете проводятся измерения радона в почвенном воздухе на всей территории Республики Беларусь (рисунок 1).

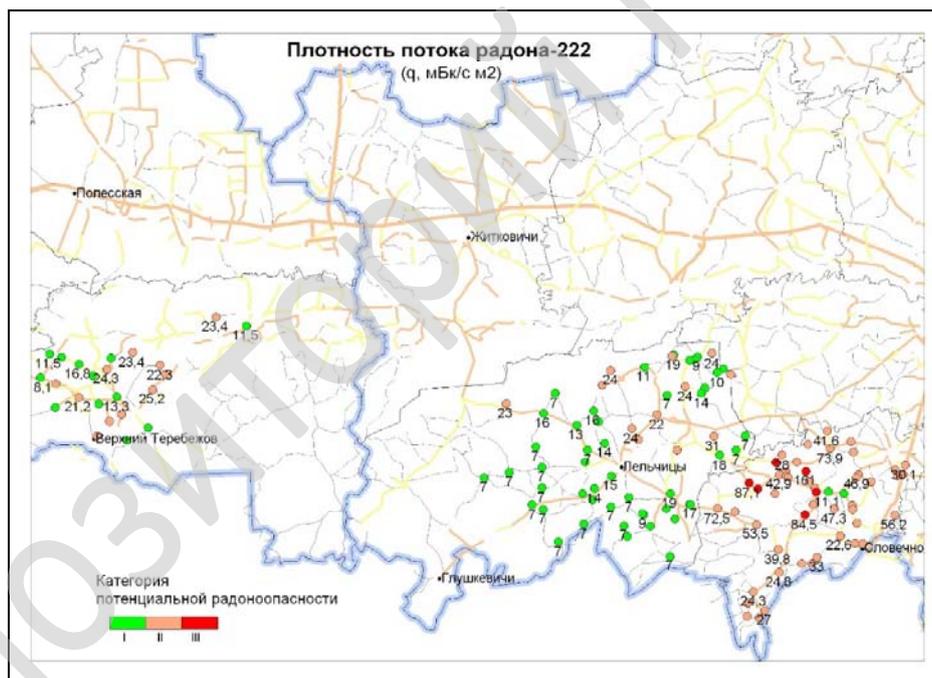


Рисунок 1 — Отображение значений плотности радона-22 в точках измерения на территории Беларуси.

В «Объединенном институте энергетических и ядерных исследований — Сосны» проводятся измерения радона в помещениях на всей территории Республики Беларусь. Эти данные измерений радона в помещениях приводятся к конкретной дате и имеют географическую привязку — долготу и широту, место отбора проб, информацию о конструкции зданий (деревянное, бетонное кирпичное).

По имеющимся данным измерений радона-222 было подготовлены несколько версий карты радоноопасности территории Беларусь с использованием возможностей ГИС MapInfo.

Потенциальная радоноопасность территории разбита на 3 категории согласно методическому указанию [2].

Таблица 1 — Критерии отнесения территории к категориям потенциальной радоноопасности

Категории потенциальной радоноопасности территории	ЭРОА изотопов радона, Бк/м ³	Плотность потока радона q, мБк/с·м ²	ОА радона A _{Rn} , кБк/м ³	A _{Ra} , Бк/кг
I	< 25	< 20	< 10	< 100
II	25–100	20–80	10–40	100–400
III	> 100	> 80	> 40	> 400

Исходными данными для разрабатываемой базы данных служат непосредственно данные содержания радона-222 в воздухе зданий и сооружений и объектах окружающей среды (вода, почвенный воздух), а также необходимая дополнительная информация, позволяющая идентифицировать данные о месте (точке) измерения, дата, время, сопутствующие измерения, такие, например, как данные измерений метеорологических параметров и т. д.

Необходимым требованием геоинформационной базы данных является обязательная географическая привязка (наличие географической широты и долготы) точки или места измерения.

Наблюдения за содержанием радона-222 в объектах окружающей среды выполняются с помощью радиометра радона.

Заключение

Для построения карт наиболее важными требованиями являются:

— достаточное количество данных, распределенных по территории, по которой будет строиться карта;

— достаточная степень равномерности распределения этих данных по территории, по которой будет строиться карта.

Для обеспечения равномерности распределения значений радона-222 по территории республик, а также для повышения представительности отображаемых на карте данных был предложен и согласован следующий подход к организации сбора данных измерений радона-222 — разбить территорию стран на небольшие элементарные участки и обеспечить достаточное количество измерений радона-222 в каждом элементарном участке.

В Сербии в качестве этих элементарных участков уже используются районы.

Полученные в ходе выполнения проекта результаты позволят сформировать массив данных измерений радона, достаточный для построения карт радонового риска территории Беларуси и Сербии. Результаты в виде картографических баз данных будут переданы в Объединенный исследовательский центр при Европейской комиссии, который с 2006 г. координирует работы по созданию Европейского атласа природной радиоактивности. Подготовка карт концентрации радона в помещениях стала первоочередной задачей при создании атласа, так как радон и дочерние продукты его распада в помещениях представляют наиболее значимый вклад в эффективную дозу облучения населения. К 2014 г. Атлас включал информацию по 24 странам Европы и в настоящее время продолжает пополняться. Беларусь и Сербия проводят комплекс радоновых исследований на своих территориях, накоплен ряд экспериментальных результатов, которые могут дополнить радоновую карту Европейского атласа природной радиоактивности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Крисюк, Э. М. Основные виды облучения людей / Э. М. Крисюк // АНРИ. — 1999. — № 2(17). — С. 4–9.
2. Методические указания МУК РБ №11-8-6-2002 «Проведение радиационно-гигиенического обследования жилых и общественных зданий», утвержденные Министерством здравоохранения Республики Беларусь, 2002 г.

**ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОГО
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОРМОВ С РАЗЛИЧНЫМИ УРОВНЯМИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ
РАДИОНУКЛИДАМИ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ «РАЦИОН⁺»**

Е. В. Копыльцова, Э. Н. Цуранков

**Республиканское научно-исследовательское унитарное предприятие
«Институт радиологии» Национальной академии наук Беларуси
г. Гомель, Республика Беларусь
kev81@tut.by**

Введение

В отдаленный период после катастрофы на ЧАЭС проводится оптимизация защитных мер в сельскохозяйственном производстве на основе разработки новых средств и технологий, способствующих снижению поступления радионуклидов в продукцию и повышению эффективности производства. На территории радиоактивного загрязнения возможны случаи производства продукции животноводства, не отвечающей единым нормативным требованиям Республики Беларусь и Таможенного союза по содержанию радионуклидов. Темпы стабилизации радиоэкологической обстановки не позволяют ожидать в ближайшие годы резкого снижения уровней радиоактивного загрязнения сельскохозяйственной продукции.

С другой стороны, введение норматива 200 Бк/кг на содержание ^{137}Cs в мясе (при заключительном откорме скота) устанавливает более жесткие требования к содержанию ^{137}Cs в кормах. В ряде сельскохозяйственных организаций может сложиться ситуация, когда часть имеющихся кормов (по причине высоких уровней содержания радионуклида) будет невозможно использовать для получения мяса в пределах нормативных значений. В таких случаях необходим дифференцированный подход к нормативам содержания радионуклидов в кормах и рационах различных половозрастных групп животных — нормирование кормов и рационов, позволяющее использовать корма с высоким уровнем радиоактивного загрязнения на промежуточных технологических этапах (выращивание и доращивание молодняка крупного рогатого скота (КРС), нетелей, в сухостойный период) [1, 2, 3].

Цель

Разработка системы дифференцированного использования кормов различного уровня загрязнения ^{137}Cs и ^{90}Sr для крупного рогатого скота с целью получения животноводческой продукции, отвечающей нормативам Республики Беларусь и Таможенного союза (по содержанию ^{137}Cs и ^{90}Sr в молоке и ^{137}Cs в мясе).

Материал и методы исследования

При проведении исследований использовались методы математической статистики, методические материалы (Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 021/2011; Ветеринарно-санитарные правила обеспечения безопасности кормов, кормовых добавок и сырья для производства комбикормов; Рекомендации по ведению агропромышленного производства в условиях радиоактивного загрязнения земель Республики Беларусь на 2011–2015 гг.) [4, 5].

Результаты исследования и их обсуждение

С целью минимизации содержания радионуклидов в животноводческой продукции и в то же время соблюдения зоотехнических норм кормления животных была разработана система дифференцированного использования кормов различного уровня загрязнения ^{137}Cs и ^{90}Sr для крупного рогатого скота, в которую входят:

— типовая схема административных и организационно-технических мероприятий, необходимых для внедрения и функционирования системы дифференцированного использования кормов;

— специализированное программное обеспечение «Рацион⁺» (далее ПО), позволяющее оптимизировать процесс подбора рационов при использовании кормов различного уровня радиоактивного загрязнения ^{137}Cs и ^{90}Sr для крупного рогатого скота.

ПО предназначено для специалистов сельскохозяйственных предприятий (зоотехников) на территориях, загрязненных радионуклидами (^{137}Cs и ^{90}Sr) для автоматизации процесса ранжирования кормов по уровням загрязнения и их подбор в рационах животных с учетом соответствующих допустимых уровней содержания радионуклидов в животноводческой продукции.

ПО позволяет в интерактивном режиме изменять значения нормативов на продукцию и автоматически осуществлять пересчет допустимых уровней содержания радионуклидов в рационах, а в качестве показателей питательности использовать не только справочные данные, но и фактические результаты зоотехнических анализов качества кормов. Основным функциональным преимуществом ПО является то, что при составлении рационов учитывается сочетанное загрязнение кормов радионуклидами (не только ^{137}Cs , но и ^{90}Sr).

Уровни загрязнения кормов выступали в данном исследовании как контрольные уровни, стремление к достижению которых должно составлять основу применения различных технологий заготовки кормов на территориях, загрязненных радионуклидами. В ПО реализованы методы соблюдения пределов содержания радионуклидов в рационах различных половозрастных групп КРС. Такой подход позволяет наиболее полно использовать кормовую базу сельскохозяйственного предприятия и использовать в рационе корма с различным уровнем радиоактивного загрязнения, при этом будет гарантировано производство продукции животноводства, без превышения санитарно-гигиенических нормативов по содержанию радионуклидов.

Кроме того, в ПО заложены методы, учитывающие возраст и продуктивность, баланс необходимых питательных веществ и допустимые уровни поступления загрязняющих веществ в организм животных, для откормочного поголовья рассчитывать оптимальный рацион кормления с учетом показаний прижизненной дозиметрии и предполагаемых сроков очистки (с применением ферроцианидосодержащих препаратов и без).

Система внедрена на участке по производству сельскохозяйственной продукции «Дубовый Лог» ОАО «Добрушский райагросервис» Добрушского района Гомельской области. Сельскохозяйственные земли предприятия имеют плотности загрязнения ^{137}Cs выше 15 Ки/км^2 . На предприятии в предыдущие годы отмечались случаи возврата скота мясокомбинатов по причине превышения установленных контрольных значений прижизненной дозиметрии при приемке скота, в 2014–2015 гг. содержание ^{137}Cs в мясе КРС было выше допустимого уровня Таможенного союза (200 Бк/кг).

При разработке схем мероприятий были выделены ограничительные, организационно-хозяйственные, агротехнические, зоотехнические, административные, специальные мероприятия. Разработанная схема мероприятий используется для организации отдельного хранения кормов с различными уровнями загрязнения радионуклидами и оптимизации мест хранения по территории сельскохозяйственного предприятия.

В рамках организационных мероприятий системы дифференцированного кормления КРС был выполнен прогноз содержания ^{137}Cs в кормах с учетом структуры посевов 2016 г. Результаты прогноза представлены на рисунке 1. Красным цветом на рисунках представлены корма, при использовании которых в рационах кормления КРС продуктивных групп животных высок риск получения продукции с превышением нормативных требований по содержанию ^{137}Cs .

В рамках зоотехнических мероприятий были просчитаны различные варианты рационов кормления крупного рогатого скота. Практически все варианты расчета (рисунок 2) показали, что наибольшие проблемы с получением нормативно чистой продукции животноводства (мясо КРС) происходят при использовании в рационах кормления откормочного поголовья сенажа в количествах более 50% от массы всего рациона кормления. При полной замене наиболее загрязненного ^{137}Cs сенажа в рационе кормления откормочного поголовья на протяжении 2 месяцев до сдачи скота на мясокомбинаты на сенаж с меньшим уровнем радиоактивного загрязнения либо частичной замене (до 50 % по массе) на кукурузный силос, прогнозные уровни загрязнения мяса не превышали 500 Бк/кг , но были выше нормативов Таможенного союза (200 Бк/кг). Получать мясо КРС в пределах нормативов Таможенного союза возможно только при исключении из рациона кормления на заключительной стадии откорма сенажа с полной заменой его на кукурузный силос.



Рисунок 1 — Прогноз содержания ^{137}Cs в кормах с учетом структуры посевов 2016 года

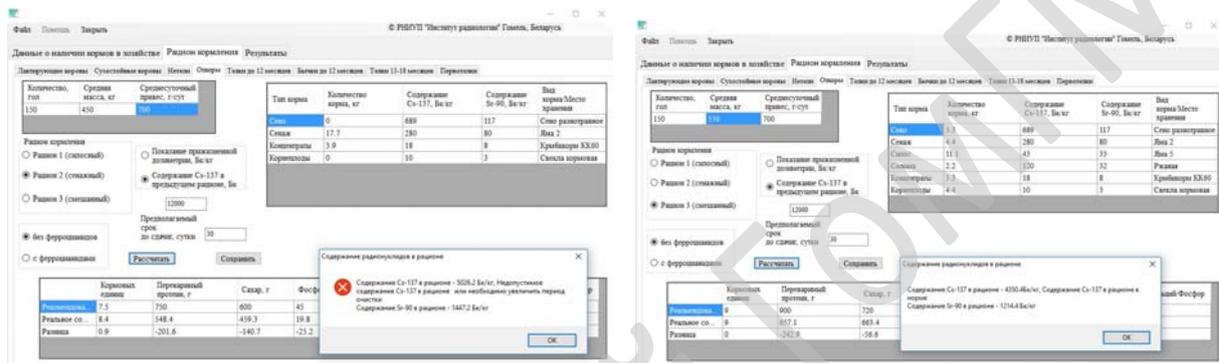


Рисунок 2 — Вариант расчетов для сенажного рациона кормления откормочного поголовья (содержание ^{137}Cs превышает (слева) и не превышает (справа) допустимые значения для получения нормативно-чистой продукции)

Заключение

Для предотвращения случаев производства загрязненной продукции разработана система дифференцированного использования кормов различного уровня загрязнения ^{137}Cs и ^{90}Sr для крупного рогатого скота. Для системы дифференцированного кормления КРС разработано ПО и схема административных и организационно-технических мероприятий. Разработанное в рамках исследований ПО способствует оперативному решению вопроса производства животноводческой продукции в соответствии с нормативными требованиями Республики Беларусь (РДУ-99) и Таможенного союза (ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции»).

Практическое применение системы дифференцированного использования кормов с различными уровнями загрязнения ^{137}Cs и ^{90}Sr для крупного рогатого скота в сельскохозяйственных предприятиях на территориях, загрязненных радионуклидами (^{137}Cs и ^{90}Sr), позволяет исключить случаи производства животноводческой продукции (молоко и мясо крупного рогатого скота) с превышением санитарно-гигиенических нормативов по содержанию радионуклидов. Это позволит избежать дополнительных расходов на доочистку скота «чистыми» кормами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рекомендации по дифференцированному использованию кормов для крупного рогатого скота на территориях радиоактивного загрязнения / под ред. д-ра биол. наук В. С. Аверина. — Гомель, 2003.
2. Анненков, Б. Н. Сельское хозяйство после крупных радиационных катастроф / Б. Н. Анненков. — Ростов н/д: Ростиздат, 2010. — 284 с.
3. Рекомендации по ведению кормопроизводства и животноводства, обеспечивающее получение нормативной продукции в условиях техногенного загрязнения / Р. М. Алексахин [и др.]. — Обнинск: ГНУ ВНИИ-ИСХРАЭ, 2007. — 109 с.
4. Ветеринарно-санитарные правила обеспечения безопасности кормов, кормовых добавок и сырья для производства комбикормов: постановление Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь, 10 февр. 2011 г. № 10. — Минск, 2011. — 46 с.
5. Рекомендации по ведению агропромышленного производства в условиях радиоактивного загрязнения земель Республики Беларусь на 2011–2015 гг. / В. С. Аверин [и др.]; под общ. ред. д.б.н. В. С. Аверина. — Гомель: Полеспечат, 2013. — 95 с.

**ВЛИЯНИЕ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВЫ
НА ДОПУСТИМОЕ ВРЕМЯ РАБОТАЮЩИХ
ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБАХ СОЗДАНИЯ ЛЕСНЫХ КУЛЬТУР**

В. В. Копытков¹, С. А. Родин², А. А. Мартынюк²

¹Государственное научное учреждение
«Институт леса Национальной академии наук Беларуси»
г. Гомель, Республика Беларусь
korvo@mail.ru,

²Федеральное бюджетное учреждение
«Всероссийский научно-исследовательский институт лесного хозяйства»
г. Пушкино, Российская Федерация

Введение

Традиционные способы создания лесных культур на радиоактивно загрязненных сельскохозяйственных землях не всегда приемлемы из-за значительного внешнего облучения работающих. Основными требованиями при создании лесных культур на загрязненных радионуклидами землях являются: обеспечение безопасности людей, выполняющих работу; максимально возможное снижение повторного переноса радионуклидов из почвы с пылью и обеспечение надежности результатов проводимых работ. Исследованиями белорусских ученых Ю. Д. Сироткина и А. И. Праходского [1] показано, что посев может являться одним из методов создания лесных культур. Особенности создания лесных культур аэросевом в загрязненных зонах и пути снижения доз облучения на человека в этих условиях изучены недостаточно. Создание лесных культур можно проводить автоматизацией отдельных операций, уменьшением густоты посадки, подбором технологий работ, сопровождающихся минимальным пылеобразованием и выбором периода работ, когда оно минимальное [2, 3]. Учитывая сложности с организацией и проведением лесокультурных работ И. И. Марадунин и др. [4] пришли к выводу, что их облесение необходимо проводить с учетом уменьшения сопряжения людей с радиоактивно загрязненной почвой.

Материал и методы исследования

Изучение создания лесных культур различными способами осуществляли в Ветковском и Чечерском спецлесхозах Гомельского ГПЛХО.

При аэросеве гранулированных семян сосны обыкновенной постоянные пробные площади в Ветковском спецлесхозе заложены в зависимости от плотности радиоактивного загрязнения почвы: от 5 до 15 Ки/км² — восемь постоянных пробных площадей, от 15 до 40 Ки/км² — 41 постоянная пробная площадь, от 40 до 80 Ки/км² — 14 постоянных пробных площадей и свыше 80 Ки/км² — 6 постоянных пробных площадей. В Чечерском спецлесхозе постоянные пробные площади при аэросеве заложены с учетом плотности загрязнения почвы от 15 до 40 Ки/км² — 18; от 40 до 80 Ки/км² — 12 и свыше 80 Ки/км² — 4 при создании лесных культур с предпосадочной обработкой корневых систем сеянцев сосны обыкновенной композиционным полимерным составом «Корпансил» для повышения приживаемости.

Определение предельно допустимой продолжительности работы при создании лесных культур различными методами и способами осуществляли совместно со специалистами радиологической лаборатории Ветковского спецлесхоза.

Результаты исследования и их обсуждение

Нами обследованы опытно-производственные лесные культуры, созданные ручным и механизированным способом в условиях произрастания А₂ и В₂ в Чечерском и Ветковском спецлесхозах Гомельского ГПЛХО на площади более 3 тыс. га. При проведении всех работ продолжительность смены устанавливается в зависимости от радиационного загрязнения территории. Основным показателем при оценке радиационной обстановки служит допус-

тимый предел дозы облучения. Предел дозы облучения работников сельского хозяйства в 1991 г. составил 0,5 бэр/год, а в 1992 г. — 0,4 бэр/год. Согласно временным нормативам радиоактивного загрязнения, продолжительность рабочего времени сельскохозяйственных работников, а также лиц, занятых на лесокультурных работах, должна определяться из условия непревышения допустимого предела дозы облучения. При проведении лесокультурных работ на землях с повышенным уровнем радиоактивного загрязнения необходимо учитывать допустимое время пребывания работников на территории с определенным уровнем загрязнения в течение года (таблица 1).

Уровень мощности дозы излучения в кабине пилота зависит от высоты полета, что обусловило проведение целой серии опытов с целью выявления зависимости и установления предельно допустимого времени работы пилота и обслуживающего персонала при аэросеве. Исследования проведены на базе вертолета МИ-2. Во всех случаях с увеличением высоты полета величина эффективной дозы ионизирующего излучения заметно снижается. Исходя из полученных данных, следует, что лесокультурные работы с помощью вертолета могут проводиться на различных высотах.

Таблица 1 — Предельно допустимая продолжительность работы при разной мощности дозы, часы/год

№	Диапазон мощности дозы, мкЗв/ч	ПДПР, час/год
1	До 0,6	Без ограничений (2000)
2	0,61–0,68	1700
3	0,69–0,81	1400
6	0,82–0,95	1170
7	0,96–1,20	900
8	1,21–1,43	750
9	1,44–1,76	600
10	Более 1,76	Рассчитывается по формуле

Рекомендуемые способы создания лесных культур в зависимости от классификации земель с повышенным уровнем радиоактивного загрязнения цезием-137 приведены в таблице 2.

Таблица 2 — Создание лесных культур в зависимости от плотности загрязнения почвы цезием-137

Зоны	Плотность загрязнения почвы радионуклидами, Ки/км ²	Допустимое время пребывания людей, час/год	Способы создания лесных культур
I	0–5	Ограничений нет	Традиционными способами в соответствии с лесорастительными условиями
II	5–15	Ограничений нет	Традиционными способами в соответствии с лесорастительными условиями
III	15–40	Не более 2000	Механизированная посадка в автоматизированном режиме. Работы вручную ограничены. Аэросев.
IV	Свыше 40	Не более 1900	Аэросев или оставляются под естественное зарастание лесом.

Данные таблицы 3 позволяют определить необходимое время пребывания пилота и наземного обслуживающего персонала при выполнении работ на землях с различным уровнем радиоактивного загрязнения. При проведении аэросева, к пилоту прикрепляется один и тот же обслуживающий технический персонал (техник, водитель горюче-смазочных материалов, рабочие по загрузке семян и т. д.).

Для рабочих 1-й и 2-й зон, где нет ограничений по времени работы, создание лесных культур проводят в соответствии с нормативными документами. Если аэросев выполняется в 4-й зоне (40 Ки/км² и более) на высоте 20 и 30 м, то пилот может работать 1000–1900 час/год, а обслуживающий персонал только 600–700 час/год, т. е. в 1,7–2,7 раза

меньше. Следовательно, для проведения аэросева в этих условиях необходимо, чтобы одного пилота поочередно обслуживали две бригады технического персонала. Высота полета вертолета при плотности радиоактивного загрязнения почвы от 15 до 40 Ки/км² составляет 20 м, а свыше 40 Ки/км² — 30 м. Эти параметры высоты полета обеспечивают безопасность работ при аэросеве.

Таблица 3 — Предельно допустимая продолжительность работы пилота при аэросеве в зависимости от плотности радиоактивного загрязнения, час/год

Распределение территории по зонам в зависимости от загрязнения почвы, Ки/км ²	Высота полета над землей, м		
	10	20	30
	предельно допустимое время работы		
1 зона — 1–5	Ограничений нет		
2 зона — 5–15	Ограничений нет		
3 зона — 15–40	750–1000	1200–1700	1700–2000
4 зона — 40 и более	600–900	1000–1500	1600–1900

Для определения высоты полета, обеспечивающего безопасность лиц, находящихся в летательном аппарате, и оптимальной ширины посева семян была проведена серия полетов на разной высоте вертолета МИ-2. Это позволило установить оптимальную норму высева гранулированных семян сосны обыкновенной (1,0–1,5 кг/га) и изменения величины ионизирующего облучения при различной высоте полета МИ-2. Исследования показали, что на землях, с плотностью радиоактивного загрязнения почвы от 15 до 40 Ки/км² высота полета составляет 20 м и предельно допустимое время работы составляет 1200–1700 час/год. При повышении плотности почвы радиоактивным загрязнением 41–80 Ки/км² предельно допустимое время работы на высоте полета 20 м уменьшается до 1000–1500 час/год.

Заключение

Таким образом, на почвах с плотностью загрязнения почвы цезием-137 от 0 до 15 Ки/км² лесные культуры создаются традиционными способами с предпосадочной обработкой корневых систем посадочного материала композиционным материалом «Корпансил». Использование композиционного материала «Корпансил» в производственных условиях при создании лесных культур увеличивает приживаемость однолетних сеянцев сосны на 11–18 %, двухлетних сеянцев сосны — на 6–19 %.

При загрязнении почвы цезием-137 от 15 до 40 Ки/км² и наличие ограничений по времени проведения лесокультурных работ, проводят посадку леса вручную или механизировано.

При аэросеве на территориях с плотностью загрязнения почвы цезием-137 от 15 до 40 Ки/км² и при высоте полета вертолета МИ-2 20 м, предельно допустимое время работы пилотов составляет 1200–1700 час/год. При повышении плотности загрязнения почвы свыше 40 Ки/км² и высоты полета вертолета 20 м предельно допустимое время работы уменьшается до 1000–1500 час/год.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сироткин, Ю. Д. Лесные культуры / Ю. Д. Сироткин, А. Н. Праходский. — Минск: Выш. шк., 1988. — 96 с.
2. Копытков, В. В. Особенности облесения территорий при радиоактивном загрязнении / В. В. Копытков // Вопросы экологии и моделирования лесных экосистем. — М.: МГУЛ, 1993. — Вып. 248. — С. 74–77.
3. Копытков, В. В. Санитарно-экологические особенности аэросева в зоне с повышенным уровнем радиации / В. В. Копытков // Вопросы экологии и моделирования лесных экосистем. — М.: МГУЛ, 1993. — Вып. 248. — С. 77–80.
4. К вопросу об искусственном облесении сельскохозяйственных угодий с плотностью радиоактивного загрязнения цезием-137 свыше 80 Ки/км² / И. И. Марадудин [и др.] // Основы организации и ведения лесного хозяйства в условиях радиоактивного загрязнения: тез. докл. — Гомель, 1990. — 37 с.

**ДИНАМИКА И ОЦЕНКА ПРОГНОЗОВ ИЗМЕНЕНИЯ
РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ^{137}Cs СОСНОВЫХ ЛЕСОВ
ЗОНЫ ОТЧУЖДЕНИЯ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС**

М. В. Кудин, А. В. Углянец, Д. К. Гарбарук

**Государственное природоохранное научно-исследовательское учреждение
«Полесский государственный радиационно-экологический заповедник»,
г. Хойники, Республика Беларусь
dima.garbaruk.77@mail.ru**

Введение

Высокая биомасса, сложная вертикальная структура и большая площадь ассимилирующих органов растений обеспечили повышенное задерживание радиоактивных выпадений лесными насаждениями при аварии на Чернобыльской АЭС (ЧАЭС) [1, 2]. Из-за мозаичного распределения радиоизотопов, следствием чего являются высокие градиенты уровней радиоактивного загрязнения территории и сложности процессов накопления радионуклидов компонентами биогеоценозов, их долговременное поведение трудно прогнозировать. Для надежных оценок необходимо иметь сведения о распределении радионуклидов по компонентам экосистем за длительный промежуток времени. Это достигается проведением постоянного радиоэкологического мониторинга научно-технического направления лесных насаждений [3], целью которого является составление и уточнение прогнозных моделей изменения радиационной обстановки, использование результатов наблюдений для решения лесохозяйственных и медико-биологических проблем районов, пострадавших от аварии на ЧАЭС [2].

Результаты изучения радиационной обстановки на стационарах в лесных экосистемах зоны отчуждения белорусского сектора ЧАЭС с 1987 по 2005 гг. обобщены в работе [4]. Спорадические наблюдения на них осуществлялись до 2010 г. [5, 6]. В последние годы эти стационары не использовались. Очевидно, что актуальной задачей является возобновление исследований радиационной обстановки в лесных фитоценозах на этих стационарах на постоянной основе, в том числе и проверка сделанных ранее прогнозов ее изменения.

Материал и методы исследования

В 2016 г. в целях осуществления постоянного радиоэкологического мониторинга научно-технического направления и оценки прогнозов радиоактивного загрязнения сосняков вересковых и мшистых в пределах стационаров, длительное время использовавшихся ГНУ «Институт леса НАН Беларуси», были заложены три постоянных пункта наблюдения (ППН) в соответствии с [7] с сохранением ранее присвоенных им авторами исследований [4] оригинальных шифров — Мс-1, Пг-1, Гн-1. Расстояния от вышеназванных ППН до ЧАЭС составляют 12, 25, 35 км соответственно.

Для оценки текущего радиоактивного загрязнения сосновых лесов использовались мощность дозы гамма-излучения (МД) на высоте 1 м и плотность загрязнения почв (ПЗ) ^{137}Cs . На ППН в девяти контрольных точках (по углам и диагонали) отбирались мгновенные пробы почвы стандартным пробоотборником диаметром 4 см на глубину 20 см с живым напочвенным покровом и лесной подстилкой не ближе 1 м от стволов деревьев. Там же на высоте 1 м от поверхности почвы измерялся гамма-фон дозиметром-радиометром МКС-АТ6130. По удельной активности ^{137}Cs в пробах почвы, определенной на сцинтилляционном гамма-бета-спектрометре МКС-АТ1315, была рассчитана ПЗ.

При анализе динамики радиоактивного загрязнения сосновых лесов на ППН и оценки прогнозов его изменения [4–6] использовали первичные полевые материалы за период с 1987 по 2010 гг., предоставленные И. М. Булавиком.

Результаты исследования и их обсуждение

Динамика мощности дозы гамма-излучения. Первоначальные значения МД в связи с пространственным распределением радионуклидов в кронах и на коре деревьев насаждений были высокими. Радионуклидный состав гамма-излучателей в почвах сосновых насаждений был представлен 6 радиоизотопами на ППН Мс-1 и 8 — на Пг-1 и Гн-1. Наибольший вклад в гамма-фон вносили ^{144}Ce , ^{106}Ru и ^{137}Cs [4]. За счет распада короткоживущих радионуклидов, перемещения их в напочвенный покров и почву МД в 1987–1990 гг. ежегодно снижалась на 19–20 %, в 1990–1992 гг. — на 8–10 % [6]. До середины 1990-х гг. она уменьшалась очень быстро, а в последующем — медленнее. С этого времени в сосняках ближней зоны ЧАЭС ^{137}Cs определяет радиоактивное загрязнение и формирует МД [4]. К 2004 г. суммарная поверхностная активность почвы составляла 6,1–11,4 % от уровня 1986 г.; доля вклада ^{137}Cs в ее гамма-фон превысила 99 %.

В сосняках вересковых и мшистых на ППН Мс-1, Пг-1 и Гн-1 МД на высоте 1 м за 29 лет упала в 13,4, 11,7 и 13,7 раз соответственно, в том числе к осени 2006 г. по сравнению с весной 1987 г. — в 11,3, 9,5 и 12,8 раз; к 2016 г. по сравнению с 2006 г. — на 15,6; 18,6 и 6,1 % (таблица 1).

Таблица 1 — Мощность дозы гамма-излучения на высоте 1 м и плотность загрязнения почв ^{137}Cs на постоянных пунктах наблюдения

Год, сезон	МД, мкЗв/ч			Год	ПЗ, кБк/м ²		
	Мс-1	Пг-1	Гн-1		Мс-1	Пг-1	Гн-1
1987, весна	40,75	17,93	4,24	1987	5180,0	2590,0	481,0
1988, весна	32,80	11,35	2,31	1988	5062,7	2531,3	470,1
1988, осень	26,18	9,30	2,24	1997	4119,2	2059,6	382,5
1996, весна	7,37	3,78	0,70	2002	3673,3	2531,3	341,1
1996, осень	7,26	3,71	0,66	2006	3351,6	1675,8	311,2
2002, весна	4,82	2,65	0,50	2016	3153,2	1043,5	230,9
2002, осень	4,56	2,45	0,49				
2006, осень	3,60	1,88	0,33				
2016, лето	3,04	1,53	0,31				

Установлены два периода снижения МД: быстрый — до середины 1990-х гг. прошлого века и медленный — после середины. Первый обусловлен быстрым распадом короткоживущих гамма-излучателей, второй — долгоживущих, преимущественно ^{137}Cs . Оба периода падения МД описываются уравнением двухкомпонентной экспоненты с разными параметрами для быстро и медленно протекающих процессов изменения гамма-излучения [4].

По данным 1987–2016 гг. построены графики уменьшения МД на высоте 1 м в сосняках ближней зоны ЧАЭС (рисунок 1). Независимо от удаления от источника выбросов они с уровнем значимости 73,4–88,4 % аппроксимируются уравнениями экспоненциальной функции.

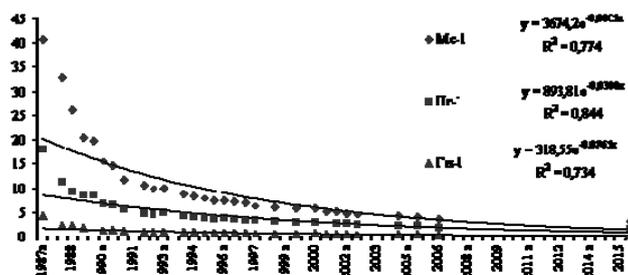


Рисунок 1 — Динамика мощности дозы гамма-излучения на высоте 1 м, мкЗв/ч

Согласно прогнозу [6] гамма-фон в сосняках к 2025 г. должен уменьшиться в 6,5 раз и составлять 15 % к уровню 1988 г. Фактически к 2016 году на ППН он упал в 10,8, 7,4 и 7,4 раза и составил 9,3; 13,5 и 13,4 % по отношению к весне 1988 г. (11,6; 16,4 и 13,8 % — к осени).

Отсюда видно, что реальный процесс смягчения радиэкологической обстановки в суходольных сосняках протекает несколько быстрее прогнозируемого. С середины 1990-х гг. период полуснижения МД оценивался [5] величиной 15–20 лет, или 4–7 % в год. Исходя из этого к 2016 г. МД по сравнению с 1996 г. должна была бы составлять около 3,66 мкЗв/ч на Мс-1, 1,87 — на Пг-1 и 0,34 — на Гн-1. Однако до таких значений она снизилась уже через 10 лет (таблица 1), что подтверждает более ускоренный процесс уменьшения МД по отношению к расчетному.

После корректировки прогнозной модели за счет большего набора данных для периода медленного снижения МД ожидается уменьшение внешнего гамма-излучения до 2020 г. в 2 раза по сравнению с уровнем 2002 г. [4]. Фактически к лету 2016 г. по отношению к весне 2002 г. гамма-фон на ППН вне зависимости от удаления от ЧАЭС уменьшился в 1,6–1,7 раза или в 1,5–1,6 раз — к осени того же года. Расчеты показывают, что МД в сосняках ближней зоны ЧАЭС с 2002 по 2020 гг. снизится в 1,9–2,2 раза, то есть почти совпадет с прогнозом.

Динамика плотности загрязнения почв ^{137}Cs . Графически процесс снижения ПЗ ^{137}Cs в сосновых лесах зоны отчуждения ЧАЭС за 29 лет отображается почти прямыми линиями, которые аппроксимируются как линейными уравнениями регрессии с достоверностью 93,9–99,6 %, так и экспоненциальными (95,3–99,5 %) (рисунок 2).

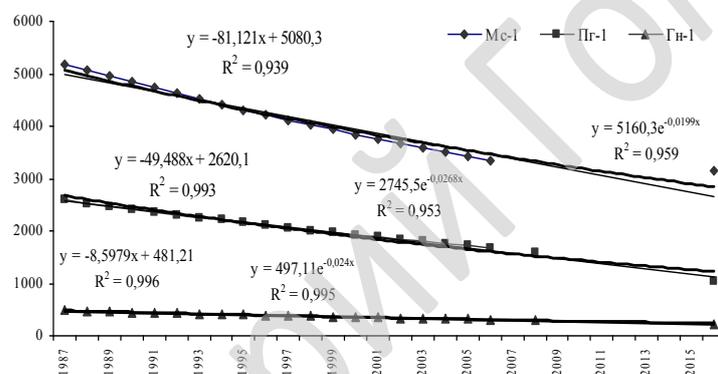


Рисунок 2 — Динамика плотности загрязнения почвы ^{137}Cs , кБк/м²

За это время ПЗ ^{137}Cs на ППН Мс-1, Пг-1 и Гн-1 снизилась в 1,6, 2,5 и 2,1 раз, в том числе с 1987 г. по 2006 г. — в 1,5 раза на всех, с 2006 г. по 2016 г. — на 5,9%, 37,7% и 34,8% соответственно (таблица).

Согласно прогнозу [6] получичищение верхнего 20-см слоя почвы и лесной подстилки произойдет примерно за 20 и 12 лет соответственно. Исходя из этого к 2016 г. (по сравнению с 1997 г.) ПЗ ^{137}Cs в исследуемых насаждениях должна быть ниже 2060 кБк/м² на Мс-1, 1030 кБк/м² на Пг-1 и 191 кБк/м² на Гн-1. Фактически за это время ПЗ ^{137}Cs 20-см слоя почвы (вместе с подстилкой) снизилась на ППН в 1,3, 2,0 и 1,6 раз соответственно и на лето 2016 г. была выше прогнозных значений на Мс-1 — в 1,5 раза, на ППН Пг-1 — на 1,3 % (близка к прогнозному значению), на Гн-1 — в 1,2 раза (таблица 1). Более медленный по сравнению с прогнозом процесс снижения ПЗ ^{137}Cs обусловлен постоянным вкладом высвобождающегося ^{137}Cs из растительного опада и опада в лесную подстилку и верхние слои почвы.

Заключение

Анализ данных 1987–2010 гг. и 2016 г. на ППН позволил выявить особенности долговременной динамики изменения радиоактивного загрязнения в суходольных сосняках ближней зоны ЧАЭС и оценить прогнозы его изменения.

Для мощности дозы гамма-излучения на высоте 1 м и плотности загрязнения почв ^{137}Cs характерны тенденции снижения во времени и с увеличением расстояния от ЧАЭС. За 1987–2016 гг. первая уменьшилась в 11,7–13,7 раз, вторая — в 1,6–2,5 раз. С высокой степенью достоверности снижение мощности дозы описывается экспоненциальной математической функцией, а плотности загрязнения почв ^{137}Cs — линейной.

Мощность дозы гамма-излучения на высоте 1 м снижается несколько быстрее по сравнению с прогнозными показателями, а плотность загрязнения почв ^{137}Cs — медленнее. Последнее обусловлено непрерывным поступлением ^{137}Cs в лесную подстилку и верхние слои почв из растительного опада и опада. Увеличение периода наблюдений позволило дать более точный прогноз изменения мощности дозы. Это указывает на необходимость внесения корректировок в прогнозные модели как за счет увеличения массива данных, так и в результате уточнения процессов миграции радионуклидов в экосистемах.

Авторы благодарят И. М. Булавика, доктора сельскохозяйственных наук, за предоставленные материалы.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Парфёнов, В. И.* Радиоактивное загрязнение растительности Беларуси / В. И. Парфёнов, Б. И. Якушев, Б. С. Мартинович. — Минск: Навука і тэхніка, 1995. — 578 с.
2. *Щеглов, А. И.* Биогеохимия техногенных радионуклидов в лесных экосистемах: по материалам 10-летних исследований в зоне влияния аварии на ЧАЭС / А. И. Щеглов. — М.: Наука, 2000. — 268 с.
3. Экологические, медико-биологические и социально-экономические последствия катастрофы на ЧАЭС в Беларуси / под ред. Е. Ф. Конопки. — Минск: МЧС, Ин-т радиобиологии. НАН Беларуси, 1996. — 280 с.
4. *Переволоцкий, А. Н.* Распределение ^{137}Cs и ^{90}Sr в лесных биогеоценозах / А. Н. Переволоцкий. — Гомель: Институт радиологии, 2006. — 255 с.
5. *Переволоцкий, А. Н.* Дозовые нагрузки на древесные растения лесных биогеоценозов / А. Н. Переволоцкий, И. М. Булавик, Т. В. Переволоцкая // Радиация и экосистемы: материалы междунар. науч. конф. / Ин-т радиобиологии; под общ. ред. Е. Ф. Конопки. — Гомель, 2008. — С. 161–164.
6. Изучить процессы перехода ^{137}Cs и ^{90}Sr в древесину и кору сосновых насаждений в наиболее распространенных условиях произрастания на территории Полесского государственного радиационно-экологического заповедника: отчет о НИР (годовой) / Ин-т радиологии; рук. А. Г. Подоляк. — Гомель, 2010. — 82 с. — № ГР 20100198.
7. Радиационный мониторинг лесного фонда. Закладка постоянного пункта наблюдения. Порядок проведения: ТКП 498-2013 (02080). — Введ. 03.10.13 (с отм. Методики организации и ведения радиационного мониторинга в лесах, утв. приказом Минлесхоза от 24.05.2006 г., № 113). — Минск: Минлесхоз, 2013. — 28 с.

УДК 614.876:[553.493.42 + 546.37]:614.771

МИГРАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ НА ЗАГРЯЗНЕННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ БЛИЖНЕЙ 5-КМ ЗОНЫ ЧАЭС

Н. В. Кулич¹, М. В. Желтоножская², В. А. Желтоножский¹, А. П. Черняев²

¹«Институт ядерных исследований Национальной академии наук Украины»
г. Киев, Украина

²Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова»
Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д. В. Скобельцына
г. Москва, Российская Федерация

Введение

Изучение миграции радионуклидов одна из актуальных задач радиозоологии из-за большого количества факторов, влияющих на перемещение радионуклидов. Исследование поведения ^{137}Cs и ^{90}Sr проводилось в некоторых работах и до аварии на ЧАЭС. Однако, поведение радионуклидов чернобыльского происхождения имеет свою специфику. Это обусловлено тем, что значительное количество радионуклидов находится в виде мелкодисперсных кусочков топлива — так называемые «горячие частицы». Это значительно изменяет роль физико-химических процессов, приводящих к миграции радионуклидов [1, 2].

Материал, методы и результаты исследований

Для исследований выбраны участки на территории полигона «Рыжий лес», характеризующиеся двумя типами почв: дерново-слабоподзолистые пылевато-песчаные почвы и болотные минеральные глинисто-песчаные почвы. Мощность дозы в местах отбора была одина-

ковой и составляла 3000 мк Р/час на поверхности и на высоте 1 м. Полигон был выбран на территории без признаков антропогенного воздействия, чтобы можно было рассматривать миграцию радионуклидов в естественной среде. Керн, глубиной 30 см, делился на образцы полойно: первые два слоя глубиной по 2 см, затем два слоя глубиной по 3 см и 4 слоя по 5 см.

Активности γ -излучателей в образцах почвах были измерены спектрометрическими методами. Активность ^{90}Sr определялась по β -спектрам с помощью нерадиохимической методики и из этих данных определены активности ^{90}Sr во всех образцах почвы [3]. Для определения полной активности Pu использовался тот факт, что в результате α -распада изотопов плутония с вероятностью около 25 % возбуждается ряд низкоэнергетических состояний соответствующих изотопов урана с энергией, меньшей энергии связи К-электронов. Энергия этих состояний 43,5; 51,45 кэВ и заселяются они при альфа-распаде изотопов $^{238-240}\text{Pu}$, соответственно. Распад этих состояний происходит посредством внутренней конверсии γ -лучей Е2-мультипольности с последующим испусканием характеристического рентгеновского излучения с энергией, лежащей в диапазоне 13–23 кэВ.

Гамма- и рентгеновские спектры радионуклидов изучали с использованием антикомптоновского спектрометра с Ge-детектором, с входным бериллиевым окном и энергетическим разрешением 1,9 кэВ на гамма-линиях ^{60}Co и 350 эВ на гамма-линии 59 кэВ ^{241}Am . Характерный фрагмент γ -спектров чернобыльских выпадений в верхнем слое разреза представлен на рисунке 1. В низкоэнергетической области хорошо определяются пики 14 и 18 кэВ (L_{α} и L_{β} U, Np); 32 кэВ K α Ba (^{137}Cs); ^{241}Am – 59 кэВ.

Обнаружены участки с соотношениями активностей ^{241}Am и ^{137}Cs $A(^{241}\text{Am}) / A(^{137}\text{Cs}) = 0,11 \pm 0,02$ и $A(^{90}\text{Sr}) / A(^{137}\text{Cs}) = 2,0 \pm 0,3$. Исследования, выполненные в 2012 г., до проведения работ по созданию новой арки, показывают, что $A(^{241}\text{Am}) / A(^{137}\text{Cs}) = 0,05 \pm 0,01$, $A(^{90}\text{Sr}) / A(^{137}\text{Cs}) = 0,6 \pm 0,1$. Исследование концентрации этих радионуклидов в топливосодержащих материалах отобранных внутри объекта «Укрытие» показало, что соотношение этих радионуклидов составляет $A(^{241}\text{Am}) / A(^{137}\text{Cs}) = 0,09 \pm 0,02$, $A(^{90}\text{Sr}) / A(^{137}\text{Cs}) = 2,5 \pm 0,5$.

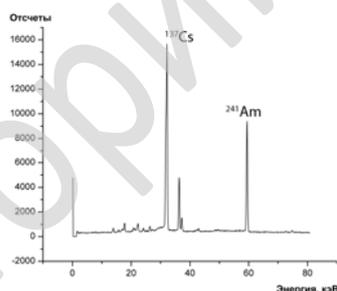


Рисунок 1 — Фрагмент низкоэнергетического спектра проб почвы, отобранных в 2016 г.

Скорость вертикальной миграции изотопов Pu в наших исследованиях подобна скорости вертикальной миграции ^{241}Am , как это наблюдалось и ранее (рисунок 2). Поэтому дальнейший анализ мы проводили с данными ^{241}Am , т.к. погрешность измерений концентрации активности ^{241}Am не превышает 5 % даже на глубине 30 см. В то же время уже на глубине 15–20 см погрешность в данных о активности изотопов Pu достигает 15–20 %.

Проанализировав полученные данные, с помощью модифицированной конвективно-диффузионной модели переноса мы определили периоды экологического полураспада 5-см слоя почвы. Данные приведены в таблице 1. Периоды полураспада ^{241}Am близки к периодам полураспада ^{137}Cs и коррелируют между собой независимо от типа почв в разрезе. Это тоже говорит в пользу гипотезы о том, что значительное количество ^{137}Cs , ^{90}Sr и ^{241}Am находится в виде «горячих частиц».

Также были проведены радиографические исследования для визуализации чернобыльских топливных частиц в образцах почвы и оценки их дисперсного состава. Для этого с воздушно-сухих навесок образцов готовились запаянные в тонкий полиэтилен препараты, максимально приближенные к монослойным, что экспонировались в течение 750 ч в рентгеновской пленке РП-У («Аника», Украина). Проявления и фиксация пленки выполнялась в соответствии с рекомендациями производителя. Изображения на пленках пятен потемнения от радио-

активного излучения «горячих» частиц оцифровывалось с помощью сканера EpsonV330Photo в отраженном свете с разрешением 600 точек на дюйм и в дальнейшем анализировались в программной среде «ImageJ» (рисунок 3).

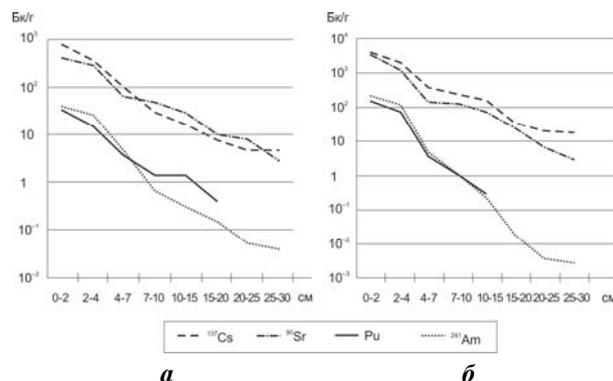
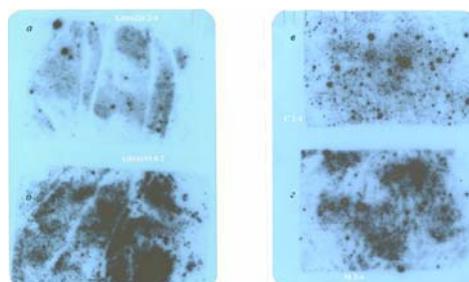


Рисунок 2 — Изменение содержания изотопов цезия, стронция, америция и плутония в почвах Рыжего леса с глубиной: а) дернистая пылепесчаная почва; б) болотная минеральная оглинено-песчаная почва

Таблица 1 — Периоды полураспада верхних корнеобитаемых горизонтов почвы от радионуклидов

Участки	^{137}Cs , лет	^{90}Sr , лет	^{241}Am , лет	Pu, лет
Болотная минеральная оглинено-песчаная почва, полигон «Рыжий лес», 2001–2002 гг.	28	21	25	100
Болотная минеральная оглинено-песчаная почва, полигон «Рыжий лес», 2015–2016 гг.	27	36	105	94
Дернистая пылепесчаная почва, полигон Рыжий лес», 2001–2002 гг.	58	46	42	100
Дернистая пылепесчаная почва, полигон «Рыжий лес», 2015–2016 гг.	61	42	82	56

Для оценки дисперсного состава топливных частиц использовалась экспериментальная зависимость между диаметром пятен потемнения (в пикселях) и дозой (произведение активности ^{90}Sr (Бк) в топливных частицах на время экспозиции). Зависимость была получена при экспозиции на рентгеновской пленке в течение разного времени линейки из единичных топливных частиц. Данные частицы были выделены из образцов почвы и воздушных фильтров и для каждой из них предварительно была измерена активность ^{90}Sr инструментальным способом. На рисунке 3 представлены полученные распределения «горячих» частиц. Из наших результатов видно, что максимум распределения «горячих» частиц сместилось на 1–1,5 мкм по сравнению с распределением [4] в 2000-е годы. На наш взгляд, с учетом данных о формах нахождения стронция в почвах можно сделать вывод, что для топливных частиц в настоящее время доминирует процесс выщелачивания. Это хорошо вписывается в гипотезу об уменьшении размеров «горячих» частиц, объясняющую миграцию ^{90}Sr , ^{137}Cs и ^{241}Am в виде компактных структур.



Болотная минерально-оглинено-песчаная почва **Дернистая пылепесчаная почва**

Рисунок 3 — «Горячие» частицы в почве. Авторадиография (а — слой 2–4 см болотной минеральной оглинено-песчаной почвы; б – слой 0–2 см болотной минеральной оглинено-песчаной почвы; в — слой 2–4 см дернистой пылепесчаной почвы; г — слой 0–2 см дернистой пылепесчаной почвы)

Заключение

Как видно, скорость миграции практически не изменилась по сравнению с данными, полученными 10 лет назад. Это указывает на то, что параметры вертикального переноса, полученные в результате использования модифицированной конвективно-диффузионной модели переноса могут успешно использоваться и для текущих радиологических оценок. Отметим также, что общая картина поведения радионуклидов достаточно хорошо совпадает с ранее проведенными исследованиями.

ЛИТЕРАТУРА

1. Vertical Migration of Radionuclides in the Vicinity of the Chernobyl Confinement Shelter / M. D. Bondarkov [et al.] // Health Physics. — 2011. — Vol. 101(4). — P. 362–367.
2. Исследование вертикальной миграции радионуклидов на территории полигона «Рыжий лес» / М. В. Желтоножская [и др.] // Ядерная физика и энергетика. — 2011. — Т. 12, № 4. — С. 394–399.
3. Новые методические подходы к одновременному измерению активности ^{90}Sr и ^{137}Cs в объектах окружающей среды / М. В. Желтоножская [и др.] // Ядерная физика и энергетика. 2012. — Т. 13, № 4. — С. 396–402.
4. *Kashparov, V. A.* // Problemy chornobil's'koi zony vidchuzhennya. — 2009. — Is. 9. — P. 5–22.

УДК 614.771(574.41)

ФОРМЫ НАХОЖДЕНИЯ ИСКУССТВЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ В ПОЧВАХ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА

А. Е. Кундузбаева, С. Н. Лукашенко

**Филиал «Институт радиационной безопасности и экологии»
Республиканское государственное предприятие
«Национальный ядерный центр Республики Казахстан»
г. Курчатов, Республика Казахстан
kunduzbaeva@nnc.kz**

Введение

Одним из параметров, широко применяемых в комплексных радиологических исследованиях являются формы нахождения радионуклидов в почвах. Формы нахождения радионуклидов применяются для оценки и прогноза биологической доступности и миграционной способности радионуклидов (миграция в пищевой цепи, вымывание поверхностными и грунтовыми водами) в почвах, в качестве научной основы для обоснования выбора метода ремедиации загрязненных территорий и т. д. [1, 2].

Уникальной особенностью территории СИП, определяющей научный интерес к ней, является нахождение на его территории объектов (испытательные площадки, условно «фоновые» территории СИП) с различным уровнем и характером радиоактивного загрязнения (тип испытания, механизм образования радиоактивных частиц) почвенного покрова. Целью данного исследования являлось выявление особенностей распределения форм нахождения искусственных радионуклидов ^{137}Cs , ^{90}Sr , $^{239+240}\text{Pu}$ в почвах СИП в зависимости от характера радиоактивного загрязнения почвенного покрова. В работе проведена комплексная оценка и систематизация данных, накопленных в ходе ранних исследований, с целью определения единой целой картины о состоянии и особенностях распределения радионуклидов в почвах СИП с дифференциацией по механизму образования радиоактивного загрязнения. Данный подход расширяет возможности практического применения полученных результатов. Результаты исследования на СИП могут быть применены в оценке и прогнозе поведения радионуклидов в почвах загрязненных территорий с аналогичными механизмами образования радиоактивного загрязнения (территории в зоне влияния объектов атомной промышленности и энергетике (штатный режим деятельности, аварийные выбросы), ядерные полигоны, зоны влияния следов выпадений от ядерных взрывов и т. д.).

Материал и методы исследования

Объектом исследования являются основные испытательные площадки СИП («Опытное поле», «Дегелен», «4а», объект «Атомное» озеро) и условно «фоновые» территории СИП (рисунок 1).

Исследования площадки «Опытное поле» проводили на эпицентрах наземных ядерных испытаний. Было заложено от 2 до 4 исследовательских площадок на каждом эпицентральной участке. Всего исследовано порядка 30 проб почвы [3].

Условно фоновые территории СИП были изучены на примере «северной», «западной», «юго-восточной» и «южной» части СИП. Радиоактивное загрязнение на «северной» и «западной» территориях обусловлено глобальными выпадениями. На территорию «юго-восточной» и «южной» части влияние оказало прохождения следов выпадений от наземных ядерных испытаний. Отбор проб почвы в точках с повышенным содержанием радионуклидов почве, а также в зоне следов выпадений от наземных ядерных испытаний [4].

Объект «Атомное» озеро — результат проведения промышленного подземного ядерного взрыва с выбросом грунта (экскавационный взрыв). Для исследования был выбран участок максимального радиоактивного загрязнения — вдоль направления следа выпадений от базисной волны. Пробы почвы были отобраны последовательно на расстоянии от 60 до 400 м друг от друга по мере удаления от гребня воронки «Атомного» озера.

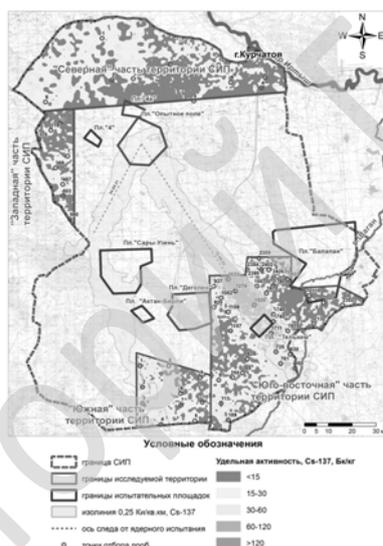


Рисунок 1 — Схема расположения объектов исследования на СИП

На площадке «Дегелен» исследования проводили на приустьевых площадках штолен № 176 и № 177 с водопроявлением, загрязнение которых обусловлено выносом радиоактивного загрязнения на дневную поверхность штольневými водами [5]. Отбор проб был произведен вдоль русла водотока по мере удаления от портала штольни.

Загрязнение площадки «4а» обусловлено испытаниями боевых радиоактивных веществ (БРВ жидкие и порошкообразные). Исследовано 10 участков с максимальным радиоактивным загрязнением. Пробы почвы были отобраны в точках максимального радионуклидного загрязнения.

На объектах отбор проб почвы проводили на глубину 0–5 см методом «конверта» (на площадке «Дегелен» — точно на глубину 0–20 см).

Методика исследования форм нахождения радионуклидов в почве. Изучение форм нахождения радионуклидов в почвах проводили методом последовательной экстракции в модификации Ф. И. Павлоцкой. Определяли водорастворимую (H_2O), обменную ($1M\ CH_3COONH_4$, $pH = 4,8$), подвижную ($1M\ HCl$) и прочносвязанную (почва после экстракции) формы [6]. Схема была модифицирована добавлением промежуточной стадии определения фракций органически связанных радионуклидов раствором $0,1\ NaOH$ на основе методики, разработанной И. В. Тюриным [7]. Соотношение почвы и выщелачивающего

раствора составляло 1:5. В полученных вытяжках и в почве после вытяжек определяли содержание радионуклидов в соответствии с аттестованными методиками. Погрешность аналитических измерений не превышала 20 %.

Результаты исследования и их обсуждение

Содержание ^{137}Cs в почвах СИП преимущественно находится в прочносвязанной форме, что является для данного радионуклида характерным. Несмотря на низкую подвижность ^{137}Cs в почвах использованной методикой выявлено содержание растворимых форм, обеспечивающих его различную биодоступность в почвах. На площадке «Опытное поле» отмечено наименьшее содержание обменной и подвижной форм (0,3 %; 0,2 %), на остальных объектах содержание подвижной формы находится примерно на одинаковом уровне (1,4–3,1 %; 1,2–1,9 %). Максимальное содержание обменной формы ^{137}Cs отмечено в почвах площадки «4а», где также достоверно было определено содержание водорастворимой формы ^{137}Cs (0,2 %).

Особенностью поведения $^{239+240}\text{Pu}$ является его стабильное содержание в составе органической фракции. В условиях СИП содержание органической формы наряду с подвижной формой радионуклида отражает различие подвижности $^{239+240}\text{Pu}$ в почвах рассматриваемых объектов. Отмечено повышенное содержание обменной формы $^{239+240}\text{Pu}$ на условно «фоновых» территориях СИП и на площадке «Дегелен».

Для ^{241}Am следует отметить преимущественно содержание в подвижной (2–37 %) и прочносвязанной формах, соотношение которых варьирует в зависимости от объекта исследования. Наименьшие значения параметров биодоступности определены в почвах площадки «Опытное поле». В зависимости от объекта исследования отмечено также содержание незначительных количеств органической формы Am с максимальным значением на площадке «4а», а также обменной формы на площадке «Дегелен».

Радионуклид ^{90}Sr в почвах СИП характеризуется максимальными параметрами подвижности. Наименьшее содержание растворимых форм ^{90}Sr определено в почвах площадки «Опытное поле». Установлено содержание ^{90}Sr в водорастворимой форме и органической форме с максимальным их значением в почвах площадки «Дегелен» и «4а». Максимальные содержания обменной формы ^{90}Sr определено в почвах площадок «Дегелен» и «4а» и условно «фоновых» территорий СИП.

Заключение

Определены формы нахождения основных искусственных радионуклидов ^{137}Cs , ^{90}Sr , $^{239+240}\text{Pu}$ и ^{241}Am в почвах СИП с различным уровнем и характером радиоактивного загрязнения почвенного покрова. Выявлены особенности форм нахождения радионуклидов для каждого объекта исследования. Установлено, что распределение форм радионуклидов в почвах СИП зависит от характера радиоактивного загрязнения почвенного покрова (механизма образования радиоактивных частиц).

Наименьшая подвижность и биологическая доступность радионуклидов установлена на площадке «Опытное поле» и на объекте «Атомное» озеро, что обусловлено особенностями механизмов образования радиоактивных частиц при наземных и экскавационном взрывах. Наибольшая биологическая доступность радионуклидов определена в почвах мест проведения испытаний БРВ (пл. «4а»), зон влияния радиоактивных водотоков площадки «Дегелен» и условно «фоновых» территорий СИП, для которых характерен сорбционный механизм радиоактивного загрязнения почвенных частиц.

В почвах СИП радионуклиды ^{137}Cs и $^{239+240}\text{Pu}$ независимо от места отбора и характера радионуклидного загрязнения почв представлены в основном в прочносвязанной форме. Основными формами ^{241}Am в почвах СИП являются подвижная и прочносвязанная. Отмечено увеличение подвижности ^{241}Am в почвах площадки «Дегелен», площадки испытания БРВ и условно «фоновых» территорий. В почвах площадок проведения наземных ядерных испытаний, в том числе экскавационных, ^{241}Am преобладает в прочносвязанной форме.

Распределение форм нахождения радионуклида ^{90}Sr в почвах СИП неоднородно, и зависит от механизма образования радиоактивного загрязнения (радиоактивных частиц) почв. На условно «фоновых» территориях СИП выявлена тенденция уменьшения парамет-

ров биологической доступности радионуклида ^{90}Sr на участках, прилегающих к «следам» выпадений от ядерных наземных испытаний и непосредственно в зонах «следов». На объекте «Атомное» озеро (экскавационный взрыв) отмечена тенденция увеличения подвижности ^{90}Sr с увеличением расстояния от эпицентра взрыва.

Результаты исследования позволяют использовать в условиях СИП формы нахождения ^{90}Sr , наряду с базовыми параметрами, в качестве диагностирующего признака для характеристики радиоактивного загрязнения фоновых территорий и выявления следов выпадений от наземных ядерных испытаний.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Salbu, B.* Speciation of radionuclides in the environment / B. Salbu, L. Skipperud // Journal of Environmental Radioactivity. — 2009. — № 100. — P. 281–282.
2. *Bacon, J. R.* Is there a future for sequential chemical extraction / J. R. Bacon // Analyst. — 2008. — № 133. — P. 25–46.
3. *Кундузбаева, А. Е.* Формы нахождения искусственных радионуклидов в почвах на территории площадки «Опытное поле» / А. Е. Кундузбаева, С. Н. Лукашенко, Р. Ю. Магашева // Сборник трудов Национального ядерного центра Республики Казахстан за 2011–2012 гг. / под ред. С. Н. Лукашенко. — Павлодар: Дом печати, 2013. — Т. 2, Вып. 4. — С. 181–208.
4. Актуальные вопросы радиозащиты Казахстана [Оптимизация исследований территорий Семипалатинского испытательного полигона с целью их передачи в хозяйственный оборот] / под рук. С. Н. Лукашенко. — Павлодар: Дом печати, 2015. — Вып. 5. — 500 с.
5. *Логачев, В. А.* Ядерные испытания СССР: современное радиозащитное состояние полигонов / В. А. Логачев. — М.: Изд. АТ, 2002. — 639 с.
6. *Павлоцкая, Ф. И.* Миграция радиоактивных продуктов глобальных выпадений в почвах / Ф. И. Павлоцкая. — М.: Атомиздат, 1974. — 215 с.
7. *Пономарева, В. В.* Гумус и почвообразование (методы и результаты изучения) / В. В. Пономарева, Т. А. Плотникова. — Л.: Наука, 1980. — 222 с.

УДК 582:614.876]:539.141

ИССЛЕДОВАНИЕ ВАРИАТИВНОСТИ КОЭФФИЦИЕНТОВ НАКОПЛЕНИЯ ИСКУССТВЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ РАСТЕНИЯМИ В МЕСТАХ ПРОВЕДЕНИЯ НАЗЕМНЫХ ЯДЕРНЫХ ИСПЫТАНИЙ

Н. В. Ларионова, С. Н. Лукашенко

**Филиал «Институт радиационной безопасности и экологии»
Республиканское государственное предприятие
«Национальный ядерный центр Республики Казахстан»
г. Курчатов, Республика Казахстан
larionova@nnc.kz**

Введение

Семипалатинский испытательный полигон (СИП) является одним из крупнейших полигонов для проведения ядерных испытаний. Всего за период функционирования на его территории было проведено 340 подземных ядерных взрывов (площадки «Дегелен», «Балапан», «Сары-Узень»), 30 наземных и 86 воздушных (площадка «Опытное поле» и площадки испытания боевых радиоактивных веществ (БРВ) — «4» и «4а») [1]. С момента закрытия СИП казахстанскими учеными совместно с международным научным сообществом получен большой объем информации относительно текущей радиационной обстановки на его территории. Выявлены все значимые участки радиоактивного загрязнения, основные пути и механизмы текущего и потенциального распространения радиоактивных веществ. Сравнительно недавно были начаты исследования процессов миграции радионуклидов по пищевым цепям, в частности, параметров перехода радионуклидов из почвы в растения.

Многочисленные исследования, проведенные на СИП в последние годы, показали, что накопление искусственных радионуклидов из почв растениями характеризуется значительными диапазонами значений коэффициентов накопления (Кн). Основное влияние на накопление радионуклидов растениями связано с характером радиоактивного загрязнения различных территорий СИП. Минимальные Кн радионуклидов установлены в эпицентрах

наземных ядерных испытаний (площадка «Опытное поле»), чуть более высокие на «следах» радиоактивных выпадений и условно «фоновых» территориях и максимальные Кн отмечаются в зонах радиоактивных водотоков (площадка «Дегелен») и в местах испытания боевых радиоактивных веществ (площадка «4а»). Определенные различия отмечены для отдельных видов растений и для почв, характеризующихся разными физико-химическими свойствами [2]. Для оценки возможного влияния внутривидовых (индивидуальных) биологических особенностей растений на накопление радионуклидов из почвы проведено исследование вариативности Кн одного из наиболее распространенных на СИП видов растений в условиях с одинаковыми физико-химическими свойствами почв и характером их радиоактивного загрязнения.

Материал и методы исследования

Эксперимент выполнен в районе одного из эпицентров наземного испытания на площадке «Опытное поле». Для того, чтобы исключить возможное влияние физико-химических свойств почв и характера их радиоактивного загрязнения, выбрано два небольших участка (порядка 100 м² каждый), характеризующихся идентичными условиями и наличием высокого содержания в почве: 1) ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr; 2) ²⁴¹Am и ²³⁹⁺²⁴⁰Pu. В качестве опытного растения выбран ковыль (*Stipa capillata*). Для расчета Кн — отношения содержания радионуклида в единице массы растений и почвы [3] — выполнен сопряженный отбор растений (с площади 1 м²) и почв (методом «конверта», на глубину 0–5 см). Определение удельной активности радионуклидов ¹³⁷Cs и ²⁴¹Am проводилось на гамма-спектрометре Canberra GX-2020 [4], ⁹⁰Sr и ²³⁹⁺²⁴⁰Pu — радиохимическим выделением с последующим измерением на бета-спектрометре TRI-CARB 2900 TR и альфа-спектрометре Canberra, мод.7401, соответственно [5]. Для определения высоких значений удельной активности ⁹⁰Sr (более 200 Бк/кг) также применялся бета-спектрометр «Прогресс» [6]. Концентрация радионуклидов ¹³⁷Cs, ²⁴¹Am, ⁹⁰Sr и ²³⁹⁺²⁴⁰Pu в растениях определялась в золе, с последующим пересчетом на сухое вещество. Предел обнаружения по ¹³⁷Cs составлял 1 Бк/кг (для проб растений) и 4 Бк/кг (для проб почвы), ²⁴¹Am — 0,02 Бк/кг и 1 Бк/кг, ²³⁹⁺²⁴⁰Pu — 0,1 Бк/кг и 1 Бк/кг, ⁹⁰Sr — 1 Бк/кг и 5 Бк/кг соответственно. Погрешность измерений для ¹³⁷Cs и ²⁴¹Am не превышала 10–20 %, ⁹⁰Sr — 15–25 %, ²³⁹⁺²⁴⁰Pu — 30 %. Погрешность измерения для ¹³⁷Cs и ²⁴¹Am не превышала 10–20 %, для ⁹⁰Sr — 15–25 %, ²³⁹⁺²⁴⁰Pu — 30 %.

Результаты исследования и их обсуждение

По результатам проведенного лабораторного анализа получены данные удельной активности радионуклидов ¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr, ²⁴¹Am и ²³⁹⁺²⁴⁰Pu в исследуемых растениях и почвах (таблица 1).

Таблица 1 — Диапазоны значений удельной активности радионуклидов ¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr, ²⁴¹Am и ²³⁹⁺²⁴⁰Pu в исследуемых растениях и почвах

Участок	Радионуклиды	n	Удельная активность, Бк/кг			
			растения		почва	
			min	max	min	max
1	¹³⁷ Cs	60	19 ± 4	220 ± 40	8000 ± 1600	95000 ± 19000
	⁹⁰ Sr	50	66 ± 10	3100 ± 800	8800 ± 1200	180000 ± 20000
2	²⁴¹ Am	31	5,7 ± 1,1	280 ± 60	5300 ± 1100	17000 ± 3000
	²³⁹⁺²⁴⁰ Pu	25	16 ± 4	2300 ± 200	34000 ± 11000	230000 ± 20000

Примечание. n — число случаев

Приведенные в таблице 1 диапазоны значений удельной активности радионуклидов подтвердили высокий уровень содержания ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr в почвах 1-го участка, ²⁴¹Am и ²³⁹⁺²⁴⁰Pu — 2-го участка. Данное обстоятельство, в свою очередь, обеспечило возможность установления количественных величин данных радионуклидов в исследуемых растениях и выполнение достоверного расчета коэффициентов накопления (Кн). Распределение полученных значений Кн ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr на 1-м участке и ²⁴¹Am и ²³⁹⁺²⁴⁰Pu на 2-м участке представлено в виде гистограмм частоты встречаемости lg Кн (рисунок 1).

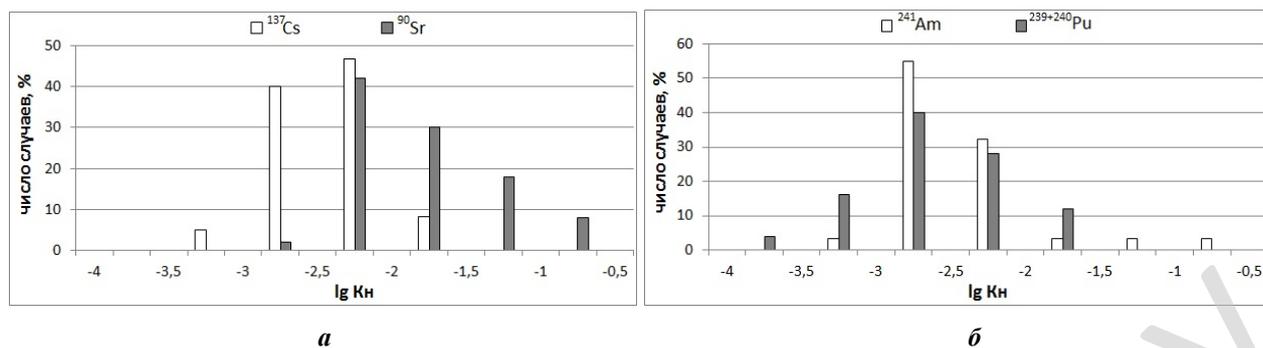


Рисунок 1 — Распределение lg Kn ^{137}Cs и ^{90}Sr на 1-м участке (а) и ^{241}Am и $^{239+240}\text{Pu}$ на 2-м участке (б)

Исходя из полученных данных видно, что ожидаемая разница в накоплении растениями отмечается для всех рассмотренных радионуклидов: $\text{Kn } ^{90}\text{Sr} > \text{Kn } ^{137}\text{Cs}$ на 1-м участке и $\text{Kn } ^{241}\text{Am} > \text{Kn } ^{239+240}\text{Pu}$ на 2-м участке. Однако наличие значительной вариативности прослеживается и для каждого радионуклида отдельно. Так, значения $\text{Kn } ^{137}\text{Cs}$ варьируют от 0,00051 до 0,016, ^{90}Sr — от 0,002 до 0,22, ^{241}Am — от 0,001 до 0,27 и $^{239+240}\text{Pu}$ — от 0,00012 до 0,024. Таким образом, в целом несмотря на идентичность условий произрастания (физико-химические свойства почв и характер их загрязнения), обеспеченных незначительной площадью эксперимента, и исследование одного вида растения, диапазон значений Kn всех рассмотренных радионуклидов в среднем составил по 2 порядка. При этом наибольший разброс значений отмечается для ^{241}Am ($V > 300\%$), существенно меньший — для $^{239+240}\text{Pu}$ ($V \approx 120\%$) и ^{90}Sr ($V \approx 140\%$) и наименьший — ^{137}Cs ($V \approx 75\%$), что в свою очередь может быть связано с формами нахождения данных радионуклидов в почвах.

Заключение

В результате проведенных исследований выявлено наличие значительной вариативности коэффициентов накопления (Kn) искусственных радионуклидов ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{241}Am и $^{239+240}\text{Pu}$ растениями в местах проведения наземных ядерных испытаний. Разница в накоплении всех рассмотренных радионуклидов в среднем составляет по два порядка (значения $\text{Kn } ^{137}\text{Cs}$ варьируют от 0,00051 до 0,016, ^{90}Sr — от 0,002 до 0,22, ^{241}Am — от 0,001 до 0,27 и $^{239+240}\text{Pu}$ — от 0,00012 до 0,024). Полученные данные указывают на то, что помимо влияния на накопление радионуклидов физико-химических свойств почв и характера их загрязнения, а также видовых особенностей самих растений, определенное влияние могут оказывать и внутривидовые (индивидуальные) биологические особенности растений. Связано это может быть, например, с возрастным составом исследуемых растений, или же другими более сложными физиологическими процессами, протекающими в каждой отдельной растительной особи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ядерные испытания СССР. Семипалатинский полигон / под ред. В. А. Логачева. — М.: Изд АТ, 1997. — 319 с.
2. Ларионова, Н. В. Накопление искусственных радионуклидов растениями на территории бывшего Семипалатинского испытательного полигона: автореф. дис. ... канд. биол. наук / Н. В. Ларионова. — Обнинск, 2013. — 22 с.
3. Анненков, Б. Н. Основы сельскохозяйственной радиологии / Б. Н. Анненков, Е. В. Юдинцева. — М.: Агропромиздат, 1991. — С. 56–83.
4. Активность радионуклидов в объемных образцах. Методика выполнения измерений на гамма-спектрометре МИ 2143-91: МИ 5.06.001.98 РК. — Алматы, 1998. — 18 с.
5. Методика определения содержания искусственных радионуклидов плутония-(239+240), стронция-90 в объектах окружающей среды (почвах, грунтах, донных отложениях и растениях): Алматы, 2010. — 25 с.
6. Методика измерения активности радионуклидов с использованием сцинтилляционного бета-спектрометра с программным обеспечением «Прогресс». — Менделеево, 2004. — 20 с.

**ЗАБОЛЕВАЕМОСТЬ ОСТРЫМИ РЕСПИРАТОРНЫМИ ИНФЕКЦИЯМИ
НАСЕЛЕНИЯ ГОМЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ В ПОСТЧЕРНОБЫЛЬСКИЙ ПЕРИОД**

Л. П. Мамчиц

**Учреждение образования
«Гомельский государственный медицинский университет»
г. Гомель, Республика Беларусь
luda-gomel77@list.ru**

Введение

Острые респираторные инфекции (ОРИ) являются наиболее распространенной патологией населения и одной из важных проблем здравоохранения во всех странах мира [1, 2, 3]. Заболевания ОРИ регистрируются постоянно. Спорадическая заболеваемость не прекращается даже в летние месяцы, и это обеспечивает непрерывность эпидемического процесса данной группы инфекций [4].

На эпидемический процесс ОРИ оказывают влияние социальные и природные факторы. Широкая распространенность данных инфекций объясняется легкостью передачи возбудителя от человека к человеку, замкнутостью коллективов, отсутствием стойкого иммунитета после перенесенной инфекции и, в целом, снижением иммунной защиты у жителей больших городов (вследствие загрязнения атмосферного воздуха, влияния радиационных факторов и др.) [5, 6].

По нашим данным, 40 % жителей Гомельской области болеют один раз в течение года ОРИ, 41,1 % — 2–3 раза в течение года, 7,1 % переносят ОРИ 4 и более раз, доля лиц, ни разу не болеющих ОРИ в течение года не превышает 11 % [7, 8, 9].

Материал и методы исследования

Использованы данные официального учета заболеваемости острыми респираторными инфекциями ГУ «Гомельский областной центр гигиены, эпидемиологии и общественного здоровья». Для более детальной характеристики проявлений эпидемического процесса выделено 4 временных промежутка, различающихся по совокупности социально-экономических тенденций развития общества, демографической ситуации, экологической и радиационной обстановки, организации профилактической работы и др.: первый период 1980–1985 гг., второй период — 1986–1990 гг., третий период — 1991–2000 гг., четвертый период — 2001–2015 гг.

Применен метод эпидемиологической диагностики — ретроспективный эпидемиологический анализ. Обработка данных проводилась с помощью статистических методов и компьютерных программ «Microsoft Word 2007» и «Microsoft Office Excel 2007». Статистические методы применялись для оценки интенсивных и экстенсивных показателей, средних величин, установления достоверности результатов исследования и их различий. При проведении дифференциации территорий по уровням заболеваемости ОРИ использовано разделение территорий на квартили, характеризующиеся одинаковыми или близкими показателями заболеваемости населения.

Результаты исследования и их обсуждение

В структуре основных нозологических форм инфекционных заболеваний среди населения Гомельской области удельный вес острых респираторных инфекций составлял $80 \pm 4,37$ % [7, 8, 9]. Среднемноголетний показатель заболеваемости ОРИ в Гомельской области за анализируемый период составил 24111,1 на 100 тыс. населения с колебаниями от 117057,0 на 100 тыс. населения в 1982 г. до 36556,7 на 100 тыс. населения в 2011 г.

В эпидемический процесс ежегодно вовлекалось от 14,3 до 36,5 % населения области. В пределах указанного диапазона изменения годовых показателей заболеваемости характеризовались относительно прямолинейной зависимостью, что выразилось в значительной тенденции к росту со средним темпом ежегодного прироста ($T_{пр}$) — +8,7 % (рисунок 1).

На фоне однонаправленной тенденции выявлены различные значения среднего темпа прироста в различные временные периоды. В пределах изучаемых периодов тенденции развития эпидемического процесса ОРИ отличались по степени выраженности и направленности (таблица 1).

В первом периоде активность причин, формирующих заболеваемость острыми респираторными инфекциями на территории Гомельской области, была невысокой и способствовала снижению уровней заболеваемости, во втором периоде заболеваемость характеризовалась умеренной тенденцией к росту. Третий период характеризовался также умеренной тенденцией к росту заболеваемости острыми респираторными инфекциями. Начиная с 2001 г. отмечалась выраженная тенденция к росту заболеваемости ОРИ. Эпидемическая ситуация по острым респираторным инфекциям в Гомельской области с 1993 г. заметно ухудшилась, на что, можно предположить, повлияли социально-экономические и демографические процессы в обществе. Если в 80-е гг. средний показатель заболеваемости ОРИ составлял 19204,4 на 100 тыс. населения, то за последние 15 лет он возрос в 1,5 раза и составил 28975,4 на 100 тыс. населения, а размах между минимальным и максимальным уровнем заболеваемости за анализируемый промежуток времени составил более чем 3 раза.

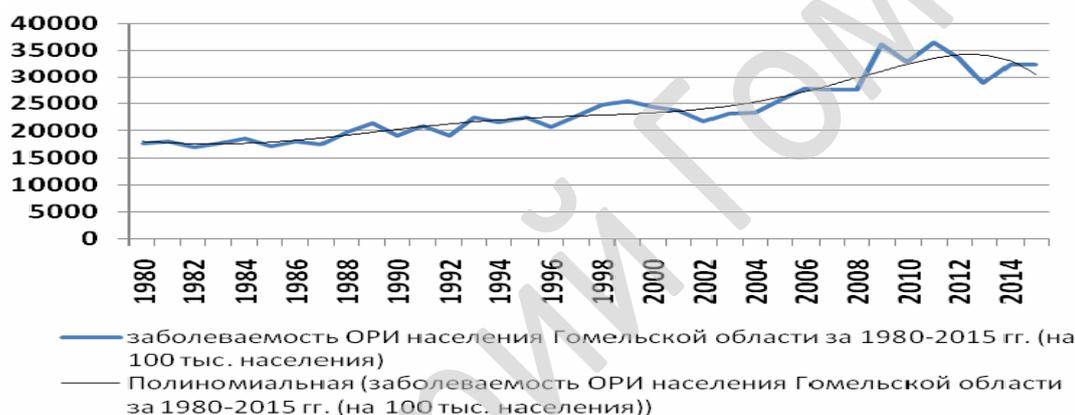


Рисунок 1 — Многолетняя динамика и эпидемическая тенденция заболеваемости острыми респираторными инфекциями в Гомельской области за 1980–2015 гг.

Таблица 1 — Тенденции развития эпидемического процесса острых респираторных инфекций в разные периоды

Периоды	Темпы прироста, %	Средняя заболеваемость на 100 тыс. населения
1980–1985	0,05	17799,1
1986–1990	1,37	19204,4
1991–2000	2,79	22856,74
2001–2015	5,79	28975,4

Применение эпидемиолого-географического метода позволило в пределах региона дифференцировать территории по уровням заболеваемости острыми респираторными инфекциями (рисунок 2).

Первый квартиль составили территории с низким уровнем заболеваемости (0–20814,8 на 100 тыс. населения). В эту группу вошли территории Брагинского, Ветковского, Кормянского, Октябрьского и Хойникского районов.

Второй квартиль со средними уровнями заболеваемости ОРИ (2112,01–26394,0 тыс. на 100 тыс. населения) составили территории Буда-Кошелевского, Житковичского, Лельчицкого, Лоевского и Петриковского районов.

Высокие уровни заболеваемости зарегистрированы в Гомельском, Добрушском, Ельском, Наровлянском, Речицком и Чечерском районах. Показатели заболеваемости в этих районах вошли в диапазон третьего квартиля и составили 27000,0–31394,0 тыс. на 100 тыс. населения.

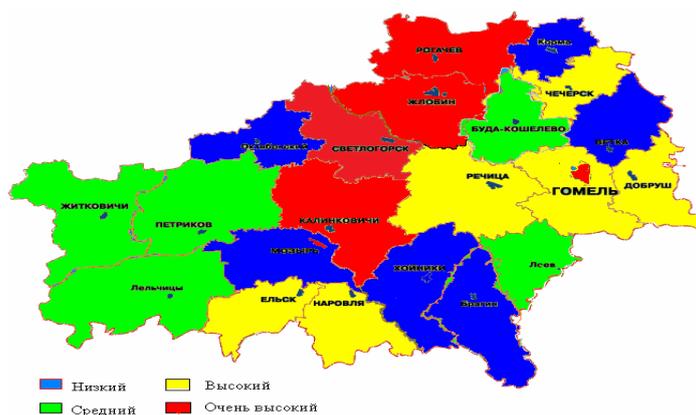


Рисунок 2 — Территориальное распределение заболеваемости ОРИ по районам Гомельской области за 2001–2015 гг.

Четвертый квартиль составили территории с очень высокими показателями заболеваемости (более 32000,0 на 100 тыс. населения). Это территории Жлобинского, Калинковичского, Рогачевского, Светлогорского районов, г. Гомель и г. Мозырь. Данная дифференциация территорий по уровням заболеваемости приведена на примере последних 15 лет. В другие периоды в отдельные годы происходило перемещение территорий из одного в другой квартиль с небольшими колебаниями в уровнях заболеваемости, но в целом, можно отметить, что как в эпидемически неблагоприятные, так и в эпидемически благоприятные годы территориальное распределение заболеваемости ОРИ менялось несущественно, что свидетельствует о том, что на отдельных территориях сложились комплексы факторов, действующих на заболеваемость постоянно и формирующих относительно стабильные уровни заболеваемости ОРИ.

За анализируемый период в эпидемический процесс чаще стали вовлекаться дети в возрасте до 14 лет, удельный вес их в общей структуре заболеваемости ОРИ возрос с 44,3 до 62,8 % по среднемноголетним данным.

Наибольшую значимость в развитии эпидемического процесса ОРИ имел комплекс постоянно действующих социальных факторов: 1) численность населения, проживающего на конкретной территории; 2) численность и удельный вес детей в возрасте 0–14 лет в структуре населения; 3) численность детских дошкольных учреждений и численность детей в дошкольных учреждениях; 4) общая численность учеников в общеобразовательных школах; 5) численность и удельный вес городских жителей в структуре населения; 6) численность автобусного парка для пассажирских перевозок; 7) загрязнение атмосферного воздуха (кратность превышения ПДК) [7, 8, 9].

Анализ заболеваемости ОРИ населения 9-ти районов Гомельской области, территории которых в наибольшей мере подверглись загрязнению радионуклидами в результате аварии на Чернобыльской АЭС, показал, что в доаварийный период (1980–1985 гг.) диапазон показателей заболеваемости ОРИ на основании среднемноголетних данных составлял от 2623,02 до 19171,0 на 100 тыс. населения. В период после аварии заболеваемость ОРИ была в пределах 3735,41–17141,51 на 100 тыс. населения.

При анализе эпидемической тенденции установлено, что в послеаварийный период, загрязненные территории были представлены во всех группах территорий, выделенных по направленности и выраженности тенденции многолетней динамики заболеваемости ОРИ, а именно: а) тенденцией к снижению характеризовалась заболеваемость в Чечерском районе; б) стабильная тенденция отмечалась в Добрушском, Ельском, Хойникском районах; в) тенденция к росту заболеваемости ОРИ разной степени выраженности установлена в Брагинском, Кормянском и Наровлянском районах. Таким же разнообразием характеризовались уровни заболеваемости ОРИ населения, проживающего на загрязненных радионуклидами территориях.

Заключение

Таким образом, заболеваемость ОРИ по изученным параметрам (тенденция многолетней динамики заболеваемости, уровни заболеваемости ОРИ) на территориях, загрязненных радионуклидами, существенно не отличались от аналогичных параметров, на территориях, свободных от загрязнения радионуклидами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Инфекционная заболеваемость на территории Беларуси в конце XIX, в XX веке и проблемы борьбы с инфекционной патологией в XXI столетии // Роль антропогенных и природных патогенов в формировании инфекционных и неинфекционных болезней человека: Материалы Международной конференции / Л. П. Титов [и др.]. — Минск, 2002. — С. 3–25.
2. *Osinusi, K.* Acute laryngotracheobronchitis in Nigerian children / K. Osinusi, W. B. Johnson, W. I. Aderele // West Afr. J. Med. — 1999. — Vol. 18, № 1. — P. 1–5.
3. To assess the incidence of acute respiratory infections and bacterial colonization in children attending a day-care center / E. Nandi-Lozano [et al.] // Salud Publica Mex. — 2002. — Vol. 44, № 3. — P. 201–206.
4. *Карпущин, Г. И.* Диагностика, профилактика и лечение острых респираторных заболеваний / Г. И. Карпущин, О. Г. Карпущина. — СПб.: Гиппократ, 2000. — 179 с.
5. *Мамчиц, Л. П.* Социальная значимость ОРИ в современных условиях / Л. П. Мамчиц // Современные проблемы инфекционной патологии человека: сб. науч. тр. / под ред. Л.П. Титова; Республиканский НИИЭМ. — Минск: ГУРНМБ, 2012. — Вып. 5. — С. 43–49.
6. *Мамчиц, Л. П.* Острые респираторные заболевания по данным анкетирования / Л. П. Мамчиц, Г. Н. Чистенко // Мед. новости. — 1999. — № 7. — С. 48–50.
7. *Чистенко, Г. Н.* Особенности территориального распространения острых респираторных заболеваний / Г. Н. Чистенко, Л. П. Мамчиц, В. И. Ключенович // Достижения отечественной эпидемиологии в XX веке. Взгляд в будущее. — СПб., 2001. — С. 145–146.
8. *Мамчиц, Л. П.* Эпидемиологические закономерности и совершенствование профилактики острых респираторных заболеваний / Л. П. Мамчиц, Г. Н. Чистенко // Достижения медицинской науки Беларуси: рец. науч.-практ. ежегодник. — Минск: ГУ РНМБ, 2004. — Вып. 9. — С. 142–143.
9. *Мамчиц, Л. П.* Эпидемиологические закономерности острых респираторных заболеваний и совершенствование их профилактики: автореф. дис. ... канд. мед. наук: 14.00.30 / Л. П. Мамчиц; НИИ эпидемиологии и микробиологии. — Минск, 2003. — 22 с.

УДК 614.876

ВЛИЯНИЕ РАДИАЦИОННО-ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ПАРАМЕТРЫ ЯДЕРНОЙ ТРАНСЛОКАЦИИ АНДРОГЕН-РЕЦЕПТОРНЫХ КОМПЛЕКСОВ

Т. И. Милевич, Е. Г. Попов, И. А. Чешик

**Государственное научное учреждение
«Институт радиобиологии Национальной академии наук Беларуси»
г. Гомель, Республика Беларусь
t_milevich@mail.ru**

Введение

Техногенная катастрофа на Чернобыльской АЭС (ЧАЭС) привела к выбросу в среду обитания $\sim 1,2 \times 10^{19}$ Бк радиоактивных изотопов, в том числе йода, цезия, стронция, плутония, церия, урана [1–3]. В настоящее время остается актуальной проблема мониторинга, оценки и коррекции эффектов низкоинтенсивных воздействий ионизирующей радиации (ИР) в загрязненных ею районах. Особенно это касается репродуктивной системы человека, как одной из наиболее чувствительных к неблагоприятным факторам экологии [4].

В виду того, что функции репродуктивной системы контролируются во многом половыми гормонами андрогенами (А), мы исходили из гипотезы о возможности радиационно-индуцированных нарушений в работе андроген-специфичных белков, обеспечивающих проведение гормонального сигнала, и, в частности, белка андрогенового рецептора (АР).

Цель

Оценка влияний факторов радиоэкологической обстановки на главный, вслед за цито-рецепцией, этап в реализации андрогенового сигнала, а именно, на акцепцию андроген-рецепторных комплексов (АРК) хроматином при транслокации их в ядра клеток-мишеней.

Материал и методы исследования

Исследования проведены в экспериментах на самцах крыс-альбиносов Wistar после содержания их в течение 1 мес. в реперной точке (р.т.) «Припять» (800 м от 4-го энергоблока ЧАЭС, гамма-фон ≥ 50 мЗв/ч) и употребления радиоактивно-загрязненных кормов местного производства, которые обеспечивали кумулятивную дозу облучения животных ≥ 36 сГр. Контрольные животные содержались в стандартных условиях вивария, расположенного на территории, не подвергнутой радиоактивному загрязнению.

С использованием методики, отработанной ранее [4, 5] нами осуществлен сравнительный анализ взаимодействия АРК с ядрами в типичных половых гормон-зависимых (простата) и в соматических гормон-чувствительных (печень) органах.

Результаты исследования и их обсуждение

Нами проводились исследования кооперативных характеристик связывания андрогенов (А) с транспортными и рецепторными белками (в крови, на плазматических мембранах и в цитозоле клеток-мишеней), т. к. это позволяло определять конформационные и функциональные состояния (активность) соответствующих специализированных белков — тестостерон-связывающего глобулина (ТеСГ) и рецептора андрогенов (РА) при старении. Свойство кооперативности в связывании лиганда характерно для многих белков и объясняется существованием идентичных по аминокислотному составу, но разных по степени комплексования их форм с числом сайтов связывания в комплексе, равном количеству субъединиц.

Особую актуальность навыки измерения кооперативных характеристик приобрели в постчернобыльский период, когда понадобились высокочувствительные тесты для оценки ряда эндокринных показателей у пострадавшего населения. Мы раскрыли, что ионизирующее излучение вызывает опосредованные: олигомеризацию, или слипание молекул ТеСГ с последующей элиминацией их из кровяного русла, а также мономеризацию РА в тканях простаты, печени и семенников. Кроме того, было выявлено действие оксигенации на характеристики ТеСГ и регуляция физиологической активности ТеСГ и РА аллостерическими модуляторами.

Проведенные экспериментальные оценки выявили определенное сходство ИР-эффектов в разных по гормонокомпетентности тканях. Так, согласно результатам измерений (таблица 1), в обоих органах: гормон-зависимом (простата) и в гормон-чувствительном (печень) величины ядерной акцепции АРК в опыте (по сравнению с контролем) снижались (в среднем в 2,7 раза).

Детальное рассмотрение результатов тем не менее показывает, что АРК из цитозолей простаты в изученных условиях проявляют большую в 2,2 раза способность связываться с хроматином, чем АРК из цитозолей печени, что, видимо, указывает на наличие большего числа в хроматине активируемых андроген-чувствительных генов в ядрах клеток органов репродуктивной системы (в сравнении с клетками соматических тканей).

Таблица 1 — Влияние 1-месячного низкоинтенсивного пролонгированного облучения крыс-самцов в р.т. «Припять» на величины ядерной акцепции андроген-рецепторных комплексов (АРК) в половых (простата) и соматических (печень) органах, $M \pm m$

Вид АРК и источник их получения	Величины акцепции АРК ядрами печени, фмоль/мг ДНК	
	ядра из контрольных крыс	ядра из облученных крыс
АРК простаты, контроль	123,32 \pm 10,07	107,75 \pm 17,30
АРК печени, контроль	56,30 \pm 9,40	49,19 \pm 9,70
АРК простаты, опыт	42,02 \pm 6,11*	36,71 \pm 4,20*
АРК печени, опыт	28,83 \pm 3,91*	28,93 \pm 3,60*

* — Различия достоверны при уровне значимости $P < 0,05$ ($n = 5$).

В то же время полученные данные свидетельствуют о том, что эффективность переноса АРК из цитозолей печени облученных животных примерно вдвое меньше по сравнению с таковой у АРК из интактных крыс. Однако, как видно в таблице 1, пролонгированное облучение практически не изменяло этот показатель в отношении способности ядер печени акцептировать АРК, то есть, как ядра печени из интактных крыс, так и ядра печени из облученных животных фактически одинаково акцептировали АРК печени, выделенные из облученных самцов. Имелась лишь тенденция к большей акцепции контрольных АРК ядрами контрольных крыс. При этом ядра клеток-мишеней из облученных животных примерно на 15 % меньше связывали контрольные АРК из простаты в сравнении с ядрами интактного контроля.

В свою очередь облучение резко сказывалось на способности ядер акцептировать АРК простаты. Так, величины ядерной акцепции в этом случае, то есть после ИР-воздействия у животных снижались примерно в одинаковой степени, как у ядер клеток-мишеней из интактных крыс, так и у ядер облученных самцов, а именно до 34 % от максимальных (контрольных) величин.

Заключение

Выявленные характерные изменения способности к транслокации и ядерной акцепции у АРК, вероятно, объясняются разной способностью АРК к активации посредством дефосфорилирования, их мономеризацией и конформационными перестройками [4, 5]. Причинами могут явиться опосредованные ИР модификации взаимоотношений АР с его регуляторами и коактиваторами [6, 7]. Мы полагаем, что сдвиги в акцепции ядрами АРК вызваны после воздействия ионизирующей радиации закрытием сайтов специфической посадки АРК в хроматине, что аналогично росту при старении доли конденсированного (транскрипционно менее активного) хроматина. Следовательно, становится понятной одна из причин, почему ИР-эффект сопровождается остановкой ростовых процессов на период осуществления репаративных событий. Проведенное исследование дополнительно подтверждает большую радиочувствительность гормон-зависимых органов половой сферы организма, в сравнении с соматическими.

Таким образом, отмечаемые пострadiационные нарушения клеток, а именно снижения в них мощности работы «андроген-рецепторного двигателя» могут сказаться развитием заболеваний, как половой сферы (в том числе падением репродуктивного потенциала чувствительных особей), так и расстройствами соматических органов (ослабление функции детоксикации у печени).

ЛИТЕРАТУРА

1. Гудков, И. Н. Основы общей и сельскохозяйственной радиоэкологии / И. Н. Гудков; под ред. И. Н. Гудкова. — Киев: Издательство УСХА, 1991. — 326 с.
2. Гофман, Д. В. Чернобыльская авария: радиационные последствия для настоящего и будущего поколений / Д. В. Гофман; пер. с англ. Э. И. Волмянского, О. А. Волмянской; под ред. Л. В. Рутковской. — Минск: Выш. шк., 1994. — 574 с.
3. Конопля, Е. Ф. Экологические, медико-биологические и социально-экономические последствия катастрофы на ЧАЭС в Беларуси / Е. Ф. Конопля; редкол.: Е. Ф. Конопля (гл. ред.) [и др.]. — Минск: Белсэнс, 1996. — 281 с.
4. Попов, Е. Г. Андрогены, андроген-специфичные белки и ионизирующая радиация: монография / Е. Г. Попов; под ред. В. Г. Гавриленко. — Минск: Право и экономика, 2013. — 221 с.
5. Попов, Е. Г. Влияние низкоинтенсивных радиационных воздействий на акцепцию андроген-рецепторных комплексов ядрами клеток-мишеней печени и предстательной железы / Е. Г. Попов // Изв. НАН Беларуси. Сер. биол. наук. — 2000. — № 3. — С. 87–90.
6. Blok, L. J. Androgen receptor phosphorylation / L. J. Blok, P. E. De Ruiter, A. O. Brinkman // Endocr. Res. — 1996. — Vol. 22, № 3. — P. 197–219.
7. Heinlein, C. A. Androgen receptor (AR) coregulators: an overview / C. A. Heinlein, C. S. Chang // Endocr. Rev. — 2002. — Vol. 23, № 2. — P. 175–200.

**КОРРЕКЦИЯ НАРУШЕНИЙ, ВЫЗВАННЫХ ВЛИЯНИЕМ
ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЧАСТОТЫ
И ОБЛУЧЕНИЯ В ДОЗЕ 1,0 ГР НА СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТУЮ СИСТЕМУ**

А. А. Морозова, Д. Г. Сташкевич, М. А. Бахшаева, С. Н. Сушко

**Государственное научное учреждение
«Институт радиобиологии Национальной академии наук Беларуси»
г. Гомель, Республика Беларусь
dmitryst@tut.by**

Введение

Заболевания сердечно-сосудистой системы являются основной причиной сокращения продолжительности жизни, что особенно актуально для населения территорий, загрязненных после аварии на ЧАЭС [1, 2]. Полученные к настоящему времени экспериментальные данные свидетельствуют о биологической активности как ионизирующих, так и неионизирующих излучений. При сочетании нескольких неблагоприятных факторов, например, экспозиции магнитным полем и ионизирующим излучением, эффекты могут быть как разно- так и однонаправленными [3].

Цель

Изучение влияния некоторых антропогенных факторов (ЭМИ, облучение в дозе 1,0 Гр) на организм, исследование условий создания новых средств на основе минерально-растительного сырья и оценка эффективности их воздействия на состояние сердечно-сосудистой системы.

Материал и методы исследования

Исследования выполнены на белых крысах-самцах (исходный генотип Вистар). Животных 6 мес возраста подвергали действию ЭМИ на экспериментальной установке с частотой 50 Гц по 4 ч в течение 22 суток, а также облучали в дозе 1,0 Гр однократно на установке ИГУР (источник γ -излучения ^{137}Cs , мощность дозы 46,2 сГр/мин, 1 сут после ЭМИ). Исследования проводили на 10-15 сут после воздействий. Группы животных: 1. Контроль; 2. Облучение в дозе 1,0 Гр; 3. ЭМИ + Облучение в дозе 1,0 Гр; 4. ЭМИ + Препарат (БАД к пище «Карбосил-1» в дозе 1% к массе суточного рациона) + Облучение в дозе 1,0 Гр; 5. ЭМИ + Препарат (БАД к пище «Кальцевитин-1», содержащий 400 МЕ/г D_3) + Облучение в дозе 1,0 Гр; 6. ЭМИ + Препарат (БАД к пище «Кальцевитин-2», содержащий 280 МЕ/г D_3) + Облучение в дозе 1,0 Гр.

Животных наркотизировали тиопенталом натрия внутривенно. Изучены показатели вариабельности сердечного ритма (ВСР) и электрокардиограмма (ЭКГ) [4]. Проводили перфузию изолированного сердца [5]. В качестве нагрузочного теста использовали гипоксию (5 мин). Для оценки содержания метаболитов монооксида азота в плазме крови использовали скрининг-метод по методике Метельской В.А., Гумановой Н.Г [6].

Результаты исследования и их обсуждение

В условиях опытно-экспериментального участка осуществлена наработка препарата — БАД к пище — «Карбосил-1», изучены показатели качества, оформлено удостоверение качества на продукцию. На основе минерально-растительного сырья создан новый препарат «Кальцевитин», содержащий в качестве основных ингредиентов кальцийсодержащую соль (кальция карбонат), продукт переработки топинамбура (порошок из сушеных клубней топинамбура), и дополнительно витамин D_3 в дозах 280 МЕ/г и 400 МЕ/г.

Установлено, что стресс, вызванный ЭМИ частотой 50 Гц, облучением в дозе 1,0 Гр и сочетанным воздействием этих факторов может приводить к нарушениям хронотропной и инотропной (рисунок 1) функций сердца, электрокардиографических показателей и вариабельности сердечного ритма. Отмечено нормализующее действие БАД к пище «Карбосил-1» и БАД к пище «Кальцевитин-1», содержащей D_3 в дозе 400 МЕ/г, на энергетический баланс миокарда.

Анализ ВСР показал преобладание вагусных влияний на сердечный ритм и уменьшение напряжения регуляторных систем у животных, получавших различные модификации кальцийсодержащих средств. В большей степени это относится к БАД к пище «Кальцевитин-1», содержащей D_3 в дозе 400 МЕ/г и может быть связано с модификацией как центрального, так и автономного контуров управления сердечной деятельностью.

Что касается ЭКГ, в группе животных, которой после сочетанного действия двух видов облучения давали БАД к пище «Кальцевитин-1», содержащей D_3 в дозе 400 МЕ/г, наблюдалось выравнивание (в сравнении с контрольной группой) скорости прохождения импульса в предсердии, в то время как после воздействия ЭМИ и облучения отмечено увеличение скорости прохождения импульса.

Различные воздействия способны активировать стресс-реакции, связанные с образованием сигнальных молекул активных форм азота, во многом определяющих дальнейший ответ клеток на возникающие воздействия.

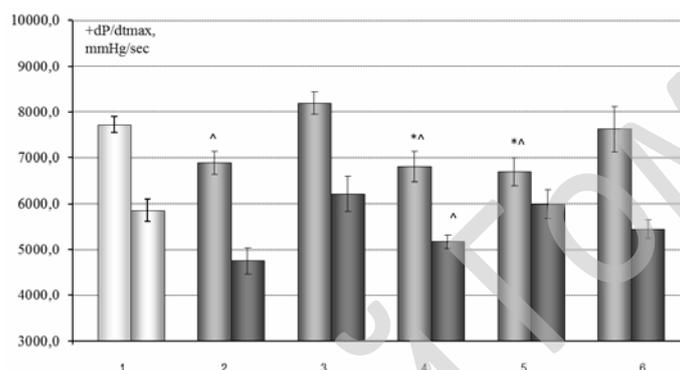


Рисунок 1 — Изменения показателя $+dP/dt_{max}$ в экспериментальных группах: первый столбец — без ишемии; второй — с ишемией миокарда. 1 — контроль; 2 — 1,0 Гр; 3 — ЭМИ + 1,0 Гр; 4 — ЭМИ + 1,0 Гр + Карбосил; 5 — ЭМИ + 1,0 Гр + БАД (Кальцевитин-1); 6 — ЭМИ + 1,0 Гр + БАД (Кальцевитин-2). * — различия значимы по сравнению контролем (до ишемии) при $p \leq 0,05$; ^ — различия значимы по сравнению с ЭМИ + 1,0 Гр при $p \leq 0,05$ (до и после ишемии).

Установлено значимое снижение по суммарному содержанию нитратов и нитритов в группах животных, облученных в дозе 1,0 Гр, а также в группах, подвергнутых сочетанному действию магнитного поля и ионизирующего излучения и получавших добавки «Карбосил-1» и «Кальцевитин-1». Достоверных отличий по количеству нитритов в плазме крови экспериментальных животных не отмечено. Следовательно, имеющиеся отличия в экспериментальных группах обусловлены разницей в содержании нитрат-ионов (рисунок 2).

Снижение концентрации метаболитов монооксида азота в плазме крови экспериментальных животных в указанный период может быть связано как с уменьшением синтеза оксида азота вследствие ингибирования NO-синтаз по типу обратной отрицательной связи, так и с его связыванием с супероксидными радикалами с образованием пероксинитрита. Учитывая тот факт, что снижение метаболитов NO происходит за счет снижения нитрат-анионов, можно предположить, что падение уровня $NO_3^- + NO_2^-$ в плазме крови является неблагоприятным показателем, так как если при метаболизме пероксинитрита не образуется нитрат-ион, то это может свидетельствовать о генерации двух токсичных радикалов ($ONOO^- + H^+ \rightarrow ONOON \rightarrow \cdot NO^{2+} OH$).

Таким образом, стресс, вызванный облучением в дозе 1,0 Гр, сочетанным воздействием ЭМИ частотой 50 Гц и облучения приводит к модификации хронотропной и инотропной функций сердца, электрокардиографических показателей, вариабельности сердечного ритма, а также образования сигнальных молекул активных форм азота. Показано нормализующее действие БАД «Кальцевитин-1», содержащей D_3 в дозе 400 МЕ/г, на ряд важнейших показателей (восстановление энергетического баланса миокарда, снижение индекса напряжения регуляторных систем, показателя адекватности процессов регуляции) у животных, подвергнутых вышеотмеченным воздействиям.

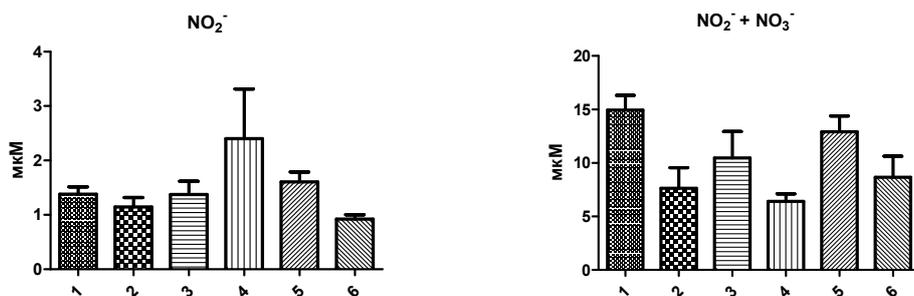


Рисунок 2 — Содержание метаболитов NO (нитратов и нитритов) в плазме крови животных, подвергнутых облучению электромагнитным полем (50 Гц) и ионизирующим излучением 1 Гр, мкМ: 1 — контроль; 2 — 1,0 Гр; 3 — ЭМИ + 1,0 Гр; 4 — ЭМИ + 1,0 Гр + БАД (Кальцевитин-2); 5 — ЭМИ + 1,0 Гр + БАД (Кальцевитин-1); 6 — ЭМИ + 1,0 Гр + Карбосил-1

ЛИТЕРАТУРА

1. Hildebrandt, G. Non-cancer diseases and non-targeted effects / G. Hildebrandt // *Mutat Res.* — 2010. — May 1. — Vol. 687 (1-2). — P. 73-77.
2. Маврищев, В. В. Радиоэкология и радиационная безопасность: пособие для студентов вузов / В. В. Маврищев, А. Э. Высоцкий, Н. Г. Соловьева. — Минск: Тетра Системс, 2010. — 208 с.
3. Окраинская, И. С. Проблема защиты персонала электроустановок сверхвысокого напряжения от действия электрического поля промышленной частоты / И. С. Окраинская // *Безопасность жизнедеятельности.* — 2006. — № 9. — С. 33-35.
4. Баевский, Р. М. Оценка адаптационного риска в системе индивидуального донозологического контроля / Р. М. Баевский, А. Г. Черникова // *Российский физиологический журнал.* — 2014. — № 10. — С. 1180-1194.
5. Сташкевич, Д. Г. Метод перфузии изолированного сердца / Д. Г. Сташкевич, А. Д. Наумов, Н. И. Тимохина // *Наука и инновации.* — 2012. — № 12 (118). — С. 66-69.
6. Каркищенко, Н. Н. Руководство по лабораторным животным и альтернативным моделям в биомедицинских технологиях / Н. Н. Каркищенко, С. В. Грачев. — М., 2010. — 344 с.

УДК 614.876:621.039.5-057.16]:331.435

МЕРЫ РАДИАЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ ПЕРСОНАЛА ПРИ ВЫВОДЕ ИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РЕАКТОРОВ НИЦ «КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ»

В. Д. Музрукова, В. И. Павленко, С. Г. Семенов, С. Ю. Фадин, А. В. Чесноков

Национальный исследовательский центр
«Курчатовский институт»
г. Москва, Российская Федерация
sgs@kiae.ru

Введение

В настоящее время в НИЦ «Курчатовский институт» проводятся работы по выводу из эксплуатации исследовательских реакторов МР и РФТ. Во второй половине прошлого века на этих реакторах проводились технологические и материаловедческие эксперименты, практически со всеми типами ТВЭЛ энергетических и транспортных реакторов.

В ходе экспериментов ТВЭЛы подвергались воздействию высоких тепловых и нейтронных потоков, что приводило поступлению продуктов деления в теплоноситель и загрязнению оборудования и трубопроводов петлевых установок реакторов. Уровни загрязнения потребовали разработки организационно-технических мероприятий обеспечения радиационной защиты персонала и окружающей среды при выводе их из эксплуатации. В проекте работ была оценена эффективность мероприятий оптимизации дозовых нагрузок персонала. Оценка их эффективности с точки зрения предотвращенных доз работников позволяла оптимизировать состав персонала и затраты на проведение работ.

Цель

Попытка оценить эффективность радиационной защиты, применяемой при выводе реакторов МР и РФТ и предложить пути оптимизации дозовых нагрузок персонала для подобного вида работ.

Мероприятия по оптимизации радиационной защиты с целью снижения облучения персонала. При разработке проекта вывода из эксплуатации реакторов МР и РФТ на основе анализа возможных решений и существующих технологий были определены мероприятия по оптимизации радиационной защиты персонала при радиационно-опасных работах:

— пылеподавление и фиксация радиоактивных загрязнений распылением полимерных составов для снижения на 3–4 порядка дефляции радиоактивных частиц с поверхностей демонтируемого оборудования [1];

— применение дистанционно управляемых механизмов, оснащенных режущим инструментом, позволяющим проводить большинство технологических операций дистанционно и применять «холодные» методы резки [2];

— проведение радиационного обследования перед демонтажем и фрагментацией оборудования, отправкой радиоактивных отходов [3];

— разработка на каждый вид работ проекта производства работ и технологического регламента;

— постоянный дозовый контроль, контроле объемной активности радионуклидов в воздухе рабочих зон.

Контроль объемной активности аэрозолей в зонах работ. Измерения объемной активности воздуха проводились по методике, согласованной с ЦМИИ ГНМЦ «ВНИИФТРИ» [1].

Отбор проб осуществляется установкой ПУ-5. Для оперативного мониторинга в зоне проведения работ применялась установка УДА-1АБ. Пробы воздуха измерялись радиометрическими и спектрометрическими методами.

Все приборные устройства были аттестованы как средства измерения и поверялись не реже одного раза в год. Динамический диапазон измерений составлял $(10^{-4} - 2 \times 10^5)$ Бк /м³. В результате радиометрических и спектрометрических измерений проб (аэрозольных фильтров) по каждому радионуклиду определялись значения объемной активности и их абсолютные погрешности измерений за соответствующий период контроля.

Проведение диагностики радиационного состояния объекта, перед каждым видом работ по демонтажу. Работы по демонтажу оборудования проводились в более 45 помещениях петлевых установок реактора, мощность эквивалентной дозы в которых составляла от 20 до 3 мЗв/ч. Распределение радиоактивного загрязнения в помещениях и активность оборудования измеряли разработанной дистанционно управляемой спектрометрической сканирующей системы [3]. Система в автоматическом режиме измеряла поток γ -излучения со всех поверхностей помещения. В каждом положении детектирующей части системы измерялись углы поворота детектора, спектр и поток излучения, записывались видеоизображения по углу зрения прибора. Результаты измерений потоков и спектров γ -излучения обрабатывались управляющим компьютером и рассчитывались распределения активности ^{137}Cs и ^{60}Co в помещении. По измеренным данным определяли суммарную активность ^{137}Cs и ^{60}Co для загрязненного оборудования, и их соотношения [3].

Информация об активности оборудования и его весе позволяла прогнозировать объем и вес радиоактивных отходов (РАО), суммарную активность, удаляемую из помещения при демонтажных работах, определять типы и количество контейнеров, необходимых для упаковки РАО. Такие данные позволили снизить радиационное воздействие на персонал и окружающую среду при демонтаже и оптимизировать его дозовые нагрузки [3, 4].

Технологии выполнения демонтажных работ. Перед демонтажем оборудования выполняли предварительное обследование зоны работ с помощью гаммавизора и гамма локатора. По результатам измерений определяли наиболее загрязненные места, с которых и начинали демонтаж оборудования (рисунок 1) [3].

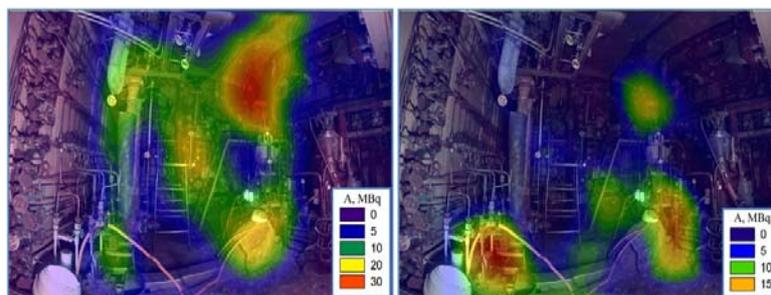


Рисунок 1 — Распределение активности ^{60}Co (а) и ^{137}Cs (б) наложенное на фотоизображение помещения

Сначала дистанционно управляемыми механизмами удаляли наиболее загрязненное оборудование, а затем демонтировали, упаковывали в контейнеры оставшееся РАО. В завершение контейнеры удаляли на захоронение, а поверхности помещения дезактивировали. При этом в зоне высоких радиационных полей находились только исполнительные механизмы, операторы располагались местах существенно меньших мощностей эквивалентных доз (рисунок 2). Локализирующие и пылеподавляющие составы применялись для снижения объемной активности аэрозолей в воздухе помещения и зонах расположения персонала.

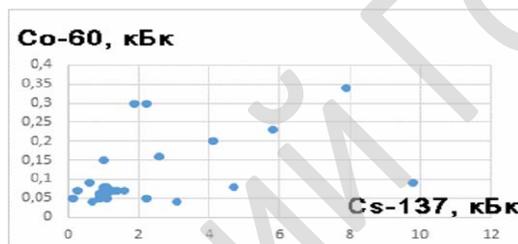


Рисунок 2 — Соотношение активностей радионуклидов ^{137}Cs и ^{60}Co в организме работников, занятых в радиационно-опасных работах

Предотвращенная доза облучения персонала. Мерой эффективности радиационной защиты персонала может служить годовая коллективная предотвращенная доза. Коллективная предотвращенная доза оценивалась по результатам измерений мощности дозы облучения и объемной активности в зоне работ дистанционно управляемых механизмов и значений этих параметров в местах расположения персонала. Оценки дневной предотвращенной индивидуальной дозы при обращении с облученными каналами петлевых установок представлены в таблице 1 [5].

Таблица 1 — Оценка предотвращенной индивидуальной дневной дозы

Вид работ	Характеризация РАО и ОЯТ	Разборка каналов в бассейне-хранилище	Резка каналов. Упаковка средне-активных отходов	Резка каналов. Упаковка ВАО	Загрузка пеналов в хранилище ВАО
Доза в зоне механизмов, мЗв/день	8,2–22,0	1,2–1,5	4,0–6,0	9,0–19,0	1,0–2,0
Мах. доза персонала, мЗв/день	0,042–0,045	0,040–0,045	0,040–0,045	0,040–0,042	0,038–0,041
Предотвращенная доза, мЗв/день	8,0–22,0	1,2–1,5	4,0–6,0	9,0–19,0	1,0–2,0

Из представленных данных видно, что средняя дневная предотвращенная доза отдельного работника, занятого в данном виде работ составляла около 9 мЗв/день. Аналогичные

значения были получены при демонтаже оборудования петлевых установок реактора. Принимая во внимание, что среднее количество работающего персонала составляло 6–7 человек, а суммарная продолжительность работ была около года, можно оценить годовую коллективную предотвращенную дозу внешнего облучения значением в 12 Зв/год.

Измерение дозы внутреннего облучения персонала. Дозы внутреннего облучения персонала были измерены с помощью СИЧ (спектр излучения человека), обследование персонала дали инкорпорированную активность ^{137}Cs и ^{60}Co в теле работника. Зная соотношение объемных активностей в воздухе и предполагая общие пути поступления, можно оценить эффективную дозу внутреннего облучения и по другим измеряемым радионуклидам. Так отношение измеренных объемных активностей ^{137}Cs и ^{90}Sr оказалось примерно обратно пропорционально их дозовым факторам, что означает, что их вклад в дозу внутреннего облучения будет сопоставим. Это значит, что, зная вклад ^{137}Cs можно оценить вклад ^{90}Sr .

Соотношение активностей радионуклидов ^{60}Co и ^{137}Cs , инкорпорированных этими работниками представлено на рисунке 2.

Внутренние активности по ^{137}Cs меняются в достаточно широких пределах от 0,1 до 10 кБк, а по ^{60}Co от 0,05 до 0,35 кБк. Средняя годовая доза внутреннего облучения персонала от ^{60}Co примерно в 3 раза меньше, чем от ^{137}Cs . Коллективная годовая доза внутреннего облучения, обусловленная ^{137}Cs , составила ~159 чел. × мкЗв/год, а ^{60}Co ~34 чел. × мкЗв/год. Если следовать предположениям, изложенным выше, то суммарная (по радионуклидам с учетом ^{90}Sr) доза эффективного облучения персонала составила около 350 чел. × мкЗв/год. Годовая эффективная доза внутреннего облучения персонала (таблица 2) оказалась в ~50 раз меньше, чем доза, оцененная из значений объемной активности и примерно в 500 раз меньше дозы, которую персонал получил бы, если не проводились мероприятия по пылеподавлению. В свете всего сказанного коллективная годовая предотвращенная эффективная доза внутреннего облучения персонала составила 1,2 Зв/год, а с учетом применения дистанционных механизмов 6 Зв/год.

Работы по выводу из эксплуатации исследовательских реакторов МР и РФТ продолжаются 7 лет, предотвращенная коллективная доза за это время может составить от 120 до 130 Зв.

Таблица 2 — Дозы внутреннего облучения персонала в 2011 и 2013 гг.

		2011 г.	2013 г.
Средняя индивидуальная эффективная доза, мкЗв/год	^{137}Cs	6,4	8,9
	^{60}Co	3,7	3,0
	^{90}Sr (оценка)	~7,0	~9,0
Коллективная годовая доза чел.×мкЗв/год	По ^{137}Cs и ^{60}Co	190	220
	С учетом ^{90}Sr (оценка)	~350	~390

Заключение

Мероприятия по защите персонала при проведении радиационно-опасных работ, такие как применение методов дистанционной радиометрии, систем пылеподавления и дистанционно управляемых механизмов, позволили существенно снизить дозы облучения персонала. Коллективную годовую эффективную дозу внутреннего облучения удалось снизить более, чем в 2500 раз, предотвращенная доза при этом составила около 18 Зв/год. Измеренные значения позволяют оценить эффективность мероприятий по оптимизации радиационной защиты и обосновать применение данных мер в рамках проектов вывода из эксплуатации.

На предприятиях страны на различных стадиях подготовки к выводу из эксплуатации находится около 120 ядерных и радиационно-опасных объектов различного назначения. Планируется, что в период до 2030 г. будет остановлено еще более 40 ядерных и радиационно-опасных объектов, включая 24 энергоблока АЭС. Столь масштабные работы требуют применения эффективных, проверенных проектных решений. Опыт работ по выводу из эксплуатации исследовательских реакторов МР и РФТ может служить тестовой площадкой таких решений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Контроль объемной активности нуклидов в воздухе при реабилитации площадки старых хранилищ РНЦ «Курчатовский институт» / В. Г. Волков [и др.] // Атомная энергия. — 2008. — Т. 104, Вып. 1. — С. 37–43.
2. Семенов, С. Г. Использование робототехники при выводе из эксплуатации исследовательских реакторов / С. Г. Семенов // Безопасность ядерных технологий и окружающей среды. — 2012. — № 2. — С. 116–119.
3. Радиационное обследование помещений реактора МР с использованием дистанционно-управляемой сканирующей системой / В. Е. Степанов [и др.] // Атомная энергия. — 2012. — Т. 113, Вып. 2. — С. 101–105.
4. Демонтаж оборудования реактора МР / О. П. Иванов [и др.] // Атомная энергия. — 2015. — Т. 119, Вып. 1. — С. 50–55.
5. Радиационная защита при выводе из эксплуатации исследовательских материаловедческих реакторов МР и РФТ НИЦ «Курчатовский институт» / В. Г. Волков [и др.] // Атомная энергия. — 2013. — Т. 115, Вып. 2. — С. 104–110.

УДК 537.531:[582 + 631.436.6]

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ ММ-ДИАПАЗОНА НА ИЗМЕНЕНИЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ РАСТЕНИЙ К ХОЛОДОВОМУ СТРЕССУ

А. Н. Никитин, Д. В. Сухарева, Е. В. Мищенко

Государственное научное учреждение
«Институт радиобиологии Национальной академии наук Беларуси»
г. Гомель, Республика Беларусь
nikitnale@gmail.com

Введение

Поиск новых высокоэффективных методов повышения всхожести семян ведется биологами всего мира. Электромагнитные поля являются физическим фактором среды, который оказывает существенное влияние на живые организмы различного уровня сложности. Поэтому данный вид излучения находит применение в медицине, в некоторых отраслях промышленности и сельском хозяйстве [1, 2].

В последние годы для интенсификации растениеводства в практику сельского хозяйства стали внедрять электро-технологические методы воздействия на растения и семена зерновых и овощных культур с целью их стимуляции — ускорения роста, повышения урожайности и улучшения качества получаемой продукции [3, 4].

Воздействие ЭМИ повышает адаптационные способности растений к воздействию неблагоприятных факторов окружающей среды. При этом растения могут испытывать умеренный фитостресс, биохимическая картина которого сходна с тепловым шоком (при существенно более низкой величине переданной энергии). Активизация или ингибирование данных процессов зависят от длины волны, ее частоты, мощности облучения и времени обработки. Эффект зависит от величины стрессовой реакции, вызывая неспецифические ответные реакции организма, что совершенно не позволяет сформулировать четкие выводы об их влиянии.

Подбор оптимальных условий облучения сельскохозяйственных растений позволит разработать экономически и энергетически эффективные технологии повышения качественных и количественных показателей урожая. Внедрение этих технологий позволит снизить объемы использования химических удобрений и пестицидов, а следствием этого станет снижение отрицательного воздействия сельскохозяйственной отрасли на состояние окружающей среды и откроет перспективу развития всего сельского хозяйства с возможностью получения большого экономического эффекта.

Увеличение производства и повышение урожайности сельскохозяйственных растений является одним из приоритетных направлений хозяйственного развития Республики Беларусь. Биологические эффекты ЭМИ являются фундаментальной научной проблемой, носящей отчетливо практико-ориентированный характер.

Цель

Выявление оптимальных режимов воздействия ЭМИ мм-диапазона на растительные организмы с целью повышения их адаптационного потенциала, общей резистентности и продуктивности.

Материал и методы исследования

Объект исследования — пшеница яровая сорта «Рассвет» категории РС, репродукции 1. Методы исследования, применяемые в работе: лабораторный опыт, метод сравнения.

Для анализа влияния ЭМИ мм-диапазона на рост и развитие растений в зависимости от их исходного состояния были проведены лабораторные эксперименты с применением 45-минутного холодового стресса (ХС) ($-15\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Поиск способов повышения общей резистентности растений основывался на использовании микроволновых ЭМИ частотой 55 ГГц мощностью 66 мВт на поверхности семян.

Для лабораторного опыта готовили почвенную смесь, состоящую из 2 равных частей супеси и торфогрунта. Определяли 70 % увлажнение почвы от полной влагоемкости почвы. Семена замачивали в чашках Петри диаметром 9 см на фильтровальной бумаге (100 семян на каждую группу) и помещали в специальные условия фитокомнаты ($+18\text{ }^{\circ}\text{C}$) ровно на сутки перед экспериментом. Все работы по отбору посадочного материала, подготовке к посадке семян проводились согласно ГОСТ 12038-84 и ГОСТ 20290-74.

Холодовой стресс (ХС) создавали через 24 ч после начала замачивания семян. Их размещали в ячейке морозильной камеры ($-15\text{ }^{\circ}\text{C}$) на 45 минут.

Рабочие параметры облучения характеризовались мощностью потока ЭМИ 66 мВт/м² с частотами 55 ГГц. Излучателем служил открытый конец прямоугольного волновода.

Продолжительность воздействия ЭМИ составляла 15 и 150 минут. Контрольные группы размещались на расстоянии 2–3 м от излучателя в таких же климатических условиях. Все группы высаживались в почву немедленно по окончании воздействий и помещались на 21 сутки в специально заданные постоянные климатические ($+18\text{ }^{\circ}\text{C}$) условия среды фитокомнаты. Показатели всхожести растений отмечали на 7-е сутки, биометрические, биопродукционные — на 21-е сутки эксперимента.

Общая схема лабораторных экспериментов представлена на рисунке 1.



Рисунок 1 — Общая схема лабораторных экспериментов

В схеме основного эксперимента использованы следующие варианты воздействия: К: Контроль; ХК: Холодовой контроль: $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ — 45 мин; 1: $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ — 45 мин, потом ЭМИ 55ГГц — 15 мин; 2: $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ — 45 мин, потом ЭМИ 55ГГц — 150 мин; 3: ЭМИ 55ГГц — 15 мин, потом $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ — 45 мин; 4: ЭМИ 55ГГц — 150 мин, потом $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ — 45 мин; 5: ЭМИ 55ГГц — 15 мин; 6: ЭМИ 55ГГц — 150 мин.

Анализ влияния облучения ЭМИ мм-диапазона прорастающих семян позволил установить выраженное воздействие на рост и продуктивность пшеницы на ранних этапах развития. Все испытанные режимы облучения привели к достоверному увеличению длины надземной части растений на 7–10 %, при этом отдельные варианты опыта не имеют достоверных отличий между собой.

На среднюю массу надземных частей растений достоверное влияние оказало только 15-минутное облучение. 150-минутное ЭМИ существенно уменьшает массу надземных частей растений, делая ее близкой к контрольным значениям.

В состоянии корневой системы наблюдается противоположная закономерность. Масса корневой системы снижена на 20–30 % во всех вариантах, но различия с контролем недостоверны.

Выраженное положительное влияние на биологическую продуктивность (БП) надземной массы имеет 15-минутное облучение — достоверно увеличена на 10 %. При 150-минутном облучении данный эффект теряется — различия с контролем недостоверны. При 15-минутном воздействии ЭМИ наблюдается тенденция к ее увеличению, а при 150-минутном — тенденция к подавлению БП.

Таким образом, 15- и 150-минутное ЭМИ-облучение с частотой 55 ГГц прорастающих семян пшеницы оказывает воздействие на процессы роста растений. В вариантах с достоверными отличиями от контроля ЭМИ сказывается положительно на биомассе надземных частей и приводит к снижению массы подземных органов.

Воздействие отрицательных температур привело к резкому снижению всхожести и выживаемости пшеницы. 15-минутное предварительное воздействие ЭМИ не привело к достоверному изменению рассматриваемых показателей. 150-минутное облучение привело к снижению жизнеспособности растений. Облучение семян после ХС привело к еще более сильному угнетению растений. Выживаемость пшеницы в варианте 45-минутном воздействии $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ и последующее 15-минутное облучение была крайне низкой. Всхожесть растений при 150-минутном облучении после ХС также оказалась крайне низкой — $16 \pm 7\%$.

Выживаемость растений повторяет закономерности, описанные для всхожести.

В контроле задержка развития составляет менее 3 %. Воздействие отрицательной температуры на прорастающие семена увеличивает его вдвое, при этом отличие от контроля статистически недостоверно. Воздействие отрицательной температуры и ЭМИ провоцирует резкое увеличение задержки развития. Следует указать, что достоверные отличия от контроля наблюдаются только при предварительном 15- и 150-минутном воздействии ЭМИ с последующим ХС, задержка развития при этом составляет 16 и 28 % соответственно.

Воздействие ХС на прорастающие семена пшеницы не вызвало изменения длины надземных частей растения. Не наблюдаются достоверных изменений и при воздействии всех испытанных сочетаний ХС и ЭМИ. Но при облучении перед ХС наблюдается тенденция к 4–7 % снижению длины надземных органов. Воздействие ЭМИ без ХС достоверно повышало длину надземных органов растений.

Воздействие ЭМИ частотой 55 ГГц и ХС, а также воздействие только ХС не оказало достоверное влияние на весовые показатели надземных и подземных частей растений.

45-минутный ХС и ЭМИ в различных сочетаниях не приводит к достоверному изменению весовых показателей. Воздействие ХС вызывает снижение биологической продуктивности надземных частей на 44,5 %. Предварительное 15-минутное воздействие ЭМИ не изменяет эффект ХС. 150-минутное воздействие ЭМИ приводит к еще более сильному падению БП надземных частей. БП надземных частей растений в варианте опыта с ХС и последующим воздействием ЭМИ частотой 55 ГГц не превышает 20 % от контроля.

Общая биологическая продуктивность (ОБП) растений при воздействии ХС и ЭМИ частотой 55 ГГц в целом повторяет закономерности, выявленные для БП надземных частей. 15-минутное воздействие ЭМИ перед ХС ухудшает ОБП относительно варианта с воздействием только отрицательной температуры.

Таким образом, испытанные режимы облучения прорастающих семян яровой пшеницы ЭМИ частотой 55 ГГц не позволяют повысить адаптационный потенциал растений относительно температурного стресса. В большинстве случаев наблюдается эффект усиления отрицательного воздействия стрессового фактора. Предварительное 150-минутное воздействие электромагнитного излучения частотой 55 ГГц с мощностью потока 66 мВт/м^2 на прорастающие семена снижает их устойчивость к температурному стрессу, ухудшает показатели роста и развития. Менее продолжительное воздействие ЭМИ (15 минут) или воздействие после температурного стресса имеет либо слабо выраженный положительный, либо отрицательный эффект.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гуляев, Ю. В. Миллиметровые волны и фотосинтезирующие организмы / Ю. В. Гуляев, А. Х. Тамбиев // Радиотехника. — 2003. — 175 р.
2. Авдеева, В. Н. Экологический метод обработки семян пшеницы с целью повышения их посевных качеств / В. Н. Авдеева, А. Г. Молчанов, Ю. А. Безгина // Современные проблемы науки и образования. — 2012. — № 2. — Р. 39–40.
3. Мазец, Ж. Э. Особенности влияния низкоинтенсивного электромагнитного излучения на элементы структуры урожая кормовых культур / Ж. Э. Мазец // Materialy IX mezinárodních «Moderní vymoženostivědy – 2013» vědecko — praktická conference — Díl 64. Zemědělství. Zvěrolekařství. — Praha: Publishing House «Education and Science», 2013. — Р. 30–32.
4. Отурина, И. П. Воздействие электромагнитных излучений КВЧ на процессы жизнедеятельности культурных растений / И. П. Отурина, М. Н. Чмиль // Сб. докладов 11 Российского симпозиума. — М., 1997. — Р. 222–223.

УДК 621.039-057.16:616-097

ВЛИЯНИЕ СЕЗОННЫХ ФАКТОРОВ НА ФОРМИРОВАНИЕ ИММУННОГО СТАТУСА У ПЕРСОНАЛА ЯДЕРНО-ХИМИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

*И. В. Орадовская, В. В. Феоктистов, А. А. Васильев,
Г. Х. Викулов, М. Ф. Никонова*

**Федеральное государственное бюджетное учреждение
«Государственный научный центр «Институт иммунологии»
Федерального медико-биологического агентства России
г. Москва, Российская Федерация
oradovskaya.39@mail.ru**

Проанализированы показатели иммунного статуса (ИС) персонала Горно-химического комбината (ГХК), контактирующего с радиационным (РФ) и химическим фактором (ХФ) профвредности (ПВ) в малых дозах и работающих в подземных условиях (ПУ). Анализ проведен в группах мужского ($n = 187$) и женского ($n = 141$) пола в сравнении с персоналом, не имеющего контакта с РФ и ХФ ПВ. Обследование проводили 2 раза в год: весной — в апреле и осенью — в октябре. В эти периоды иммунной системе преобладают сезонные перестройки в связи с разнонаправленными изменениями температуры и атмосферного давления, что позволяет изучить их влияние на ИС. Клинико-иммунологический скрининг и оценку ИС проводили по общепринятой методике массовых иммунологических обследований [1].

Анализ изменений ИС персонала ГХК при отсутствии контакта с РФ и ХФ в ПУ у персонала мужского пола, обследованного весной, выявил достоверное повышение ФАН и уровня сывороточного IgG и тенденции к повышению лимфоцитов (%), CD95⁺ и общего IgE и снижению абс. значений CD4⁺-Т-лимфоцитов, CD25⁺ и акт. Т-лимфоцитов (рисунок 1). ИС персонала женского пола при выполнении работ в тех же условиях отличался достоверным снижением лейкоцитов, повышением относительных и абс. значений лимфоцитов, индекса иммунорегуляции, ФАН и уровня IgG. Отмечена тенденция к повышению CD4⁺-Т-лимфоцитов, экспрессии CD95⁺, снижению CD25⁺ и акт. Т-лимфоцитов (рисунок 2). При значительных различиях в фенотипе ИС достоверных различий в показателях ИС у мужчин и женщин не установлено (рисунки 1, 2).

Мониторинг осеннего сезона при отсутствии контакта с РФ и ХФ в ПУ в ИС у мужчин достоверные отличия выявил по показателям лейкоцитов (\downarrow) и абс. значений НК-клеток (\downarrow). Отмечена тенденция к повышению лимфоцитов (%), уровня сывороточных IgM, IgG, снижению акт. Т-лимфоцитов и экспрессии CD25⁺, процентного и абс. содержания В-лимфоцитов и значительному повышению общего IgE (рисунки 1, 3). Достоверных различий у персонала мужского пола в показателях ИС весеннего и осеннего сезона не отмечено. Различия в фенотипе ИС выражались в снижении CD4⁺-, CD8⁺-Т-лимфоцитов, индекса CD4⁺/CD8⁺, НК-клеток, маркеров активации CD25⁺, CD95⁺, HLA-DR⁺, наличии недоста-

точности В-лимфоцитов, повышении уровня IgM, высоких значениях общего IgE. По большинству параметров отмечено сходство в направленности изменений в сопоставлении с контролем (рисунок 3).

У персонала женского пола также при отсутствии контакта с РФ и ХФ ПВ в ПУ в осенний сезон выявлено достоверное снижение лейкоцитов, абс. значений лимфоцитов, CD3⁺, CD4⁺-Т-лимфоцитов, NK-клеток, относительных и абс. значений В-лимфоцитов и повышение IgM (рисунок 4). Достоверные различия в ИС между показателями осеннего и весеннего сезона определялись по показателям лимфоцитов (↓), абс. значений CD4⁺-Т-лимфоцитов (↓), В-лимфоцитов (↓), CD95⁺(↓), IgM (↑) и общего IgE (↑) при выраженной диссоциации в показателях относительных и абс. значений клеточного звена и В-лимфоцитов. Достоверных различий между персоналом мужского и женского пола не установлено, но в фенотипах ИС определялись выраженные различия по показателям лимфоцитов, HLA-DR⁺, акт. Т-лимфоцитов, IgM и общего IgE. В обеих группах выявлялось снижение лейкоцитов, низкий уровень CD25⁺, недостаточность В-лимфоцитов. У персонала женского пола при отсутствии контакта с РФ и ХФ в ПУ больший дисбаланс выявлялся в осенний период года (рисунок 4). Сопоставление динамики ИС за период весна – осень в группах мужчин и женщин позволило отметить, что в обеих группах выявлена нестабильность и дисбаланс в показателях и клеточного, и гуморального звена при различной динамике. У женского персонала изменения в большей степени касались снижения показателей Т-клеточного звена, повышения IgM и общего IgE, HLA-DR⁺ и акт. Т-лимфоцитов при относительно стабильных показателях других маркеров активации: ФАН, экспрессии CD95⁺, CD25⁺. У персонала мужского пола сезонные колебания в большей степени затрагивали изменения маркеров активации CD95⁺(↑), CD25⁺(↓), акт. Т-лимфоцитов (↑) при стабильных значениях HLA-DR⁺ и ФАН, а также абс. значения цитотоксических клеток CD8⁺(↓), CD16⁺(↓). Изменения гуморального звена характеризовались наличием недостаточности В-лимфоцитов, снижением исходно повышенного по сравнению с контролем сывороточного IgG до нормального уровня и схожими значениями IgM.

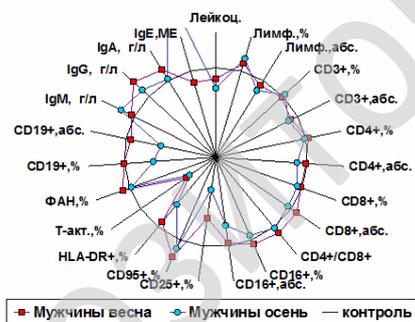


Рисунок 1 — ИС персонала мужского пола при работе в ПУ вне контакта с РФ и ХФ

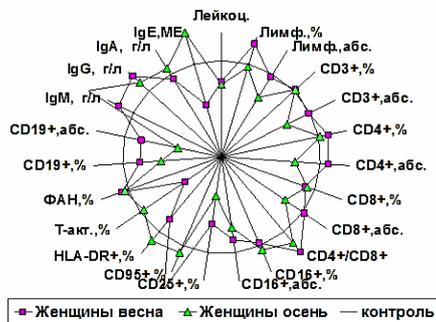


Рисунок 2 — ИС персонала женского пола при работе в ПУ вне контакта с РФ и ХФ



Рисунок 3 — Различия в ИС персонала мужского пола при работе в ПУ вне контакта с РФ и ХФ в сезон весны и осени

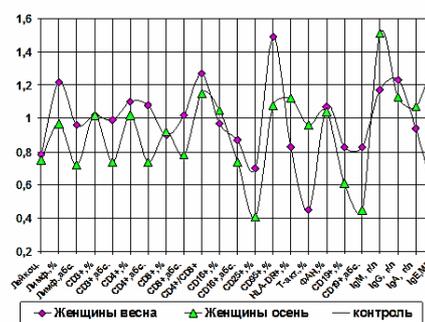


Рисунок 4 — Различия в ИС персонала женского пола при работе в ПУ вне контакта с РФ и ХФ в сезон весны и осени

У персонала женского пола также при отсутствии контакта с РФ и ХФ ПВ в ПУ в осенний сезон выявлено достоверное снижение лейкоцитов, абс. значений лимфоцитов, CD3⁺-, CD4⁺-Т-лимфоцитов, NK-клеток, относительных и абс. значений В-лимфоцитов и повышение IgM (рисунок 4). Достоверные различия в ИС между показателями осеннего и весеннего сезона определялись по показателям лимфоцитов (↓), абс. значений CD4⁺-Т-лимфоцитов (↓), В-лимфоцитов (↓), CD95⁺(↓), IgM (↑) и общего IgE (↑) при выраженной диссоциации в показателях относительных и абс. значений клеточного звена и В-лимфоцитов. Достоверных различий между персоналом мужского и женского пола не установлено, но в фенотипах ИС определялись выраженные различия по показателям лимфоцитов, HLA-DR⁺, акт. Т-лимфоцитов, IgM и общего IgE. В обеих группах выявлялось снижение лейкоцитов, низкий уровень CD25⁺, недостаточность В-лимфоцитов. У персонала женского пола при отсутствии контакта с РФ и ХФ в ПУ большой дисбаланс выявлялся в осенний период года (рисунок 4). Сопоставление динамики ИС за период весна–осень в группах мужчин и женщин позволило отметить, что в обеих группах выявлена нестабильность и дисбаланс в показателях и клеточного, и гуморального звена при различной динамике. У женского персонала изменения в большей степени касались снижения показателей Т-клеточного звена, повышения IgM и общего IgE, HLA-DR⁺ и акт. Т-лимфоцитов при относительно стабильных показателях других маркеров активации: ФАН, экспрессии CD95⁺, CD25⁺. У персонала мужского пола сезонные колебания в большей степени затрагивали изменения маркеров активации CD95⁺(↑), CD25⁺(↓), акт. Т-лимфоцитов (↑) при стабильных значениях HLA-DR⁺ и ФАН, а также абс. значения цитотоксических клеток CD8⁺(↓), CD16⁺(↓). Изменения гуморального звена характеризовались наличием недостаточности В-лимфоцитов, снижением исходно повышенного по сравнению с контролем сывороточного IgG до нормального уровня и схожими значениями IgM.

При наличии контакта с РФ и ХФ в ПУ в весенний сезон ИС персонала мужского пола по отношению к контролю отличался достоверным повышением лимфоцитов (%), ФАН, сывороточного IgG и снижением процентного содержания CD3⁺-Т-лимфоцитов при тенденции к снижению их абс. значений, а также экспрессии CD25⁺, акт. Т-лимфоцитов, повышению NK-клеток, абс. значений CD8⁺-Т-лимфоцитов, экспрессии CD95⁺ и общего IgE (рисунок 5). ИС персонала женского пола отличался достоверным снижением количества лейкоцитов, повышением ФАН, сывороточных IgM, IgG (рисунок 6). Наблюдалась тенденция к повышению относительных значений лимфоцитов, CD3⁺-Т-лимфоцитов, индекса иммунорегуляции, экспрессии CD95⁺, в меньшей степени по сравнению с персоналом мужского пола, снижению экспрессии CD25⁺ и значений акт. Т-лимфоцитов, относительных и абс. значений В-лимфоцитов. Достоверных различий в ИС мужчин и женщин не установлено.

Различия между показателями ИС осеннего и весеннего сезона у мужчин при наличии контакта с РФ и ХФ в ПУ характеризовались снижением лейкоцитов, относительных и абс. значений лимфоцитов, абс. значений CD3⁺-, CD4⁺-, CD8⁺-Т-лимфоцитов, маркера CD25⁺, абс. значений В-лимфоцитов, сывороточного IgG и акт. Т-лимфоцитов (рисунок 7). Выявлена диссоциация в показателях ИС со снижением абс. значений и значительная искаженность иммунограммы. В ИС персонала женского пола достоверные отличия в осенний и весенний сезон выявлены только по уровню IgM (↑). Отмечена тенденция к снижению CD8⁺- и абс. значений CD4⁺-Т-лимфоцитов, сывороточного IgG, повышению индекса иммунорегуляции, NK-клеток, маркеров активации CD25⁺, CD95⁺, HLA-DR⁺, В-лимфоцитов (%) и общего IgE (рисунок 8).

Попарное сопоставление ИС персонала мужского и женского пола весеннего и осеннего мониторинга при наличии контакта с РФ и ХФ в ПУ больше различий выявило у персонала мужского пола в осенний сезон. В весенний сезон различия в фенотипе ИС выражались в снижении лейкоцитов и повышении уровня IgM у женщин, наличии недостаточности CD3⁺-Т-лимфоцитов (достоверно), повышении лимфоцитов (%) и общего IgE у мужчин. В осенний сезон достоверные различия выявлены по показателям абс. значений лимфоцитов, CD4⁺-, CD8⁺-Т-лимфоцитов, относительных и абс. значений В-лимфоцитов,

которые были снижены у персонала мужского пола, а также по уровню IgM, достоверно повышенного у персонала женского пола. Кроме того, у женщин наблюдалось снижение относительных значений CD8⁺-Т-лимфоцитов, акт. Т-лимфоцитов, у мужчин — очень низкая экспрессия маркера CD25⁺ и повышение общего IgE, но статистически значимой достоверности не определялось.

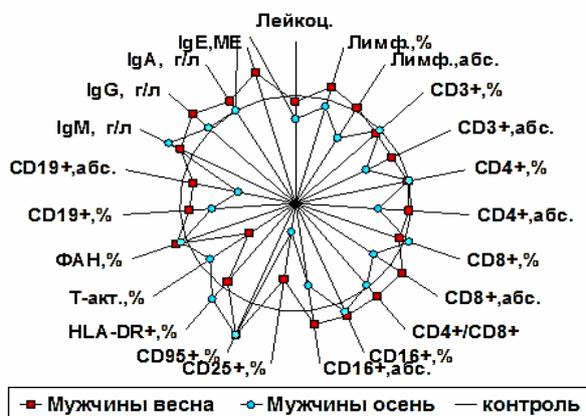


Рисунок 5 — ИС персонала ГХК мужского пола при наличии контакта с РФ и ХФ в ПУ

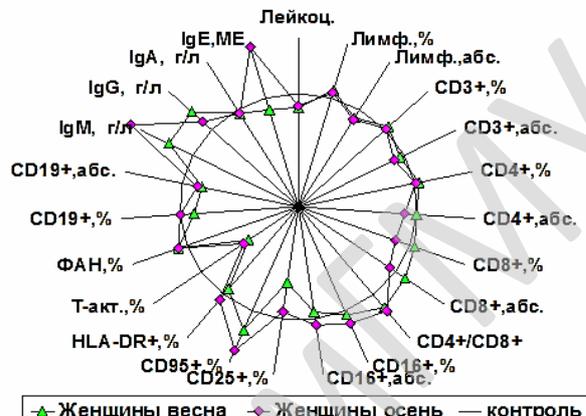


Рисунок 6 — ИС персонала ГХК женского пола при наличии контакта с РФ и ХФ в ПУ



Рисунок 7 — Различия в ИС персонала мужского пола при наличии контакта с РФ и ХФ в ПУ в сезон весны и осени

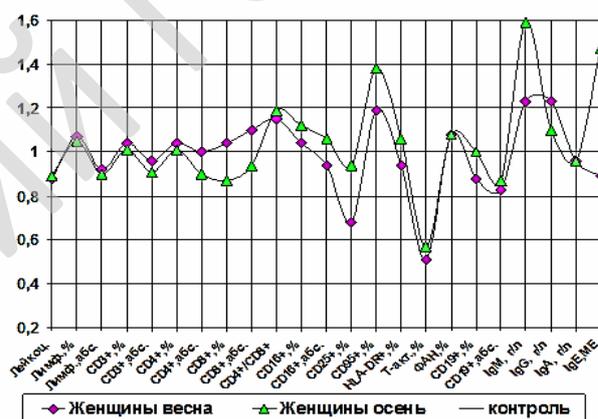


Рисунок 8 — Различия в ИС персонала женского пола при наличии контакта с РФ и ХФ в ПУ в сезон весны и осени

Сопоставление показателей ИС персонала мужского и женского пола по признаку наличие – отсутствие контакта с РФ и ХФ в ПУ при отсутствии контакта дисбаланс и достоверные различия между показателями весеннего и осеннего сезона выявлялись значительно больше в ИС персонала женского пола, что свидетельствует о большем влиянии на ИС подземных условий труда. Дополнительное воздействие РФ и ХФ факторов ПВ больший дисбаланс в ИС вызывало у персонала мужского пола в осеннее время года.

ЛИТЕРАТУРА

1. Оценка иммунного статуса при массовых обследованиях: метод. реком. / Р. В. Петров [и др.] // Иммунология. — 1992. — № 6. — С. 51–62.

УДК 616-073.756.8

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕДИКО-ДОЗИМЕТРИЧЕСКОГО РЕГИСТРА КОМПЬЮТЕРНОЙ ТОМОГРАФИИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ВКЛАДА МЕДИЦИНСКОГО ОБЛУЧЕНИЯ В РАДИОГЕННЫЙ РИСК

М. В. Осипов¹, Е. П. Фомин², М. Э. Сокольников¹

¹Федеральное государственное унитарное предприятие
«Южно-Уральский институт биофизики»
Федерального медико-биологического агентства Российской Федерации,
²Федеральное государственное учреждение здравоохранения
«Центральная медико-санитарная часть № 71»
Федерального медико-биологического агентства Российской Федерации
г. Озёрск, Российская Федерация
ferrum76@mail.ru

Введение

Основы государственной политики в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности Российской Федерации на период до 2025 г. (утв. Президентом РФ 1 марта 2012 г. N Пр-539) предполагают «...проведение широкомасштабных исследований уровней облучения пациентов и медицинского персонала в условиях массового внедрения новых методов лучевой диагностики и терапии (в том числе ядерной медицины)», а так же «...ведение медико-дозиметрического регистра работников атомной промышленности в целях определения групп потенциального радиационного риска» [1]. Данная задача обусловлена наметившейся в последние десятилетия тенденцией к росту дозы медицинского облучения [2]. Так, по данным МАГАТЭ, средняя годовая эффективная доза от медицинского излучения на каждого жителя Земли возросла с 0,3 мЗв в 1993 г. до 0,64 мЗв в 2008 г. [3]. При этом основной вклад в увеличение средней эффективной дозы обусловлен все более широким применением таких высокотехнологических процедур, как компьютерная томография (КТ) [4]. В создавшихся условиях врач-рентгенолог, осуществляющий диагностику должен быть проинформирован о возможном риске, которому подвергается пациент, и придерживаться принципов радиационной безопасности в формировании оптимальной стратегии диагностики и лечения пациента для минимизации возможных неблагоприятных последствий воздействия медицинского облучения. Создание радиационно-эпидемиологического регистра позволит получить необходимую медико-дозиметрическую информацию, осуществлять динамическое наблюдение, контролировать уровни облучения пациентов и прогнозировать радиогенный риск.

Материал и методы исследования

Информация из архивных протоколов КТ-обследований пациентов, обращавшихся амбулаторно или направленных из подразделений ЦМСЧ-71 г. Озёрск за период с 2007 по 2016 гг. была обобщена в электронной базе данных (БД) «Регистр КТ» в формате MS Access. В регистр включались лица, на момент обследования проживавшие в населенных пунктах закрытого административно-территориального объединения (ЗАТО) г. Озёрск и проходившие КТ в отделении лучевой диагностики ЦМСЧ-71. Обследования выполнялись на шаговом компьютерном томографе СТ Max-640 (2007–2011 гг.) и мультиспиральном (16-срезовом) компьютерном томографе Bright Speed Elite (с 2012 г. по настоящее время) с использованием стандартных протоколов с функцией автоматической настройки параметров экспозиции за исключением случаев, когда в целях снижения необоснованной лучевой нагрузки на пациента принималось решение о модуляции параметров mAs и Kv. Такой метод применялся для исследования пациентов детского возраста, а также у пациентов с низкой массой тела. Так же оптимизация исследования для снижения лучевой нагрузки на пациента применялась при обследовании органов брюшной полости с контрастированием

[5]. В базу данных вносилась такая информация, как пол, возраст обследуемого, дата рождения, дата исследования, номер протокола исследования, направившее учреждение, диагноз при направлении, область и количество исследований, использование контрастирования, заключение врача КТ-диагностики, эффективная доза (ЭД).

Значение ЭД для сканера СТ Мах-640 рассчитывалось по стандартным таблицам для типовых значений параметров экспозиции при выполнении исследований на данном томографе, а для сканера Bright Speed Elite вычислялось из значения DLP согласно протоколу исследования по формуле:

$$\text{ЭД} = E_{\text{DLP}} \times \text{DLP},$$

где DLP — Dose Length Product, произведение дозы на длину сканирования;

E_{DLP} — коэффициент конверсии в зависимости от области исследования [6].

Введенные в БД медицинские и дозиметрические данные были верифицированы с целью исключения пропущенных, дублирующих и ошибочно внесенных записей. Произведен предварительный статистический анализ данных, рассчитаны средние величины ЭД в зависимости от периода исследования и типа сканера.

Результаты исследования и их обсуждение

Собрана информация о 17527 исследованиях, проведенных на компьютерном томографе в отделении лучевой диагностики ЦМСЧ № 71 за период с 2007 по 2016 гг. Доля обследованных мужчин и женщин в среднем составила в среднем 48,5 и 51,5 % соответственно. Возраст обследованных мужчин и женщин составил от 0 до 90 лет, средний возраст — 56 лет. Доля обследованных лиц детского возраста от 0 до 14 лет составила в среднем 4,3 %.

Наиболее распространенной областью исследования была область головного мозга (от 58,2 до 70,8 % в зависимости от типа сканера). Доля исследований брюшной полости, грудной клетки и пояснично-крестцового отдела позвоночника в сумме составляла 23,3 и 28,8 % соответственно периоду наблюдения. Доля остальных областей в общей структуре исследований составляла менее 5 %.

Средняя доза за одно исследование в детском возрасте составила 1,0 (0,3–5,5) мЗв, а для всех возрастов — 2,6 мЗв (0,2–16,4). Значения ЭД при наиболее часто встречающихся обследованиях (головной мозг, брюшная полость, отделы позвоночника) в зависимости от года проведения процедуры представлены на рисунке 1.

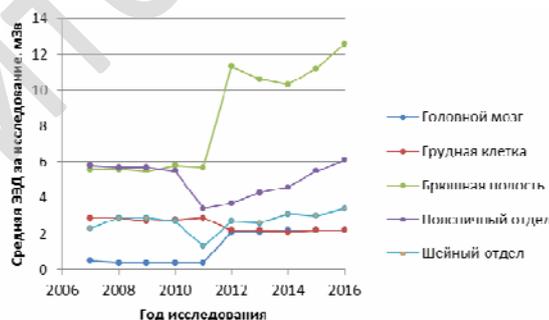


Рисунок 1 — Среднее значение ЭД в зависимости от года и области исследования

Более современные технические характеристики томографа Bright Speed Elite позволили расширить спектр показаний для исследования, проводить более сложные информативные исследования, использовать контрастное усиление, проводить многофазные исследования при помощи внутривенного болюсного введения контрастного вещества (Омнипак-300), что обусловило различие в количестве обследованных и значениях средних величин дозы за одно исследование. Так, средняя доза за исследование в течение всего периода наблюдения составила 2,6 мЗв (0,2–16,4). При этом средняя ЭД пациента за 1 исследование на сканере СТ Мах-640 составила 1,6 мЗв (0,2–5,8), а для сканера Bright Speed Elite — 3,5 мЗв (1,5–27). Как видно из диаграммы 1, доза облучения с введением в эксплуатацию мультиспирального томографа возросла (головной мозг, поясничный отдел по-

звоночника). Значительный рост дозы наблюдается при исследовании брюшной полости, что объясняется применением многофазовых исследований с контрастным усилением, когда за одно исследование делается несколько проходов сканера. Вместе с тем, отмечается снижение дозы при исследовании грудной клетки.

Необходимо отметить, что увеличение лучевой нагрузки при использовании МСКТ многократно повысило диагностическую ценность получаемых изображений. Благодаря внедрению МСКТ стало возможным проведение МСКТ-ангиографии (МСКТА) сосудов головного мозга, грудного и брюшного отдела аорты, сосудов нижних конечностей, и др., доля которой составила 2,7 % от общего числа исследований, проведенных после 2011 г.

Технические параметры исследования (напряжение на трубке, сила тока, толщина среза, питч и время вращения трубки) не вносились в протоколы обследования пациентов, и по этой причине не являлись доступными для обработки в данном исследовании. Таким образом, различия в технических параметрах при выполнении однотипных процедур нашли отражение только в величине ЭД.

Полученные величины ЭД сравнимы с пределами доз, установленных «Требованиями к ограничению техногенного облучения в контролируемых условиях» для облучения населения (1 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 5 мЗв в год), однако в действующих нормах радиационной безопасности не существует ограничений для медицинского облучения в диагностических целях [7]. Тем не менее, это не отменяет вероятности развития радиационно-индуцированных стохастических эффектов в результате воздействия медицинского диагностического облучения. Поскольку основным стохастическим эффектом воздействия ионизирующего излучения является возникновение злокачественных новообразований (ЗНО), необходимо динамическое наблюдение и контроль онкологической заболеваемости у лиц, имеющих дополнительный источник облучения не производственного характера. Для связи возникшего ЗНО конкретного органа с облучением необходимо знать, какая доза облучения была поглощена в единице массы этого органа [8]. Для расчета поглощенной дозы необходимо фиксировать в протоколах вышеуказанные технические параметры.

Заключение

Созданный регистр пациентов, проходящих КТ-обследования в отделении лучевой диагностики ЦМСЧ — 71 г. Озёрск, предоставляет актуальную дозиметрическую и медицинскую информацию, которая может быть использована для проведения эпидемиологических исследований с целью анализа радиационного риска. Введение в эксплуатацию мультиспирального томографа позволило расширить спектр показаний для компьютерной томографии, более чем в 2 раза повысить количество проводимых исследований, в результате чего возросла в 2,2 раза и средняя эффективная доза облучения пациента. Для оценки вклада КТ в радиогенный риск необходим расчет поглощенной дозы облучения на основании использования технических параметров сканирования, которые следует вносить в протокол исследования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Основы государственной политики в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности Российской Федерации на период до 2025 года (утв. Президентом РФ 1 марта 2012 г. N Пр-539) <http://www.scrf.gov.ru/documents/18/128.html> (Актуально на 12 марта 2017).
2. Наркевич, Б. Я. Обеспечение радиационной безопасности в компьютерной томографии и интервенционной радиологии / Б. Я. Наркевич, Б. И. Долгушин // Российский электронный журнал лучевой диагностики. — 2013. — № 2 (3). — С. 7–19.
3. IAEA Publication 1532. Justification of Medical Exposure in Diagnostic Imaging. — Vienna: International Atomic Energy Agency, 2011.
4. Radiation doses in interventional radiology procedures: the RAD-IR study. Part I: overall measures of dose / D. L. Miller [et al.] // J. Vasc. Interv. Radiol. — 2003. — Vol. 14. — P. 711–727.
5. Osipov, M. V. Radiation Safety of Patients: Reducing the Radiation Dose in Abdominal Multislice Computed Tomography / M. V. Osipov, N. I. Lebedev, E. P. Fomin // Russian Electronic Journal of Radiology. — 2015. — № 5 (2). — P. 47–51.
6. Дозовые нагрузки при компьютерно-томографических исследованиях / С. А. Хоружик [и др.] // Известия национальной академии наук Беларуси. Серия медицинских наук. — 2009. — № 1. — С. 14–22.
7. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности ОСПОРБ-99/2010. СП 2.6.1.25 – 10.
8. ICRP Publication 103. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection // Ann. ICRP. — 2007. — Vol. 37 (2–4). — P. 1–332.

С. В. Осовец

¹Федеральное государственное унитарное предприятие
«Южно-Уральский институт биофизики»
Федерального медико-биологического агентства Российской Федерации
г. Озёрск, Российская Федерация
clinic@subi.su

Введение

Экстраполяция данных, полученных в экспериментах на животных, к человеку является одной из главных задач современной радиобиологии, медицины и радиационной безопасности [1–3].

В решении проблемы радиобиологической межвидовой экстраполяции важнейшую роль играют *количественные критерии*, с помощью которых можно корректно оценить равноэффективные дозы (или мощности доз) излучения для животных и человека. В качестве количественных критериев чаще всего используются такие величины, которые интегрально (на уровне всего организма) характеризуют наблюдаемый эффект. Например, медианная летальная доза LD_{50} , если наблюдаемым эффектом является смертность, либо медианная эффективная доза ED_{50} , если наблюдаемым эффектом является заболеваемость в целом или степени тяжести острой лучевой болезни (ОЛБ), или хронической лучевой болезни (ХЛБ) [4, 5].

После того, как величины LD_{50} или ED_{50} определены для животных и человека, то можно через их отношения вычислить *экстраполяционные коэффициенты* перехода от данных по животным к данным по человеку.

Наряду с зависимостью «доза-эффект» в целях межвидовой экстраполяции в радиобиологии часто используются зависимости «время-эффект» [1, 2]. В качестве временных характеристик при радиационном поражении человека или животных можно использовать такие показатели как средняя продолжительность жизни, латентный период при ОЛБ, период формирования ХЛБ, темп обновления кроветворных клеток, время наступления агранулоцитоза или время наступления первичной рвоты при остром аварийном облучении и т. д. При использовании временных характеристик с целью межвидовой экстраполяции следует также учитывать специфику и разницу проявления изучаемого эффекта у человека или животного, используемого в качестве биологической модели.

Очевидно, что проблема межвидовой экстраполяции в радиобиологии является сложной, неоднозначной и незавершенной задачей, которая требует для своего окончательного решения дальнейших многолетних усилий, как экспериментаторов, так и специалистов теоретического плана. Особую роль в решении подобных задач, по-видимому, будет играть и развитие теории радиационного риска [6–9].

Цель

Развитие и обобщение на основе теории риска задачи межвидовой экстраполяции.

Материал и методы исследования

В качестве иллюстративного и расчетного материала в настоящей работе были использованы в основном литературные данные и частично материал из ранее опубликованных работ.

Для построения методов расчета межвидовой экстраполяции и оценки коэффициентов ОБЭ на основе развития теории риска для детерминированных эффектов необходимо использовать базовые дозовые и временные распределения. При описании рисков детерминированных эффектов в настоящее время наиболее часто используется двухпараметрическая функция дозового распределения, — так называемая модель Вейбулла (W-model) [6, 7] следующего вида:

$$R = 1 - \exp\left[-\ln 2(D/D_{50})^V\right], \quad (1)$$

где R — риск (вероятность) радиационного поражения (эквивалентная форма обозначения риска — функция распределения: $F(D)$); D — доза облучения; V — параметр формы распределения; D_{50} — медианное значение доз — обобщенное выражение, которое представляет собой медианную летальную дозу (LD_{50}), если изучаются летальные эффекты или медианную эффективную дозу (ED_{50}), если рассматриваются нелетальные детерминированные эффекты.

С другой стороны, было показано, что в случае острого облучения временные характеристики облучаемого организма (например, время наступления первичной рвоты, латентный период или время наступления агранулоцитоза) связаны обратной степенной зависимостью с дозой [8, 9]. Поэтому существует сопряженное с дозовым распределением $F(D)$ распределение $F(T)$ временных характеристик (Т-model) при ОЛБ, с помощью которого можно оценить риск исследуемого радиационного эффекта:

$$R = 1 - F(T) = 1 - \exp\left[-\ln 2(T_{50}/T)^{\lambda}\right], \quad (2)$$

где T — время наступления изучаемого радиационного эффекта (симптома); T_{50} — медианное значение времени наступления эффекта; λ — параметр формы распределения.

Результаты исследования и их обсуждение

Основную идею метода на основе W-модели можно показать с помощью рисунка 1. Из него видно, что для экстраполяции всей кривой риска для животных к кривой риска человека (или наоборот) необходимо найти взаимно-однозначное преобразование, позволяющее выполнить такой переход. Для этого надо приравнять одинаковые риски для животных и человека и в результате мы получим необходимую зависимость для оценки равноэффективных доз для животных и человека.

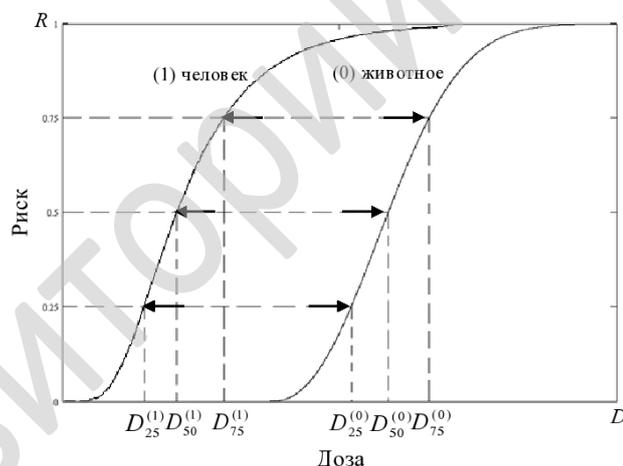


Рисунок 1 — Принцип перехода от кривой риска для животного к кривой риска для человека (и, наоборот) на основе дозовых распределений

Поясним идею такого перехода к равноэффективным дозам более подробно. Пусть верхний индекс (0) относится к животному, а верхний индекс (1) к человеку. Тогда согласно Вейбулловской модели можно записать:

для животного:

$$R = 1 - \exp\left[-\ln\left(D/D_{50}^{(0)}\right)^{V^{(0)}}\right], \quad (3)$$

для человека:

$$R = 1 - \exp\left[-\ln\left(D/D_{50}^{(1)}\right)^{V^{(1)}}\right]. \quad (4)$$

Приравнивая правые части равенства (3) и (4) друг к другу, и, затем выполнив элементарные преобразования, получаем базовые соотношения для расчета равноэффективных доз:

$$D^{(1)} = a[D^{(0)}]^b, \quad D^{(0)} = [D^{(1)}/a]^{\frac{1}{b}}. \quad (5)$$

где $a = D_{50}^{(1)} / [D_{50}^{(0)}]^{\frac{V^{(0)}}{V^{(1)}}}$, $b = V^{(0)} / V^{(1)}$.

Таким образом, расчет кривой риска при межвидовой экстраполяции представляет собой простое степенное преобразование. Из классического курса теории вероятностей известно, что степенное преобразование функции распределения является масштабно-инвариантным относительно типа распределения. В графическом виде этот факт очевиден из рисунка 1: при переходе от кривой риска «(0) животное» к кривой риска «(1) человек» (или наоборот) меняется местоположение и форма кривой, но сохраняется тип распределения — модель Вейбулла (W-model).

Теперь рассмотрим задачу межвидовой экстраполяции с помощью временных распределений. Базовой моделью риска в этом случае является модель (3) (T-model).

Геометрически такую межвидовую экстраполяцию можно представить с помощью кривых риска, построенных на основе временных распределений для животного и человека. Соответствующие кривые риска представлены на рисунке 2.

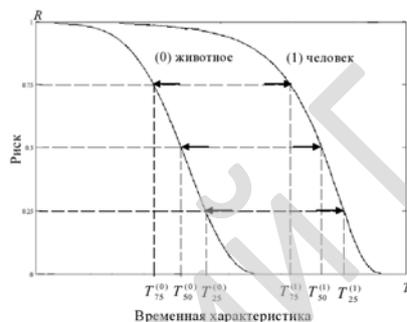


Рисунок 2 — Принцип перехода от кривой риска для животного к кривой риска для человека (и, наоборот) на основе временных распределений

С помощью аналогичных преобразований, как для дозовых кривых риска, можно найти степенные зависимости для равноэффективных временных характеристик:

$$T^{(1)} = c[T^{(0)}]^d, \quad T^{(0)} = [T^{(1)}/c]^{\frac{1}{d}}. \quad (6)$$

где $c = T_{50}^{(1)} / [T_{50}^{(0)}]^{\frac{\lambda^{(0)}}{\lambda^{(1)}}}$.

В качестве примера использования вышеприведенных формул и методов были рассчитаны кривые риска для человека и собаки при острой лучевой болезни по дозовому и временному (латентному периоду ОЛБ) факторам. Для расчетов были использованы ранее опубликованные данные [3–5]. Затем были вычислены коэффициенты межвидовой экстраполяции для 25, 50 и 75 % квантилей.

Таблица 1 — Результаты расчета межвидовой экстраполяции (собака-человек)

Квантиль (в %)	Дозовый фактор			Временной фактор		
	$D^{(0)}, p$	$D^{(1)}, p$	$K_{\mathcal{D}} = D^{(1)} / D^{(0)}$	$T^{(0)}, \text{дни}$	$T^{(1)}, \text{дни}$	$K_{\mathcal{T}} = T^{(1)} / T^{(0)}$
25 %	295,222	306,026	1,036	5,545	14,502	2,663
50 %	435,572	440,673	1,011	7,046	18,998	2,696
75 %	592,250	587,386	0,992	8,719	23,747	2,724

Из таблицы 1 видно, что коэффициент экстраполяции в среднем по всем трем квантилям составил по дозовому фактору ~ 1, а по временному фактору (латентному периоду) ~ 2.7. Небольшая разница в коэффициентах экстраполяции по 25, 50 и 75 %-ным квантилям обусловлена, вероятнее всего, близостью по величине параметров формы кривых риска для

собаки и человека. Равенство единице коэффициента экстраполяции ($K_{\Sigma} \approx 1$) по дозовому фактору показывает, что собака при остром облучении является отличной биологической моделью для человека. С другой стороны, временной фактор (латентный период) в данном случае является более чувствительным, так как коэффициент экстраполяции дает различие между человеком и собакой более чем в два раза ($K_{\Sigma} \approx 2.7$).

Заключение

В настоящей работе реализован и обобщен статистический принцип межвидовой экстраполяции. Теоретическое обобщение формул экстраполяции построено на основе теории риска для детерминированных (тканевых) эффектов. Полученные количественные соотношения и закономерности могут быть развиты и дополнены в будущем применительно к стохастическим эффектам, например, для пожизненного риска смерти от онкологических заболеваний полученные теоретические результаты можно использовать непосредственно. Отдельной проблемой межвидовой экстраполяции остается разработка аналогичных методов экстраполяции по фактору мощности дозы.

ЛИТЕРАТУРА

1. От эксперимента на животных к человеку: поиски и решения / Н. Г. Даренская [и др.]. — Воронеж: Научная книга, 2010. — 236 с.
2. От радиобиологического эксперимента к человеку / под ред. Ю.И. Москалева. — М.: Атомиздат, 1976. — 280 с.
3. Радиационные поражения человека. — М.: ИздАТ, 2001. — Т. 2. — 432 с.
4. Гуськова, А. К. Лучевая болезнь человека / А. К. Гуськова, Г. Д. Байсоголов. — М.: Медицина, 1971. — 365 с.
5. Акоев, И. Г. Количественные закономерности радиационного синдрома / И. Г. Акоев, Г. К. Максимов, В. Г. Тяжелова. — М.: Энергоатомиздат, 1981. — 116 с.
6. Risk from Deterministic Effects of Ionizing Radiation. // National Radiological Protection Board, Chilton, Didcot, Oxon OX11 0RQ. — 1996. — Vol. 7, № 3. — P. 1–31.
7. IAEA. Development of an extended framework for emergency response criteria. Vienna: IAEA; TECDOC — 1432. — 2005.
8. Predictability of acute radiation injury severity / T. V. Azizova [et al.] // Health Phys. — 2008. — Vol. 94. — P. 255–263.
9. Direct and indirect tasks on assessment of dose and time distributions and thresholds of acute radiation exposure / S. V. Osovets [et al.] // Health Phys. — 2012. — Vol. 102, № 2. — P. 182–195.

УДК 599:623.454.8

ПАРАМЕТРЫ ПЕРЕХОДА РАДИОНУКЛИДОВ В ОРГАНИЗМ ДИКИХ ЖИВОТНЫХ, ОБИТАЮЩИХ В МЕСТАХ ИСПЫТАНИЯ ЯДЕРНОГО ОРУЖИЯ

А. В. Паницкий, С. Н. Лукашенко, Н. Ж. Кадырова

**«Институт радиационной безопасности и экологии
Национального ядерного центра Республики Казахстан»
г. Курчатов, Республика Казахстан
Panitskiy@nnc.kz**

Введение

В ходе проведения испытания ядерного оружия и поражающих факторов радиоактивных веществ на территории Семипалатинского испытательного полигона (СИП) сформировались участки с высоким уровнем содержания радионуклидов в природных средах — почве, растительности, воде [1, 2].

Ввиду того, что на этих участках фиксируются достаточно высокие значения содержания техногенных радионуклидов в почве, растительности и воде, определенный интерес вызывает содержание техногенных радионуклидов в организме животных, постоянно обитающих на таких участках и проживающих в норах, устроенных в радиоактивно-загрязненной почве.

В настоящее время разработаны различные модели для оценки радиационного облучения диких животных [3]. Однако экспериментальных данных по оценке параметров перехода радионуклидов в организм диких животных на сегодняшний день недостаточно.

Цель

Дать характеристику радиоэкологическому состоянию представителям фауны, обитающей на СИП и получить некоторые параметры перехода радионуклидов в организм диких животных для их дальнейшего применения при оценке возможных рисков для биоты.

Материал и методы исследования

На территории СИП был произведен отлов диких животных (sand lizard (*Lacerta agilis*), partridge (*Perdix perdix*), ground squirrel (*Spermophilus erythrogenys*), siberian jerboa (*Allactaga saltator Ewersm*), hare (*Lepus europaeus*) и др.) для определения содержания в их организме (тканях и органах) радионуклидов ^{137}Cs , ^{90}Sr , $^{239+240}\text{Pu}$, ^{241}Am и ^3H .

Для оценки параметров перехода радионуклидов в организм животных использовалось отношение концентраций (CR), применяемое в работах исследователей [4].

CR рассчитывается как:

$$CR = \frac{\text{Удельная активность в биоте (все тело или ткань) (Бк/кг, сырого веса)}}{\text{Удельная активность в почве места обитания (Бк/кг сухого веса)}}$$

Для расчета значений CR производилось определение содержания радионуклидов в компонентах природной среды мест обитания отловленных животных, а так же анализ имеющейся информации о содержании радионуклидов в природной среде в базе данных Института радиационной безопасности и экологии.

Результаты исследования и их обсуждение

В результате исследований получена информация о современном радиоэкологическом состоянии фауны СИП. Проведенные исследования показывают, что содержание радионуклидов в организме диких животных, обитающих на различных участках СИП различно. В экосистемах, сопряженных с радиоактивными водотоками основным радионуклидом, вносящим, вклад в загрязнение животных является ^{137}Cs и ^3H . На участках испытания боевых радиоактивных веществ (БРВ) — ^{90}Sr . При этом переход радионуклидов в организм животных зависит от исходных уровней содержания радионуклидов в компонентах среды обитания, размеров участков загрязнения, форм нахождения радионуклидов в почве и поведенческих особенностей животных. При определенных условиях животные могут вносить существенный вклад в перераспределение радионуклидов в природной среде.

В целом исследования показали, что высокие значения удельных активностей радионуклидов в организме диких животных отмечаются при условии их непосредственного проживания на локальных участках загрязнения. При удалении от участков загрязнения на расстояние, превышающее радиус активности животных, высоких значений удельной активности радионуклидов в животных не фиксируется. Для примера можно привести удельную активность радионуклидов в организме ящериц (*Lacerta agilis* Linn.), обитающих на участках, с различным характером и уровнями загрязнения (таблица 1).

В тушках ящерицы прыткой (*Lacerta agilis* Linn.), отловленных на «фоновых» участках СИП, техногенный радионуклид ^{137}Cs находится на уровне 8–10 Бк/кг. В особях, отловленных с территории, прилегающей к штольне № 176, содержание техногенного радионуклида ^{137}Cs изменяется в пределах 330–610 Бк/кг. Лишь в одной тушке удельная активность на порядок ниже — 94 Бк/кг. Основное радиоактивное загрязнение территории отлова приурочено к руслу водотока штольни № 176. Средняя концентрация ^{137}Cs в почве на участке отлова составляла $2,0 \times 10^5$ Бк/кг. При удалении от радиоактивного водотока на пару сотен метров концентрация ^{137}Cs в ящерицах резко падает. Это можно объяснить низким радиусом активности ящериц, составляющим около 40 м. Так, на участках площадки «Дегелен», не сопряженных с радиоактивно-загрязненными водотоками удельная активность ^{137}Cs в организме ящериц уже не превышает 50 Бк/кг. Удельная активность ^{137}Cs в почве в месте отлова этих ящериц не превышает 30 Бк/кг — значение фона, рассчитанное,

для отдельных участков площадки «Дегелен». В тушках ящериц, отловленных в 250 м от «Атомного озера» в северо-западном направлении, содержание ^{137}Cs изменялось от 4 до 51 Бк/кг несмотря на то, что удельная активность ^{137}Cs в месте отлова достигала $3,0 \times 10^4$ Бк/кг. Среднее значение удельной активности ^{137}Cs в ящерицах составило 21 Бк/кг (n-11). Количественные значения удельной активности ^{137}Cs в тушках ящериц площадки «4А», отмечены только в животных, отловленных на участках № 20, 13, и 24. В почвах этих участков ^{137}Cs фиксировалось до $1,4 \times 10^4$ Бк/кг, $8,6 \times 10^2$ Бк/кг и $4,8 \times 10^4$ Бк/кг соответственно.

Таблица 1 — Удельная активность радионуклидов в теле ящериц (Бк/кг, сырой вес) и в почве мест обитания (Бк/кг, сухой вес)

Место отлова	Точка отлова	Удельная активность ^{137}Cs		Удельная активность ^{90}Sr	
		в ящерицах	в почве	в ящерицах	в почве
СИП	«Фоновые» участки	< 10	15	20 60	30
Пл. «Дегелен»	Берег водотока из штольни № 176	500 ± 9 507 ± 9 94 ± 6 613 ± 9 335 ± 7 471 ± 8 416 ± 7 535 ± 9	$2,0 \times 10^5$	—	—
	200 м. от водотока	10 ± 2 25 ± 5 40 ± 3 15 ± 3 25 ± 5 15 ± 2 50 ± 3 15 ± 3 15 ± 3	30		
Пл. «Балапан»	«Атомное озеро»	4 ± 2	$3,0 \times 10^4$	110	$8,5 \times 10^3$
		6 ± 2			
		23 ± 4			
		12 ± 1			
		11 ± 1			
		44 ± 3			
		7 ± 2			
		28 ± 2			
51 ± 5					
4 «А» (БРВ)	Участок 1	< 3,4	$1,1 \times 10^3$	$7,8 \times 10^5$	$7,3 \times 10^6$
	Участок 2	< 4	63	$3,1 \times 10^4$	$2,4 \times 10^5$
	Участок 3	< 11	$1,4 \times 10^4$	$3,2 \times 10^5$	$1,2 \times 10^7$
		< 5			
		< 7			
		< 20			
	Участок 5	< 5	$3,8 \times 10^2$	$2,5 \times 10^5$	$3,0 \times 10^6$
	Участок 13	21 ± 9	$8,6 \times 10^2$	$2,1 \times 10^5$	$4,8 \times 10^5$
	Участок 20	2,9 ± 1,1	$1,7 \times 10^4$	$1,5 \times 10^5$	$1,7 \times 10^7$
	Участок 24	70	$4,8 \times 10^4$	$6,8 \times 10^4$	$7,9 \times 10^5$
100					

Удельная активность ^{90}Sr в организме ящериц, отловленных с различных участков СИП сильно варьирует в зависимости от места обитания. Так на «фоновых» участках СИП, удельная активность ^{90}Sr в двух объединенных образцах (по 6 ящериц в каждом) не превысила 60 Бк/кг. В районе «Атомного озера» значения содержания ^{90}Sr в ящерицах изменяется в пределах 72–110 Бк/кг, несмотря на то, что в почве обнаруживается $8,5 \times 10^3$ Бк/кг ^{90}Sr . На площадке «4А» очень высокие значения удельной активности радионуклида ^{90}Sr

отмечены во всех образцах ящериц. Так в тушках ящериц, отловленных с участка загрязнения № 1, удельная активность ^{90}Sr достигает $7,8 \times 10^5$ Бк/кг (таблица 1). Наименьшее значение удельной активности ^{90}Sr зафиксированное на участке 24, составило $6,8 \times 10^4$ Бк/кг.

Средний вес ящериц, отловленных в ходе исследований, составлял около 7 г. Таким образом, при зафиксированном в ящерицах максимальном значении удельной активности ^{90}Sr $7,8 \times 10^5$ Бк/кг, одна особь может нести в себе более 5000 Бк этого радионуклида. Это может являться достаточно серьезным механизмом перераспределения этого радионуклида в экосистеме.

Параметры перехода радионуклидов могут различаться в зависимости от форм нахождения радионуклидов в почве, обусловленными различием образования радионуклидного загрязнения (аварии на АЭС, ядерные испытания). Например, средние CRs для ящериц СИП составили (Mean \pm SD) для ^{137}Cs — $(6,2 \pm 9,9) \times 10^{-3}$, для ^{90}Sr — $(1,1 \pm 1,4) \times 10^{-2}$. Значения CR для ^{137}Cs оказались на порядок ниже значений, полученных в Чернобыльской зоне отчуждения [5].

Полученные в ходе исследований на СИП параметры перехода радионуклидов в организм диких животных можно использовать в различных прогностических моделях оценки рисков на биоту. В таблицах 2 и 3 приведены отношения концентраций (значения CR) в почве к концентрации радионуклидов в организме некоторых видов диких животных, обитающих в местах испытания ядерного оружия и поражающих факторов радиоактивных веществ на территории СИП.

Таблица 2 — Значения CR ^{137}Cs и ^{90}Sr для животных СИП

Animals	Значения CR (Mean \pm SD)			
	^{137}Cs		^{90}Sr	
Ящерица прыткая (<i>Lacerta agilis</i>)	n-30	$(6,2 \pm 9,9) \times 10^{-3}$	n-11	$(1,1 \pm 1,4) \times 10^{-2}$
Куропатка серая (<i>Perdix perdix</i>)	n-5	$(3,3 \pm 2,5) \times 10^{-3}$	n-5	$\frac{*(4,2 \pm 6,3) \times 10^{-4}}{(2,7 \pm 2,2) \times 10^{-2}}$
Суслик краснощекий (<i>Spermophilus erythrognys</i>)	n-6	$0,012 \pm 0,009$	—	—
Тушканчик прыгун (<i>Allactaga saltator Ewersm</i>)	n-27	$(2,2 \pm 1,2) \times 10^{-3}$	n-8	$(2,4 \pm 1,1) \times 10^{-2}$
Заяц-русак (<i>Lepus europaeus</i>)	n-2	$(9,9 \pm 6,8) \times 10^{-4}$	—	—
*Мышечная ткань				
Костная ткань				

Таблица 3 — Значения CR ^{241}Am и $^{239+240}\text{Pu}$ для животных СИП

Animals	Значения CR (Mean \pm SD)			
	^{241}Am		$^{239+240}\text{Pu}$	
Куропатки (<i>Perdix perdix</i>)	n-5	$< 5,9 \times 10^{-4}$	n-5	$< 1,9 \times 10^{-5}$
Суслик краснощекий (<i>Spermophilus erythrognys</i>)	n-1	$2,5 \times 10^{-4}$	—	$9,9 \times 10^{-4}$

Заключение

При использовании инструментов или моделей по оценке радиационных рисков на биоту необходимо учитывать различия CRs, связанные с характером образования радионуклидного загрязнения (радиационные инциденты на АЭС, ядерные испытания и т. д.). В связи с этим особый интерес вызывают исследования, направленные на сравнение параметров перехода радионуклидов на участках, имеющих различную природу образования радионуклидного загрязнения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Panitskiy, A. V. Nature of radioactive contamination of components of ecosystems of streamflows from tunnels of Degelen massif / A. V. Panitskiy, S. N. Lukashenko // Journal of Environmental Radioactivity. — 2015. — Vol. 144. — P. 32–40.
2. Larionova, N. V. Transport of radionuclides from soil to plants in the area of radioactive fallout at the former Semipalatinsk test site / N. V. Larionova, S. N. Lukashenko // Journal of Radiation and Risk. — 2013. — Vol. 3. — P. 65–71.
3. An international comparison of models and approaches for the estimation of the radiological exposure of non-human biota / N. A. Beresford [et al.] // Appl. Radiat. Isot. — 2008. — Vol. 66(11). — P. 1745–1749.
4. Radionuclide activity concentrations in two species of reptiles from the Chernobyl exclusion zone Radioprotection / C. L. Barnett [et al.]. — 2009. — Vol. 44. — P. 537–542. — <http://dx.doi.org/10.1051/radiopro/20095099>.
5. Panitskiy, A. V. ^{137}Cs and ^{90}Sr in lizards of Semipalatinsk test site / A. V. Panitskiy, S. N. Lukashenko, N. Zh. Kadyrova // J. Environ. Radioact. — 2017. — Vol. 166. — P. 1, 91–96.

**СОСТОЯНИЕ КАЛЬЦИЕВОГО ОБМЕНА В ТРОМБОЦИТАХ КРЫС
В БЛИЖАЙШИЕ И ОТДАЛЕННЫЕ СРОКИ ПОСЛЕ ОБЛУЧЕНИЯ**

*О. Г. Пархимович¹, К. Я. Буланова¹, Л. М. Лобанок²,
О. Д. Бичан³, Т. И. Милевич⁴, В. А. Кузун¹*

¹Учреждение образования

«Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова»
Белорусского государственного университета,

²«Белорусский государственный медицинский университет»,

³«Белорусский государственный университет»

г. Минск, Республика Беларусь

⁴Государственное научное учреждение

«Институт радиобиологии Национальной академии наук Беларуси»

г. Гомель, Республика Беларусь

o_1_u_a89@mail.ru

Введение

Повышенный риск заболеваний сердца, повреждения механизмов регуляции тонуса сосудов и появление в отдаленный период геморрагий относятся к наиболее выраженным последствиям действия ионизирующих излучений на организм. Все эти негативные постлучевые проявления способствует росту патологий сердечно-сосудистой системы и других органов, приводит к инвалидизации части населения. Выявление способов коррекции постлучевых нарушений в сердечно-сосудистой системе у людей, подвергавшихся облучению по медицинским показаниям или в результате аварий на промышленных объектах остается одной из актуальных проблем радиационной медицины.

Следует отметить, что патологическим изменениям в сердце и сосудах предшествуют нарушения в системе крови, как наиболее чувствительной к изменению состояния организма и действию факторов внешней среды. Среди клеточных элементов ведущую роль в изменении гемодинамических свойств крови играют тромбоциты. Одним из факторов, запускаящим агрегацию тромбоцитов является Ca^{2+} [1]. Стойкое повышение цитоплазматического Ca^{2+} приводит к энергетическому голоду, необратимым изменениям и гибели клеток. Изучение молекулярных механизмов регуляции уровня цитоплазматического кальция позволит выявить причины как повышенной, так и пониженной агрегационной способности тромбоцитов, так и гибели тромбоцитов в постлучевой период.

Уровень ионов кальция в цитоплазме определяется согласованной регуляцией его поступления внутрь клетки извне и из внутриклеточных депо, а также обратных процессов. В цитоплазме клеток концентрация ионизированного Ca^{2+} варьирует от 50 до 200 нМ, что на четыре порядка ниже концентрации Ca^{2+} в плазме крови и во внеклеточной жидкости. Основной вклад в поддержание низкой концентрации цитоплазматического Ca^{2+} в тромбоцитах вносят кальциевые АТРазы тубулярной системы и плазматической мембраны клеток [2].

Материал и методы исследования

В эксперименте анализировались показатели кальциевого обмена в тромбоцитах крыс. Исследования проводились на половозрелых белых крысах-самцах (3–6-месячного возраста), разделенных на 2 группы. Одна группа, контрольная, содержалась в обычных условиях вивария. Животных второй группы подвергались γ -облучению в дозе 1 Гр для изучения состояния кальциевого обмена в тромбоцитах на 3-е, 10-е и 30-е сутки постлучевого периода.

Крыс облучали на гамма установке «ИГУР» в дозе 1 Гр (мощность дозы 0,62 Гр/мин, в течение 2 мин). Обогащенную тромбоцитами плазму (ОТП) получали центрифугированием при 700 g в течение 5 мин. Затем ОТП центрифугировали (745 g, 8 мин), тромбоциты ресуспендировали в *HEPES-буфер без Ca^{2+}* (pH 6,5), еще раз центрифугировали (745 g, 8 мин). После осаждения тромбоциты ресуспендировали *HEPES-буфере без Ca^{2+}* (pH 7,4).

Для количественного определения концентрации кальция в тромбоцитах использовали флуоресцентный зонд Fura-2/AM. Полученные тромбоциты инкубировали с Fura-2/AM (конечная концентрация 2,5 мкмоль/л). Тромбоциты осаждали центрифугированием при 745 g, 8 мин. Отмытые тромбоциты суспендировали в *HEPES-буфер без Ca²⁺* (pH 7,4) и доводили концентрацию клеток до $2,5 \times 10^9$ кл/мл. Исследование кинетики изменения интенсивности флуоресценции нагруженных Fura-2/AM тромбоцитов проводили на длине волны 510 нм при длинах волн возбуждения 340 нм и 380 нм использованием спектрофлуориметра СМ 2203 «СОЛАР» (Минск, Беларусь). Концентрация Ca²⁺ рассчитывается на основе измерения флуоресценции при возбуждении этими двумя длинами волн по формуле:

$$[Ca^{2+}] = K_d \frac{R_{\max 380}}{R_{\min 380}} \frac{F - F_{\min}}{F_{\max} - F} \quad (1)$$

где K_d — константа диссоциации комплекса Fura-2/AM с кальцием;

$F = \frac{R_{340}}{R_{380}}$ — текущее отношение флуоресцентных сигналов;

F_{\min} — то же отношение в растворе с низкой концентрацией Ca²⁺;

F_{\max} — то же отношение в растворе с высокой концентрацией Ca²⁺ (max и min при добавлении тритона (10 %) и ЭГТА (100 мкмоль/л) соответственно).

$K_d = 224$ нмоль/л

Результаты исследования и их обсуждение

В тромбоцитах крыс после облучения на 3-е сутки регистрировали увеличение базального уровня ионов кальция как в бескальциевой среде (100 мкМ ЭГТА), позволяющей исключить функционирование трансмембранного переноса ионов внутрь клетки, но при этом оценить эффективность работы Ca²⁺-АТФаз, осуществляющих депонирование цитозольного кальция во внутриклеточные структуры, так и в кальций-содержащей (1 мМ) среде. Полученные данные свидетельствуют о снижении эффективности работы Ca²⁺-АТФаз в условиях более значительной, по сравнению с нормой, активации трансмембранного притока ионов кальция внутрь клетки.

На 10-е сутки после облучения в бескальциевой среде отмечается снижение базального уровня ионов кальция в цитоплазме тромбоцитов и его нормализация в кальций-содержащей среде (таблица 1).

Таблица 1 — Изменение базального уровня ионов кальция в цитоплазме тромбоцитов в ближайшие сроки (3-и, 10-е сутки) после облучения животных в дозе 1 Гр

Исследуемые показатели	Контроль	3-и сутки после облучения	10-е сутки после облучения
Базальный уровень кальция (100 мкмоль/л ЭГТА), нмоль/л	44,2 ± 4,6	85,9 ± 5,2*	31,1 ± 6,2*
Базальный уровень кальция (1 ммоль/л CaCl ₂), нмоль/л	74,9 ± 11,8	181,7 ± 0,5*	75,4 ± 8,4

Известно, что переход тромбоцитов из состояния покоя в активированное состояние происходит посредством Ca²⁺-сигнализации. Внутриклеточная концентрация ионов [Ca²⁺]_i повышается за счет высвобождения из внутриклеточных депо или входа внеклеточных ионов Ca²⁺ через каналы плазматической мембраны. После активации, внутриклеточная концентрация [Ca²⁺]_i восстанавливается за счет закачивания в депо и высвобождения во внеклеточное пространство Ca²⁺-АТФазами плазматической мембраны и обменниками. Эти механизмы также ответственны за поддержание низкой концентрации [Ca²⁺]_i в покоящихся клетках, препятствуя утечке Ca²⁺ в цитозоль как из внутриклеточных депо, так и из внеклеточной среды [3].

В ответ на действие физиологического индукторов агрегации тромбоцитов — АДФ (20 мкМ) в присутствии 1 мМСаCl₂, отмечается более значительное, чем в норме увеличение концентрации ионов кальция в тромбоцитах облученных крыс как на 3-е, так и на 10-е сутки.

Содержание цитоплазматического кальция при действии тромбина (0,2 ед/мл) возрастало только на 3-и сутки, а на 10-е сутки не отличалось от нормы (таблица 2).

При действии иономицина (50 нмоль/л) в присутствии тапсигаргина (ТГ, 1 мкмоль/л), являющегося ингибитором Ca²⁺-АТФазы тубулярной системы, концентрация ионов кальция в цитоплазме тромбоцитов, суспендированных в бескальциевой среде в контрольной группе составила 498,5 нмоль/л, тогда как в тромбоцитах облученных крыс на 3-и сутки отмечался значительный подъем до 657,3 нмоль/л, а на 10-е сутки после облучения — 326,3 нмоль/л. Поскольку при действии иономицина в присутствии ТГ происходит полное опустошение кальциевых депо тромбоцитов, то полученные данные свидетельствуют о том, что количество цитоплазматического Ca²⁺, аккумулированного во внутриклеточных пулах тромбоцитов на 3-и сутки после облучения крыс выше, чем в контрольной группе, а на 10-е сутки — несколько ниже нормы.

Таблица 2 — Изменения уровня цитоплазматического кальция в тромбоцитах облученных животных на 3-и и 10-е сутки при действии индукторов агрегации

	Контроль, нмоль/л	3-и сутки после облучения, нмоль/л	10-е сутки после облучения, нмоль/л
АДФ	111,4 ± 5,8	289,5 ± 11,7*	244,0 ± 6,01*
Тромбин	383,2 ± 15,2	561,9 ± 12,1*	374,4 ± 15,66

Исследования, проведенные в более отдаленные сроки показали, что концентрация ионов кальция в цитоплазме тромбоцитов, суспендированных в бескальциевой и кальций-содержащей (1 мМоль) среде в тромбоцитах облученных крыс на 30-е сутки достоверно не отличалась от значений в контрольной группе (таблица 3).

Таблица 3 — Изменение базального уровня ионов кальция в цитоплазме тромбоцитов на 30-е сутки после облучения животных в дозе 1 Гр

Исследуемые показатели	Контроль	30-е сутки после облучения
Базальный уровень кальция (100 мкмоль/л ЭГТА), нмоль/л	44,8 ± 3,6	49,6 ± 3,2
Базальный уровень кальция (1 ммоль/л СаCl ₂), нмоль/л	67,6 ± 7,1	79,1 ± 4,0

При действии индукторов агрегации тромбоцитов происходит увеличение внутриклеточной концентрации ионов Ca²⁺. Амплитуда возросшего уровня цитоплазматического кальция в присутствии 1 мМоль/л Са²⁺ в ответ на действие тромбина в тромбоцитах крысы на 30-е сутки после облучения была значительно выше по сравнению с контрольной группой (275,5 ± 48,4) нмоль/л и (174,5 ± 23,6) нмоль/л соответственно (рисунок 1). В ответ на действие АДФ в кальций содержащей среде достоверных изменений в концентрации ионов кальция в тромбоцитах облученных крыс на 30-е сутки после облучения по сравнению с контрольной группой не выявлено (143,7 ± 16,1) нмоль/л (контрольная группа) и (145,9 ± 5,8) нмоль/л (30-е сутки).

Добавление ТГ в низкой концентрации (10 нмоль/л) приводит к росту концентрации [Ca²⁺]_i из-за выхода ионов кальция из плотной тубулярной системы. Концентрация ионов кальция после добавления ТГ в тромбоцитах крыс на 30-е сутки после облучения (148,1 ± 10,6) нмоль/л не отличался от значений, полученных в контрольной группе животных (140,1 ± 26,7) нмоль/л, однако в тромбоцитах облученных животных регистрировали значительное увеличение входа ионов Са²⁺ из внешней среды после действия тапсигаргина (1476,5 ± 126,4) нмоль/л и (304,5 ± 56,6) нмоль/л соответственно.

Заключение

При действии γ -излучения на тромбоциты крыс было выявлено изменение показателей кальциевого обмена в ближайшие и отдаленные сроки после облучения:

1. На 3-е сутки после облучения наблюдалось увеличение базального уровня ионов кальция в тромбоцитах облученных крыс как в бескальциевой (100 мкМ ЭГТА) и в кальций-содержащей среде (1 мМ), а также при действии физиологических индукторов агрегации тромбоцитов — АДФ (20 мкМ) и тромбина (0,2 ед/мл). При действии иономицина в присутствии тапсигаргина, являющегося ингибитором Ca^{2+} -АТФазы эндоплазматического ретикулума, концентрация ионов кальция в цитоплазме тромбоцитов, суспендированных в бескальциевой среде в контрольной группе была ниже, чем в тромбоцитах облученных крыс.

2. На 10-е сутки после облучения в бескальциевой среде отмечается снижение уровня ионов кальция в цитоплазме тромбоцитов и его нормализация в кальций-содержащей среде, а также увеличение концентрации ионов кальция в ответ на действие АДФ (20 мкМ) в присутствии 1 мМ CaCl_2 . Концентрация ионов кальция в цитоплазме тромбоцитов при действии тапсигаргина была ниже, чем в контрольной группе.

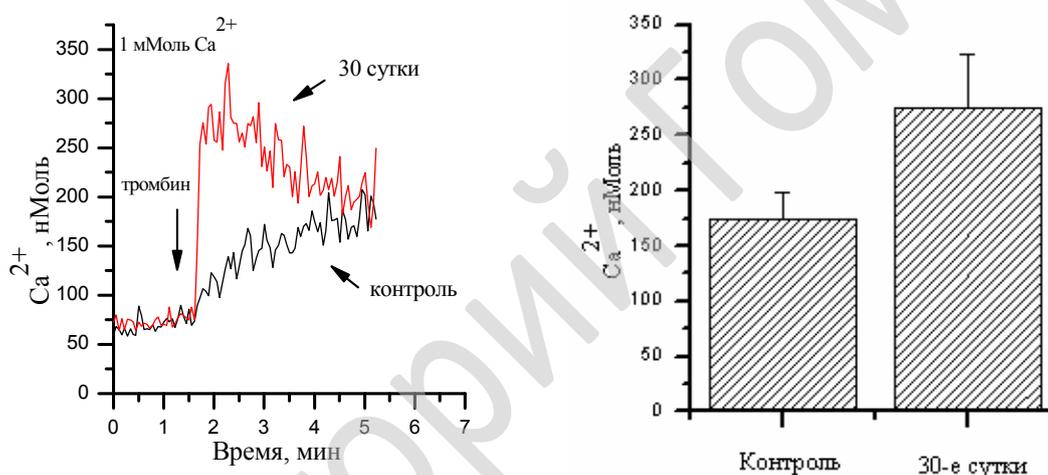


Рисунок 1 — Тромбин-индуцированный выход кальция из внутриклеточных депо тромбоцитов, суспендированных в буфере, содержащем 1 ммоль/л CaCl_2 . Концентрация тромбина 0,05 мг/мл

3. На 30-е сутки после облучения содержание ионов кальция в бескальциевой и кальций-содержащей среде соответствовало показателям в контрольной группе, при действии тромбина наблюдалось увеличение внутриклеточной концентрации ионов Ca^{2+} , а при действии АДФ — достоверно не отличалось от нормы. Концентрация ионов кальция после добавления тапсигаргина в тромбоцитах крыс после облучения не отличался от значений, полученных в контрольной группе животных.

ЛИТЕРАТУРА

1. Platelet morphology, biochemistry, and function / J. A. Ware [et al.] // Williams' Hematology. — 1995. — Vol. 5. — P. 1161–1201.
2. Топалов, Н. Н. Исследование свойств и механизмов формирования субпопуляций активированных тромбоцитов: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.01.02. / Н. Н. Топалов // Институт биохимической физики им. Н. М. Эмануэля РАН. — М., 2012. — 28 с.
3. Методы исследования и клиническое значение агрегации тромбоцитов. Фокус на спонтанную агрегацию / В. И. Козловский [и др.] // Вестник ВГМУ. — 2013. — № 4. — С. 79–91.

**РАДИОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ВОЗВРАТА
В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЙ ОБОРОТ ЗЕМЕЛЬ, ВЫВЕДЕННЫХ
ПО РАДИАЦИОННОМУ ФАКТОРУ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ**

А. Г. Подоляк, А. Ф. Карпенко, С. А. Тагай, Т. В. Ласько

**Республиканское научно-исследовательское унитарное предприятие
«Институт радиологии» Национальной академии наук Беларуси
г. Гомель, Республика Беларусь
alexpodolyak@tut.by**

Введение

После катастрофы на Чернобыльской АЭС обширные территории сельскохозяйственных земель в Республике Беларусь подверглись радиоактивному загрязнению, особенно в Гомельской и Могилевской областях. За период 1986–1991 гг. из состава сельскохозяйственных земель были выведены земли, с плотностью загрязнения ^{137}Cs более 40 Ки/км² и ^{90}Sr более 3 Ки/км², которые вошли в состав зон отчуждения и отселения, а также земли с более низкой плотностью загрязнения, на которых было невозможно производство продукции с допустимыми уровнями содержания ^{137}Cs и ^{90}Sr [1, 2]. Их площадь составила 216,3 тыс. га в Гомельской и 47 тыс. га в Могилевской областях. В постчернобыльский период происходит естественный распад радионуклидов (убыль за счет радиоактивного распада ^{90}Sr составляет 2,35 % в год, ^{137}Cs — 2,27 %) [3, 4].

Благодаря естественному распаду радионуклидов снижается загрязнение всех сельскохозяйственных угодий, в том числе и выведенных из оборота. На этом основании за постчернобыльский период в республике около 17,5 тыс. га уже возвращено в хозяйственный оборот (таблица 1) [5].

Таблица 1 — Возврат земель в Республике Беларусь из категории радиационно-опасных земель в сельскохозяйственный оборот

Область	Периоды, годы		
	1993–1998	2006–2014	Всего, га
Брестская	—	99	99
Гомельская	12848,1	1770,4	14618,5
Могилевская	1744,7	1046,5	2791,2
<i>Итого по Республике</i>	<i>14592,8</i>	<i>2915,9</i>	<i>17 508,7</i>

Улучшение радиологической ситуации происходит и в настоящее время. В этой связи перед работниками агропромышленного производства встали вопросы о правильном использовании в сельскохозяйственном производстве земель, ранее выведенных из хозяйственного оборота, и которые, в первую очередь, характеризуются высоким почвенным плодородием [4].

Для решения вопросов о хозяйственном использовании ранее выведенных из оборота земель требуется их предварительное радиологическое и агрохимическое обследование, так как, в соответствии с действующим в Республике Беларусь законодательством (Закон Республики Беларусь от 26 мая 2012 г. «О правовом режиме территорий, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате катастрофы на Чернобыльской АЭС»), земли с плотностью загрязнения ^{137}Cs выше 40 Ки/км² или ^{90}Sr выше 3 Ки/км² относятся к категории радиационно-опасных и их нельзя использовать в сельскохозяйственном производстве [4, 5].

Процедура ввода земель в хозяйственный оборот осуществляется в соответствии с «Положением о порядке отнесения земель к категории радиационно-опасных и перевода их в разряд земель отчуждения либо ограниченного хозяйственного пользования, исключения земель из категории радиационно-опасных и перевода их в хозяйственное пользование в соответствии с основным целевым назначением, исключения земель из разряда зе-

мель отчуждения и перевода их в разряд земель ограниченного хозяйственного пользования» (утв. Постановлением Совета Министров от 22 марта 2010 г. № 405) на основании результатов их радиологического и агрохимического обследования, которое проводится в соответствии с методическими указаниями «Крупномасштабное агрохимическое и радиологическое обследование почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь» [4, 7].

Использовать в сельскохозяйственном производстве выведенные ранее по радиационному фактору земли возможно только после положительного решения о переводе их из категории радиационно-опасных в разряд земель ограниченного хозяйственного пользования [8].

Цель

Оценить особенности перехода радионуклидов из почвы в сельскохозяйственные культуры при возврате в сельскохозяйственный оборот земель из категории радиационно-опасных и разработать пути снижения их поступления в сельскохозяйственную продукцию.

Материал и методы исследования

Для решения поставленной цели нами проведено изучение параметров перехода радионуклидов (^{137}Cs , ^{90}Sr) в сельскохозяйственные культуры в зависимости от биологических особенностей и системы применения удобрений на экспериментальном участке ранее выведенных по радиационному фактору земель в Брагинском район Гомельской области вблизи бывшего населенного пункта (б.н.п.) Рафалов (42 км от ЧАЭС). Почва участка — дерново-подзолистая супесчаная с высокой плотностью загрязнения радионуклидами: ^{137}Cs — 993 кБк/м² (26,8 Ки/км²), ^{90}Sr — 91,2 кБк/м² (2,5 Ки/км²). Средние показатели агрохимических характеристик почвы имели показатели: рНКСl — 5,5; P₂O₅ — 143 мг/кг; K₂O — 217 мг/кг; СаО — 1008 мг/кг; MgO — 96 мг/кг почвы; гумус — 3,1 %, сумма поглощенных оснований — 7,9 ммоль/100 г почвы.

Исследования проводились в двух севооборотах (зернотравяном и плодосменном) с различными сельскохозяйственными культурами согласно схеме чередования культур по годам на двух фонах применения известковых удобрений (рекомендуемая доза доломитовой муки 5 т/га и повышенная 7,5 т/га), а также двух фонах калийных (рекомендуемая доза калийных удобрений K₁₂₀ и повышенная K₁₈₀). Схема чередования культур в севооборотах по годам представлена в таблице 2.

Общая площадь делянок в опыте — 250 м², повторность в эксперименте — трехкратная. Содержание ^{137}Cs в почве и растениях определялось на гамма-спектрометре «Canberra-Packard», ^{90}Sr — радиохимическим методом в модификации ЦИНАО с радиометрическим окончанием на альфа-бета счетчике «Canberra-2400», Бк/кг.

Таблица 2 — Схема чередования культур в севооборотах полевого эксперимента

Год	Плодосменный севооборот	Зернотравяной севооборот
2011	Озимое тритикале (зеленая масса)	Озимое тритикале (зеленая масса) + с подсевом многолетней бобово-злаковой травосмеси
2012	Озимое тритикале (зерно)	Многолетние бобово-злаковые травы (зеленая масса, сено) 1 года пользования
2013	Озимый рапс (зеленая масса, семена)	Многолетние бобово-злаковые травы (зеленая масса, сено) 2 года пользования
2014	Яровая пшеница (зерно)	Многолетние бобово-злаковые травы (зеленая масса, сено) 3 года пользования

Результаты исследования и их обсуждение

Установлено, что применение защитных мероприятий на дерново-подзолистых супесчаных почвах при их вводе в оборот (совместное внесение известковых и минеральных удобрений) способствует снижению поступления радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr в возделываемые сельскохозяйственные культуры. Минимальные коэффициенты перехода радионуклидов (Кп) в урожай сельскохозяйственных культур наблюдаются при внесении минеральных удобрений в дозе N₉₀P₉₀K₁₈₀ на фоне 7,5 т/га доломитовой муки (плодосменный севооборот) и в дозе N₃₀P₆₀K₁₈₀ на фоне 7,5 т/га доломитовой муки под многолетние бобово-злаковые травы (зернотравяной севооборот).

Параметры перехода ^{137}Cs и ^{90}Sr (таблица 3) из дерново-подзолистой супесчаной почвы в злаковые зерновые культуры не превышали данных, представленных в «Рекомендациях по ведению сельскохозяйственного производства в условиях радиоактивного загрязнения земель Республики Беларусь на 2012–2016 гг.» [6] для группы почв с аналогичными агрохимическими показателями. Параметры перехода ^{137}Cs в семена озимого рапса до 10 раз меньше, чем таковые для ярового рапса. Переход ^{90}Sr в семена озимого рапса в два раза выше, чем для ярового рапса.

Таблица 3 — Диапазон значений коэффициентов перехода ($\text{Кп Бк/кг} : \text{кБк/м}^2$) ^{137}Cs и ^{90}Sr в сельскохозяйственные культуры плодосменного севооборота (обменный калий 141–200 мг/кг почвы, рН 5,1–5,5)

Сельскохозяйственная культура	^{137}Cs	^{90}Sr
Озимое тритикале (зеленая масса)	0,03-0,13	2,8-4,6
Озимое тритикале (зерно)	0,01-0,03	0,3-0,6
Озимый рапса (зеленая масса)	0,08-0,16	1,7-4,2
Озимый рапса (семена)	0,01-0,03	1,9-3,3
Яровая пшеница (зерно)	0,01-0,03	0,7-1,4
Многолетние бобово-злаковые травы (зеленая масса)	0,06-0,23	7,9-19,7

По сравнению с контрольным вариантом происходит снижение параметров перехода радионуклидов: для зеленой массы озимых тритикале, рапса и бобово-злаковых трав ^{137}Cs — до 4 раз, ^{90}Sr — до 2,5 раз; для зерна (озимое тритикале, яровая пшеница), семян озимого рапса ^{137}Cs — до 3 раз и ^{90}Sr — до 2 раз.

На основании полученных результатов исследований можно рекомендовать следующие схемы севооборотов для возделывания сельскохозяйственных культур на дерново-подзолистых почвах при их возвращении из категории радиационно-опасных в сельскохозяйственный оборот (таблица 4).

Таблица 4 — Схемы севооборотов для возделывания сельскохозяйственных культур на дерново-подзолистых суглинистых и супесчаных почвах при их возвращении в сельскохозяйственный оборот

Зерно-травяной севооборот		Плодосменный севооборот	
1	Озимые (яровые) зерновые + многолетние бобово-злаковые травы	1	Озимые (яровые) зерновые + клевер
2	Многолетние бобово-злаковые травы	2	Клевер
3	Многолетние бобово-злаковые травы	3	Озимый (яровой рапс)
4	Многолетние бобово-злаковые травы	4	Яровая пшеница (ячмень)+пожнивные
5	Многолетние бобово-злаковые травы	5	Однолетние бобово-злаковые смеси (горох + овес, вика + овес)
6	Многолетние бобово-злаковые травы	6	Озимые зерновые + пожнивные
		7	Яровой рапс на семена + однолетние травы
		8	Однолетние травы + поукосные

Заключение

При возвращении в сельскохозяйственный оборот бывших радиационно-опасных земель на дерново-подзолистых почвах требуется в обязательном порядке проведение комплекса агрохимических и агротехнических защитных мер (известкование, внесение фосфорных и калийных удобрений, подбор культур с низкими параметрами накопления радионуклидов). В связи с высокими уровнями поступления радионуклидов (особенно ^{90}Sr) производимая на этих землях сельскохозяйственная продукция должна использоваться на фураж или для переработки на технические цели. Зерновые и технические культуры рекомендуется возделывать в севооборотах плодосменного типа, а кормовые культуры — в специализированных кормовых севооборотах вблизи животноводческих комплексов и ферм.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексахин, Р. М. Радиоактивное загрязнение почв как тип их деградации / Р. М. Алексахин // Почвоведение. — 2009. — № 12. — С. 1487–1498.
2. Карпенко, А. Ф. Эколого-экономические проблемы агропроизводства Гомельской области после Чернобыльской катастрофы: монография / А. Ф. Карпенко. — Брянск: Дельта, 2012. — 258 с.
3. Подоляк, А. Г. Влияние агрохимических и агротехнических приемов улучшения основных типов лугов Белорусского Полесья на поступление в травостой ^{137}Cs и ^{90}Sr : автореф. дис. ... канд. с-х. наук, 06.01.04; НИРУП «Институт почвоведения и агрохимии» / А. Г. Подоляк. — Минск, 2002. — 19 с.
4. Подоляк, А. Г. Рекомендации по использованию возвращаемых в оборот загрязненных радионуклидами сельскохозяйственных земель / А. Г. Подоляк. — Гомель: РНИУП «Институт радиологии», 2015. — 35 с.
5. Седукова, Г. В. О возможности возвращения в оборот земель, выведенных после катастрофы на Чернобыльской АЭС / Г. В. Седукова, С. А. Исаченко / VII съезд по радиационным исследованиям: тезисы докладов, Москва, 21–24 окт. 2014 г. — М.: РУДН, 2014. — С. 329.
6. Рекомендации по ведению сельскохозяйственного производства в условиях радиоактивного загрязнения земель Республики Беларусь на 2012–2016 гг. — Минск: РНИУП «Институт радиологии», 2012. — 121 с.
7. Крупномасштабное агрохимическое и радиологическое обследование почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь: методические указания. — Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии, 2012. — 48 с.
8. Требования к радиационной безопасности: санитарные нормы и правила: утв. постановлением Минздрава Республики Беларусь, 28 дек. 2012 г. № 213 // Нац. реестр правовых актов Республики Беларусь. — 2013. — 8/26850.

УДК 582:546.11.027*3

ИССЛЕДОВАНИЕ ПУТЕЙ МИГРАЦИИ ТРИТИЯ В РАСТЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ *HELIANTHUS ANNUS*

Е. Н. Поливкина, Н. В. Ларионова, О. Н. Ляхова, С. Н. Лукашенко

**Филиал «Институт радиационной безопасности и экологии»
Республиканское государственное предприятие
«Национальный ядерный центр Республики Казахстан»
г. Курчатов, Республика Казахстан
polivkina@nnc.kz**

Введение

В результате ядерных испытаний, проведенных на Семипалатинском испытательном полигоне (СИП), сформировались участки, где тритий (^3H) фиксируется в значимых количествах [1] и представляет опасность для прилегающих территорий вследствие высокой миграционной активности нуклида. Как известно, изотоп ^3H обладает способностью включаться в важнейшие биомолекулярные структуры клеток. Таким образом, изучение путей миграции и перераспределения ^3H между компонентами экосистемы является актуальной проблемой. В данном аспекте изучение роли растений в поглощении и перераспределении ^3H имеет важное значение.

Цель

Исследование особенностей ассимиляции ^3H растениями на примере *Helianthus Annus* при корневом и аэральном поступлении.

Материал и методы исследования

Для исследования путей миграции ^3H использовали предварительно выращенные на фоновой почве в условиях оранжереи 10-дневные проростки *Helianthus Annus*. Посадке растений предшествовал анализ на валовое содержание ^3H в почве, который показал, что концентрация нуклида находится вне пределов обнаружения (< 60 Бк/кг).

Модельный эксперимент по изучению ассимиляции ^3H при корневом поступлении осуществляли в специальном боксе оранжереи для исключения аэрального поступления. В течение вегетации полив экспериментальных растений производили водой с высоким содержанием окиси ^3H (НТО). Воду для полива отбирали на испытательной площадке «Дегелен» непосредственно из водопровода штольни № 176 с высоким содержанием НТО.

Изучение аэральной миграции ^3H в растения осуществляли на экспериментальном участке на испытательной площадке «Дегелен» в 50 м от портала штольни № 176 с высокой удельной активностью ^3H в атмосферном воздухе. Исключение корневого поступления ^3H обеспечивали за счет полива экспериментальных растений привозной водой с удельной активностью изотопа ниже предела обнаружения.

Обор проб растений, воздуха и воды производили каждые 10 дней в течение вегетационного периода. В конце вегетации отобраны пробы вегетативных органов подсолнечника (корни, стебли, листья, соцветия) для выявления особенностей распределения форм ^3H по органам растений.

Удельную активность ^3H определяли жидкостинтилляционным методом с использованием спектрометра QUANTULUS 1200 [2, 3]. Водяные пары атмосферного воздуха отбирали методом криогенного вымораживания. Выделение свободной воды растений производили посредством специальной установки [4], подготовку образцов для определения органически связанного ^3H (ОСТ) производили с использованием Sample Oxidizer.

Результаты исследования и их обсуждение

При изучении корневого поглощения ^3H растениями удельная активность радионуклида в штольневой воде, используемой для полива, и в свободной воде растений варьировала в широких пределах (таблица 1). Установлена тесная корреляционная зависимость между концентрацией ^3H в свободной воде растений подсолнечника и содержанием НТО в поливной воде ($r = 0,9$).

Концентрация ОСТ возросла к концу вегетации почти в 4 раза. Следует отметить, что рост содержания ОСТ сопровождался незначительными колебаниями (в 1–1,3 раза). Данный факт обусловлен нестабильностью фракции ОСТ, поскольку она представлена многочисленными органическими структурами (глюкоза, аминокислоты, трикарбоновые кислоты, белки, крахмал и т. д.), которые в зависимости от физиологического состояния растения могут включаться в процессы диссимиляции с последующим переходом изотопа снова в свободную воду растений. Так, согласно данным исследований [6] около 10–30 % фракции, содержащей ОСТ, является лабильной. Корреляционная зависимость концентрации ОСТ от содержания НТО в поливной воде очень слабая ($r = 0,5$), поскольку фракция ОСТ — это результат не прямого поступления, а метаболического инкорпорирования радионуклида в органическое вещество [6, 7].

Таблица 1 — Динамика содержания ^3H в воде и растениях при корневом поглощении

Период исследования (сутки)	Удельная активность ^3H , кБк/кг		
	в поливной воде	в свободной воде растений	в органической составляющей растений
13	195	130	18
27	190	84	23
35	182	120	22
41	500	360	40
52	540	300	29
60	200	170	70

В опыте по изучению аэральной миграции ^3H в растения удельная активность изотопа в воздухе экспериментального участка изменялась в широком диапазоне (от 300 до 1500 Бк/м³), так как данный параметр зависит от многих факторов окружающей среды (атмосферное давление, относительная влажность воздуха, температура, скорость ветра и т. д.). При этом наблюдалась выраженная тенденция к росту значений удельной активности ^3H в свободной воде растений и органической составляющей в течение всего периода вегетации (таблица 2).

Таким образом, концентрация радионуклида в свободной воде растений к концу вегетации возросла в 7 раз, а в органической составляющей — в 2 раза.

Значения концентрации НТО в парах воздуха тесно коррелировали с удельной активностью ^3H в свободной воде растений ($r = 0,7$), тогда как содержание ОСТ не зависело напрямую от содержания радионуклида в воздухе ($r = 0,1$).

Таблица 2 — Динамика содержания ^3H в воде и растениях при аэральном поглощении

Период исследования (сутки)	Удельная активность ^3H		
	в воздухе, Бк/м ³	в свободной воде растений, Бк/кг	в органической составляющей растений, Бк/кг
14	700	4500	3000
29	300	10000	2300
37	340	12000	2000
45	1400	22000	3200
51	740	24000	3800
63	1500	32000	6400
74	920	22000	5700

В целом, между значениями удельной активности ^3H в свободной воде и в органической составляющей подсолнечника при корневом поглощении корреляционная зависимость практически отсутствовала ($r = 0,2$), а при аэральном поступлении изотопа имела высокий коэффициент корреляции ($r = 0,8$).

Установлен характер распределения ^3H в свободной воде и органической составляющей по органам подсолнечника при корневом и аэральном поступлении (рисунок 1).

Так, в условиях корневого поглощения удельная активность изотопа в свободной воде органов подсолнечника возрастала в следующем ряду: «листья < стебли < соцветия < корни». По сравнению с удельной активностью ^3H в свободной воде, концентрация ОСТ возрастала в противоположном направлении: «корни < листья < стебли < соцветия».

В условиях аэрального поглощения удельная активность ^3H в свободной воде органов изменялась в следующем возрастающем ряду: «корни < соцветия < стебли < листья». Содержание ОСТ по органам распределялось согласно следующему ряду: «корни < стебли < листья < соцветия».

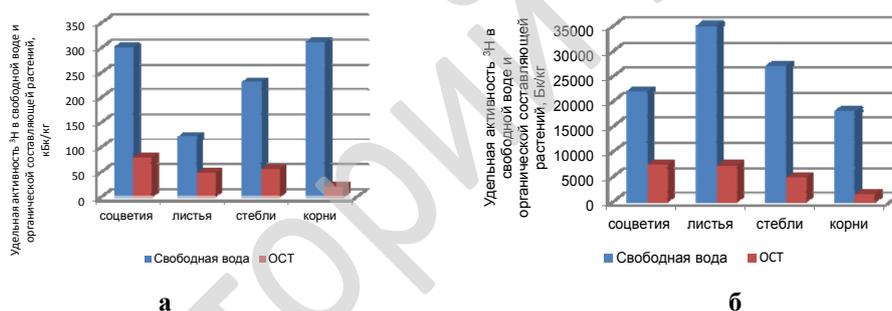


Рисунок 1 — Распределение форм ^3H по органам подсолнечника:
а — корневое поступление; б — аэральное поглощение

Заключение

В результате экспериментальной работы установлены особенности ассимиляции и перераспределения ^3H в растениях *Helianthus Annus* в зависимости от пути поступления радионуклида. Удельная активность ^3H в воде и воздухе тесно коррелирует с содержанием радионуклида в свободной воде растений и практически не влияет на концентрацию ОСТ. Корреляционная зависимость между концентрацией ^3H в свободной воде и в органической составляющей также зависит от пути поступления радионуклида в растение.

ЛИТЕРАТУРА

1. Актуальные вопросы радиоэкологии Казахстана: сб. тр. Национального ядерного центра Республики Казахстан за 2011 г. / под рук. С. Н. Лукашенко. — Павлодар: Дом печати, 2015. — Т. 2, Вып. 3. — С. 207–215.
2. Методы измерения трития : рекомендации Нац. ком. по радиац. защите и измерениям (НКРЗ) США / под ред. Ю. В. Сивинцева; пер. с англ. М. И. Рохлина и Г. М. Рохлина. — М.: Атомиздат, 1978. — 94 с.
3. Качество воды — определение активности трития, соответствующей данной концентрации — жидкостной методом сцинтилляционного счета: ISO 9698-1989 /Е/.
4. Лукашенко, С. Н. Установка для извлечения воды из образцов / С. Н. Лукашенко, Н. В. Ларионова, В. П. Зарембо; инновационный патент РК № 29721, 15.04.2015, бюл. № 4.
5. Якушкина, Н. И. Физиология растений: учебник / Н. И. Якушкина, Е. Ю. Бахтина. — М.: ВЛАДОС., 2004. — С. 226.
6. Calmon, P. Radionuclide fact sheet / P. Calmon, J. Garnier-Laplace // Tritium and the environment. — 2010. — P. 10.
7. Intercomparison of model predictions of tritium concentrations in soil and foods following acute airborne НТО exposure / P. J. Barry [et al.] // Journal of Environmental Radioactivity. — 1999. — № 42. — P. 191–207.

**ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ КРОВЕТВОРНОЙ СИСТЕМЫ ПОТОМКОВ
ПЕРВОГО И ВТОРОГО ПОКОЛЕНИЙ КРЫС, РОДИТЕЛИ КОТОРЫХ
БЫЛИ ПОДВЕРЖЕНЫ ВЛИЯНИЮ ИНКОРПОРИРОВАННОГО ^{131}I**

*Е. М. Прохорова¹, Н. П. Атаманюк¹, Е. А. Сова²,
И. П. Дрозд², А. И. Липская², В. В. Талько¹*

¹Государственное учреждение
«Национальный научный центр радиационной медицины
Национальной академии медицинских наук Украины»,

²«Институт ядерных исследований Национальной академии наук Украины»

г. Киев, Украина

eugen.pro91@gmail.com

Введение

Кроветворная система — одна из самых радиочувствительных систем организма человека и животных. Главным источником регенерации клеток периферической крови является красный костный мозг, который относится к группе критических органов, которые подвергаются радиационному воздействию в первую очередь. Исходя из этого, изучение изменений клеточного состава крови вследствие инкорпорации радиоизотопов представляет большой теоретический и практический интерес, поскольку позволяет прогнозировать результат облучения и его воздействие на организм как на первичных стадиях поражения, так и в отдаленные сроки [1, 2].

Известно, что у облученных животных, вследствие нарушения процессов митотического деления и деструктивных дегенеративных изменений, наблюдается снижение общего числа лейкоцитов, цитопения, моноцитоз, увеличение числа атипичных клеток, изменения размеров и форм клеток, нарушения ядерно-цитоплазматического соотношения и наличие слабо дифференцированных форм клеток крови [3, 6].

Цель

Изучить состояние периферической крови белых лабораторных крыс-родителей, однократно облученных перорально изотопом ^{131}I и их потомков первого и второго поколения.

Материал и методы исследования

Экспериментальные исследования проведенные на 114 белых лабораторных крысах обоего пола возрастом 4,5 месяца, из них 18 животных-родителей (12 самок и 6 самцов) для получения потомства, 48 потомков первого поколения обоего пола. Создание модели облучения животных радиойодом осуществлено в Институте ядерных исследований НАН Украины [5]. Животных удерживали в вивариуме на стандартном рационе и доступе к воде. Крысам-родителям вводили перорально через зонд по 27,35 кБк йодида натрия (Na^{131}I), что формировало дозу облучения щитовидной железы у самок 5,8 Гр, у самцов 3,75 Гр. Через сутки после введения радионуклида подопытным животным (контрольным — дистиллированной воды), крысы были рассажены для спаривания с целью получения потомства от интактных животных (биологический контроль), от облученных самцов и самок, от облученных самок и интактных самцов, и от облученных самцов и интактных самок. Через 1 месяц после рождения и грудного вскармливания первого поколения потомков, их распределили по группам в соответствии с условиями эксперимента: контрольные группы самцы и самки, рожденные от интактных крыс (группы 1 и 5), животные рожденные от облученных самцов и самок (группы 2 и 6), рожденные от облученных самок и интактных самцов (группы 3 и 7), и рожденные от интактных самок и облученных самцов (группы 4 и 8).

Содержание и выведение животных из эксперимента путем моментальной декапитации гильотиной осуществляли с соблюдением требований Закона Украины «Про защиту животных от жестокого поведения» [7].

Морфологические исследования периферической крови проводили общепринятыми методами: подсчет клеток крови — эритроцитов, тромбоцитов, лейкоцитов, и лейкограммы. Лимфоциты дифференцировали в зависимости от их формы и подсчитывали в мазках крови на 100 клеток [8].

Результаты исследования и их обсуждение

Основные результаты гематологических исследований у животных, которые были задействованы в эксперименте, были использованы для отбора особей, которым однократно вводили ^{131}I и рассаживали на спаривание. Выведенные из эксперимента животные были обследованы, при этом существенных изменений гематологических показателей по сравнению с контролем не было выявлено.

В аналогичном исследовании периферической крови, авторами [4], после однократного облучения в дозе 6,0 Гр были обнаружены типичные для облучения изменения: через 3 суток наблюдалась тромбоцитопения, лейкопения и тенденция к уменьшению количества эритроцитов в крови, а количество лейкоцитов находилось на критическом уровне — $1,0 \times 10^9/\text{л}$. Также наблюдался незначительный моноцитоз и наличие иммунобластов. После 14 суток начался процесс возобновления в системе крови, который характеризовался увеличением количества лейкоцитов до $(3,85 \pm 1,39) \times 10^9/\text{л}$ по сравнению с $(0,98 \pm 0,14) \times 10^9/\text{л}$ на 7 сутки. Тем не менее, количество эритроцитов и тромбоцитов оставалась на низком уровне.

Исследования периферической крови потомков первого поколения животных, родители которых были подвержены влиянию инкорпорированного ^{131}I не показали весо-вых изменений по сравнению с контролем. У животных был выявленный умеренный лейкоцитоз — в группе, рожденных от обоих облученных родителей. Количество эритроцитов было снижено у самок в группе, где облучены оба родителя. Также наблюдалось достоверное снижение абсолютного числа сегментоядерных лимфоцитов в группе самок, рожденных от облученных самок, а также снижение количества малых лимфоцитов у самцов из группы с облученными самцами-родителями. Результаты исследования приведенные в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 — Гематологические показатели самцов первого поколения, рожденных от животных, которые подверглись влиянию инкорпорированного ^{131}I .

Показатели	1 группа (контроль) (n = 6)	2 группа (n = 6)	3 группа (n = 6)	4 группа (n = 8)
Эритроциты, $10^{12}/\text{л}$	$6,83 \pm 0,30$	$6,05 \pm 0,37$	$6,14 \pm 0,51$	$6,73 \pm 0,21$
Тромбоциты, $10^9/\text{л}$	$508,14 \pm 60,13$	$419,82 \pm 30,16$	$336,55 \pm 22,42^*$	$436,70 \pm 26,54$
Лейкоциты, $10^9/\text{л}$	$2,06 \pm 0,33$	$3,49 \pm 0,60^*$	$2,29 \pm 0,45$	$2,27 \pm 0,18$
Палочкоядерные, %, абсол. кол-во, $10^9/\text{л}$	$5,00 \pm 0,56$ $10,00 \pm 1,12$	$5,58 \pm 0,51$ $11,17 \pm 0,86$	$4,83 \pm 0,65$ $9,67 \pm 1,31$	$5,17 \pm 0,51$ $11,25 \pm 0,92$
Сегментоядерные, %, абсол. кол-во, $10^9/\text{л}$	$11,67 \pm 1,87$ $23,33 \pm 3,74$	$11,58 \pm 1,71$ $23,17 \pm 3,42$	$8,58 \pm 1,46$ $17,17 \pm 2,93$	$11,17 \pm 1,89$ $24,00 \pm 3,79$
Эозинофильные гранулоциты, %, абсол. кол-во, $10^9/\text{л}$	$0,58 \pm 0,25$ $1,17 \pm 0,50$	$0,25 \pm 0,14$ $0,50 \pm 0,28$	$0,33 \pm 0,19$ $0,67 \pm 0,37$	$1,17 \pm 0,46$ $1,88 \pm 0,87$
Моноциты, %, абсол. кол-во, $10^9/\text{л}$	$0,42 \pm 0,31$ $0,83 \pm 0,62$	$1,00 \pm 0,37$ $2,00 \pm 0,75$	$0,33 \pm 0,19$ $0,67 \pm 0,37$	$1,08 \pm 0,43$ $1,75 \pm 0,80$
Лимфоциты, %, абсол. кол-во, $10^9/\text{л}$	$32,08 \pm 2,38$ $64,17 \pm 4,76$	$30,25 \pm 2,85$ $60,50 \pm 5,70$	$35,17 \pm 1,96$ $70,33 \pm 3,92$	$28,50 \pm 2,52$ $56,63 \pm 5,03$
Большие лимфоциты, %, абсол. кол-во, $10^9/\text{л}$	$15,67 \pm 1,62$ $31,33 \pm 3,24$	$14,75 \pm 1,96$ $29,50 \pm 3,92$	$20,83 \pm 2,15$ $41,67 \pm 4,30$	$16,08 \pm 2,75$ $32,38 \pm 5,51$
Малые лимфоциты, %, абсол. кол-во, $10^9/\text{л}$	$16,42 \pm 1,54$ $32,83 \pm 3,08$	$15,50 \pm 1,68$ $31,00 \pm 3,36$	$14,33 \pm 3,36$ $28,67 \pm 6,72$	$12,42 \pm 1,42^*$ $24,25 \pm 2,84^*$
Иммунобласты, %, абсол. кол-во, $10^9/\text{л}$	$0,25 \pm 0,19$ $0,50 \pm 0,37$	$0,33 \pm 0,19$ $0,67 \pm 0,37$	$0,75 \pm 0,42$ $1,50 \pm 0,84$	$0,58 \pm 0,25$ $1,00 \pm 0,47$

* — разница достоверна относительно контроля, $p \leq 0,05$.

Таблица 2 — Гематологические показатели самок первого поколения, рожденных от животных, которые подверглись влиянию инкорпорированного ¹³¹I.

Показатели	5 группа (контроль) (n = 3)	6 группа (n = 6)	7 группа (n = 6)	8 группа (n = 8)
Эритроциты, 10 ¹² /л	6,69 ± 0,12	5,89 ± 0,30*	6,54 ± 0,36	7,29 ± 0,34*
Тромбоциты, 10 ⁹ /л	369,27 ± 60,21	267,47 ± 14,64	380,58 ± 35,39	415 ± 38,52
Лейкоциты, 10 ⁹ /л	1,90 ± 0,23	3,93 ± 0,54*	1,72 ± 0,18	1,45 ± 0,16*
Палочкоядерные, %, абсол. кол-во, 10 ⁹ /л	5,00 ± 1,16 10,00 ± 2,32	5,25 ± 0,61 10,50 ± 1,21	4,58 ± 0,72 9,17 ± 1,43	5,50 ± 0,47 11,00 ± 0,95
Сегментоядерные, %, абсол. кол-во, 10 ⁹ /л	11,00 ± 1,74 22,00 ± 3,48	9,33 ± 0,93 18,67 ± 1,87	7,50 ± 0,75 15,00 ± 1,49*	11,00 ± 1,07 22,00 ± 2,13
Эозинофильные гранулоциты, %, абсол. кол-во, 10 ⁹ /л	0,17 ± 0,19 0,33 ± 0,39	0,33 ± 0,19 0,67 ± 0,37	0,33 ± 0,25 0,67 ± 0,50	0,44 ± 0,16 0,88 ± 0,31
Моноциты, %, абсол. кол-во, 10 ⁹ /л	0,17 ± 0,19 0,33 ± 0,39	0,25 ± 0,19 0,50 ± 0,37	0,25 ± 0,23 0,50 ± 0,47	0,31 ± 0,15 0,63 ± 0,30
Лимфоциты, %, абсол. кол-во, 10 ⁹ /л	33,50 ± 2,90 67,00 ± 5,81	34,58 ± 1,45 69,17 ± 2,90	37,17 ± 1,49 74,33 ± 2,99	32,31 ± 1,24 64,63 ± 2,47
Большие лимфоциты, %, абсол. кол-во, 10 ⁹ /л	15,67 ± 1,55 31,33 ± 3,10	19,33 ± 1,31 38,67 ± 2,62	22,83 ± 3,83 45,67 ± 7,66	18,19 ± 1,97 36,38 ± 3,94
Малые лимфоциты, %, абсол. кол-во, 10 ⁹ /л	17,83 ± 3,10 35,67 ± 6,19	15,25 ± 0,65 30,50 ± 1,31	14,33 ± 3,39 28,67 ± 6,79	14,13 ± 2,06 28,25 ± 4,11
Иммунобласты, %, абсол. кол-во, 10 ⁹ /л	0,17 ± 0,19 0,33 ± 0,39	0,25 ± 0,19 0,50 ± 0,37	0,17 ± 0,13 0,33 ± 0,25	0,44 ± 0,21 0,88 ± 0,41

* — Разница достоверна относительно контроля, p ≤ 0,05.

Исследования периферической крови у животных второго поколения, родители которых были подвержены влиянию инкорпорированного ¹³¹I показали достоверное повышение тромбоцитов у самок всех исследуемых групп, а также у самцов из группы, в которой подверглись облучению оба родителя. В группе самок с обоими облученными родителями также достоверно были повышены эритроциты, в остальных исследуемых группах наблюдалась тенденция к их повышению. У самцов группы с облученными отцами наблюдалось достоверное повышение по сравнению с контролем абсолютного числа палочкоядерных лимфоцитов, а также повышение абсолютного числа моноцитов. Результаты исследования приведенные в таблицах 3 и 4.

Таблица 3 — Гематологические показатели самцов второго поколения, рожденных от животных, которые подверглись влиянию инкорпорированного ¹³¹I.

Показатели	1 группа (контроль) (n = 6)	2 группа (n = 6)	3 группа (n = 6)	4 группа (n = 8)
Эритроциты, 10 ¹² /л	7,61 ± 0,65	8,33 ± 0,50	8,89 ± 0,31	8,24 ± 0,35
Тромбоциты, 10 ⁹ /л	296,02 ± 14,00	390,38 ± 38,14*	224,12 ± 10,82*	295,83 ± 15,20
Лейкоциты, 10 ⁹ /л	2,48 ± 0,22	2,56 ± 0,30	1,59 ± 0,18*	2,40 ± 0,14
Палочкоядерные, %, абсол. кол-во, 10 ⁹ /л	3,50 ± 0,65 7,00 ± 1,31	3,33 ± 0,31 6,67 ± 0,62	2,92 ± 0,34 5,83 ± 0,69	6,58 ± 0,97* 13,17 ± 1,93*
Сегментоядерные, %, абсол. кол-во, 10 ⁹ /л	9,08 ± 1,65 18,17 ± 3,30	6,83 ± 1,31 13,67 ± 2,62	9,17 ± 1,62 18,33 ± 3,24	6,58 ± 0,44 13,17 ± 0,87
Эозинофильные гранулоциты, %, абсол. кол-во, 10 ⁹ /л	1,25 ± 0,51 2,50 ± 1,03	0,25 ± 0,19 0,50 ± 0,37	0,50 ± 0,19 1,00 ± 0,37	1,58 ± 0,34 3,17 ± 0,69
Моноциты, %, абсол. кол-во, 10 ⁹ /л	2,00 ± 0,65 4,00 ± 1,31	2,58 ± 0,33 5,17 ± 0,65	1,00 ± 0,19 2,00 ± 0,37	4,75 ± 0,89* 9,50 ± 1,77*
Лимфоциты, %, абсол. кол-во, 10 ⁹ /л	33,92 ± 3,14 67,83 ± 6,29	36,25 ± 1,17 72,50 ± 2,34	36,08 ± 1,99 72,17 ± 3,98	29,75 ± 2,52 59,50 ± 5,04
Большие лимфоциты, %, абсол. кол-во, 10 ⁹ /л	23,75 ± 1,03 47,50 ± 2,05	21,58 ± 0,79 43,17 ± 1,59	24,75 ± 2,66 49,50 ± 5,32	21,33 ± 1,87 42,67 ± 3,74
Малые лимфоциты, %, абсол. кол-во, 10 ⁹ /л	10,17 ± 2,40 20,33 ± 4,80	14,67 ± 0,78 29,33 ± 1,56	11,33 ± 1,12 22,67 ± 2,24	8,42 ± 1,53 16,83 ± 3,05
Иммунобласты, %, абсол. кол-во, 10 ⁹ /л	0,25 ± 0,14 0,50 ± 0,28	0,75 ± 0,42 1,50 ± 0,84	0,33 ± 0,25 0,67 ± 0,50	0,75 ± 0,33 1,50 ± 0,65

* — Разница достоверна относительно контроля, p ≤ 0,05.

Таблица 4 — Гематологические показатели самок второго поколения, рожденных от животных, которые подверглись влиянию инкорпорированного ¹³¹I

Показатели	5 группа (контроль) (n = 6)	6 группа (n = 6)	7 группа (n = 6)	8 группа (n = 6)
Эритроциты, 10 ¹² /л	7,12 ± 0,54	8,82 ± 0,10*	8,32 ± 0,60	8,03 ± 0,28
Тромбоциты, 10 ⁹ /л	224,28 ± 29,63	341,50 ± 34,78*	396,00 ± 67,25*	337,33 ± 35,77*
Лейкоциты, 10 ⁹ /л	1,48 ± 0,15	1,73 ± 0,33	1,60 ± 0,17	1,81 ± 0,16
Палочкоядерные, %, абсол. кол-во, 10 ⁹ /л	3,33 ± 0,53 6,67 ± 1,06	4,00 ± 0,65 8,00 ± 1,31	3,33 ± 0,53 6,67 ± 1,06	4,50 ± 0,37 9,00 ± 0,75
Сегментоядерные, %, абсол. кол-во, 10 ⁹ /л	7,08 ± 1,37 14,17 ± 2,74	4,92 ± 1,07 9,83 ± 2,15	5,33 ± 1,21 10,67 ± 2,43	3,25 ± 0,70* 6,50 ± 1,40*
Эозинофильные гранулоциты, %, абсол. кол-во, 10 ⁹ /л	1,58 ± 0,53 3,17 ± 1,06	0,58 ± 0,08 1,17 ± 0,16	0,75 ± 0,23 1,50 ± 0,47	1,50 ± 0,47 3,00 ± 0,93
Моноциты, %, абсол. кол-во, 10 ⁹ /л	3,17 ± 0,37 6,33 ± 0,75	1,75 ± 0,65 3,50 ± 1,31	3,33 ± 0,84 6,67 ± 1,68	3,83 ± 0,75 7,67 ± 1,49
Лимфоциты, %, абсол. кол-во, 10 ⁹ /л	34,58 ± 1,63 69,17 ± 3,27	38,00 ± 1,21 76,00 ± 2,43	36,25 ± 1,59 72,50 ± 3,18	36,33 ± 1,12 72,67 ± 2,24
Большие лимфоциты, %, абсол. кол-во, 10 ⁹ /л	24,83 ± 1,77 49,67 ± 3,55	26,33 ± 1,43 52,67 ± 2,86	25,50 ± 1,12 51,00 ± 2,24	27,25 ± 1,17 54,50 ± 2,34
Малые лимфоциты, %, абсол. кол-во, 10 ⁹ /л	9,75 ± 0,56 19,50 ± 1,12	11,67 ± 2,09 23,33 ± 4,17	10,75 ± 1,40 21,50 ± 2,80	9,08 ± 1,28 18,17 ± 2,55
Иммунобласты, %, абсол. кол-во, 10 ⁹ /л	0,25 ± 0,19 0,50 ± 0,37	0,75 ± 0,33 1,50 ± 0,65	1,00 ± 0,56 2,00 ± 1,12	0,58 ± 0,23 1,17 ± 0,47

* — Разница достоверна относительно контроля, $p \leq 0,05$.

Отдельные изменения количественных показателей не имеют закономерного характера и в целом могут рассматриваться как увеличение или уменьшение диапазона индивидуальных показателей.

Заключение

Таким образом, на основе созданной модели облучения животных радиойодом, были получены результаты гематологических исследований потомков первого и второго поколения крыс, рожденных от животных, которые подверглись влиянию инкорпорированного ¹³¹I, путем одноразового перорального введения водного раствора Na¹³¹I.

Было определено, что у животных первого поколения наблюдался умеренный лейкоцитоз и незначительное снижение эритроцитов, а также снижение малых лимфоцитов и сегментоядерных нейтрофилов.

У животных второго поколения выявленные изменения гематологических показателей выражаются в увеличении количества тромбоцитов и в тенденции к повышению эритроцитов, а также в повышении моноцитов и палочкоядерных нейтрофилов. Остальные количественные изменения во всех исследуемых группах не имеют закономерного характера и рассматриваются как изменение диапазона индивидуальных показателей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Comparative rating of radioprotective properties of animal poisons with condition of blood system in terms of multiple gamma-radiation / A. S. Koryagin [et al.] // *Volga Journal of Ecology*. — 2005. — Vol. 2. — P. 137–146.
2. Invited review: intrinsic radiosensitivity as a predictor of patient response to radiotherapy / C. M. West // *Journal of Radiology*. — 1995. — Vol. 68. — P. 827–837.
3. Дозозалежні зміни у системі кістковомозкового кровотворення та віддалені наслідки у тварин за тривалої дії сукупності радіонуклідів чорнобильського викиду / В. М. Індик [та ін.] // Вплив радіаційного фактора Чорнобильської зони відчуження на організм тварин. — Київ: Атіка, 2006. — С. 173–195.
4. Циганок, Т. В. Гематологічні показники за одноразового перорального надходження до організму експериментальних щурів розчину натрію йодиду / Т. В. Циганок, І. П. Дрозд, Л. В. Тарасенко // *Щорічник Інституту ядерних досліджень НАН України*. — 2015. — С. 224.
5. Дрозд, І. П. Дослідження кінетики ¹³¹I в організмі щурів за одноразового надходження / І. П. Дрозд, А. І. Липська, Л. К. Бездробна // *Ядерна фізика та енергетика*. — 2012. — Т. 13, № 3. — С. 283–288.
6. Количественные изменения периферической крови крыс после облучения / М. А. Кривенцов [та ін.] // «Біологічні дослідження – 2014»: Збірник наукових наукових праць V Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих учених і студентів. — 2014. — С. 343–346.
7. Закон України від 21.02.2006 № 3447-IV «Про захист тварин від жорстокого поводження» // *Відомості Верховної Ради України*. — 2006. — № 27. — С. 230.
8. Білько Н.М. Методи експериментальної гематології: навчально-методичний посібник. — Київ: Видавничий дім «Києво-Могилянська академія», 2006. — С. 6–7.

**ВЛИЯНИЕ ТЕРАПЕВТИЧЕСКИХ ДОЗ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ
НА КОНФОРМАЦИОННОЕ СОСТОЯНИЕ СЫВОРОТОЧНОГО АЛЬБУМИНА**

Н. Д. Пузан¹, А. А. Сулова²

¹Государственное научное учреждение
«Институт радиобиологии Национальной академии наук Беларуси»
г. Гомель, Республика Беларусь,

²Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Кировский государственный медицинский университет»
Министерства здравоохранения Российской Федерации
г. Киров, Российская Федерация
natali_lu@tut.by, annasuslova2012@gmail.com

Введение

Считается, что индуктором развития онкологической патологии у человека могут быть различные причины. С одной стороны, это генетические дефекты наследственного аппарата. С другой стороны, средовые воздействия в сочетании с генетическими изменениями. Так, по данным ВОЗ, 90 % всех злокачественных новообразований вызывается факторами окружающей среды и только 10 % — другими факторами [1].

Как это ни парадоксально, одним из наиболее эффективных методов лечения опухолевых заболеваний является лучевая терапия, которая и является одним из этиологических факторов этой болезни [2]. Применение радиации при лечении больных злокачественными опухолями вызывает повреждение тканей, окружающих патологический очаг и попадающих в сферу облучения и, как следствие, наблюдается развитие острых лучевых реакции [3–5].

Известно, что все патологические процессы, в том числе и радиационные поражения организма, сопровождаются образованием и выделением в кровь продуктов обмена, формируя синдром эндогенной интоксикации. Основной системой связывания и транспорта веществ различной химической природы в организме является сывороточный альбумин, который за счет того, что находится как внутри сосудистого русла, так и экстравазально, является информативной системой, отражающей течение метаболических процессов всего организма.

Функциональная активность альбумина зависит от конформационного состояния его белковой глобулы. Под влиянием различных физико-химических факторов в процессе комплексообразования происходят изменения пространственной структуры молекулы, которые и изменяют функциональную активность белка [6].

Бычий (БСА) и человеческий (ЧСА) сывороточные альбумины отличаются друг от друга на 3 аминокислоты и положением некоторых аминокислот, а в целом структуры этих молекул близки. Следовательно, полученные результаты исследований на БСА можно экстраполировать на молекулу человеческого сывороточного альбумина.

Помимо этого, целесообразность использования БСА для эксперимента, по сравнению с ЧСА, заключается в том, что БСА имеет 2 триптофанила, а ЧСА только 1. В молекуле БСА один триптофанил располагается там же, где и триптофанил молекулы ЧСА, а второй спрятан внутри глобулы. При разворачивании молекулы белка под действием каких-либо факторов, внутренний триптофанил перемещается на поверхность и флуоресценция БСА увеличивается. В случае ЧСА увеличение интенсивности флуоресценции не наблюдается [7].

Исходя из вышесказанного, целью данной работы было изучить влияние терапевтических доз ионизирующего излучения на конформационные изменения бычьего сывороточного альбумина.

Материал и методы исследования

Используемые реактивы:

• раствор бычьего сывороточного альбумина (Sigma-Aldrich) при концентрации 0,66 мг/мл и рН = 7,4 (фосфатный буфер).

План проведения исследования:

Терапевтическими дозами (2 Гр, 40 Гр и 70 Гр) облучался раствор БСА. О наличие конформационных изменений в молекуле белка судили по изменению значений собственной флуоресценции. *Условия регистрации:* длина возбуждения 280 нм, диапазон регистрации 300–650 нм, спектральная ширина щели возбуждения и флуоресценции — 3 нм. Исследования проводились на спектрофлуориметре CM 2203 Solar (РБ) при стабильной температуре +23 °С. Анализ полученных данных осуществлялся с использованием программы GraphPad Prizm 4.0.

Облучение растворов БСА проводилось на установке Гомельского областного клинического онкодиспансера, а анализ полученных растворов в Институте радиобиологии через 60 мин после облучения.

Результаты исследования и их обсуждение

Полученные результаты в ходе исследования влияния облучения терапевтических доз на конформационные изменения бычьего сывороточного альбумина представлены на рисунке 1.

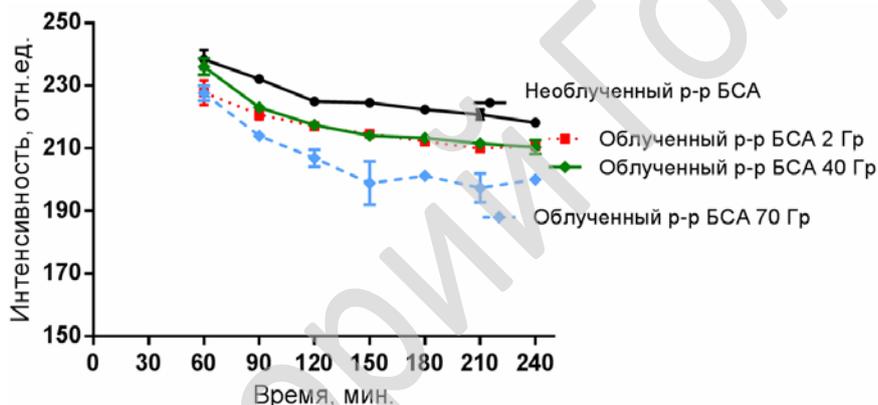


Рисунок 1 — Динамика изменения значений собственной флуоресценции неoblученного и облученных растворов бычьего сывороточного альбумина со временем

Исходя из полученных данных, через 1 ч после облучения значения собственной флуоресценции растворов БСА, облученных дозами 2 и 70 Гр, отличались от значений собственной флуоресценции неoblученного раствора на 5 %. Что касается облученного раствора БСА в дозе 40 Гр, то его значения флуоресценции отличались всего лишь на 1 %.

Со временем (через 4 ч после облучения) в исследуемых растворах БСА значения собственной флуоресценции снизились: на 7,5 % (облученный раствор БСА в дозе 2 Гр), на 11 % (облученный раствор БСА в дозе 40 Гр) и на 12 % (облученный раствор БСА в дозе 70 Гр).

Результаты флуоресцентных исследований свидетельствуют о том, что облучение терапевтическими дозами 2, 40 и 70 Гр вызывают конформационные перестройки в исследуемой биомолекуле. Характер изменений триптофаниловой флуоресценции белка стереотипен: изменение интенсивности флуоресценции (в данном случае — снижение). Согласно детально разработанной теории флуоресценции белка [8], эти изменения следует расценивать как признак перехода триптофанилов БСА в менее полярное окружение гидрофобного центра глобулы.

Следовательно, с увеличением дозы облучения значения собственной флуоресценции БСА снижаются, и, возможно данные изменения обусловлены влиянием образующихся радикалов.

Известно, что значительная часть повреждений в клетке, индуцированных ионизирующим излучением, образуется в результате окислительного стресса. Он обусловлен об-

разованием активных форм кислорода (АФК) в результате радиолиза воды. Так как АФК (кроме перекиси водорода) являются короткоживущими продуктами, то этот процесс происходит непосредственно во время облучения. АФК вызывают окислительную модификацию и повреждение различных биологических молекул, включая нуклеиновые кислоты, белки, липиды и др. В настоящее время установлено, что белки являются главной и более чувствительной мишенью, чем ДНК и липиды, при действии гидроксильного радикала — наиболее реакционно-способного из АФК. Следует также учесть, что содержание белка, составляющего около 15 % массы клетки, является наибольшим среди других компонентов клетки после воды.

Повреждение белков ионизирующим излучением в присутствии кислорода приводит к возникновению ряда окисленных продуктов. Среди них важную роль отводят образованию в белке гидропероксидов. Установлено, что при воздействии высоких доз ионизирующего излучения в клетках и в растворах различных белков образуются долгоживущие радикалы белков (ДЖРБ), время полужизни которых превышают 20 ч. Так, например, время полужизни радикалов белков (овальбумина, бычьего сывороточного альбумина, казеина), при дозах облучения 1–10 Гр, составляет около 3–5 ч.

Долгоживущие радикалы белков *in vitro* осуществляют перенос окислительных повреждений с белка на ДНК, а *in vivo* они вызывают мутации и приводят к трансформации клеток. Эти радикалы в небольших количествах образуются в клетках животных и растений при нормальной жизнедеятельности. Не исключено, что ДЖРБ вовлечены в процесс клеточного старения и инициируют ряд болезней человека. Так, были получены данные о том, что эти радикалы могут длительное время осуществлять генерацию АФК в водном окружении *in vitro*. Именно этот процесс может быть причиной достаточно длительного протекания окислительного стресса после воздействия ионизирующего излучения [9].

Выводы

Терапевтические дозы ионизирующего излучения (2, 40 и 70 Гр) приводят к нарушению третичной структуры (конформации) бычьего сывороточного альбумина. Возможным механизмом реализации данного процесса являются образующиеся при облучении долгоживущие радикалы белка.

ЛИТЕРАТУРА

1. Стожаров, А. Н. Медицинская экология / А. Н. Стожаров. — Минск: Выш. шк., 2007. — 368 с.
2. Основы медицинской радиобиологии / Н. В. Бутомо [и др.]. — СПб.: Фолиант, 2004. — 384 с.
3. Руководство по общей онкологии / под ред. Н. Н. Петрова. — Ленинград, отделение: МЕДГИЗ, 1958. — 368 с.
4. Ярмоненко, С. П. Радиобиология человека и животных / С. П. Ярмоненко. — М.: Высш. шк., 2004. — 552 с.
5. Петровский, В. С. Отдаленные последствия облучения в практике терапевта / В. С. Петровский. — Нижний Новгород: Изд-во Нижегород. гос-ой. мед. академии, 2001. — 180 с.
6. Альбумин сыворотки крови в клинической медицине / под ред. Ю. А. Грызунова, Д. Е. Добрецова. — М.: ИРИУС, 1994. — 226 с.
7. Чегер, С. И. Транспортная функция сывороточного альбумина / С. И. Чегер. — Бухарест: Изд-во Академии СРР, 1975. — 183 с.
8. Бурштейн, Э. А. Собственная люминесценция белка / Э. А. Бурштейн. — М., 1977. — 189 с.
9. Долгоживущие радикалы аминокислот, индуцируемые рентгеновским излучением, являются источником образования перекиси водорода в водной среде / С. В. Гудков [и др.] // Биофизика. — 2010. — Т. 55, № 4. — С. 588–593.

**ИННОВАЦИОННОЕ РАЗВИТИЕ РАДИАЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ
СТЕРИЛИЗАЦИИ КОСТНЫХ ИМПЛАНТАТОВ**

*В. В. Розанов^{1,2}, И. В. Матвейчук², А. П. Черняев¹, З. К. Никитина²,
И. К. Гордонова², Ю. Ю. Литвинов², Е. Н. Лыкова¹*

¹«Физический факультет Московского государственного университета
имени М. В. Ломоносова»,

²«Научно-исследовательский и учебно-методический центр биомедицинских
технологий Всероссийского научно-исследовательского института
лекарственных и ароматических растений
г. Москва, Российская Федерация
vrozanov@mail.ru

Введение

Одной из главных задач современной биоимплантологии является обеспечение высокого уровня безопасности биологических пластических материалов. При их использовании должна быть исключена возможность инфицирования реципиентов бактериальными, грибковыми и вирусными инфекциями. Поэтому технологический процесс изготовления биологических имплантатов должен завершаться эффективной стерилизацией с максимально возможным сохранением пластических свойств материалов [1]. Не менее важно обеспечение безопасности персонала тканевого банка, находящегося в непосредственном контакте с биологическими тканями в процессе изготовления имплантатов [2].

Отбор донорского материала, технологии изготовления биологических имплантатов в мировой практике регулируются жесткими стандартами и контролируются серологическими анализами. Однако, в литературе описано достаточно много случаев инфицирования реципиентов [1, 3–7]. В связи с этим вопросы безопасности в процессе работы с аллотканями и при клиническом использовании биологических имплантатов вышли на ведущее место в этой отрасли медицины. Другие вопросы касаются способов стерилизации биологических материалов. К ним относятся воздействие различных факторов (температуры, химических веществ, радиации и т.д.) на эндо- и экзопатогенную флору, присутствующую в донорских тканях, что может привести к денатурации их белковых структур и свести комплекс пластических свойств имплантатов к минимуму или полному исчезновению.

Наиболее эффективной технологией стерилизации имплантатов сегодня признается их радиационная обработка потоком гамма-квантов или быстрых электронов [8]. Однако критичным параметром при этом является величина поглощенной дозы. Общепринято, что для эффективной стерилизации необходимо облучение с дозой 25–30 кГр [8,9]. Вместе с тем, исследования показывают, что уже при 15 кГр могут происходить морфологические изменения биологических тканей [10]. Возможный путь решения этой проблемы — развитие комбинированных методик стерилизации, которые позволили бы максимально возможно снизить дозу облучения при сохранении высокого уровня стерильности пластического биоматериала.

Материал и методы исследования

Предлагаемый подход основан на сочетанном воздействии на стерилизуемый пластический материал совокупности физических и химических факторов. В том случае, когда удастся получить взаимное усиление стерилизующего воздействия этих факторов, создаются предпосылки для синергетического эффекта их взаимного действия. При этом интенсивность воздействия каждого из факторов может быть снижена, что позволяет уменьшить и степень вредного побочного действия каждого из них при усилении суммарного эффекта.

Подобное решение рассматривалось группой авторов в исследованиях с двухэтапной обработкой костных имплантатов [11]. На первом этапе осуществлялась химическая обработка костных фрагментов в водном растворе этанола, димексида и тимола в течение суток. После поверхностной дегидратации трансплантаты герметично упаковывали в стерильную тару и охлаждали до температуры $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$.

На втором этапе замороженные трансплантаты подвергали радиационной обработке гамма-квантами от источника Co^{60} и снова помещали в холодильник до момента клинического применения. При этом по утверждению авторов достигалась достаточная эффективность процесса стерилизации при дозе радиационного облучения в 12 кГр.

Однако наличие большого количества воды в стерилизуемых образцах после продолжительной химической обработки в водном растворе требует тщательной длительной дегидратации перед радиационным этапом. Кроме того, вызывает вопросы и температурный режим, при котором осуществлялась радиационная обработка. Исследования показывают, что именно изменение температуры в период облучения микроорганизмов, температурные условия, при которых бактерии выращивали до облучения, и температура инкубации бактерий после облучения играют существенную роль в бактерицидном эффекте радиации [12].

В данной работе для эффективного преодоления указанных трудностей было предложено в качестве основного реагента на первом этапе — химической обработки костных фрагментов — использовать озono-кислородную смесь определенной концентрации. Стерилизующее действие озона хорошо известно [13]. Именно это обусловило, по-видимому, первое применение озона в медицине — для санобработки операционных. При этом следует особо подчеркнуть, что использование озона для целей дезинфекции и стерилизации имеет целый ряд важных преимуществ. Это, в первую очередь, низкотемпературный режим процесса стерилизации, обеспечивающий возможность обработки термонеустойчивых образцов и изделий. Озоновая стерилизация не требует длительных экспозиций, обеспечивает глубокое проникновение в материал, допускает использование больших объемов стерилизационных камер. Быстрый естественный распад озона определяет безопасность метода для окружающей среды. Продукты обработки — не токсичны. Озон характеризуется сильно выраженными фунгицидными, бактерицидными, виروцидными свойствами и способен эффективно уничтожать все виды бактерий, вирусов, грибов и простейших [14].

Теоретическое обоснование возможности эффективного сочетанного воздействия озона и радиации при стерилизации костных имплантатов показало реальное наличие биологических механизмов для осуществления указанного синергетического эффекта. Эксперименты подтвердили работоспособность предложенной методики комбинированной стерилизации костных имплантатов.

В качестве экспериментального материала в проведенных исследованиях были использованы образцы костной ткани быка. Из нативной компактной костной ткани механическим способом были вырезаны образцы прямоугольной формы размером 18x8x6 мм. До стерилизации образцы были контаминированы смешанной микрофлорой. Озоновую обработку костных образцов осуществляли в НИЦ БМТ ВИЛАР с использованием генератора медицинского озона типа А-с-ГОКСф-5-02-ОЗОН и измерителя концентрации озона ИКО – 50 (производство ОАО «Электромашиностроительный завод «Лепсе» (г. Киров, Россия), а также концентратора кислорода Vision Aire (США).

Облучение образцов проводили в Институте ядерной физики МГУ имени М. В. Ломоносова на линейном ускорителе электронов непрерывного действия с энергией 1 МэВ с мощностью пучка до 25 кВт. При облучении поглощенные дозы составляли 11, 15, 23 и 27 кГр.

Результаты исследования и их обсуждение

Микробиологическое исследование стерильности образцов на наличие на образцах костной ткани аэробных и анаэробных бактерий осуществляли в НИЦ БМТ ВИЛАР с использованием тиогликолевой среды и микроскопических грибов с использованием среды Сабууро.

В ходе микробиологических исследований установлено, что контрольный образец, не подвергавшийся никакой обработке, и образец, прошедший только озонную обработку, показали наличие обсеменения уже на 3 сутки культивирования на выбранных культуральных средах.

Экспериментальные образцы, не подвергавшиеся озонной обработке, но прошедшие радиационное облучение, показали наличие обсеменности на 6–14 сутки хотя бы на одной из культуральных сред.

Полную стерильность на обеих культуральных средах через 14 суток эксперимента продемонстрировали только образцы, подвергавшиеся комбинированному воздействию — последовательной обработке озono-кислородной смесью и радиационному облучению с величинами поглощенных доз — 11, 15 и 27 кГр.

Заключение

В ходе выполнения настоящего исследования была предложена, экспериментально осуществлена и проверена новая технология комбинированной стерилизации костных имплантатов, основанная на синергетике сочетанного воздействия на костный имплантат физико-химических стерилизующих факторов различной природы (химическое воздействие озono-кислородной смеси и радиационная обработка потоком быстрых электронов), которая обеспечила достижение эффективной стерилизации образцов при снижении дозы поглощения до 11 кГр.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Лекишвили, М. В.* Технологии изготовления костного пластического материала для применения в восстановительной хирургии (экспериментальное исследование: дис. ... д-ра мед. наук / М. В. Лекишвили. — М., 2005. — 236 с.
2. Способ изготовления костных имплантатов / В. А. Быков [и др.] // Патент РФ 2526429 от 20.08.2014.
3. Frozen musculoskeletal allografts. A study of the clinical incidence and causes of infection associated with their use / W. W. Tomford [et al.] // *J. Bone Jt Surg. (Am)*. — 1990. — Vol. 72, № 8. — P. 1137–1143.
4. Regulation of tissue banking in the United States / W. W. Tomford [et al.] // *Mat. 2 World Congress on Tissue Banking «Allograft against disability»*. — Warsaw, 1999. — P. 7–8.
5. Blood and marrow cultures as indicators of bone contamination in cadaver donors / O. V. Martinez [et al.] // *Clin. Orthop.* — 2003. — № 409. — P. 317–324.
6. *Nemzek, J. A.* Retroviral transmission in bone allotransplantation. The effects of tissue processing / J. A. Nemzek, S. P. Arnoczky, C. L. Swenson // *Clin. Orthop.* — 1996. — № 324. — P. 275–282.
7. *Marthy, S.* Human immunodeficiency virus activity in rib allografts / S. Marthy, M. Richter // *J. Oral. Maxillofac. Surg.* — 1998. — Vol. 56, № 4. — P. 474–476.
8. *Перова, Н. В.* Роль ионизирующего излучения в изготовлении медицинских изделий / Н. В. Перова, И. А. Довжик, В. И. Севастьянов // V Всероссийский симпозиум с международным участием «Актуальные вопросы тканевой и клеточной трансплантологии»: сб. тез. — Уфа, 2012. — С. 99–100.
9. *Singh, R.* Radiation sterilization of tissue allografts / R. Singh, D. Singh, A. Singh // *A review*. — *World Journal of Radiology*. — 2016. — Vol. 8, Is. 4. — P. 355.
10. *Шангина, О. Р.* Влияние радиационной стерилизации на структуру и свойства биоматериалов / О. Р. Шангина, Р. Т. Нигматуллин // *Морфология. Научно-теоретический медицинский журнал*. — 2006. — Т. 129, № 3. — С. 44–48.
11. *Савельев, В. И.* Комбинированный способ стерилизации костных трансплантатов / В. И. Савельев, А. А. Булатов, Ю. А. Рыков // Патент РФ № 2356224 от 21.12.2007.
12. *Эйдус, Л. Х.* Мембранный механизм биологического действия малых доз / Л. Х. Эйдус. — М., 2001. — С. 6–118.
13. Медицинские озонные технологии. Новые задачи, возможности, оборудование / В. И. Пантелеев [и др.] // *Биомедицинская радиоэлектроника*. — 2013. — № 2. — С. 3–11.
14. *Масленников, О. В.* Руководство по озонотерапии / О. В. Масленников, К. Н. Конторщикова, Б. Е. Шахов. — Н. Новгород: Исток, 2015. — 346 с.

**РАСЧЕТ ДОЗ КРИТИЧЕСКОЙ ГРУППЫ НАСЕЛЕНИЯ,
ПРОЖИВАЮЩЕЙ В ЗОНЕ НАБЛЮДЕНИЯ РИВНЕНСКОЙ АЭС**

А. Н. Романенко

**Обособленное подразделение «Ривненская АЭС» ГП НАЭК «Энергоатом»
г. Вараш, Ривненской области, Украина
roman@rnpp.atom.gov.ua**

Введение

В соответствии с требованиями нормативных документов Украины [1] регламентация и контроль облучения населения осуществляется на основе расчетов годовых эффективных и эквивалентных доз облучения критических групп — части населения, которая по своим половозрастным, социально-профессиональным условиям, месту проживания и другим признакам получает или может получить наибольшие уровни облучения от источника.

В Украине для АЭС, АТЭЦ, АСТ, и других предприятий, использующих ядерные реакторы, а также для предприятий по переработке РАО установлены годовые квоты пределов доз от выбросов — 40 мкЗв, за счет критического пути водопользования — 10 мкЗв, суммарная квота за счет воздушного и водного пути формирования дозы — 80 мкЗв [1].

Расчеты доз на критическую группу населения выполняются по методикам, утвержденным Министерством здравоохранения Украины.

Методика расчета доз критической группы населения в районе расположения РАЭС

В 2006 г. «Институтом радиационной защиты» Академии технологических наук Украины по заданию Ривненской АЭС был разработан и согласован Министерством охраны здоровья Украины документ «Контроль доз критических групп населения зоны наблюдения Ровенской АЭС (при штатном выбросе и сбросе). Методические указания».

В качестве исходные данные, необходимых для расчетов доз облучения, формируемых газо-аэрозольным выбросом РАЭС, используются:

а) значения газо-аэрозольного выброса через все вентиляционные трубы РАЭС по календарным суткам инертных радиоактивных газов и йода;

б) значения газо-аэрозольного выброса РАЭС по месяцам для каждого из следующих радионуклидов: ^3H , ^{51}Cr , ^{54}Mn , ^{59}Fe , ^{58}Co , ^{60}Co , ^{89}Sr , ^{90}Sr , ^{95}Zr , ^{95}Nb , $^{110\text{m}}\text{Ag}$, ^{134}Cs , ^{137}Cs ;

в) данные о повторяемости метеорологических условий по календарным суткам в районе РАЭС (категории устойчивости атмосферы, направление и скорость ветра, тип и интенсивность осадков) по 6-ти категориям устойчивости атмосферы в соответствии с классификацией по Пасквиллу, по 16 секторам направлений ветра и 10 интервалам скоростей ветра;

г) параметры санитарно-защитной зоны (для каждого из рассматриваемых направлений): расстояние от источника газо-аэрозольного выброса до границы СЗЗ, тип микрорельефа поверхности;

д) высота источника газо-аэрозольного выброса.

Исходные данные для выполнения расчетов доз, формируемых водным сбросом:

а) значения величины водного сброса по календарным месяцам для каждого из следующих радионуклидов: ^3H , ^{51}Cr , ^{54}Mn , ^{59}Fe , ^{58}Co , ^{60}Co , ^{65}Zn , ^{89}Sr , ^{90}Sr , ^{95}Zr , ^{95}Nb , ^{106}Ru , $^{110\text{m}}\text{Ag}$, ^{131}I , ^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{144}Ce ;

б) фактические виды водопользования реки Стырь, в которую осуществляется водный сброс РАЭС (питьевое водоснабжение, рыболовство, поливное земледелие, водопой скота, рекреация);

в) объем расхода воды в реке;

г) расстояние от места сброса до места, в котором осуществляется водозабор из реки;

д) средняя глубина и ширина реки в диапазоне от места сброса до расстояния 5 км вниз по течению.

Числовое значение годовой эффективной дозы (E_{eff} , мкЗв) представителя критической группы населения, сформированной за счет газо-аэрозольного выброса и водного сброса, определяется по формуле:

$$E_{eff} = \max_N \left\{ \max_{x \geq r_\phi} \left[\max_\tau \sum_i E_{\tau,i}(\phi, x) \right] \right\}, \quad (1)$$

где $E_{\tau,i}(\phi, x)$ — годовая эффективная доза населения референтного возраста τ , проживающего в секторе, соответствующем углу ϕ , на расстоянии x от РАЭС, формируемая i -ым радионуклидом, мкЗв;

$N = 16$ — количество рассматриваемых секторов, задающих направление ветра;

r_ϕ — расстояние от РАЭС до границы санитарно-защитной зоны в секторе, соответствующем углу ϕ ;

τ — референтный возраст (максимум рассчитывается по следующим референтным возрастам, определенным [1]: 1 год, 5 лет, 10 лет, 15 лет, «Взрослый»);

i — суммирование выполняется по всем радионуклидам, перечисленным выше.

Числовое значение годовой эффективной дозы рассчитывается как сумма эффективных доз, формируемых внешним облучением от облака выброса и выпадений на почву, внутренним облучением за счет ингаляционного и перорального поступления.

Производятся ежесуточный расчет атмосферного переноса и аккумуляция в почве радионуклидов с учетом их распада и образования дочерних радионуклидов. Для расчета дозы от жидких сбросов производится расчет удельной активности радионуклидов в воде, донных отложениях, рыбе.

Программная реализация расчета доз критической группы населения в районе расположения РАЭС

На основании методических указаний по расчету доз на критическую группу населения в 2007 г. на Ривненской АЭС был внедрен программный комплекс RNPP_DOSES, разработанный «Институтом радиационной защиты» АТН Украины.

Перед вводом в эксплуатацию был проведен расчет аккумуляции радионуклидов в почве зоны наблюдения и донных отложениях реки Стирь с начала эксплуатации РАЭС по данным годовых выбросов и сбросов с 1981 г., а также климатических метеорологических показателей.

Разработано дополнительное программное обеспечение, обеспечивающее автоматическую ежесуточную обработку информации по газо-аэрозольным выбросам, жидким сбросам, определению статистических характеристик о повторяемости категорий устойчивости атмосферы и относительной интенсивности осадков по 16 секторам направлений ветра и 10 интервалам скоростей ветра.

Результаты расчета доз на критическую группу населения приведены на рисунке 1.

Основной вклад в дозу на критическую группу населения из изотопов, контролируемых в настоящее время на РАЭС, вносит тритий (рисунки 2, 3). Основными источниками наработки трития в реакторах ВВЭР являются реакция тройного деления ядер урана-235 и реакция поглощения нейтронов бором $^{10}\text{B}(n,2\alpha)\text{T}$ при ведении борного регулирования теплоносителя первого контура. Исходя из экспериментальных данных и результатов анализа наработки трития, как в топливе, так и в теплоносителе, приблизительная оценка распределения трития в РУ ВВЭР-440 следующая: топливо (двуокись урана) — 67,4 % ($1,3 \times 10^{14}$ Бк), газовый зазор и оболочки ТВЭЛ — 29 % ($5,6 \times 10^{13}$ Бк), теплоноситель — 3,6 % ($7,0 \times 10^{12}$ Бк).

Из топлива тритий выходит в газовый зазор, а из него путем диффузии или разгерметизации ТВЭЛ попадает в теплоноситель первого контура. В теплоносителе тритий присутствует в виде тритиевой воды в основном в форме НТО. Газовые формы в виде НТ, Т2 составляют малую часть на фоне НТО. Существующие на АЭС с реакторами ВВЭР системы очистки газо-аэрозольных выбросов, спецводоочистки, не способны задерживать три-

тий, в связи с чем, весь тритий, выработанный в реакторе, поступает в окружающую среду с газо-аэрозольным выбросом или водным сбросом.

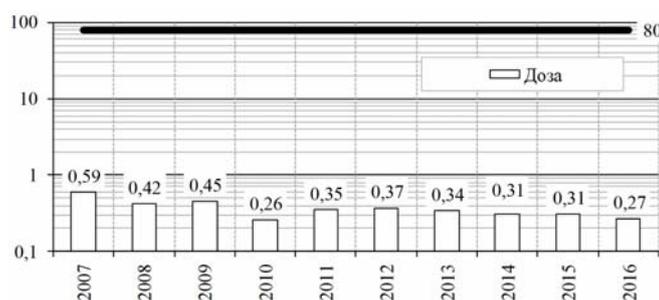


Рисунок 1 — Суммарная эффективная доза на критическую группу населения от выбросов и сбросов РАЭС, мкЗв/год

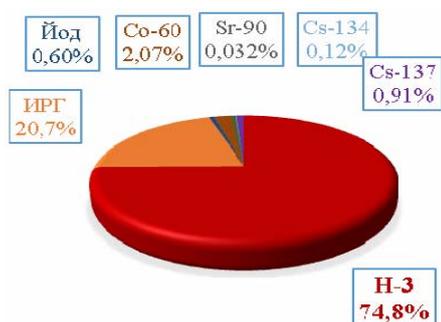


Рисунок 2 — Вклад радионуклидов в индекс допустимого выброса в 2016 г.

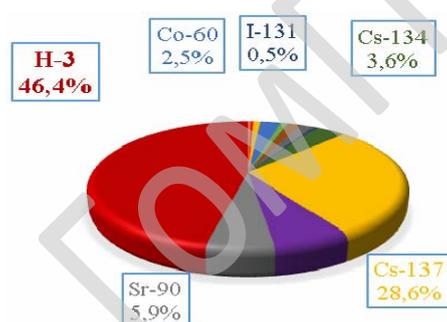


Рисунок 3 — Вклад радионуклидов в индекс допустимого сброса в 2016 г.

На АЭС с реакторами ВВЭР в теплоносителе первого контура образуется ^{14}C в ходе двух реакций активации нейтронами: $^{14}\text{N}(n, p)^{14}\text{C}$ и $^{17}\text{O}(n, \alpha)^{14}\text{C}$. На РАЭС для проведения водно-химического режима теплоносителя первого контура используется аммиачное регулирование содержания водорода, что приводит к образованию достаточно большого количества ^{14}C . В 2012 г., в течение 7 месяцев, на РАЭС проводилась работа по измерению ^{14}C в выбросах энергоблоков и спецкорпусов РАЭС.

Таблица 1 — Активность газо-аэрозольных выбросов РАЭС в 2012 г., ГБк/месяц

Месяц	ИРТ	Иод	Co-60	Cs-137	Sr-90	H-3	C-14
Январь	4960	0,010	0,0009	0,0018	0,00003	147	22,9
Февраль	4140	0,003	0,0009	0,0017	0,00002	106	9,5
Март	3960	0,002	0,0003	0,0028	0,00007	70	8,7
Апрель	4300	0,007	0,0002	0,0016	0,00002	83	15,0
Май	3040	0,263	0,0007	0,0016	0,00004	99	17,8
Июнь	3070	0,048	0,0014	0,0021	0,00004	114	20,2
Июль	3260	0,002	0,0004	0,0015	0,00001	109	24,5
Итого, ГБк	26700	0,335	0,0048	0,0132	0,00022	729	119

^{14}C является третьим изотопом по величине выброса РАЭС, при этом его дозовый коэффициент примерно в 30 раз выше дозового коэффициента для трития. Учитывая соотношение активности ^3H и ^{14}C в выбросах РАЭС, соотношение дозовых коэффициентов, ^{14}C является основным дозообразующим радионуклидом в формировании дозы на населения при «нормальной» эксплуатации АЭС. Величина дозы от ^{14}C оценивается в пределах 1–3 мкЗв/год.

Заключение

В условиях нормальной эксплуатации РАЭС дозы на население, формируемые выбросами и сбросами, в сотни раз ниже доз от источников природного происхождения. Основными дозообразующими радионуклидами при нормальной эксплуатации являются ^{14}C и ^3H .

ЛИТЕРАТУРА

1. Нормы радиационной безопасности Украины (НРБУ-97). Государственные гигиенические нормативы ДГН 6.6.1 -6.5.001-98.

**ИЗМЕНЕНИЕ ЗАПАСА БИОЛОГИЧЕСКИ ДОСТУПНЫХ КАДМИЯ,
СВИНЦА И УРАНА В ПОЧВЕ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ**

Г. А. Соколик, С. В. Овсянникова, М. В. Попеня, Е. В. Войникова

**Учреждение образования
«Белорусский государственный университет»
г. Минск, Республика Беларусь
sokolikga@mail.ru**

Введение

Последние десятилетия характеризуются значительным увеличением природных и техногенных дестабилизирующих факторов, влияющих на состояние наземных экосистем. К числу антропогенных факторов относится загрязнение почв высокотоксичными тяжелыми металлами (ТМ), в том числе и такими как Cd и Pb [1]. Среди природных факторов, влияющих на производство и качество растительной продукции, выделяются аномальные изменения метеорологических условий [2]. Весной, когда температура воздуха в среднем превышает +5 °С и начинается вегетация растений, на территории Республики Беларусь нередко происходит резкое снижение температуры с возвратом холодов и заморозков до середины мая, а иногда даже в июне. В летний же период отмечается существенное повышение температуры воздуха. Важной особенностью является также изменение количества атмосферных осадков. При общем снижении количества атмосферных осадков на территории страны в отдельных регионах есть зоны увеличения и зоны сокращения их количества [2].

Изменения температуры и условий увлажнения существенно влияют на характеристики почв, определяющие условия произрастания растений. Следует ожидать, что изменение свойств почвенной среды в области корневого питания растений повлияет на формы нахождения присутствующих в почве природных и техногенных ТМ, в том числе и радиоактивных, что отразится на интенсивности их накопления растениями и экологическом качестве растительной продукции [3].

Исследования по влиянию температуры и влажности почв на формы нахождения ТМ естественного и антропогенного происхождения в Республике Беларусь практически не проводились, хотя результаты подобных исследований, несомненно, представляют интерес в научном и практическом отношении. Настоящая работа посвящена изучению влияния температуры почвенной среды на запас Cd, Pb и U в формах, определяющих биологическую доступность этих элементов растениям.

Материал и методы исследования

Объектами исследования являлись образцы 0–20 см слоев дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы и торфянистой разновидности низинного торфяно-болотного типа, содержащие Cd, Pb и U естественного и антропогенного происхождения. Образцы почв были отобраны летом 2016 г. в Дрогичинском районе Брестской области и Минском районе Минской области. По стандартным методикам были изучены характеристики почвенных образцов, после чего в лабораторных условиях были выполнены две серии экспериментов с воздушно-сухими и водонасыщенными образцами, которые выдерживали в течение 3 недель при разных температурах с последующим извлечением из них Cd, Pb и U в подвижных (условно биологически доступных) формах ($Me_{\text{подв}}$) [3, 4]. Эксперименты проводили в двукратной повторности без искусственного обогащения почв ТМ.

Запас в почвах $Me_{\text{подв}}$ определяли по количеству ТМ, переходящего в ацетатно-аммонийный буферный раствор (рН 4,8) при температуре 20 ± 2 °С и соотношении компонентов почва: раствор — 1:10. Полученные экстракты пропускали через фильтр «синяя лента». Содержание Cd, Pb, Ca и K в пробах устанавливали методом атомно-абсорбционной спектrophотометрии на установке ZEE nit 700. Содержание в почвах U определяли посред-

ством радиохимического анализа с идентификацией радионуклидов альфа-спектрометром SOLOIST U0450 фирмы EG&G ORTEC.

Результаты исследования и их обсуждение

Изученные образцы почв по реакции среды близки к нейтральным ($pH_{KCl} > 5,5$). Полная почвенная влагоемкость (ПВ), содержание в почве органических компонентов ($OK_{П}$), подвижных кальция ($[Ca_{подв}]$) и калия ($[K_{подв}]$) в торфянистой почве были выше, чем в легкосуглинистой (таблица 1).

Общее содержание Pb (19,8 мг/кг) и Cd (0,61 мг/кг) в торфянистой почве было выше (15,2 и 0,31 мг/кг), а U — ниже (11,6 и 38,9 Бк/кг), чем в легкосуглинистой почве. По содержанию Pb и Cd изученные почвенные образцы не превышали установленных в Республике Беларусь гигиенических нормативов.

Таблица 1 — Характеристики почвенных образцов

Почва	$OK_{П}$, %	ПВ, %	pH_{KCl}	$[Ca_{подв}]$, мг/кг	$[K_{подв}]$, мг/кг
Дерново-подзолистая легкосуглинистая	$4,2 \pm 0,1$	$46,8 \pm 1,2$	$6,80 \pm 0,05$	$18,3 \pm 1,0$	$136,1 \pm 1,1$
Торфянистая	$25,8 \pm 0,8$	$105,4 \pm 1,5$	$5,72 \pm 0,05$	664 ± 44	$219,0 \pm 9,2$

Для почв сельскохозяйственного назначения предельно допустимая концентрация (ПДК) Pb составляет 32 мг/кг, а его подвижной формы ($Pb_{подв}$) — 6 мг/кг в расчете на абсолютно сухое вещество [5, 6]. Ориентировочно допустимая концентрация (ОДК) Cd не должна превышать 2 мг/кг для нейтральных и близких к ним почв с pH_{KCl} более 5,5. Величина ОДК для торфянистых почв не регламентируется. Для всех сельскохозяйственных почв ПДК $Cd_{подв}$ составляет 0,5 мг/кг [7]. Содержание природного урана в почвах не нормируется.

Запас ТМ в подвижных формах в воздушно-сухих почвах. Результаты определения относительного содержания $Cd_{подв}$, $Pb_{подв}$ и $U_{подв}$ в почвенных образцах после их выдерживания при различных температурах в воздушно-сухом состоянии приведены на рисунке 1.

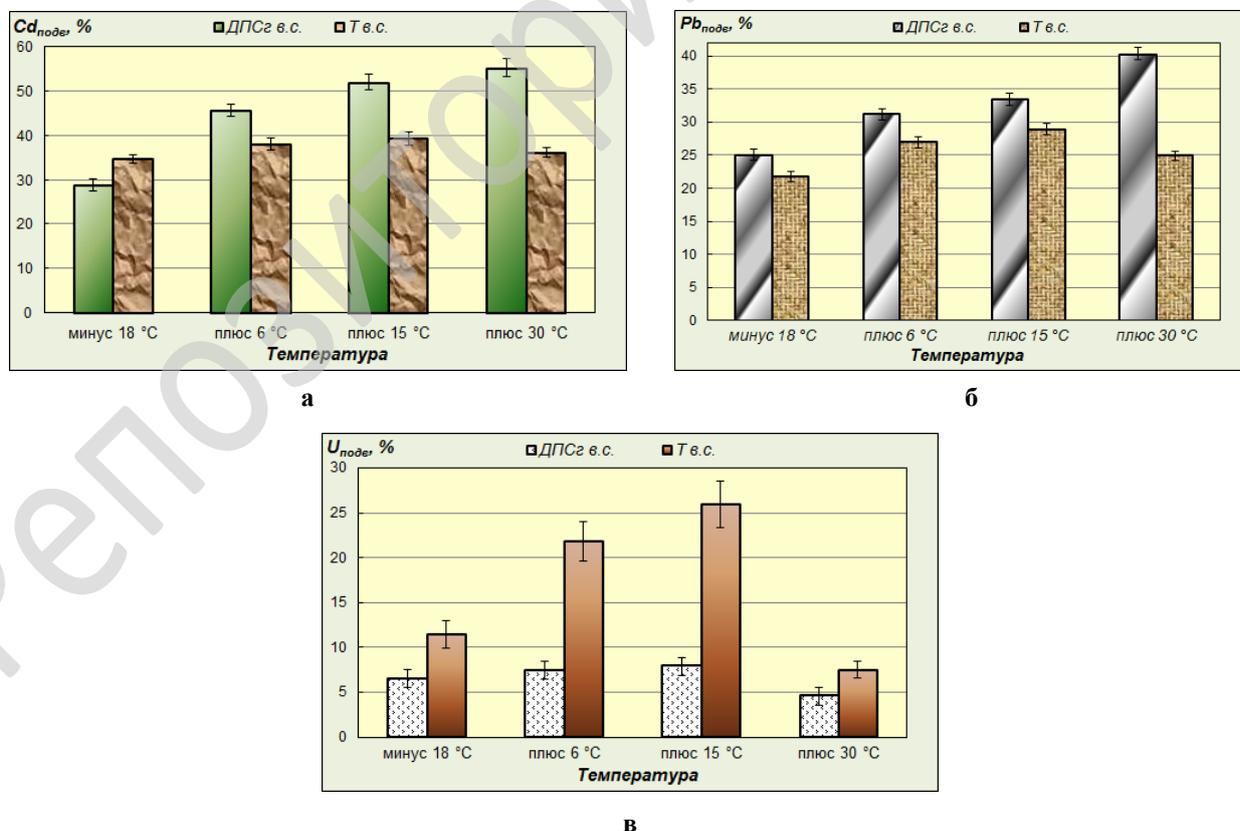


Рисунок 1 — Изменение относительного содержания Cd, Pb и U в подвижных формах ($Me_{подв}$, %) в воздушно сухих образцах дерново-подзолистой легкосуглинистой (ДПСг) и торфянистой (Т) почв в зависимости от температуры: а) $Cd_{подв}$; б) $Pb_{подв}$; в) $U_{подв}$

Относительное содержание $Cd_{\text{подв}}$ и $Pb_{\text{подв}}$ в легкосуглинистой почве увеличивалось при повышении температуры в диапазоне от -18 до $+30$ °С и достигало 55 и 40 % от общего содержания соответствующего ТМ в почве. При $+30$ °С была отмечена максимальная концентрация $Pb_{\text{подв}}$ в почве — $(6,1 \pm 1)$ мг/кг при общем содержании Pb — 15,2 мг/кг. Следовательно, в воздушно-сухих условиях при температуре почвы $+30$ °С для $Pb_{\text{подв}}$ было достигнуто ПДК при значительно более низком общем содержании Pb в почве, чем это регламентировано.

В воздушно-сухой торфянистой почве содержание $Cd_{\text{подв}}$ и $Pb_{\text{подв}}$ увеличивалось с ростом температуры до $+15$ °С, достигнув уровней 36 и 25 %. При дальнейшем повышении температуры до $+30$ °С содержание $Cd_{\text{подв}}$ и $Pb_{\text{подв}}$ сократилось на 8 и 14 % по сравнению с уровнями, достигнутыми при $+15$ °С.

Относительное содержание $U_{\text{подв}}$ в почвах увеличивалось при повышении температуры от -18 до $+15$ °С и выросло примерно на 20 % в легкосуглинистой почве и более чем вдвое в торфянистой. При дальнейшем повышении температуры до $+30$ °С содержание $U_{\text{подв}}$ сократилось по сравнению с уровнями, достигнутыми при $+15$ °С: в 1,7 раза в легкосуглинистой почве и более чем в 3 раза в торфянистой.

Увеличение с температурой содержания $Cd_{\text{подв}}$, $Pb_{\text{подв}}$ и $U_{\text{подв}}$ в воздушно-сухих образцах почв можно объяснить повышением растворимости соединений этих ТМ и увеличением интенсивности ионообменных процессов на границе твердая фаза – поровый раствор почвы. Сокращение содержания $Me_{\text{подв}}$ в почвах при повышении температуры от $+15$ до $+30$ °С могло быть вызвано изменением структуры поверхности почвенных агрегатов, и в большей степени было свойственно торфянистой почве. Подобные изменения влияют на процессы перехода элементов из твердой фазы почвы в почвенную влагу, причем в различной степени для ТМ разной химической природы.

Запас ТМ в подвижных формах в водонасыщенных почвах. Полученные данные по относительному содержанию $Me_{\text{подв}}$ в водонасыщенных почвенных образцах после их выдерживания при разных температурах приведены на рисунке 2.

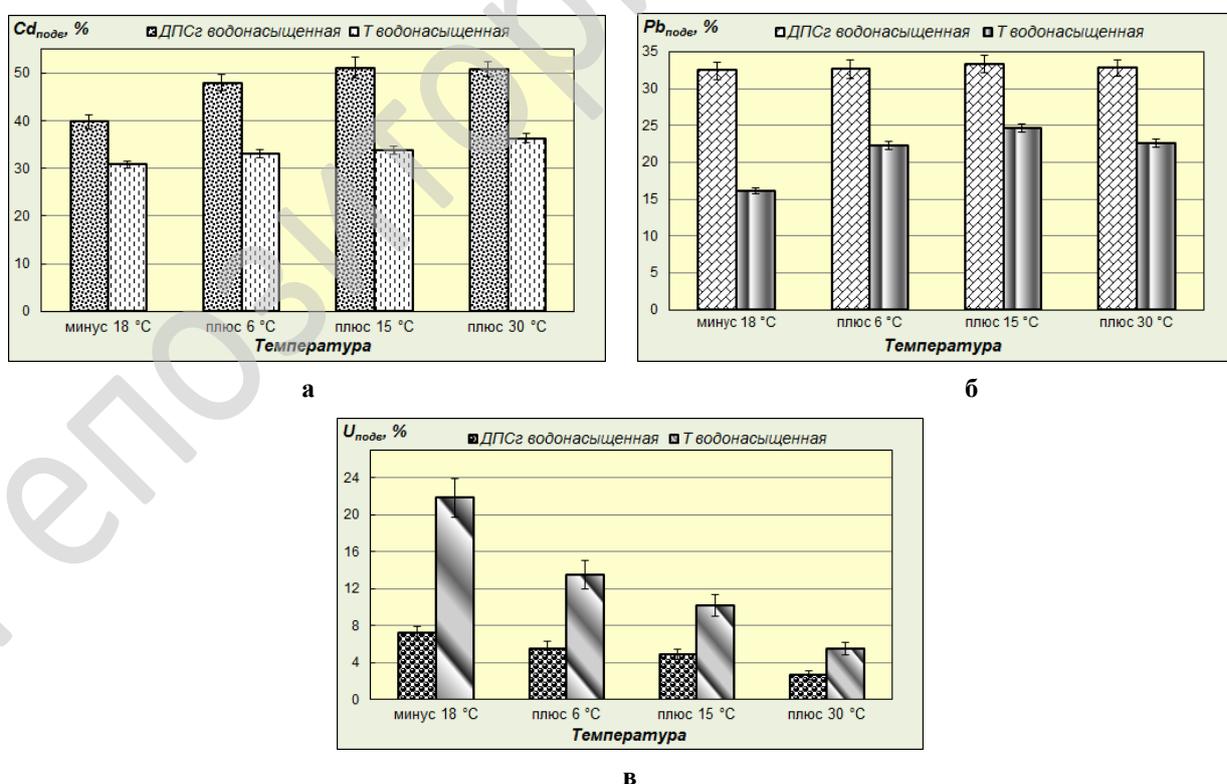


Рисунок 2 — Изменение относительного содержания Cd , Pb и U в подвижных формах ($Me_{\text{подв}}$, %) в водонасыщенных образцах дерново-подзолистой (ДПСг) и торфянистой (Т) почв в зависимости от температуры: а) $Cd_{\text{подв}}$; б) $Pb_{\text{подв}}$; в) $U_{\text{подв}}$

Содержание $Cd_{\text{подв}}$ в водонасыщенной легкосуглинистой почве с ростом температуры в диапазоне от -18 до $+15$ °С увеличилось от 40 до 51 % и при последующем повышении температуры до $+30$ °С не изменилось. Содержание $Pb_{\text{подв}}$ в почве с ростом температуры сохранялось на уровне 32–33 %, а содержание $U_{\text{подв}}$ сократилось от 7,2 % при -18 °С до 0,9 % при $+30$ °С.

Содержание $Cd_{\text{подв}}$ в водонасыщенной торфянистой почве слабо росло при повышении температуры и при $+30$ °С достигло 36 %. Содержание $Pb_{\text{подв}}$ также увеличивалось с температурой, но лишь до $+15$ °С, и при подъеме температуры до $+30$ °С уменьшилось на 8 %. Содержание $U_{\text{подв}}$ в почве сокращалось по мере увеличения температуры во всем изученном температурном диапазоне.

Сокращение с ростом температуры содержания $U_{\text{подв}}$ в водонасыщенных почвах могло быть связано с изменением окислительно-восстановительных условий в результате снижения содержания кислорода в заполненном водой почвенном поровом пространстве. При этом возможно восстановление $U(VI)$ до $U(IV)$, которое с увеличением температуры протекало в большей степени. Соединения $U(IV)$ менее растворимы в воде, чем соединениями $U(VI)$, что могло быть причиной снижения содержания $U_{\text{подв}}$ при повышении температуры в условиях водонасыщения почв. В отличие от U в природных условиях Cd и Pb могут находиться лишь в степени окисления $+2$. Изменение окислительно-восстановительных условий может влиять на их закрепление в почве лишь посредством изменения состояния сорбирующих эти ТМ соединений Fe и Mn [8].

Заключение

В результате проведенных исследований впервые экспериментально установлен характер изменения запаса $Cd_{\text{подв}}$, $Pb_{\text{подв}}$ и $U_{\text{подв}}$ при изменении температуры почв в воздушно-сухом и водонасыщенном состоянии, что позволило выявить условия, способствующие переходу этих ТМ из почвы в растения. Показано, что при идентичных температурных условиях и одинаковом характере увлажнения почв относительное содержание ТМ в подвижной форме уменьшается в ряду: $Cd - Pb - U$. Относительное содержание $Cd_{\text{подв}}$ и $Pb_{\text{подв}}$ в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве превышает соответствующее содержание этих ТМ в торфянистой почве, что способствует более интенсивному накоплению Cd и Pb растительными культурами, произрастающими на суглинистой почве. В исследованном температурном диапазоне самые высокие уровни содержания $Cd_{\text{подв}}$ (51 % от общего содержания элемента в почве) наблюдались в легкосуглинистой почве при температуре $+30$ °С в воздушно-сухих условиях и в диапазоне от $+15$ до $+30$ °С в водонасыщенном состоянии, увеличивая опасность накопления этого высокотоксичного ТМ растительностью при достижении соответствующих уровней температуры. Максимальное содержание $Pb_{\text{подв}}$ (40 %) обнаружено в воздушно-сухой дерново-подзолистой легкосуглинистой почве при температуре $+30$ °С, а максимальное содержание $U_{\text{подв}}$ (26 %) — в воздушно-сухой торфянистой почве при $+15$ °С.

ЛИТЕРАТУРА

1. Черных, Н. А. Экологический мониторинг токсикантов в биосфере / Н. А. Черных, С. Н. Сидоренко. — М.: Изд-во РУДН, 2003. — 430 с.
2. Логинов, В. Ф. Опасные гидрометеорологические явления на территории Беларуси / В. Ф. Логинов, А. А. Волчек, И. Н. Шпока. — Минск: Белорусская наука, 2010. — 170 с.
3. Овчаренко, М. М. Подвижность тяжелых металлов в почве и доступность их растениям / М. М. Овчаренко // Аграрная наука. — 1996. — № 3. — С. 39–40.
4. Федоров, А. А. Оценка содержания в почве элементов минерального питания, доступных растениям / А. А. Федоров // Агрехимия. — 2002. — № 3. — С. 15–22.
5. Нормативы предельно допустимых концентраций подвижных форм никеля, меди и валового содержания свинца в землях (включая почвы), расположенных в границах населенных пунктов, для различных видов территориальных зон по преимущественному функциональному использованию территорий населенных пунктов. — Минск, 2009.
6. Гигиенические нормативы 2.1.7.12-1-2004. Перечень предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно допустимых концентраций (ОДК) химических веществ в почве. — Минск, 2004.
7. Предельно допустимые концентрации (ПДК) подвижных форм хрома, цинка, кадмия в почвах (землях) различных функциональных зон населенных пунктов, промышленности, транспорта, связи, энергетики, обороны и иного назначения. — Минск, 2008.
8. Введение в химию окружающей среды: пер с англ. / Дж. Андруз [и др.]. — М.: Мир, 1999. — 271 с.

**ВЛИЯНИЕ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ
НА СТРУКТУРУ ПОПУЛЯЦИЙ И ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ
У МЫШЕВИДНЫХ ГРЫЗУНОВ**

*Н. И. Тимохина, С. Н. Сушко, Е. М. Кадукова, К. Н. Шафорост,
С. В. Гончаров, Н. Н. Веялкина, С. О. Гапоненко*

Государственное научное учреждение
«Институт радиобиологии Национальной академии наук Беларуси»
г. Гомель, Республика Беларусь
irb@irb.basnet.by

Введение

В условиях глобального радиоактивного загрязнения биосферы особую актуальность приобретает проблема изучения возможности существования организма в измененной среде. В течение своего эволюционного развития организм теплокровных животных приобрел целый комплекс компенсаторных реакций, позволяющих ему поддерживать гомеостаз в условиях постоянного воздействия неблагоприятных факторов внешней среды.

В литературе отмечается, что после Чернобыльской катастрофы в связи с распадом части γ - и β -излучателей мощность поглощенной дозы у мелких млекопитающих значительно снизилась. В 1986 г. ее значение достигало 1,3–6,0 Гр/ч [1]. В 2005 г. она редко превышала 0,00015 Гр/ч [2]. В настоящее время дозовые нагрузки, как правило, значительно ниже. Тем не менее, в многочисленных публикациях содержатся сведения о наличии негативных биологических эффектов у животных при хроническом облучении низкими дозовыми нагрузками [3, 4, 5].

Цель

Оценка влияния радиоактивного загрязнения различной плотности на трансформацию структуры популяций и генетические изменения в соматических клетках мышевидных грызунов, обитающих в условиях повышенной радиоактивности.

Материал и методы исследования

В исследованиях анализировали 79 особей диких мышевидных грызунов (57 — отловленных в урбанизированных экосистемах (территория ПГРЭС, Масаны, Радин, Кулажин) и 22 — на фоновых территориях (Ченки, Гомель) 3 видов: *Clethrionomys glareolus* (рыжая полевка), *Apodemus flavicollis* (желтогорлая мышь), *Apodemus agrarius* (мышь полевая).

Возраст животных устанавливали по ряду признаков: весу тела, линейным размерам, состоянию репродуктивной системы [6]. Исходя из различий по массе и времени отлова все зверьки были разделены на 3 возрастных группы: перезимовавшие животные, взрослые (половозрелые) сеголетки, молодые (неполовозрелые) сеголетки. Половой состав взрослой части популяции и сеголеток определяли по общему количеству самок и самцов, отловленных на опытных участках в каждый промежуток времени.

Долевое участие вида (индекс доминирования) определяли как процент особей каждого вида от всех изъятых, принятых за 100 %.

С использованием метода гамма-спектрометрии проводили измерения активности ^{137}Cs во всем теле грызунов на гамма-спектрометрическом комплексе ORTEC GEM 40200B с диапазоном регистрируемого излучения 50–3000 кЭв.

Для оценки уровня цитогенетических нарушений анализировали частоту полихроматофильных эритроцитов (ПХЭ) с микроядрами (МЯ) в костном мозге грызунов [7].

Статистическая обработка данных проведена с помощью программных пакетов «Statistica» 6.0 и «Microsoft Excel». Проверку нормальности распределения полученных данных проводили по тесту Колмогорова — Смирнова. Достоверность различий между группами устанавливали с использованием критерия Стьюдента.

Результаты исследования и их обсуждение

За период исследований (2016 г.) максимальное значение доли рыжей полевки (58,98–33,33 %) в общей структуре популяций выявлено в загрязненных районах ПГРЭЗ (соответственно Масаны-Кулажин), что характеризует этот вид как доминантный [8, 9]. Вместе с тем, на контрольных участках (Ченки) доминирует полевая мышь (более 72 %), доля рыжей полевки составила 18,2 %. Желтогорлая мышь представляет собой второстепенный вид (доля менее 10 %). В условиях максимальной загрязненности территории (Кулажин, Радин) в структуре видов следует отметить выравненность распределения особей среди исследованных видов [10]. Соотношение перезимовавших и зверьков-сеголеток не зависело от степени техногенной нагрузки; на всех исследованных загрязненных участках доля сеголеток рыжей полевки и полевой мыши в популяциях поддерживалась на одном уровне и составляла около 3/4 общей численности животных в выборках (около 80 %). Наиболее серьезные различия отмечались в составе особей-сеголеток в зонах техногенного загрязнения по мере увеличения плотности загрязнения: доля неполовозрелых сеголеток, составляющих «резерв» популяции, существенно снижалась. На фоновой территории она составляла 66,7–85,7 % в зависимости от вида; в зоне радиоактивного загрязнения (Кулажин) падала до 12,5–20 % (таблица 1).

Таблица 1 — Удельная активность ^{137}Cs (Бк/г) и демографическая структура исследованных популяций диких грызунов (2016 г.).

Район	Перезимовавшие		Взрослые (половозрелые) особи		Молодые (неполовозрелые) особи	
	%	уд. акт. ^{137}Cs , Бк/г	%	уд. акт. ^{137}Cs , Бк/г	%	уд. акт. ^{137}Cs , Бк/г
Рыжая полевка						
Масаны	15 %	0,32 ± 0,01	25 %	0,29 ± 0,02	55 %	0,33 ± 0,02
Кулажин	—	—	87,5 %	0,88 ± 0,04*	12,5 %	0,82 ± 0,04*
Контроль (Белица, Ченки)	33,3 %	0,03 ± 0,001	66,7 %	0,02 ± 0,01	—	—
Мышь полевая						
Масаны	25 %	1,94 ± 0,03*	75 %	0,57 ± 0,02	—	—
Кулажин	—	—	80 %	1,00 ± 0,02*	20 %	0,55 ± 0,03
Контроль (Белица, Ченки)	14,3 %	0,02 ± 0,004	85,7 %	0,03 ± 0,001	—	—

* — Различие статистически достоверно ($P < 0,001$)

На всех загрязненных участках соотношение полов имело видовые различия. У рыжей полевки соотношение полов было смещено в сторону увеличения самок, доля которых существенно возрастала с увеличением техногенной нагрузки от 69 % (Масаны) до 83 % в загрязненной зоне (Кулажин). С увеличением загрязненности отмечена устойчивая тенденция роста доли самок в населении желтогорлой мыши (от 33 до 57 %). У полевой мыши соотношение полов не менялось. Аналогичные изменения в демографической структуре населения различных видов диких грызунов в условиях загрязненных территорий, обусловленных воздействием факторов техногенной природы, подтверждается работами других исследователей [10].

Средние значения мощности экспозиционной дозы (МЭД, мкЗв/ч) на высоте 5 см в точках отлова мышевидных грызунов составили от $0,12 \pm 0,28$ (Ченки) до $3,23 \pm 0,56$ (Масаны) и $5,32 \pm 1,42$ на участке Радин-Кулажин. Величина поглощенной дозы коррелирует с экспозиционной дозой γ -излучения для мышевидных грызунов.

У всех видов грызунов, отловленных на загрязненных территориях ПГРЭЗ, независимо от плотности радиоактивного загрязнения и возраста особей содержание ^{137}Cs статистически достоверно повышено (более чем в 20 раз) по сравнению с уровнями содержания радионуклида у грызунов контрольных участков. Наиболее высокие показатели накопления ^{137}Cs установлены у полевой мыши ($1,00 \pm 0,02$) и рыжей полевки (половозрелых и неполовозрелых сеголеток) в зоне максимального загрязнения ($0,88 \pm 0,04$ и $0,82 \pm 0,04$ Бк/г) соответственно (таблица 1).

Выявлена дозовая зависимость в возрастных группах половозрелых особей-сеголеток рыжей полевки и полевой мыши. Удельная активность ^{137}Cs у животных, обитавших на террито-

риях ПГРЭЗ с максимальным загрязнением (Кулажин, Радин) существенно превышает аналогичный показатель грызунов, отловленных на менее загрязненных территориях (Масаны).

При исследовании удельной активности в теле зверьков, отловленных на территории ПГРЭЗ, было установлено, что радиоактивное загрязнение животных ^{137}Cs , варьировало не только у разных видов, но и среди особей одного вида.

Генетические эффекты, проявляющиеся у животных на загрязненных территориях могут быть результатом как непосредственного воздействия инкорпорированных радионуклидов окружающей среды, так и наследуемых изменений генетического материала, возникающих в результате мутагенных воздействий на предшествующие поколения.

Определение средних величин количества микроядер в полихроматофильных эритроцитах ПХЭ с МЯ костного мозга диких животных в загрязненной зоне ПГРЭЗ показало 3–5 повышение цитогенетических нарушений по сравнению с контролем (рисунок 1).

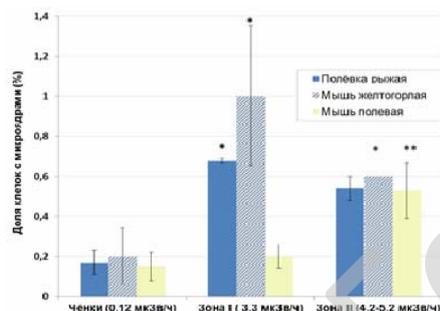


Рисунок 1 — Количество ПХЭ с МЯ в костном мозге мышевидных грызунов, обитающих на территориях ПГРЭЗ и Гомельского района (Ченки, контроль):
 * — различия с группой «Ченки» статистически достоверны;
 ** — различие с группой «Зона I» статистически достоверны

В группах контрольных животных существенных видовых различий не обнаружено.

На загрязненных территориях ПГРЭЗ у желтогорлой мыши количество МЯ повысилось в 4,85–3,0 раза (соответственно Масаны и Кулажин), у рыжей полевки — в 3,4–3,2 раза, у полевой мыши в 1,3–3,5 раз по сравнению с уровнями нарушений у контрольных животных.

Изучение реакций животных в конкретных условиях позволяет оценить его устойчивость к загрязнению определенного типа и эффективность механизмов саморегуляции и позволяет выявить закономерности изменения состояния наземных экосистем под воздействием техногенного загрязнения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Радиобиологические аспекты аварии на Чернобыльской АЭС / Я. И. Серкиз [и др.]. — К.: Наук. думка, 1995. — 588 с.
2. Величина и структура дозовых нагрузок у мелких млекопитающих Чернобыльской зоны через 19 лет после аварии / Ю.А. Маклюк [и др.] // Ядерная физика и энергетика. — 2007. — № 3 (21). — С. 81–91.
3. Григоркина, Е. Б. Анализ населения грызунов в районах техногенного неблагополучия (на примере *Apodemus (S) uralensis* из зоны ВУРСА) / Е. Б. Григоркина, Г. В. Оленев, М. В. Модоров // Экология. — 2008. — № 4. — С. 299–306.
4. Bhillwade, H. N. Gamma ray induced bone marrow micro nucleated erythrocytes in seven strains of mouse / H. N. Bhillwade, R. C. Chaubey // Mutation Research : Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis. — 2004. — Vol. 560, № 1. — P. 19–26.
5. Биологические последствия популяций мышевидных грызунов на техногенно загрязненных территориях / А. Г. Кудяшева [и др.] // «Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека»: материалы IV Междунар. конф., г. Томск, 4–8 июня 2013 г. — С. 309–312.
6. Карасева, Е. В. Методы изучения грызунов в полевых условиях / Е. В. Карасева, А. Ю. Телицина, О. А. Жигальский. — М.: Изд-во ЛКИ, 2008. — 416 с.
7. Руководство по краткосрочным тестам для выявления мутагенных и канцерогенных химических веществ. — Женева: ВОЗ, 1989. — 176 с.
8. Савицкий, Б. П. Млекопитающие Беларуси / Б. П. Савицкий, С. В. Кучмель, Л. Д. Бурко; под общ. ред. Б. П. Савицкого. — Минск: Изд. центр БГУ, 2005. — 319 с.
9. Гайдученко, Е. С. Численность и репродуктивные особенности европейской рыжей полевки лесных формаций юго-востока Белорусского Полесья / Е. С. Гайдученко // Вісник Донецького Національного Університету. Сер.А: Природничі науки. — 2010. — Вип. 1. — С. 217–221.
10. Большаков, В. Н. Специфика формирования видовых сообществ животных в техногенных и урбанизированных ландшафтах / В. Н. Большаков, О. А. Пястова, В. Л. Вершинин // Экология. — 2001. — № 5. — С. 343–354.

РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ: ЧЕРНОБЫЛЬСКИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ И РАДОН
В ОТДАЛЕННОМ ПЕРИОДЕ АВАРИИ

*Л. А. Чунихин¹, И. А. Чешик¹, Д. Н. Дроздов², А. Л. Чеховский²,
Н. Г. Власова³, А. К. Карабанов⁴, И. А. Жук⁵*

¹Государственное научное учреждение
«Институт радиобиологии Национальной академии наук Беларуси»,

²Учреждение образования

«Гомельский государственный университет имени Ф. Скорины»,

³Государственное учреждение

«Республиканский научно-практический центр
радиационной медицины и экологии человека»

г. Гомель, Республика Беларусь,

⁴Государственное научное учреждение

«Институт природопользования Национальной академии наук Беларуси»

г. Минск, Республика Беларусь,

⁵Государственное научное учреждение

«Объединенный институт ядерных исследований
Национальной академии наук Беларуси»

г. Минск, Сосны, Республика Беларусь

leochun_rcrm@mail.ru

Введение

Спустя 30 лет после аварии на ЧАЭС радиационная обстановка на территории Беларуси стабилизировалась. Сравнивая средние значения доз облучения по Каталогам-2009 и 2014 [1, 2], можно отметить заметное их снижение: с 0,46 до 0,34 мЗв/год. Еще более явно выражено снижение числа населенных пунктов (НП) с превышением предела дозы в 1 мЗв: со 193 из 2613 до 78 из 2401. На фоне снижения уровня облучения от техногенных источников всё большее влияние будут оказывать природные источники, в частности, радон. Радон на территории Республики Беларусь неравномерно поступает в помещения зданий, что обусловлено, в основном, различием содержания урана и тория в почвах и породах и их проницаемостью для радона.

Цель

Оценка и сравнение радиационной обстановки на территории Республики Беларусь, обусловленной чернобыльскими выпадениями и радоном.

Материал и методы исследования

Для настоящего анализа были использованы опубликованные данные: картограмма загрязнения цезием-137 [3] и картограмма радонового риска (рисунок 1) [4] и Каталог доз жителей НП, проживающих на территории, подвергшейся загрязнению в результате аварии на ЧАЭС — Каталог-2014. На момент разработки Каталога-2014 в Республике Беларусь НП с уровнем загрязнения цезием-137 выше 37 кБк/м² находились на территориях 4 районов из 15 в Брестской, 1 из 21 — в Витебской, 20 из 21 — в Гомельской, 3 из 17 — в Гродненской, 10 из 22 — в Минской и 13 из 21 — в Могилёвской области. Сравнительную оценку проводили по эффективной дозе облучения от чернобыльских радионуклидов и радона. В Каталоге-2014 все дозы приводятся для репрезентативного лица, что соответствует среднему значению 10 % наиболее облучаемой группы лиц из НП. Для оценки дозы от радона и его ДПР было использовано рекомендованное в Публикации № 65 МКРЗ [5] понятие условного дозового перехода.

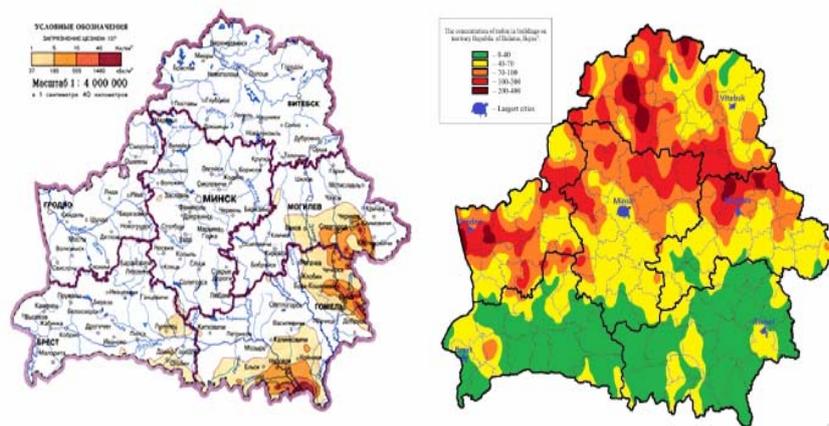


Рисунок 1 — Картограмма загрязнения территории Cs-137 (прогноз) и радонового риска Республики Беларусь на 2016 г.

Базовой территориальной структурой в данном исследовании являлись административные образования: область и район. Отбирали районы в каждой области с максимальными (около 0,5 мЗв/год и выше) и минимальными средними значениями эффективных доз (от 0 до 0,2 мЗв/год). Взвешенное значение по 95 %-ному квантилю распределения объемной активности (ОА) радона в помещениях НП выбранных районов при помощи следующего соотношения (по картограмме рисунка 1):

$$OA = \frac{\sum_{i=1}^n S_i \cdot A_{95i}}{\sum_{i=1}^n S_i} \quad (1)$$

S_i — площадь i -го диапазона концентраций, км²; A_{95i} — 95 % квантиль ОА i -го диапазона.

Используя вышеприведенное выражение (1), были рассчитаны взвешенные значения ОА радона по областям. Используя соотношение, приведенное в работе [5], — 1 Бк/м³ формирует дозу от радона и ДПР в 0,017 мЗв/год, определили эффективные дозы от радона и ДПР.

Результаты исследования и их обсуждение

Результаты сравнительной оценки эффективных доз облучения для репрезентативного лица от чернобыльского загрязнения и природного радона для характерных районов всех областей Беларуси приведены в таблице 1. Сравнительный анализ количественно подтверждает сложившуюся на территории Беларуси радиационную обстановку, обусловленную чернобыльским цезием и природным радоном, приведенную на рисунке 2. Дозы облучения от радона в загрязненных чернобыльскими радионуклидами районах в среднем в 4 раза выше, чем в «чистых», и величина дозы от чернобыльского цезия в наиболее загрязненных районах в среднем в 4 раза ниже величины дозы от радона. В отдаленном периоде аварии неучет доз от радона является некорректным, если принять во внимание потенциальную и реальную, временную или постоянную миграцию населения.

Диаграммы средних в целом по областям Республики Беларусь эффективных доз облучения от чернобыльского цезия и природного радона приведены на рисунке 2. Расчет проводили по картограмме распределения объемной активности радона по помещениям зданий в областях (рисунок 2) и данным Каталога-2014.

По абсолютным значениям суммарных эффективных доз облучения и по соотношению между дозами от чернобыльского цезия и природного радона выделяются Витебская, Гродненская и Минская области. Минимальные суммарные абсолютные величины доз и соотношения между ними — в Гомельской и Брестской областях, радиационная обстановка в Могилёвской области является близкой по абсолютному значению к первой группе областей и занимает промежуточное значение по соотношению доз. Аналогичные результаты по ОА радона и ее распределению в помещениях зданий по областям Республики Беларусь представлены в работе [6].

Таблица 1 — Значения эффективных доз облучения от чернобыльского ^{137}Cs и природного ^{222}Rn в отдельных районах Республики Беларусь

Район с большими значениями эфф. доз от чернобыльских выпадений	Доза облучения, мЗв/год		Районы с малыми значениями эфф. доз от чернобыльских выпадений	Доза облучения, мЗв/год	
	выпадения	радон		выпадения	радон
<i>Брестская область</i>					
Столинский	0,49	0,77	Дрогиничский	0,16	0,65
<i>Витебская область</i>					
Толочинский	0,11	3,2	Глубокский	-	4,9
			Шарковичский	-	3,9
<i>Гомельская область</i>					
Ветковский	0,59	0,68	Октябрьский	-	0,95
Наровлянский	1,4	0,68	Житковичский	0,18	0,65
Чечерский	0,58	0,80	Речицкий	0,17	0,66
<i>Гродненская область</i>					
			Дятловский	0,18	1,6
			Ивьевский	0,19	2,6
<i>Минская область</i>					
Солигорский	0,43	0,77	Крупский	0,12	3,1
			Волошинский	0,16	2,9
<i>Могилёвская область</i>					
Славгородский	0,51	1,1	Горецкий	-	4,4
Костюковичский	0,47	1,1	Шкловский	-	4,1

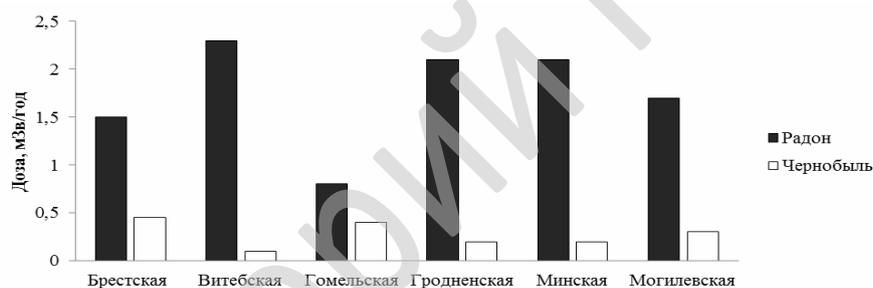


Рисунок 2 — Распределение доз облучения по областям

Заключение

Как показало исследование, в отдалённом периоде аварии на ЧАЭС сложилась радиационная обстановка, характеризующаяся тем, что во многих регионах основной вклад в дозу облучения населения вносит природный радон. Различие в дозах по регионам Беларуси в разы превышает дозу от чернобыльских радионуклидов. Также в разы различаются дозы от радона по регионам. Однозначным выводом, вытекающим из настоящего исследования, является необходимость учёта влияния радона при изучении медико-биологических последствий действия ионизирующего излучения на здоровье населения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Каталог средних годовых эффективных доз облучения жителей населенных пунктов Республики Беларусь / Н. Г. Власова [и др.]; утв. Министром здравоохранения Республики Беларусь 17.08. 2009 г. — Гомель: РНПЦ РМ и ЭЧ, 2010. — 86 с.
2. Каталог средних годовых эффективных доз облучения жителей населенных пунктов Республики Беларусь / Н. Г. Власова [и др.]; утв. Министром здравоохранения Республики Беларусь 26.03. 2015 г. — Гомель: РНПЦ РМ и ЭЧ, 2015. — 72 с.
3. Нацыянальны атлас Беларусі / Рэд. кал. М.У. Мясніковіч [і інш.]. — Мінск: Белкартаграфія, 2002. — 292 с.
4. Карта радонового риска Республики Беларусь / А.К. Карабанов [и др.]. // Природные ресурсы. — 2015. — № 2. — С. 73–78.
5. ICRP Publication 65. The 1993// Ann. ICRP. Oxford: Pergamon Press, 1993. — 76 p.
6. Радон в воздухе зданий и радоновая составляющая дозы радиоактивного облучения населения в различных областях Беларуси / О. И. Ярошевич [и др.]. // Доклады НАН Беларуси. — 2012. — Т. 56, № 6. — С. 92–97.

ВЛИЯНИЕ БОКАШИ РАЗНОГО СОСТАВА НА ПРОИЗРАСТАНИЕ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ В УСЛОВИЯХ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВЫ

Н. В. Шамаль, Е. А. Клементьева, Р. А. Король, А. А. Дворник, С. О. Гапоненко

Государственное научное учреждение
«Институт радиобиологии Национальной академии наук Беларуси»
г. Гомель, Республика Беларусь
namahasha@rambler.ru

Введение

В результате аварии на Чернобыльской АЭС часть территории Беларуси подверглась глобальному загрязнению радиоактивными изотопами. Последствия катастрофы серьезнейшим образом затронули все сферы жизнедеятельности пострадавших регионов. В настоящее время радиоэкологическая обстановка определяется долгоживущими изотопами, которые, присутствуя практически во всех компонентах экосистем, включаются в геохимические и трофические циклы миграции.

Для получения безопасной сельхозпродукции в растениеводстве в качестве основного метода применяется ежегодное внесение повышенных доз минеральных удобрений. Отрицательными сторонами этого приема является удорожание сельхозпродукции по сравнению с незагрязненными территориями и ухудшение экологического состояния почвы. Одним из способов решения данной проблемы является внедрение активно разрабатываемого направления сельского хозяйства — органического земледелия. Преимуществом этого направления сельского хозяйства является получение экологически безопасных продуктов при сохранении и увеличении плодородия почвы. Важным постоянно возобновляемым источником пополнения органических вещества в почве являются корневые и пожнивные остатки сельхоз культур и в частности солома. Также таким источником могут быть отходы мукомольно-крупяной промышленности.

Одним из направлений органического земледелия является EM-технология, разработанная японским агрономом Тэруо Хига. Правообладателем препарата является японская компания EM Research Organization Inc. Технология основана на объединении в одной биокультуре разных штаммов бактерий и дрожжевых грибов [1]. Переработка растительных остатков с использованием этой технологии позволяет получать качественный ферментированный компост — бокаши.

Цель

Оценка влияния органических остатков мукомольного производства, ферментированных микробиологическим препаратом EM Конкур, на развитие растений яровой пшеницы, агрохимические параметры почвы и состояние ^{137}Cs в почве.

Материал, методы и результаты исследования

Оценку влияния почвенных добавок проводили в условиях лабораторного опыта. Объектом исследования являлась яровая пшеница сорта «Рассвет». В качестве субстрата для изготовления бокаши использовалась гречневая лузга, рисовая лузга и пшеничные отруби, которые имели разный химический состав и происхождение состав [2–4]. Добавки в почву вносили за 2 недели до посева семян. Для более точной оценки действия добавок минеральные удобрения не использовались. Схема эксперимента представлена в таблице 1.

Таблица 1 — Схема эксперимента

Вариант опыта	Добавка и доза внесения в % к сухой массе почвы
Контроль	смесь супесчаной почвы и торфа в соотношении 10:1
Бокаши 1	3 % гречневой лузги, ферментированной EM
Бокаши 2	3 % смеси гречневой и рисовой лузги (1:1), ферментированной EM
Бокаши 3/1	1 % пшеничных отрубей, ферментированных EM
Бокаши 3/3	3 % пшеничных отрубей, ферментированных EM

Растения выращивали в сосудах на смеси супесчаной почвы и торфа при естественном освещении. Влажность почвы поддерживали на уровне 50 % полевой влагоемкости (ПВ). Всхожесть растений в эксперименте оценивали на 10-е сутки. На 35-й день после всходов растения срезали, взвешивали и определяли биометрические параметры. Определение агрохимических показателей в почве проводилось по стандартным методикам. Выделение форм ^{137}Cs проводили по модифицированной методике [5]. Измерение удельной активности образцов по ^{137}Cs проводили на гамма-спектрометре с детектором GEM 40200-P и программой обработки спектров «Gamma Vision» фирмы Ortec.

Влияние почвенных добавок бокаши на агрохимические параметры почвы. Использованные трех видов бокаши способствовали улучшению структуры почвы и некоторых агрохимических ее свойств (таблица 2). Отмечено увеличение влагоемкости почвы (на 6–11 %), гумуса (на 7–19 %), доли подвижного фосфора (на 16–145 %) и обменного магния (на 17–44 %) по сравнению с показателями контрольной почвы. Для других параметров отмечено различное действие бокаши, что связано с составом субстрата, на основе которого готовилась добавка. При внесении в почву бокаши 1 (на основе гречневой лузги) наблюдается повышение pH почвы, а при использовании бокаши 2 (смесь гречневой и рисовой лузги) и 3 (пшеничные отруби) – закисление почвы. На фоне увеличения гидролитической кислотности (Нг), суммы поглощенных оснований (S) и емкости поглощения для всех трех составов бокаши наблюдается снижение степени насыщенности почвы основаниями (V) для бокаши 2 и 3. Установлено снижение обменного Ca при внесении бокаши 1 и 2 и увеличение Ca при внесении бокаши 3 в почву в дозе 3 %.

Таблица 2 — Влияние почвенных добавок на агрохимические параметры почвы

Параметр	Контроль	Бокаши 1	Бокаши 2	Бокаши 3/1	Бокаши 3/3
Влагоемкость почвы, %	55,2	59,3	60,1	58,4	61,1
pH, ед	6,17	6,24	6,01	6,11	5,88
S, ммоль/ 100г	16,0	17,2	17,8	16,9	16,9
Нг, ммоль/ 100г	1,80	1,92	2,45	2,11	2,66
V, %	89,9	90,1	88,0	89,1	86,7
Ca (обменный), мг/кг	170	156	148	169	176
Mg (обменный), мг/кг	24,6	24,7	35,4	28,9	30,4
P ₂ O ₅ (подвижный), мг/кг	544	676	1332	630	825
Гумус, %	4,2	4,8	5,0	4,5	4,7

Влияние почвенных добавок бокаши на состояние ^{137}Cs в почве. Внесение добавок в почву ведет к снижению доступности для растений радионуклида в почве. Анализ почвы контрольного варианта (таблица 3) показал, что половина ^{137}Cs находится в почве в недоступной для растений форме (IV–V формы). Доля обменного и подвижного радионуклида составляет менее 1 % (I форма). Около 9 % составляет форма ^{137}Cs , связанного с оксидами железа и марганца (II форма) и 40 % форма, связанная с органическим веществом почвы (III форма).

При использовании бокаши отмечается снижение доли биологически доступных форм ^{137}Cs . Наиболее чувствительной к составу бокаши оказалась обменная форма радионуклида. По сравнению с показателем контрольной почвы доля этой формы увеличивается на 12 и 23 % при использовании соответственно бокаши 3/1 и 2, не меняется при использовании бокаши 1 и снижается на 18 % — при бокаши 3/3. В зависимости от используемой добавки уменьшение формы, связанной с оксидами железа и марганца, составляет от 4 до 27 %; а формы, связанной с органическим веществом, от 7 до 16 %. Бокаши способствует фиксации радионуклида в минеральных компонентах почвы. Увеличение доли IV–V формы составило 7–16 %.

По эффективности снижения первых двух форм радионуклида почвенные добавки можно расположить в следующей последовательности: бокаши 2 (9,6 %) → бокаши 3 (8,5 %) → бокаши 1 (7,4 %).

Таблица 3 — Влияние почвенных добавок на содержание в почве форм ^{137}Cs с различной биологической доступностью (%)

Вариант опыта	I	II	III	IV + V
Контроль	0,66 ± 0,02	9,20 ± 0,14	40,1 ± 0,9	50,0 ± 1,1
Бокаши 1	0,68 ± 0,04	6,73 ± 0,13*	33,8 ± 0,9*	58,8 ± 3,2
Бокаши 2	0,81 ± 0,04*	8,81 ± 0,21	35,6 ± 1,5	54,8 ± 2,4
Бокаши 3/1	0,74 ± 0,04	7,78 ± 0,26*	37,0 ± 0,9	54,5 ± 2,3
Бокаши 3/3	0,54 ± 0,02*	7,86 ± 0,30*	37,2 ± 2,3	54,4 ± 2,1

* — Различия достоверны к контролю при уровне значимости ($p < 0,05$).

Влияние почвенных добавок на прорастание и развитие растений пшеницы. Одним из важнейших параметров оценки почвенных добавок является их влияние на рост и развитие растений. Внесение в почву бокаши 1 практически не влияет на прорастание растений (таблица 4). При использовании бокаши других составов отмечено их угнетающее действие на всхожесть растений. Снижение всхожести составило 10 и 32–34 % соответственно для бокаши 2 и 3.

С момента всходов отмечались различия в развитии растений. В вариантах опыта с использованием бокаши наблюдалось визуально выраженное торможение роста растений. В ходе эксперимента ростовая активность растений увеличилась и к его завершению отмечалась явная стимуляция ростовых параметров таких растений по сравнению с контрольным вариантом. Биомасса растений опытных вариантов в конце эксперимента была в 1,8–2,1 раза выше массы контрольных растений. Высокие значения этого параметра связаны с активным накоплением сухого вещества растениями, которое было выше контрольного в 1,3–1,5 раза. Общая длина листьев 1-го растения в опытных вариантах увеличилась на 12–24 %, высота стебля — на 5–12 % по сравнению с контрольными растениями.

Таблица 4 — Влияние почвенных добавок на прорастание и рост растений

Вариант опыта	Всхожесть, %	Биомасса растения		Длина листьев 1 растения, см	Высота стебля, см
		сырая, мг	сухая, мг		
Контроль	92 ± 1,6	359 ± 14,3	47,6	93,3 ± 2,1	11,0 ± 0,47
Бокаши 1	92 ± 2,8	646 ± 6,5	62,8	107,1 ± 1,5	12,0 ± 0,29
Бокаши 2	83 ± 4,1	713 ± 7,5	71,8	113,3 ± 1,8	12,3 ± 0,28
Бокаши 3/1	63 ± 9,8	658 ± 8,3	65,6	104,3 ± 3,2	10,1 ± 0,35
Бокаши 3/3	59 ± 4,4	750 ± 14,0	70,4	115,4 ± 2,5	11,5 ± 0,25

Для подтверждения данных фенологических наблюдений была проведена оценки скорости развития растений. Установлено, что к 35-му дню у растений всех вариантов эксперимента закончилось формирование 3-го листа. В контрольном варианте доля растений с 4-мя, 5-ю и 6-ю листьями составляла соответственно 98, 71 и 9 % от общего количества растений контрольного варианта. В опытных вариантах все растения (100 %) имели не менее 4-х листьев, и доля растений с 5-ю листьями составляла 98, 96 и 74 % соответственно для вариантов с бокаши 1, 2 и 3. В то же время доля растений с 6-ю листьями в этих вариантах не превышала 7 %.

Влияние почвенных добавок бокаши на накопление ^{137}Cs растениями пшеницы. Как было установлено выше, внесение почвенных добавок способствует закреплению биологически доступных форм ^{137}Cs в почве. Анализ удельной активности (УА) радионуклида в надземной части растений и расчет коэффициентов накопления (Кн) подтвердил полученные данные (таблица 5). Максимально высокая активность ^{137}Cs обнаружена в растениях контрольного варианта. Внесение в почву добавок снижало переход радионуклида в растения. Наиболее эффективным оказалось внесение бокаши 1 и 2 в почву, наименьшая эффективность отмечена от использования бокаши 3. УА радионуклида в надземной части растений снизилась в 7,2–7,9 и 2–3,7 раза соответственно. Эта зависимость сохранилась при расчете коэффициента накопления (отношение УА растений к УА почвы). Проведенный расчет коэффициента выноса (Кв: отношение активности ^{137}Cs в растениях к активности ^{137}Cs в почве в расчете на 1 сосуд) подтвердил эффективность бокаши по снижению доступности радионуклида для растений.

Таблица 5 — Влияние бокаши на накопление ^{137}Cs в надземной части растений

Вариант опыта	Удельная активность, Бк/кг		Кн $\times 10^{-2}$	Кв $\times 10^{-4}$
	сухой массы	сырой массы		
Контроль	1180 \pm 67	161,9 \pm 11,6	19,3 \pm 1,1	2,37 \pm 0,14
Бокаши 1	165 \pm 3,3	16,4 \pm 0,33	2,87 \pm 0,06	0,44 \pm 0,01
Бокаши 2	150 \pm 4,0	15,4 \pm 0,42	2,56 \pm 0,07	0,39 \pm 0,01
Бокаши 3/1	322 \pm 7,7	33,0 \pm 0,79	6,20 \pm 0,15	0,69 \pm 0,02
Бокаши 3/3	597 \pm 11	58,7 \pm 1,12	12,1 \pm 0,2	1,40 \pm 0,03

Таким образом, установлено, что почвенные добавки — бокаши стимулируют процессы роста растений, улучшают агрохимические показатели почвы, способствуют закреплению ^{137}Cs в почве, что ведет к снижению его перехода в растения. Из обследованных добавок наиболее перспективной оказалась бокаши 1, полученный на основе ферментирования гречневой лузги. В то же время использование высокобелкового субстрата для приготовления бокаши (пшеничных отрубей) оказалось наименее эффективным. Внесение бокаши 3 в почву оказало негативное действие на всхожесть растений, привело к закислению почвы и в меньшей степени снизило переход ^{137}Cs в растения. Проведенные исследования показали перспективность применения бокаши для выращивания растений на радиоактивно загрязненных землях, что определяет необходимость дальнейшего изучения этого направления органического земледелия.

ЛИТЕРАТУРА

1. ЭМ-технология надежда планеты. — М. — Улан-Удэ, 2000. — 34 с.
2. Березовский, А. А. Подготовка и хранение кормов / А. А. Березовский, И. Я. Автомонов, А. И. Девяткин. — М.: Колос, 1965. — 311 с.
3. Чевокин, А. А. Комплексная технология переработки гречихи с утилизацией лузги: диссертация кандидата технических наук: 05.18.01 / А. А. Чевокин. — М., 2008. — 202 с.
4. Возобновляемые источники химического сырья: комплексная переработка отходов производства риса и гречихи / В. И. Сергиенко [и др.] // Рос. хим. журнал (Журнал Российского хим. об-ва им. Д. И. Менделеева). — 2004. — Т. 48, № 3. — С. 116–124.
5. Chemical speciation in the environment. Second edition / Ed. by A. M. Ure, C. M. Davidson. — Wiley, 2002. — 452 p.

УДК [631.54:546.36]:[551.58 + 631.8]

ОСОБЕННОСТИ НАКОПЛЕНИЯ ^{137}Cs РАСТЕНИЯМИ В УСЛОВИЯХ КРАТКОВРЕМЕННОГО ПОВЫШЕНИЯ ТЕМПЕРАТУР ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ УДОБРЕНИЙ

О. А. Шуранкова, А. Н. Никитин, Р. К. Спиров

Государственное научное учреждение
«Институт радиобиологии Национальной академии наук Беларуси»
г. Гомель, Республика Беларусь
shurankova@list.ru

Введение

К настоящему времени вопрос влияния климатических факторов на переход техногенных радионуклидов в растения изучен крайне слабо и фрагментарно. Актуальность этой информации усиливается по мере обострения проблемы глобального изменения климата.

На фоне потепления климата почти повсеместно увеличивается число дней с экстремально высокими суточными температурами воздуха; растет продолжительность непрерывных эпизодов с экстремально высокой температурой (тепловые волны) или с температурой, превышающей определенное значение. Более часто стали отмечаться случаи, когда крайне высокая температура сопровождается высокой влажностью воздуха, т. е. климат становится похожим на тропический.

Отмечается смещение агроклиматических областей на 60–150 км к северу. В Полесье появилась новая для республики более теплая агроклиматическая зона.

Опасные гидрометеорологические явления демонстрируют тенденцию роста. По оценкам экспертов Всемирного банка (2005 г.) ежегодный ущерб от воздействия опасных гидрометеорологических явлений в Республике Беларусь составит порядка 90 млн долларов США.

Согласно долгосрочным оценкам изменения климата, базирующимся на регионализации климатического сценария по результатам модели общей циркуляции атмосферы HadCM2 (Великобритания), на территории Беларуси средняя температура всех месяцев в среднем повысится на 0,6–1,9 °С в период с 1990–2039 гг. и на 1,0–2,9 °С в последующие годы XXI в., а среднегодовое количество осадков возрастет незначительно и будет приходиться на зимние месяцы, когда их роль, как источника влаги для вегетации текущего года не велика. Величина роста минимальных температур (ночных и зимних) будет на 20–30 % выше [1].

Как известно, одним из внешних условий оказывающих влияние на физиологические процессы корневого поступления радионуклидов в растения существенное влияние оказывает температура, которая воздействует как на подвижность ионов, так и свойства цитоплазмы, снижая или увеличивая ее вязкость, а, следовательно, и проницаемость. При температуре близкой к 0 °С, поглощение веществ идет медленно, затем в пределах до 40 °С усиливается. Причем, в этих пределах повышение температуры на 10° увеличивает поглощение в два и даже три раза. В условиях высоких температур на поверхности почв с высоким содержанием глинистой фракции появляются трещины, усиливаются процессы эрозии [2], падает фильтрационная способность почв, усиливаются потери минеральных веществ [3]. Температура почвы оказывает влияние на сорбцию тяжелых металлов и радионуклидов почвенными минералами [4], тем самым она сказывается на доле поллютантов, находящихся в биодоступной форме. Еще одним фактором, влияющим на распределение радионуклидов по физико-химическим формам, являются качественные и количественные характеристики органического вещества почвы. Температура же влияет, как на процессы разложения органических молекул в почве, так и на состав и продуктивность произрастающих на ней растений, являющихся источником органического вещества. В свою очередь, качественные и количественные характеристики органического вещества почвы во многом определяют ее структурные характеристики, поглотительную и водоудерживающую способности, содержание элементов минерального питания, окислительно-восстановительный и кислотно-щелочной потенциалы.

Большое значение при поступлении радионуклидов из почвы в растения имеют не только плотность загрязнения, но и формы нахождения радионуклидов в почвах, размеры их подвижности и доступности. ¹³⁷Cs более прочно фиксируется твердой фазой почвы по типу необменной формы в кристаллических решетках почвенных минералов. За послеаварийный период количество прочносвязанного ¹³⁷Cs в основных типах почв республики увеличилось в 2–2,5 раза и колеблется в пределах 50–70 % от общего содержания. Гранулометрический состав почвы влияет на прочность закрепления микроколичеств радионуклидов. Поглощенные радионуклиды, особенно ¹³⁷Cs, закрепляются тяжелыми почвами сильнее, чем легкими. С уменьшением размера фракций почвы прочность закрепления ¹³⁷Cs повышается [5].

Уровень плодородия почвы оказывает сильное влияние на Кп, т. е. на поступление радионуклидов в растения. Установлено, что с увеличением содержания гумуса в супесчаной почве от 1–1,5 до 2,1–3,0 % поступление ¹³⁷Cs в многолетние злаковые травы снижалось в 1,3 раза.

Материал и методы исследования

Объектами исследований явились яровая пшеница и горчица белая. В качестве субстрата для выращивания растений использовалась смесь дерново-подзолистой супесчаной почвы, отобранной в б.н.п. Борщевка, ППРЭЗ Хойникского района, с добавлением почвогрунта TERRA VITA в соотношении 3:1. Удельная активность субстрата по ¹³⁷Cs составила $13 \pm 1,83$ кБк/кг. Субстрат помещался в контейнеры для выращивания растений объемом 1,1 л. В эксперименте были использованы азотно-фосфорно-калийное комплексное удобрение

марки 16-16-16-6(S) производства ОАО «Гомельхимсервис» в дозе по 0,75 г на сосуд и бокаши — продукт ферментации отходов переработки пшеничных отрубей в дозе 22 г на сосуд.

Семена проращивались при температуре 25 °С. Наклонувшиеся семена пшеницы, высевались в горшки по трафарету в количестве 30 штук на горшок на глубину в 1 см.

Изъятие растений осуществлялось на следующие сутки после стресса. Растения выращивались при температуре воздуха 18 °С и относительной влажности воздуха 50–60 %. Продолжительность светового дня составляла 16 часов, включая 30 минут на постепенное увеличение и ослабление светового потока. Поток ФАР на максимуме составлял 200 мМсек⁻¹м⁻². Тепловой стресс создавался на 22 сутки после посадки растений в грунт. Температура воздуха повышалась до 35 °С на протяжении 6 часов во время светового дня растений.

Наклонувшиеся семена горчицы, высевались в горшки по трафарету в количестве 7 штук на горшок на глубину в 1 см. Изъятие растений осуществлялось на пятые сутки после стресса. Условия выращивания растений те же, что и в предыдущем эксперименте. Тепловой стресс создавался на 23 сутки после посадки растений в грунт. Температура воздуха повышалась до 35 °С на протяжении 6 часов во время светового дня растений.

Для вегетационных опытов подготовка сосудов с почвой для эксперимента проводилась следующим образом: на первом этапе для создания единой влажности во всех сосудах при их набивке необходимо придерживаться 40–50 % от полной влагоемкости, для этого в почву вносилось расчетные 4,2 л воды на 14 кг почвы. Почва тщательно перемешивалась для равномерного распределения влаги. Далее в сосуды набивалось по 990 г подготовленной почвы. Повторность всех опытов трехкратная. Обработка почвы добавками проводилась непосредственно перед посевом семян. Полив растений проводился дистиллированной водой по заранее рассчитанной норме, поддерживая оптимальную одинаковую влажность почвы — 70 % от полной влагоемкости почвы. Для этого ежедневно проводилось взвешивание горшков с растениями и полив до рассчитанной массы, соответствующей 70 % от полной влагоемкости почвы.

Результаты исследования и их обсуждение

Как показали результаты эксперимента, внесение бокаши или удобрения в почвенную смесь не вызвало достоверных изменений в аккумуляции радионуклида в надземной биомассе стрессируемых растений яровой пшеницы (таблица 1). В варианте с внесением в почвенную смесь комплексного удобрения при стрессировании растений высокими температурами поступление ¹³⁷Cs в надземную биомассу растений снизилось на 13 % относительно контрольных значений.

Немаловажно отметить, что внесение удобрений стимулировало переход ¹³⁷Cs в растения яровой пшеницы в 2 раза по сравнению с контрольным вариантом. Однако в варианте без внесения удобрений отмечено превышение на 12 % содержания ¹³⁷Cs в надземной биомассе стрессируемых растений.

Таблица 1 — Характеристика аккумуляции ¹³⁷Cs в фитомассе пшеницы яровой при внесении удобрений

Вариант опыта	Ауд., (на сух. массу), Бк/кг		Кн	
	контроль	стресс	контроль	стресс
Контроль	359,71 ± 71,94	404,47 ± 76,85	0,028	0,031
Бокаши	855,86 ± 128,38	852,66 ± 127,89	0,066	0,066
НПК	864,61 ± 121,05	751,08 ± 135,19	0,067	0,058

Как и в опыте с яровой пшеницей, в эксперименте с горчицей белой происходит стимулирование накопления ¹³⁷Cs в надземной биомассе растений при внесении минерального и органического удобрения (таблица 2). В варианте опыта с внесением в почвенную смесь бокаши произошло увеличение аккумуляции ¹³⁷Cs в надземной биомассе горчицы белой на 114%, а при внесении комплексного удобрения на 140 %.

В группах с внесением удобрений при воздействии температурного стресса на растения происходит снижение накопления ¹³⁷Cs на 10 % в варианте с внесением в почвенную смесь бокаши и на 54 % в варианте с внесением комплексного удобрения.

Иная закономерность наблюдается в контрольной группе, при воздействии температурного стресса на растения происходит увеличение аккумуляции ^{137}Cs надземной биомассой растений на 27 %.

Таблица 2 — Характеристика аккумуляции ^{137}Cs в фитомассе горчицы белой при внесении удобрений

Вариант опыта	Ауд., (на сух. массу), Бк/кг		Кн	
	контроль	стресс	контроль	стресс
Контроль	577,6 ± 86,6	731,5 ± 139,0	0,044	0,056
Бокаши	1237,2 ± 223,7	1126,6 ± 191,5	0,095	0,086
НПК	1407,3 ± 281,5	765,7 ± 153,1	0,110	0,059

Заключение

Воздействие теплового стресса на растения приводит к увеличению накопления ^{137}Cs в надземной фитомассе растений. Однако при внесении в почву органических или минеральных удобрений данный эффект либо исчезает, либо меняется на противоположный.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Логинов, В. Ф.* Изменения климата Беларуси и их последствия / В. Ф. Логинов. — Минск, 2003. — 330 с.
2. Modelling the effects of climate change on the hydrology and water quality of structured soils, NATO ASI Series 23 / A. C. Armstrong [et al.] // Soil Responses to Climate Change / eds. M. D. A. Rounsevell, P. J. Loveland. — Springer-Verlag, 1994. — P. 113–136.
3. *Rounsevell, M. D. A.* Climate change and agricultural soils: impacts and adaptation / M. D. A. Rounsevell, S. P. Evans, P. Bullock // Climatic Change. — 1993. — Vol. 43. — P. 683–709.
4. Barrow, N. J. A brief discussion on the effect of temperature on the reaction of inorganic ions with soil / N. J. Barrow // European Journal of Soil Science. — 1992. — Vol. 43. — P. 37–45.
5. *Агеец, В. Ю.* Система радиэкологических контрмер в агрофере Беларуси / В. Ю. Агеец. — Минск: Ком. по проблемам последствий катастрофы на ЧАЭС, Респ. науч.-исслед. унитар. предприятие «Ин-т радиологии», 2001. — 249 с.

УДК 636.2:614.876

РОСТ И РАЗВИТИЕ МОЛОДНЯКА КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА ШАРОЛЕЗСКОЙ И ЛИМУЗИНСКОЙ ПОРОД, СОДЕРЖАЩЕГОСЯ НА ТЕРРИТОРИИ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

И. В. Яночкин, А. В. Гаращенко, С. В. Смяткина

Государственное природоохранное научно-исследовательское учреждение «Полесский государственный радиационно-экологический заповедник»

г. Хойники, Республика Беларусь

i.yanochkin@mail.ru

Введение

Мясные породы крупного рогатого скота менее требовательны к кормам и условиям содержания, дают более высокие приросты живой массы, более высокий убойный выход туш и ее мякотной части. Во время выращивания среднесуточные приросты крупнорогатого скота мясных пород достигают 1200–1500 г.

Породы неравнозначны по продуктивности и численности животных, что обусловлено их адаптационной способностью, технологией выращивания молодняка, воспроизводительной способностью, условиями кормления, интенсивностью роста и формирования, а также рядом других факторов. Для повышения эффективности мясного скотоводства необходимо должным образом выращивать молодняк. По мнению ученых, оптимальной живой массой подсосных телят к отъему к 7–8-месячному возрасту должна быть масса 280–300 кг, а молодняк к 18-месячному возрасту — не менее 600–650 кг. В свою очередь следует обращать внимание и на возможности отбора бычков по среднесуточным приростам и линейным признакам в установленные возрастные периоды.

В процессе роста и развития животное приобретает не только породные и видовые признаки, но и присущие только ему особенности конституции, экстерьера и продуктивности, на которые в немалой степени оказывают влияние условия выращивания. Становление всех хозяйственно-полезных признаков, в числе которых живая масса и интенсивность роста, происходит благодаря наследственной основе организма и ее взаимодействию с условиями среды [1, 2, 3].

Сельскохозяйственные предприятия, расположенные на территории радиоактивного загрязнения, располагают большими возможностями для развития мясной отрасли. В этой связи, целесообразно выявить перспективные породы мясного скота в целях их рационального использования для производства высококачественной говядины [5].

С учетом этого, была поставлена цель: изучить рост и развитие молодняка крупного рогатого скота шаролезской и лимузинской пород, содержащегося на территории радиоактивного загрязнения.

Научные исследования проводились в рамках выполнения Государственной программы переспециализации с молочного на мясное скотоводство в сельскохозяйственных предприятиях, расположенных на территории радиоактивного загрязнения.

Материал и методы исследования

Исследования по изучению роста и развития бычков крупного рогатого скота шаролезской и лимузинской пород, содержащихся на территории радиоактивного загрязнения, проведены в КСУП «Скороднянский» Ельского района и СПК «Хорошевский» Добрушского района.

Объектом исследования были бычки шаролезской и лимузинской пород от рождения до 18-месячного возраста в количестве 30 голов в обоих хозяйствах. Бычки данных пород выращивались по технологии мясного скотоводства по системе «корова-теленки» и далее до 18-месячного возраста — беспривязно на глубокой подстилке. Бычки в период исследований были в одинаковых условиях кормления и содержания. В зимне-стойловый период кормление грубыми кормами проводилось на выгульно-кормовой площадке, а силосом, сенажом и концентратами — в помещении. Поение осуществлялось из групповой автопоилки с электроподогревом зимой. В летний период все корма раздавались на выгульном дворе. Пробы кормов используемых в рационах бычков для определения ^{137}Cs отбирались два раза в месяц и определялись гамма-спектрометрическим методом на гамма-спектрометрическом комплексе Cannberra-Packard [4, 6]. Рационы составляли в соответствии с имеющимся в хозяйстве набором кормов и их запасом из расчета получения, за 18 месяцев выращивания, среднесуточного прироста 850–950 г. Уровень кормления бычков во все периоды выращивания был достаточно высоким и вполне соответствовал потребностям растущих бычков в питательных веществах и энергии. В качестве минеральной подкормки использовали кормовой мел и соль лизунец. Живую массу учитывали путем индивидуально ежемесячного взвешивания подопытных бычков в утренние часы до кормления, с момента рождения до 18-месячного возраста. По результатам взвешивания вычисляли среднесуточный прирост. Для изучения линейного роста у подопытных бычков в возрасте 12 месяцев брали основные промеры, на основании которых вычисляли индексы телосложения. Состояние волосяного покрова изучали по показателям густоты, массы чистых волос на уровне последнего ребра с площади 1 см^2 и длины 100 волос, определяли соотношение пуха, ости и переходного волоса.

Прижизненную дозиметрию подопытных бычков проводили два раза в месяц с помощью радиометра МКС-01-Советник.

Полученный цифровой материал подвергли биометрической обработке по Н. А. Плохинскому. Статистическую обработку проводили по методам Стьюдента, разницу считали достоверной при ($P < 0,05$).

Результаты исследования и их обсуждение

При вариабельности удельной активности ^{137}Cs в кормах, используемых в кормлении бычков обеих пород в процессе выращивания, изменялось и содержание ^{137}Cs в рационах (Бк/сут). Так, в подсосный период в возрасте 6-7 месяцев содержание ^{137}Cs в рационе шаролезской породы составила $7620 \pm 0,47$ Бк/сут, лимузинской $7422 \pm 0,38$ Бк/сут. В возрасте 12 месяцев бычки шаролезской и лимузинской пород потребляли 5 кг соломы ячменной,

2,5 кг сена злаково-бобового, 10 кг сенажа разнотравного, 8 кг силоса кукурузного и 1 кг концентратов. Содержание ^{137}Cs в рационах бычков в этот период составило: шаролезской породы $9560 \pm 1,57$, лимузинской породы $9656 \pm 1,36$ Бк/кг. В возрасте 18 месяцев рацион бычков шаролезской и лимузинской пород состоял из 5 кг ячменной соломы, 3 кг сено злаково-бобового, 12 кг сенажа разнотравного, 9 кг силоса кукурузного и 1,5 кг концентратов. Содержание ^{137}Cs в рационах животных в этот период составило для бычков шаролезской породы $10241 \pm 2,11$ Бк/сут, для бычков лимузинской породы — $10186 \pm 2,16$. Содержание в суточном рационе ^{137}Cs (Бк/сут.) и удельная активность ^{137}Cs (Бк/кг) в мышечной ткани бычков шаролезской и лимузинской пород представлены в таблице 1.

Максимальное содержание ^{137}Cs в кормовых рационах при выращивании бычков шаролезской и лимузинских пород до с 8 до 18 месячного возраста приходилось на сено злаково-бобовое и сенаж разнотравный $1240 \pm 0,17$, $1362 \pm 0,12$ Бк/кг.

Эффективность выращивания бычков крупного рогатого скота шаролезской и лимузинской пород определяется уровнем его роста и развития. Во все возрастные периоды между бычками шаролезской и лимузинской пород установлено достоверная разница по живой массе. Результаты взвешиваний бычков обеих пород представлены в таблице 2. Данные таблицы показывают, что при рождении бычки шаролезской породы превосходили своих сверстников на 3,2 кг. Так, в возрасте 6–7 месяцев живая масса бычков была в пределах от $230,5 \pm 1,68$ до $245,6 \pm 2,47$, где превосходство над лимузинскими бычками имели шаролезские бычки на 15,1 кг, или на 6,2 % выше.

В годовалом возрасте шаролезские бычки имели живую массу на 39,2 кг или на 10 % больше чем лимузинские. В 18 месячном возрасте бычки лимузинской породы уступали по живой массе сверстникам шаролезской породы на 18,9 кг ($P < 0,05$).

Самый высокий среднесуточный прирост живой массы от рождения до 18-месячного возраста отмечен у бычков шаролезской породы. За этот период бычки превосходили лимузинских на 9,8 % ($P < 0,05$).

Таблица 1 — Содержание в рационе ^{137}Cs (Бк/сут) и удельная активность ^{137}Cs в мышечной ткани (Бк/кг) бычков по возрастным периодам

Возрастной период, мес.	Порода			
	Шаролезская		Лимузинская	
	содержание ^{137}Cs в рационе	удельная активность ^{137}Cs в мышечной ткани	содержание ^{137}Cs в рационе	удельная активность ^{137}Cs в мышечной ткани
6	$7620 \pm 0,47$	$396 \pm 0,34$	$7422 \pm 0,38$	$391 \pm 0,42$
9	$9240 \pm 0,20$	$432 \pm 0,25$	$9222 \pm 0,18$	$436 \pm 0,24$
12	$9560 \pm 1,57$	$455 \pm 1,58$	$9656 \pm 1,36$	$448 \pm 1,44$
15	$9820 \pm 1,79$	$467 \pm 1,62$	$9794 \pm 1,68$	$462 \pm 1,40$
18	$10241 \pm 2,11$	$476 \pm 2,13$	$10186 \pm 2,16$	$470 \pm 2,14$

Таблица 2 — Динамика живой массы подопытных бычков

Возраст, мес.	Порода	
	Шаролезская, n = 30	Лимузинская, n = 30
При рождении	$35,6 \pm 0,72$	$32,4 \pm 0,37$
6–7	$245,6 \pm 2,47$	$230,5 \pm 1,68$
12	$364,2 \pm 1,54$	$325 \pm 2,11$
15	$426 \pm 4,34$	$402 \pm 2,85$
18	$565,2 \pm 1,62$	$546,3 \pm 2,55$

Таблица 3 — Среднесуточный прирост живой массы бычков по возрастным периодам, г

Периоды, мес.	Порода	
	Шаролезская, n = 30	Лимузинская, n = 30
0–6–7	$1005 \pm 8,32$	$958 \pm 11,25$
6, 7–18	$745 \pm 26,72$	$726 \pm 8,06$
12–18	$932 \pm 21,06$	$875 \pm 36,24$
0–18	$942 \pm 13,32$	$856 \pm 3,85$

Следует отметить, что бычки обеих пород, находясь под матерями на подсосе в период 0–6–7 месяцев, показали высокие результаты по среднесуточному приросту. Так среднесуточный прирост живой массы в этот период у бычков шаролезской породы составил 1005 г, лимузинской — 958 г, что на 4,7 % больше у животных шаролезской породы.

Технология мясного скотоводства позволяет получать к 18-месячному возрасту бычков с высокими продуктивными показателями. Съемная масса у бычков шаролезской породы составила $565,2 \pm 1,62$ кг, у лимузинской $546,3 \pm 2,55$ кг, что на 3,5 % выше, чем у животных лимузинской породы.

Экстерьер скота мясного направления имеет довольно тесную связь с проявлением мясной продуктивности. При расчете индексов телосложения (таблица 4), была выявлена следующая закономерность. Исходя из данных, можно сказать, что бычки шаролезской и лимузинской пород имели индексы телосложения, типичные для скота мясного направления продуктивности. Так индекс массивности животных у бычков шаролезской породы был выше, чем у лимузинской на 2,4 %. Также, животные лимузинской породы превосходили животных шаролезской по индексу растянутости на 12,4 %. Необходимо отметить, что наибольший интерес для нас представляет индекс мясности, за счет величины которого можно в определенной мере судить о развитии задней трети туловища. Во все возрастные периоды наибольшим он был у бычков шаролезской породы. В возрасте 18 месяцев по этому показателю бычки шаролезской породы превосходили сверстников на 5,6 %. Из остальных индексов между бычками разных генотипов существенных различий не выявлено.

Волосной покров является одним из признаков приспособленности живого организма к условиям среды. Он выполняет роль теплоизолятора и изменяется в пределах одного и того же вида не только в зависимости от природно-климатической зоны, но и от сезона года. Характеристика волосного покрова у анализируемых бычков шаролезской и лимузинской пород выглядит следующим образом (таблица 5).

Таблица 4 — Индексы телосложения, % ($X \pm Sx$)

Индекс	Порода	
	Шаролезская	Лимузинская
Длинноногости	$48,2 \pm 1,16$	$50,6 \pm 1,07$
Растянутости	$118 \pm 1,48$	$132,6 \pm 0,86$
Мясности	$96,6 \pm 1,06$	$91,2 \pm 1,82$
Массивности	$156,7 \pm 1,32$	$153 \pm 1,48$
Сбитости	$123,5 \pm 2,12$	$122,3 \pm 2,01$
Широтный	$81,3 \pm 1,75$	$80,1 \pm 1,76$
Грудной	$56,7 \pm 0,71$	$54,7 \pm 0,78$
Тазо-грудной	$76,3 \pm 0,81$	$74,9 \pm 0,58$
Широкотелости	$19,8 \pm 0,52$	$18,7 \pm 0,65$
Типичности телосложения	$546 \pm 1,63$	$515 \pm 1,78$

Таблица 5 — Показатели количественного состава волосного покрова бычков ($X \pm Sx$)

Показатель	Порода	
	Шаролезская	Лимузинская
Ость, шт/см ²	$49,6 \pm 8,32$	$52,1 \pm 6,15$
%	8,3	11,3
Переходный волос, шт/см ²	$177,3 \pm 12,64$	$226,4 \pm 16,15$
%	29,6	49
Пух, шт/см ²	$371,7 \pm 27,26$	$183,2 \pm 13,52$
%	62,1	39,7
Общее количество, шт/см ²	$598,6 \pm 17,68$	$461,7 \pm 11,23$

Более густой волосной покров наблюдался у бычков шаролезской породы — 598,6 шт/1 см², превышая лимузинскую на 136,9 шт. В составе волосного покрова бычков обеих пород преобладает пуховой и переходный волос. При этом, наибольшее количество пуха отмечалось у бычков шаролезской породы при малом количестве ости и переходного волоса, что указывает на затяжной период линьки и преобладание еще зимнего волоса. Бычки лимузинской породы в

летний период обладали более характерным соотношением волосяных фракций, а именно: более высоким содержанием остевых волос — 11,3 % при минимальном количестве пуха — 39,7 %. В целом, за весь период выращивания от рождения до 18-месячного возраста бычками шаролезской породы было израсходовано кормов общей питательной ценностью 3320 кормовых единиц на одну голову, лимузинской породы — 3110 кормовых единиц, где расход кормов шаролезских бычков был выше на 210 кормовых единиц, что на 6,4 % выше, чем у лимузинских.

Заключение

Выращивание бычков шаролезской и лимузинской пород в сельскохозяйственных предприятиях при плотности загрязнения кормовых угодий 555-740 кБк/м² (15–20 Ки/км²) и содержанием ¹³⁷Cs в рационе не более 10186–10241 Бк/сут обеспечивает получение говядины, отвечающей требованиям РДУ-99 (500 Бк/кг). Живая масса бычков шаролезской породы в возрасте 18 месяцев составляет 565,2 кг ± 1,62, лимузинской — 546,3 ± 2,55 кг, что на 3,5 % выше животных лимузинской породы.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Антонюк, В. С.* Методика оценки быков мясных пород по качеству потомства / В. С. Антонюк, С. А. Петрушко, В. Н. Сыричев // *Весті АН БССР. Сер. с.-г. навук.* — Минск, 1987. — № 3. — С. 83–87.
2. *Багрий, Б. А.* Скот породы шароле и его использование / Б. А. Багрий. — М.: Россельхозиздат, 1976. — С. 83–87.
3. *Доротюк, Э. Н.* Интенсификация производства говядины и формирование специализированного мясного скотоводства / Э. Н. Доротюк // *Проблемы интенсификации сельскохозяйственного производства: тез. докл. науч.-теор. конф.* — п. Рассвет, 1991. — Ч. 1. — С. 23.
4. *Комар, С.* Радиоактивные вещества в организме сельскохозяйственных животных — поступление и метаболизм / С. Комар // *Радиоактивность и пища человека* / под ред. Р. Рассела. — М.: Атомиздат, 1971. — С. 100.
5. *Кравченко, Н. А.* Скот породы шароле / Н. А. Кравченко // *Животноводство.* — 1967. — № 6. — С. 86–94.
6. *Радиобиология и радиэкология сельскохозяйственных животных* / под ред. Б. Н. Анненкова, И. К. Дибобеса, Р. М. Алексахина. — М.: Атомиздат, 1973. — С. 192–211.

УДК 636.2:546.36]:614.876

СОДЕРЖАНИЕ ¹³⁷Cs В МЫШЕЧНОЙ ТКАНИ КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ МЯСНЫХ ПОРОД ЛИМУЗИНСКОЙ И ШАРОЛЕЗКОЙ ПОРОД ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ВОЛЬНОГО МЕТОДА ПАСТЬБЫ НА ТЕРРИТОРИИ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

И. В. Яночкин, А. В. Гаращенко, С. В. Смяткина

**Государственное природоохранное научно-исследовательское учреждение
«Полесский государственный радиационно-экологический заповедник»,
г. Хойники, Республика Беларусь
i.yanochkin@mail.ru**

Введение

Успешное развитие животноводства во многом зависит от создания и использования пород сельскохозяйственных животных, сочетающих высокую продуктивность с устойчивостью организма к внешним климатическим факторам, в том числе и радиологическим. После Чернобыльской катастрофы во многих сельскохозяйственных предприятиях Гомельской области сократилось число трудоспособного населения, что негативно отразилось на объемах производства животноводческой продукции. Кроме того, из-за высокого уровня загрязнения сенокосов и пастбищ стало проблематично получать молоко, отвечающий допустимым уровням по содержанию ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr. Одним из рациональных и эффективных путей использования сельхозугодий в зоне радиоактивного загрязнения является переспециализация молочного скотоводства на мясное, т. е. на производство говядины. Мясной скот неприхотлив к природно-климатическим условиям, устойчив ко многим заболеваниям, не требует на содержание больших материальных затрат и, самое главное, значительных людских ресурсов [1–4].

В 2007–2010 гг. в период реализации программ переспециализации в Гомельской области, в 8-ми хозяйствах были построены фермы для содержания специализированного мясного поголовья крупного рогатого скота, которые создали материальную базу для развития данного направления животноводства.

В научной литературе недостаточно данных об эффективном использовании лугопастбищных угодий с различной плотностью загрязнения ^{137}Cs при выращивании мясных стад и получении говядины, отвечающей требованиям РДУ-99 (500 Бк/кг). Одной из причин, обуславливающих варьирования величин перехода ^{137}Cs из рациона в мышечную ткань животных, может быть сезонная неоднородность пастбищного травостоя по видовому составу и фазам вегетации растений [3–5,7].

Проведение бессистемного (вольного) выпаса скота мясных пород на пастбищах с высоким уровнем загрязнения ^{137}Cs в отдельных случаях приводят к тому, что к моменту реализации на убой уровни накопления ^{137}Cs в мышечной ткани превышают действующие РДУ-99. Дифференцированный подход к использованию пастбищных угодий с различной плотностью загрязнения ^{137}Cs и удельной активностью травостоя, позволит получить нормативно чистую, конкурентно способную и рентабельную говядину [2, 6].

В связи с этим, целью исследования являлось изучение содержания ^{137}Cs в мышечной ткани бычков специализированных мясных пород крупного рогатого скота шаролезской и лимузинской пород при использовании вольного метода пастбы.

Материал и методы исследования

В КСУП «Скороднянский» Ельского района и СПК «Хорошевский» Добрушского района Гомельской области, занимающихся разведением специализированных мясных пород шаролезской и лимузинской, были проведены научно-хозяйственные опыты по определению удельной активности ^{137}Cs в мышечной ткани крупного рогатого скота при использовании пастбищных угодий с плотностью загрязнения 555–740 кБк/м² (15–20 Ки/км²) при использовании вольного метода пастбы. Для этого по принципу аналогов в каждом из хозяйств были сформированы группы бычков в возрасте 12 месяцев, средней живой массой 247,3–246,2 кг, численностью 30 голов каждая.

По разнице между урожаем травостоя перед выпасом на различных участках естественных пастбищ и количеством не съеденных остатков определяли потребление подопытными бычками за время выпаса зеленой массы травостоя. Перевод урожая зеленой массы в кормовые единицы проводили на основании данных химических анализов пастбищной травы. В период с мая по декабрь определяли содержание ^{137}Cs в травостое пастбищ обоих хозяйств, на которых проводился выпас бычков. Прижизненную дозиметрию животных проводили радиометром МКС-01 – Советник, два раза в месяц. В течение летне-пастбищного периода в обоих хозяйствах на пастбищах отбирались средние пробы зеленой массы травы для проведения радиологической оценки и определения химического состава, и питательной ценности.

Содержание ^{137}Cs в кормах определялось гамма-спектрометрическим методом на гамма-спектрометрическом комплексе «Canberra-Packard».

Учет живой массы и среднесуточных приростов осуществляли путем индивидуально взвешивания подопытных бычков обеих пород ежемесячно. Животные в период исследования были в одинаковых условиях кормления и содержания. Рационы опытных бычков состояли из зеленой массы пастбищ и концентратов. Они периодически корректировались в зависимости от их возраста бычков в течение летне-пастбищного периода. В качестве минеральной подкормки использовали кормовой мел и соль-лизунец. Система выпаса опытных бычков в обоих хозяйствах — вольная.

Для контроля над физиологическим состоянием организма и течением обменных процессов у трех животных из шаролезской и лимузинской пород в мае и конце октября брали кровь из яремной вены, в которой определяли содержание гемоглобина — по Сали, щелочной резерв — по Л. П. Неводову, количество эритроцитов — на ФЭЖе, лейкоцитов — подсчетом в камере Горяева. В сыворотке крови определяли содержание общего белка

рефрактометрическим методом по Робертсону. Активность АСТ и АЛТ — по методу Райтмана-Френкеля.

Полученный цифровой материал подвергли биометрической обработке по Н. А. Плохинскому [8]. Статистическую обработку проводили методом Стьюдента, разницу считали достоверной при $P < 0,05$.

Результаты исследования и их обсуждение

Результаты радиологического обследования естественных пастбищ в обоих хозяйствах, на которых вольно выпасались животные, показали, что плотность загрязнения почв ^{137}Cs составляла 555–740 кБк/м² (15–20 Ки/км²), при удельной активности ^{137}Cs в зеленой массе от 165 до 180 Бк/кг. В среднем за время исследования, удельная активность ^{137}Cs зеленой массы пастбищной травы в СПК «Хорошевский» составила для бычков породы шаролезская — 184 Бк/кг, в КСУП «Скороднянский» породы лимузинская — 189 Бк/кг. Среднее содержание ^{137}Cs в суточном рационе бычков породы шаролезская составило 5654 ± 5,5 Бк/сутки и породы лимузин — 4895 ± 2,5 Бк/сутки.

За весь период наблюдений с мая по октябрь по суммарному фактическому потреблению зеленых кормов у животных этих пород различий не отличалось, так в структуре рациона на долю зеленых кормов у бычков породы шаролезская приходилось 82 %, концентрированных 18 %, породы лимузинская — 80,2 % и 19,8 % соответственно. На основании учета данных по урожайности пастбищ и поедаемости травы бычками и задаваемых в кормушках концентратов в летнем лагере установлено, что животные обеих пород были практически полностью обеспечены питательными и минеральными веществами. Однако, за счет создания различных концентраций обменной энергии и протеина в сухом веществе рациона, бычки были обеспечены питательными веществами в разных количествах. Так у животных шаролезской породы концентрация обменной энергии в рационе в возрасте 12–16 месяцев составляла 10,8 мДж и 16 % протеина, у животных лимузинской породы — 10,3 мДж и протеина — 15,3 %, что на 5 % выше. Одним из важнейших показателей, характеризующих рост и развитие бычков обеих пород, является живая масса. Смена обстановки, перевод животных на новые участки пастбищ, конкуренция за корма, воду, место отдыха и различного рода стрессы — причины снижения скорости роста и, как следствие, живой массы. Интенсивность роста бычков определяли путем индивидуального контрольного взвешивания ежемесячно. На основании полученных данных были рассчитаны валовой и среднесуточные приросты живой массы подопытных бычков. Динамика живой массы бычков представлена в таблице 1.

Таблица 1 — Динамика живой массы и среднесуточных приростов опытных бычков

Показатели	Начало опыта	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь
<i>Живая масса, кг</i>							
Шаролезская, М	247,3	275,5	301,5	325,5	348	369	390
± m	3,93	4,03	5,53	7,77	5,73	6,66	5,42
Лимузинская, М	246,2	274,1	299,7	323,7	345,3	365,7	385,7
± m	3,48	3,57	4,09	5,02	5,77	6,59	5,48
<i>Среднесуточный прирост, г</i>							
Шаролезская		941	867	804	750	700	700
± m		4,81	6,74	8,84	8,45	7,48	6,22
Лимузинская		933	856	800	727	680	685
± m		3,87	5,77	6,15	7,25	6,17	5,58
<i>Затраты кормов на 1 кг прироста, е.ед.</i>							
Шаролезская		6,5	7,7	8,8	10,6	11,2	11,2
Лимузинская		6,4	7,8	9,3	11,5	10,9	11,0

Анализ полученных данных по изменению живой массы и среднесуточного прироста в течение опыта (май-октябрь) показал, что рост бычков породы шаролезская проходил интен-

сивнее по сравнению с бычками породы лимузинская. В конце летнего периода животные породы шаролезская имели живую массу на 1,3 % выше, чем животные породы лимузинская.

Полученные в группе бычков породы шаролезская высокие среднесуточные приросты (809 г) при незначительных различиях поедаемости кормов привело к увеличению оплаты корма продукцией. Так за период проведения опытов (152 дня) в СПК «Хорошевский» бычки шаролезской породы затрачивали на 1 кг прироста живой массы 9,3 к.ед., а в КСУП «Скороднянский» бычки лимузинской породы — 9,4 к.ед.

Огромное значение в повышении мясной продуктивности подопытных животных имеет правильная организация пастбищного содержания, так как за период с мая до ноября производится наращивание живой массы.

В течение летне-пастбищного периода в обоих сельскохозяйственных предприятиях бычки пород шаролезская и лимузинская выпасались при использовании вольного метода пастбы, т. е. бессистемное стравливание естественных пастбищ. Продолжительность пастбы 11–15 ч/сут, в зависимости от продолжительности светового дня в различные месяцы.

На протяжении летне-пастбищного периода продуктивность пастбищ составляла в СПК «Хорошевский» 164,5 ц/га и КСУП «Скороднянский» — 178,8 ц/га. Однако, за циклы стравливания урожайность зеленой массы в хозяйствах колебалась от 19 до 53 ц/га, при коэффициенте использования в среднем от 79,4 до 81,6 %. Наиболее низкая продуктивность пастбищ в хозяйствах наблюдалась в августе-октябре и составляла 19,8 и 19 ц/га, при коэффициенте использования 69,4 и 72,8 % соответственно.

Результаты исследований удельной активности ^{137}Cs в зеленой массе пастбищных трав в обоих хозяйствах представлены в таблице 2.

Следует отметить, что варьирование удельной активности ^{137}Cs в пастбищном травостое обеих хозяйств, в определенной мере вызвано сменой ботанического состава трав, а также понижением урожайности.

Таблица 2 — Удельная активность ^{137}Cs в зеленой массе пастбищной травы, Бк/кг

Зеленая масса пастбищ	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь
СПК «Хорошевский»	201 ± 15,6	196 ± 11,8	172 ± 22,1	182 ± 14,3	178 ± 17,4	180 ± 15,6
КСУП «Скороднянский»	214 ± 14,8	202 ± 28,4	196 ± 8,9	186 ± 12,5	174 ± 17,2	165 ± 12

Контроль уровня удельной активности ^{137}Cs в мышечной ткани подопытных животных обеих пород в хозяйствах осуществлялся два раза в месяц, путем проведения прижизненной дозиметрии. Полученные результаты представлены в таблице 3.

Таблица 3 — Удельная активность ^{137}Cs в мышечной ткани животных на протяжении летне-пастбищного периода, Бк/кг

Порода КРС	Удельная активность ^{137}Cs	На начало опыта	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь
Шаролезская	Максимум	256	217	233	243	266	273	286
	Среднее	229	215	224	234	244	249	261
	Минимум	202	213	216	223	223	226	237
Лимузинская	Максимум	287	214	223	236	254	264	258
	Среднее	247,5	201	211	224	234	240	243
	Минимум	208	188	196	212	214	216	228

Динамика накопления ^{137}Cs в мышечной ткани на протяжении летне-пастбищного периода свидетельствует о незначительном варьировании удельной активности мышечной ткани у бычков шаролезской породы к концу выпаса, в среднем она составляла 237 Бк/кг, у бычков лимузинской породы — 225,5 Бк/кг. Данные колебания удельной активности ^{137}Cs в мышечной ткани животных обусловлены как понижением урожайности трав естественных пастбищ по мере их стравливания, так и уменьшением потребления зеленой массы животными.

Морфологические и биохимические показатели крови у бычков шаролезской и лимузинской пород в течение летне-пастбищного периода находились в пределах физиологической нормы. При этом, бычки шаролезской породы при более сбалансированном кормлении в СПК «Хорошевский» по содержанию в крови эритроцитов и гемоглобина превосходили сверстников лимузинской породы.

Таблица 4 — Биохимические показатели крови бычков в период летне-пастбищного содержания

Показатель	Порода	
	Шаролезская	Лимузинская
Общий белок	83,4 ± 1,75	81,5 ± 1,06
в т.ч. альбумины, г/л	42,6 ± 0,73	38,7 ± 2,13
α-глобулины, г/л	11,3 ± 0,67	10,8 ± 0,31
β-глобулины, г/л	12,1 ± 0,46	11,6 ± 0,17
γ-глобулины, г/л	21,0 ± 1,14	20,1 ± 0,75
Активность АСТ, моль/чл	1,38 ± 0,04	1,19 ± 0,14
Активность АЛТ, моль/чл	0,51 ± 0,08	0,47 ± 0,03

Бычки шаролезской породы характеризовались большей концентрацией в сыворотке крови общего белка и его фракций и повышенной активностью ферментов переаминирования. Более высокая интенсивность роста шаролезских бычков согласуется с повышенной активностью аспартатаминотрансферазы. Так бычки лимузинской породы уступали шаролезской по величине изучаемого показателя на 6 %.

Таким образом, биохимический состав крови бычков обеих пород характеризуется различного рода изменениями, обусловленными возрастом, породностью и летним периодом года. Следует отметить, что все изменения в составе крови, наблюдаемые у бычков разных генотипов, не выходили за пределы физиологических норм.

Заключение

Установлено, что использование вольного метода пастбы на пастбищах с плотностью радиоактивного загрязнения ^{137}Cs 555–740 кБк/м² (15–20 Ки/км²) обеспечивает содержание ^{137}Cs в мышечной ткани крупного рогатого скота шаролезской породы в летне-пастбищный период в среднем 237 Бк/кг, лимузинской — 225,5 Бк/кг, что отвечает требованиям РДУ-99 (500 Бк/кг).

Скот обеих пород обладает хорошими адаптационными способностями к пастбищному содержанию, позволяет получать среднесуточные приросты живой массы для бычков шаролезской породы 793 г, лимузинской породы — 780 г, при затратах кормов на 1 кг прироста 9,3 и 9,4 к.ед, соответственно.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Аверин, В. С.* Рекомендации по проведению репрофилирования отрасли молочного скотоводства на специализированное мясное в хозяйствах, пострадавших от аварии на ЧАЭС / В. С. Аверин, А. А. Царенок, П. Н. Цыгвинцев. — Гомель, 2000. — 24 с.
2. *Анненков, Б. Н.* Ведение сельского хозяйства в районах радиоактивного загрязнения (радионуклиды в продуктах питания) / Б. Н. Анненков, В. С. Аверин. — Минск: ПроPILEI, 2003. — 111 с.
3. *Сельскохозяйственная радиология* / Р. М. Алексахин [и др.]; под ред. Р. М. Алексахина, Н. А. Коренева. — М.: Экология, 1992. — 400 с.
4. *Мовсисянц, А. П.* Использование сеянных и естественных пастбищ / А. П. Мовсисянц. — М.: Колос, 1978. — 272 с.
5. *Востриков, Н. И.* Технология нагула молодняка и взрослого скота / Н. И. Востриков, Г. И. Бельков, Г. М. Тупиков // Технология производства говядины на промышленной основе. — М.: Агропромиздат, 1988. — С. 162–168.
6. *Sumerling, N. J.* The transfer of ^{90}Sr and ^{137}Cs to milk in a dairy herd grazing near a major nuclear installation / N. J. Sumerling, N. J. Dodd, N. Green // The Science of the Total Environment. — 1984. — Vol. 34. — P. 57–72.
7. *Кузнецов, А. А.* Сравнительная оценка многокомпонентных травосмесей отечественной и зарубежной селекции / А. А. Кузнецов // Зоотехническая наука Беларуси: сб. науч. тр. — Жодино, 2006. — Т. 41. — С. 242–248.
8. *Плохинский, Н. А.* Руководство по биометрии для зоотехников / Н. А. Плохинский. — М.: Колос, 1969. — 256 с.
9. *Крапивина, Е. В.* Фагоцитарная функция нейтрофилов крови у коров в различных экологических условиях / Е. В. Крапивина, М. В. Игнатенко, А. А. Романенко // Вестник МАНЭБ. — 2009. — Т. 14, № 3. — С. 127–130.

ABSTRACTS

INSTITUTE OF RADIOBIOLOGY: MAIN RESULTS OF ACTIVITY

*I. A. Cheshik, N. I. Tsimokhina, A. N. Nikitin, S. N. Sushko,
N. N. Veyalkina, A. A. Dvornik, G. A. Gorokh*

**Institute of Radiobiology of the National Academy of Sciences of Belarus
Gomel, Republic of Belarus
natim-2006@tut.by**

The Institute of Radiobiology of the National Academy of Sciences of Belarus was established for solving scientific problems of liquidating the consequences of the Chernobyl catastrophe. The founder and the first director of the Institute was Academician E.F. Konoplya. The main scientific directions of the institution were:

- 1) studying the mechanism of the action of ionizing radiation on the regulation of metabolism and the functional state of the most important body systems in order to develop methods for increasing their radioresistance;
- 2) studying the patterns of accumulation and excretion of radionuclides from the body and creating ways to influence on these processes;
- 3) assessment of the influence of radiation and the ecological situation on the vital activity of the organism.

The Institute was the head organization in the republic for solving scientific problems related to the liquidation of the consequences of the Chernobyl nuclear power plant accident, and the Coordination Council on Scientific Support of the State Program of the Republic of Belarus for minimizing and overcoming the consequences of the Chernobyl catastrophe was established.

Since its foundation, the Institute of Radiobiology has participated in the implementation of scientific programs of various levels, international projects. In 2003, the Institute was transferred to Gomel.

Already in the first years the Institute carried out work on:

- 1) characterization of the radioecological situation in phytocenoses of the exclusion zone;
- 2) determination of levels of strontium-90 and other radionuclides in soils, investigation of migration processes of radionuclides in different types of soils;
- 3) studying the processes of accumulation and transfer of radionuclides in surface and groundwater;
- 4) studying the chemical processes of formation and changes in the spatial distribution of transuranic elements (TUE) in the soil-air system, and studying the physico-chemical properties of «hot» particles containing TUE.

In the field of radiation biology, new knowledge on the metabolic changes occurring in the body, organs and tissues under the action of ionizing radiation, and on the neurohumoral regulation of these processes has been obtained. Experimental studies have shown that:

- 1) changes in the initial state of endocrine glands enhances radiation effects at any form of irradiation, which increases the risk of pathology;
- 2) the combination of different types of irradiation causes an intensification, and the combined action in a number of cases, and makes the potential for the development of negative consequences;
- 3) when irradiated, the state of the reproductive system in generations is accompanied by violations in the formation of both male and female sex cells, a decrease in the synthesis of sex hormones, and a number of other changes that are the basis for the violation of the reproductive function of the organism;
- 4) intrauterine irradiation damages the endocrine, cardiovascular and other systems, violates metabolic processes and increases the occurrence of genetic damage in the fetus and offspring;
- 5) among the negative effects of the chronic exposure in generations there is also increased genetic damage.

At present, there are 5 laboratories in the Institute: radioecology; modeling and minimizing anthropogenic risks; combined effects; experimental biological models; endocrinology and biochemistry.

ANTIOXIDANT ACTIVITY OF 2-METHYLQUINOLINE-4-THIOL DERIVATIVES AS A BASIS FOR RADIOPROTECTIVE ACTIVITY

M. M. Kornet, O. A. Brazhko, M. P. Zavgorodnii, V. M. Zavgorodnii, O. O. Brazhko

Zaporizhzhya National University
Zaporizhzhya, Ukraine
kornetmarina77@gmail.com

Results of the virtual PASS-forecasting and own research allowed to select among more than a hundred of chemical structures of 2-methylquinoline-4-thiol derivatives, three most promising compounds (KM-9, 33, 51). The probability of manifestation of antioxidant, membrane protective, a radioprotective action for these compounds 40–50 %, which makes further study of these compounds very perspective. The forecast showed such type of activity as protection of membranes, which are destroyed in case of radiation and no adverse effects were presented — high toxicity, terato-, canciro-, mutagenicity, and embryotoxicity. The structure of 2-methylquinoline-4-thiol derivatives (KM-9, 33, 51) were selected using filters — Lipinski's rule. Toxicity and antioxidant activity (AOA) of perspective 4-thioquinoline were investigated. Was established that afore-mentioned compounds belong to low toxic and non-toxic compounds according to Sidorov's classification, their LD₅₀ is in a range from 180 to 1140 mg/kg. The study of antioxidant activity of compounds on two models has shown that they are effective traps for free radicals (FR) such as hydroxyl-ions and superoxide-anions. Was discovered, that compounds on superoxide generation model in vitro show significant AOA (21–47 %) and at low concentrations exceed the standard medication — cysteamine. Results of AOA determination by using pulse voltammetry method defined the high activity of the studied compounds, they are referred to preventive antioxidants. Most effectively influenced all the waves of generation of reactive oxygen species (ROS) compound KM-51. Received results make an expedient study of 4-thioquinoline derivatives (compounds of KM-9, 33, 51) as potential radioprotectors.

ANALYSIS OF RADIOACTIVE CESIUM IN PADDY FIELDS APPLIED WITH EFFECTIVE MICROORGANISMS (EM 1[®]) IN FUKUSHIMA

Shuichi Okumoto¹, Masaki Shintani^{1,2} and Teruo Higa³

¹EM Research Organization, Inc.

Okinawa, Japan

sokumoto@emro.co.jp,

²Tokyo Women's Medical University

Tokyo, Japan,

³International EM Technology Center, Meio University

Okinawa, Japan

For the farmland contaminated with radioactive Cs in Fukushima Prefecture, application of potassium fertilizer such as potassium chloride is recommended as a countermeasure to suppress the radioactive Cs transfer from soil to agricultural crops. On the other hand, we have reported that the application of Effective Microorganisms (EM · 1[®]) and EM fermented compost had an effect on the suppression of radioactive Cs transfer from soil to crops and grasses. We have been monitoring the radioactive Cs concentrations in brown rice and soil of a paddy field that does not use potassium fertilizer but has been applying EM technology for several years. In this paper, we report some of the interesting findings obtained from analyzing the accumulated data. In 2011,

after the Fukushima Daiichi nuclear power plant accident, even though radioactive Cs in soil of the paddy field that has been utilizing EM for a long term (long-term EM utilization paddy field) was 3,579 Bq/kg, it was not detected in brown rice. At the long-term EM utilization paddy field, radioactive Cs was not detected except in the brown rice harvested in 2012. The paddy field that started using EM in 2013 (short-term EM utilization paddy field), radioactive Cs detected from the brown rice harvested in 2013 and 2014 were 3.2 and 1.0 Bq/kg, respectively. However, it has not been detected since 2015. In addition, Fukushima Prefecture reported that the five year decay rate of radioactive Cs in the soil of 37 paddy fields was on par with or higher than the physical decay rate. However, the decay rate of the long-term EM utilization paddy field for the same period was 1.8 times greater than the physical decay rate.

LONG-TERM DYNAMICS OF THE VERTICAL MIGRATION PARAMETERS OF CESIUM-137 IN TYPICAL SOILS OF BELARUS

Zh. V. Bakarykava, O. M. Zhukova, M. G. Germenhuk, V. L. Samsonov

**Center for Hydrometeorology and Control
of Radioactive Contamination and Environmental Monitoring (Hydromet)
Minsk, Republic of Belarus
bzv@rad.org.by**

Results of the long-term observations of Chernobyl radionuclide vertical migration in the period from 1993 to 2016 are allowed to assess the intensity of vertical migration processes and its variation with time.

In the first years after the Chernobyl accident, the rate of vertical migration was mainly determined by two mechanisms: diffusion and convective radionuclide transfer deep into the soil with a moisture flux, at that namely convective transfer determined the penetration depth of radionuclides. Twenty years after the accident, new trends in the redistribution of radionuclides along the soil profile were revealed, which are confirmed by the results of studies over the last 10 years: convective transfer ceased to play an important role in ^{137}Cs migration.

At present, the linear ^{137}Cs migration rate is approximately equal in soils of different genesis and moisture degree and is 0.25–0.35 cm/year, although in the first decade after the accident it varied significantly.

The decrease of ^{137}Cs migration rate was due to the fact that for the last few years the depth of radionuclide penetration (the depth at which 1% of its total reserve in the upper 30-cm layer) has practically not increased and is within 10 cm for automorphic soils and 12–16 cm for semihydromorphic soils. The presence of geochemical barriers (thick layers of sod, humus horizons, interlayer of clay minerals) causes a decrease in the migration processes intensity. The largest part of ^{137}Cs is in the upper root zone of the soil.

**THE FEATURES OF GIANT CHROMOSOMES OF CHIRONOMUS BALATONICUS
DEVAI, WÜLKER, SCHOLL, 1983 (DIPTERA, CHIRONOMIDAE) FROM
THE LAKE ZAVODSKOE KLIMOVSK DISTRICT BRYANSK OBLAST**

S. I. Belyanina

**Saratov State Medical University after V. I. Razumovsky
Saratov, Russia
microtus43@mail.ru**

The estimation of long-term action of radiation on the gene pools of populations of organisms living at the territories polluted by radioactive waste release after the Chernobyl disaster is needed. The larvae of midges with the giant chromosomes in the cells of salivary glands are the very suitable objects for this estimation. The giant chromosomes from the cells of salivary glands of the larvae *Chironomus balatonicus* ($2n = 8$) from the lake near the city Klimovo of Bryansk oblast were studied. This lake is placed at the distance more than 200 km from Chernobyl's area. The material was collected in the lake Zavodskoe in December of 2016. The data about karyopool of *Ch. balatonicus*'s population received from Klimovo in 2016 were compared with the same obtained by N. A. Petrova for this species from Chernobyl during three years just after disaster. The studied population of this species is characterized by high polymorphism of the chromosomes. Six types of paracentric and one type of pericentric inversions were observed. The average number of inversions per individual is more than 2. The highest frequency of chromosomes B (more than 18 %) from all Russian populations of *Ch. balatonicus* was registered here. The small structural variable morphological changes and functional changes as appearance of puff de novo in homo- and heterozygote states in the chromosomes were observed. The telomere regions of the majority of chromosomes are loosened with formation of heterochromatin fragments.

Probably, the high level of chromosomal polymorphism in the population of *Ch. balatonicus* from Klimovo helps for this species to survive in the region with Chernobyl's pollution.

**A FUNCTIONAL FOOD AS THE WAY ECOLOGICAL PROTECTION
OF THE POPULATION LIVING IN THE RADIOACTIVE POLLUTED TERRITORIES**

V. N. Bortnovsky

**FE «The Gomel state medical university»
Gomel, Belarus
kafog2@mail.ru**

Certain prospects in a preventive maintenance solution of a problem eco dependent diseases are connected with realisation of the concept of a functional food. A functional food unites products of a natural or artificial origin which are intended for the regular daily use and have regulating an effect on physiological functions, biochemical reactions and psychosocial behaviour of the person through normalisation of its microecological status.

Long-term own researches by definition of an orientation of changes of indicators of nonspecific resistance at almost healthy people receiving additional vitaminization, allow to draw a conclusion on acceleration of a current of process of adaptation to difficult radio ecological conditions of inhabitancy, increase in physiological reserves and preventive maintenance of various diseases.

It is established that nonspecific resistance of an organism at the persons receiving a vitamin complex «Vitusjod» which structure includes 11 vitamins and iodine, becomes essentially above, in comparison with control group. Among protective mechanisms of vitamins made active by ad-

ditional reception, changes of cellular factors of nonspecific protection have the greatest expressiveness. Their activation occurs as at the expense of phagocytosis increase intensity, and normalisation of protective functions of blood. The most expressed positive shifts occurred in such indicators of resistance as phagocytosis intensity and efficiency of the endocellular digestion, which value exceeded the control data accordingly on 75,1 and 27,6 %.

The cited data matters for a substantiation of rational system of increase of the lowered non-specific resistance of an organism in the conditions of constant residing of the population on radioactive polluted territory, and also to draw a conclusion that a functional food is an important direction of preventive maintenance eco dependent conditions and diseases. However in Belarus it does not carry system character and is not fixed in legislative base that does not allow to carry out its development at the state level.

ESTIMATION OF THE EFFICIENCY OF THE PROTECTIVE PROPERTIES OF ACETYL-L-CARNITINE ON THE INDICATORS OF BLOOD AND THE REPRODUCTIVE SYSTEM OF THE MALE RATS UNDER A LONG-TERM ELECTROMAGNETIC EXPOSURE FROM MOBILE PHONE (1745 MHz)

*G. G. Vereschako, N. V. Chueshova, G. A. Goroch,
A. Y. Kazlou, E. V. Tsukanova, M. A. Bakshaeva*

**Institute of radiobiology NAS of Belarus
Gomel, Belarus
natalya-chueshova@tut.by**

The effect of acetyl-L-carnitine on the blood cells and the reproductive system of Wistar male rats was studied on the 1st and 30th days after exposure from a mobile phone. The experiments were carried out on male Wistar rats, which were divided into three groups: 1. Control; 2. Animals exposed to electromagnetic exposure from a mobile phone (1745 MHz, power density 0,2–20 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$, $\bar{x} = 7,5 \pm 0,34 \mu\text{W}/\text{cm}^2$, daily, 8 hours/day, 30 days). 3. Rats subjected to electromagnetic interference from a mobile phone and receiving acetyl-L-carnitine (7 mg/kg, 30 days).

In the blood of animals on the cell analyzer Celltac MEK-63-18 J / K (Japan), the number of leukocytes and leukocyte elements was determined. In testis tissue suspension by flow cytometry (Cytomics FC 500, Beckman Coulter, USA) were analyzed spermatogenic cell populations (by DNA content), including spermatogonia (2C), spermatocytes in the S phase, primary spermatocytes (4C), round (1C), elongating (HC1) and elongated (HC2) spermatids. Spermatozoa were counted and their viability, DFI index (DNA fragmentation), the number of apoptotic and necrotic cells and fructose in the seminal vesicles.

It is established that EMR from mobile phone (1745 MHz, 8 hours/day, 30 days) causes leukopenia, more pronounced on the 1st day after exposure, changes in the number of leukocyte elements, acceleration of the spermatogenesis process at the initial stages of cell differentiation and at the stage round spermatids, has a negative effect on the quantitative and qualitative indicators of spermatozoa. The introduction of acetyl-L-carnitine (7 mg/kg) to irradiated rats leads to a normalization of the parameters of the leukocyte blood system in the initial period, the restoration of the number of spermatozoa and their viability, a decrease in the DFI index, and in the late period to a decrease in the number of apoptotic cells, does not affect necrosis, And increases the level of fructose in seminal vesicles. The obtained data testify to the prospects of using the drug for protecting the male reproductive system under electromagnetic irradiation in the mobile communication range.

**STUDY OF THE REACTION OF BLOOD AND THE REPRODUCTIVE SYSTEM
OF MALE RATS ON COMBINED EFFECTS OF IRRADIATION IN A DOSE OF 1.0 Gy
AND MAGNETIC FIELD OF INDUSTRIAL FREQUENCY (50 Hz)**

*G. G. Vereschako, I. A. Cheshik, G. A. Goroch, V. I. Shalatonin,
N. V. Chueshova, A. Y. Kazlou, M. A. Bakshaeva, E. V. Tsukanova*

**Institute of radiobiology NAS of Belarus
Gomel, Belarus
natalya-chueshova@tut.by**

Studied effects in the blood and reproductive system of male rats, exposed to radiation at a dose of 1.0 Gy (source - ^{137}Cs , dose rate 46 cGy / min) and subsequent prolonged exposure to a magnetic field of the industrial frequency (50 Hz, 0.4 mT, 4 hours/day, 5 days/week, number of days of exposure — 28) in isolation and combined on the 1st and 30th days after exposure (in relation to radiation at a dose of 1.0 Gy — the 40th and 70th days, respectively).

The number of leukocytes and leukocyte elements of the blood, the mass of the organs of the reproductive system, the quantitative composition of the populations of spermatogenic cells in the testis tissue, the number of epididymal spermatozoa, the viability, the DFI index, the number of apoptotic and necrotic spermatozoa, the activity of GAPD and acrosin, the fructose content in seminal vesicles.

It was established that external irradiation at a dose of 1.0 Gy and combined action of 1.0 Gy + MP NP (50 Hz) on the 1st day after exposure causes moderate leukopenia, and MP of IF (50 Hz) is a marked decrease in the number of leukocytes in the blood, caused by a decrease in the number of lymphocytes, especially expressed in the group of combined effects. In the long-term period, leukopenia persists only after exposure to the MP of the IF (50 Hz).

The testes weight decreases after external irradiation (1.0 Gy) and combined action of two factors (1.0 Gy + MP IF), and the seminal vesicles increases. Analysis of the composition of populations of spermatogenic cells of different stages of differentiation on the 1-st day after these effects and their combined effect indicates a significant disintegration of the process of spermatogenesis, which is manifested in stimulation of the initial stages of spermatogenesis and a decrease in the number of elongated and oblong spermatids. In the initial and long-term periods there is a significant drop in the number of spermatozoa of their viability, an increase in death of germ cells by apoptosis and necrosis. The combined effect of the factors under consideration in most cases has on the process of spermatogenesis and spermiogenesis, effects exceeding the influence of each of the studied anthropogenic factors separately.

**TO THE DEVELOPMENT OF RADIOPROTECTIVE DRUGS ON THE BASIS
OF DERIVATIVES OF $\Delta 5$ -ANDROSTENEDIOL-3 β ,17 β**

V. D. Gladkikh, S. V. Kozlov

**Federal State Unitary Enterprise Research & Production Center
«Pharmaceutical Protection» of Federal Medical Biological Agency
Moscow, Russia
gladkikh2007@rambler.ru**

In the variety of foreign works in experiments with animals exposed to hard γ -radiation anti-radiation effect was shown for 5-androstendiol-3 β ,17 β (5-AED). 5-AED known as a key intermediate in testosterone and estradiol synthesis — the well known sex hormones of greatest importance.

The main problem with the use of native 5-AED as anti-radiation drug is its weary low solubility in water, so practically no anti-radiation effect is occurs when the drug given orally to the

irradiated animals. The classical method for steroidal drugs delivery in the pharmacology is to perform hypodermic or intramuscular injections of the drugs in the different types of plant oils as solvents. In many of the modern dispensatory the use of plant oils as diluents for steroidal drugs are prohibited, so oils replaced by polyethylene glycols with the different molecular weights. Many researchers use micronisation technics or compositions with PEGs based on 5-AED to increase bioavailability of 5-AED. The reproduction of this works lead us to ambiguous results, so we guess this poor results were obtained hence to low solubility of 5-AED in PEGs.

To solve the problem of bioavailability and fat/water solubility of 5-AED we propose to try some 5-AED derivates such as: esters and steroidal metabolites of second phase as anti-radiation drugs. To increase fat solubility we propose some esters of 5-AED with long chain carboxylic acids. To increase water solubility of 5-AED we propose different kinds of mammalians steroidal metabolites of second phase as: glycoconjugates with the variety of sugars, nucleoconjugates with the variety of nucleosides, phosphates with the variety of cations and sulfates with the variety of inorganic cations and protonated organic amines or quaternary amines as cations.

THE MORBIDITY OF THE ADOLESCENTS' OF THE REPUBLIC OF BELARUS INCLUDED IN THE 5TH PRIMARY ACCOUNTING GROUP

T. N. Glinskaya, E. V. Tolstaya

**National Center of Blood Transfusion and Medical Biotechnology,
Minsk, glinsky@tut.by,
International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University
Minsk, eltol@mail.ru**

The main causes of morbidity cases diagnosed in previous years were studied in adolescents of the Republic of Belarus included in the 5th primary accounting group. The data from the official statistical reports about the number of morbidity cases among population affected by Chernobyl nuclear power plant accident (2009–2015) have been used. Such the analysis gives the opportunity of excluding the influence of seasonal morbidity and epidemic upsurges and to study cases of chronic diseases, long-term acute diseases and their consequences or complications.

The differences between the main reasons of morbidity cases diagnosed in previous years in adolescents included in the 5th primary accounting group and the same reasons in non-affected adolescents' population have been revealed. The rate of morbidity diagnosed in previous years in adolescents included in the 5th primary accounting group was significantly higher in comparing with non-affected adolescents' population. The main causes of morbidity diagnosed in previous years in adolescents included in the 5th primary accounting group were diseases of the eye; endocrine, nutritional and metabolic diseases; diseases of the digestive system; diseases of the musculoskeletal system; mental and behavioral disorders; diseases of the respiratory system; diseases of the circulatory system; congenital abnormalities.

The levels of morbidity diagnosed in previous years in adolescents included in the 5th primary accounting group for five reasons (diseases of the digestive system, diseases of the respiratory system, endocrine diseases, diseases of the genitourinary system and congenital abnormalities) were significantly higher than in non-affected adolescents' population. Dynamics of indicators for two chapters (endocrine diseases; congenital abnormalities) was unfavorable. Such particularities can be explained by the more significant complex impact of the factors of the external and internal environment on the affected population. The findings should be taken into account when planning the preventive work and medical and nonmedical interventions aimed at the maintenance of adolescents' health.

ASSESSMENT OF RADIONUCLIDE MIGRATION CAPACITY IN SOILS OF CHERNOBYL NPP EXCLUSION ZONE

V. V. Goloveshkin, S. A. Kalinichenko, R. A. Nenashev, A. N. Chudinov

**State Nature Protective Scientific Research Establishment
«Polesye State Radiation-Ecological Reserve»
Khoyniki, Belarus
goloveshkin.victor@yandex.ru**

The results of these studies showed that the forest floor on semi-hydromorphic and hydromorphic soils contains lesser amount of ^{137}Cs (4.9–11.1 %) than the 5 cm upper soil layer (15.5–28.8 %), as compared to its distribution in automorphic soils — 17.2 % and 15.1 % respectively. The upper 5 cm of soil mineral layer contains major fraction of ^{241}Am (61.7–88.4 %) and ^{137}Cs (45.5–76.7 %), and the upper 10 cm layer contains 51.9 to 92.6 % of ^{90}Sr . At most 4.4 % ^{137}Cs and 13.3 % ^{90}Sr have migrated into the upper 30–100 cm soil layer in all the phytocenoses. ^{241}Am was not detected in these soil layers.

In automorphic soils (pine forest, deposit) the highest concentrations of ^{137}Cs are detected at the depths of 4.94–5.24 cm (Table 1). In semi-hydromorphic soils of oak forests — at 5.67 cm. In hydromorphic soils (birch, black alder stands) — at the depths of 5.85–8.73 cm respectively. ^{90}Sr is characterized by high mobility in the conditions of soil excessive humidification. The depth of 50 % of ^{90}Sr penetration into soil with excessive humidification is 6.88–14.78 cm, when in automorphic soils it makes 5.61–6.40 cm. Location of ^{241}Am depot is registered at the depth of 4.82–5.13 cm and it weakly depends on the conditions of humidification.

The vertical migration velocity of the studied radionuclides counts 0.29–0.56 cm/year for ^{137}Cs , 0.46–0.99 cm/year for ^{90}Sr and 0.32–0.45 cm/year for ^{241}Am .

Applying the method of correlation data analysis, it is established that the vertical radionuclide migration velocity rate in soil depends on the humidification value: the Pearson linear correlation design coefficient makes 0.37 for ^{137}Cs and 0.88 for ^{90}Sr with the significance level of less than 0.01 and Pearson correlation critical value of 0.59 for ^{137}Cs and ^{90}Sr . The degree of correlation is moderate for ^{137}Cs ($r > 0.30$ –0.49), and strong for ^{90}Sr ($r > 0.70$). The Pearson correlation coefficient for ^{241}Am is 0.50. The degree of correlation for ^{241}Am is average ($r > 0.50$ –0.69).

THE OPTIMIZATION OF THE MODE OF EXPOSING LABORATORY RODENTS TO ULTRAVIOLET FOR THE FOLLOWING EVALUATION OF PHOTOPROTECTORS

S. V. Goncharov, N. N. Veylkina, K. N. Shaforost, S. N. Sushko

**Institute of Radiobiology
Gomel, Republic of Belarus
combinexpo@mail.com**

In the experiment on mice Af and rats the influence of UV irradiation on morphological and biochemical parameters was studied. Approbation of UV irradiation modes and evaluation of its effects in mice showed that irradiation (both UV-A / B and UV-C) of a skin area without immobilization or with it on 1–4 days after the exposure relatively stably reduces total and effective concentration of serum albumine and has no significant effect on the level of MetHb and TBA-products in blood serum.

After the exposure (15 and 30 minutes), in immobilized animals the proportion of keratinocytes with micronuclei increases significantly and has a dose response in both mice (UV-C) and rats

(UV-A / B). Subsequently, it is undesirable to apply an immobilization of mice and rats because of making an additional factor — a stress — capable of distorting the real UV effects. When the irradiation is open, similar and persistent morphological effects of UV are detected in both species, marked on the day 4 after 30 minutes of irradiation. As shown in keratinocytes, they were associated with latent pathology. Applying dimethylsulfoxide as a solvent for application of extracts to the skin was relatively safe, and we consider it acceptable for further studies.

When studying potential photoprotectors from the above morphological tests, the evaluation of epidermis (without the outer layer of the dermis), the capillary network of the subcutaneous tissue, the measurement of the skin fold and skin discs can be relatively effective. To assess the state of the internal environment after UV irradiation, it is effective to study the pro- and antioxidant blood system parameters, in particular the enzyme activity.

CORRECTION BY QUERCETIN OF RADIO-INDUCED CHANGES IN REACTIVITY OF ISOLATED VESSELS OF RATS

E. M. Gorban, O. V. Parshikov

**State Institution «D. F. Chebotarev Institute of Gerontology» of NAMS Ukraine,
Kiev, Ukraine
engorban@meta.ua**

To explore the possibility of radioprotective influence of a course of liposomal form of quercetin (QC) on reactivity of isolated vessels ((fragments of thoracic aorta (TA), mesenteric artery (MA) and portal vein (PV)) of rats after a single X-ray irradiation (X-irr.) in sublethal doses of 7 Gy.

Three groups of adult male rats were used: 1 — control; 2 — X-irr. (7 Gy), rats were taken to acute experiment 30 days after exposure; 3 — X-irr. (7 Gy), followed by QC-course (exposure liposomal QC, four, intraperitoneally every other day, at a dose of 0.6 mg/kg) and subsequent acute experiment.

The ability of phenylephrine-reduced fragments of TA of intact rats to relax under the action of acetylcholine (Ach) increases in the presence of insulin (Ins). In 30 days after X-irr. the degree of relaxation of TA to Ach is increased, and in the presence of Ins, the degree of relaxation is suppressed. In MA of intact animals, a high level of maximum relaxation is noted with a lower sensitivity to Ach separately and in the presence of Ins. In 30 days after X-irr., there is a significant inhibition of MA responses to Ach, which is further enhanced in the presence of Ins. Serotonin (Ser) in dose-dependent manner increases the amplitude and frequency of contractile activity of PV-fragments of intact rats, and the addition of Ins does not appear to be significant at the level of the contractile response with further stimulation by Ser. In the PV-fragments after X-irr. significant differences in the sensitivity to stimulation of Ser separately and in the presence of Ins were found: an increase in contractile activity on Ser in the presence of Ins was observed. The course use of QC after X-irr. prevents the development of detected post-radiation disorders of reactions of investigated vessels.

Radiation produced a significant impact on the reactivity of the investigated vessels. QC-course used after X-irr. was effective in preventing these radio-induced disorders of vascular reactivity.

CORARGIN CORRECTED OF RADIO-INDUCED CHANGES IN THE LEVELS OF STABLE METABOLITES NO AND LIPID PEROXIDATION INDICATORS IN TISSUES OF RATS OF DIFFERENT AGE

E. N. Gorban, N. A. Utko, E. V. Podjachenko

**State Institution «D. F. Chebotarev Institute of Gerontology» of NAMS Ukraine,
Kiev, Ukraine
engorban@meta.ua**

To explore the possibility of radioprotective influence of a course of Corargine (Cor.) on radio-induced changes in the levels of NO stable metabolites (SM) and lipid peroxidation (LPO) in tissues of adult and old rats after a single X-ray irradiation (X-irr.) in sublethal dose of 5 Gy.

Three group of adult (7–8 mo) and old (23–24 mo) male rats were used: 1 — control; 2 — X-irr. (5 Gy), rats were taken to acute experiment 30 days after exposure; 3 — X-irr., followed by Cor.-course (100 mg/kg, per os, daily, 30 days) and subsequent acute experiment.

In adult rats, 30 days after X-irr, there was a significant decrease in the total level of NO SM ($\text{NO}_2^- + \text{NO}_3^-$)-anions in plasma and aortic tissue; in the tissue of the myocardium there was a significant decrease in the level of NO_2^- -anions. In old rats, in 30 days after X-irr., the levels of NO SM in the blood did not change significantly; in the aortic tissue there was a significant decrease in the level of NO_2^- -anions. Inclusion in the diet of Cor. after X-irr. prevented the decrease in the level of NO_2^- - and NO_3^- -anions in the tissue of the aorta and NO_2^- -anions in the heart tissue of adult rats, led to an increase in the level of NO_3^- -anions in the heart tissue compared with control; in old rats — prevented the decrease in the level of NO_2^- -anions in the aortic tissue, increased the total level of SM of NO in the heart tissue in comparison with the control. In adult rats, in 30 days after X-irr. in the heart tissue, an increase in the intensity of LPO processes. Inclusion in the diet of Cor. after X-irr. prevented this increase, prevented the activation of LPO processes and reduced the activity of superoxide dismutase in the heart tissue.

The study of Cor.-correction for radio-induced changes in the levels of stable NO metabolites and LPO processes in adult and old animals is promising.

DISEASES THAT INCREASE THE RISK OF PULMONARY TUBERCULOSIS IN CHILDREN AND ADOLESCENTS LIVING IN THE MOST AFFECTED BY THE CHERNOBYL DISASTER AREAS

L. A. Gorbach

**National Research Practical Centre «Mother and Child»
Minsk, Republic of Belarus
larisa-horbach@yandex.ru**

The present research paper examines diseases that increase the risk of pulmonary tuberculosis in children and adolescents living in the most affected by the Chernobyl disaster areas. The list of the areas most affected by the Chernobyl disaster was made in compliance with the decree of the Council of Ministers of the Republic of Belarus of June 9, 2000, No 845, and includes the following 21 areas. In the framework of the research a database has been developed where 438 primary cases of pulmonary tuberculosis among children and adolescents were recorded. All children and adolescents diagnosed with tuberculosis and recorded in the mentioned database were then divided into two groups. The first group included 56 children and adolescents living in the areas most affected by the Chernobyl disaster. The second group included 382 children and

adolescents living in less affected areas. Were studied anamnestic data, characteristics of the diseases which contribute to the occurrence of pulmonary tuberculosis in patients living in the most affected areas as compared to the same characteristics of patients living in less affected areas. Data processing was performed by various statistical methods: the Student's t-test, the χ^2 criterion, the z criterion, contingency table. The study has shown that the relative risks of pulmonary tuberculosis in children and adolescents living in less affected areas were significantly higher in cases of acute respiratory infection (2.431), acute respiratory viral infection (9.079), bronchitis (2.927) and chickenpox (3.523). The relative risks of pulmonary tuberculosis in children and adolescents living in the most affected areas were significantly higher in the case of dyskinesia of the biliary tract (3.254), anemia (3.796), acute respiratory infection (4.338), gastritis (4.881), pneumonia (5.423), chicken pox (6.508), perinatal encephalopathy (6.508), bronchitis (11.93), and acute respiratory viral infection (20.607).

INFLUENCE OF EM-1 BIOLOGICAL PREPARATION ON THE FORMS OF CONTENT OF CESIUM ^{137}Cs THE SOIL

G. Z. Gutseva, G. A. Leferd

State Scientific Institution

«Institute of Radiobiology of the National Academy of Sciences of Belarus»

Gomel, Republic of Belarus

In the transition of radionuclides along biological chains, «soil» – «plant» – «animals» – «man», the soil is the initial link and the source of radionuclide intake. Scientific developments in the field of radionuclide behavior in soils allow in practice to determine the possibilities of obtaining products with the lowest radionuclide content and to create a base for the rehabilitation of contaminated territories.

The experiment was carried out under laboratory conditions, in an artificial climate laboratory. Since the biological preparation EM-1 contains photosynthesizing and lactic acid bacteria, as well as yeast, actinomycetes and fermenting fungi, that is, organisms whose vital activity is affected by soil moisture, we recorded this index for all variants of the experiment.

As a result of the experiment, it was found that soil moisture is an important indicator that influences the activity of microorganisms that make up the EM-1 preparation. The ^{137}Cs radionuclide is concentrated in the upper six centimeter layer of the soil, which has undergone the greatest illumination and more intensive evaporation of moisture. The introduction of the biological preparation EM-1 into the soil makes it possible to reduce the availability of ^{137}Cs for plants, since after application of the preparation in the accessible to the plants, exchangeable and soluble form of ^{137}Cs in the soil, there is 4 %, in the form bound to organic compounds — 84 % and in fixed form bound with iron and manganese oxides — 12 %.

INDICATIVE PROPERTIES OF HUMAN BLOOD IN RADIOECOLOGICAL ASSESSMENT OF TERRITORIES

M. T. Jambayev^{1,2}, N. V. Baranovskaya²

¹**National research Tomsk Polytechnic University
Tomsk, Russia, nata@tpu.ru**

²**Scientific research Institute for radiation medicine and ecology
Semey, Kazakhstan, merei-semei@mail.ru**

The article presents the results of studying the elemental composition of the blood of the person living in the territories adjacent to the former Semipalatinsk nuclear test site. The study area is characterized as a zone of influence of the former Semipalatinsk nuclear test site, which is divided into a maximum, high and minimum radiation risk zones, respectively. The elemental composition of the blood was determined by the method of high precision instrumental neutron activation analysis. The results obtained were subjected to statistical processing. When compared with the literature data it was established that in the blood samples of the person of the village of Novopokrovka the literature data exceed such elements as Na, Fe, Zn, As, Rb, Sr, Sb, Ba, Th, U. In the blood samples of the village of Zenkovka the elements exceeding the literature data are Ca, Fe, Zn, As, Sr, Sb, Ba, Au, U. In the settlement of Kokpekty in the human blood samples the literature data exceed As, Sr, Ba, Th, U. Geochemical features of the accumulation of chemical elements in human blood reflected both the territorial and regional specificity of technogenic burden. A significant level of accumulation of U (2,4) is characteristic for human blood collected in the settlement of Zenkovka. The blood of the settlement of Novopokrovka is characterized by a wide range of accumulated elements, including rare-earth and radioactive elements. Generally, for all territories the high accumulation of Sr, U in the studied territories is typical, which, most likely, reflects the specificity of the technogenic burden of the studied region. The total indicators of the accumulation of chemical elements in each territory in question were calculated, which corresponded to the ranks of the radiation risk zones established in accordance with the Law of the Republic of Kazakhstan issued in 1992 «On social protection of citizens affected by nuclear tests at the Semipalatinsk nuclear test site». The results of the conducted studies confirm the data on the indicator properties of the blood of the person living under the impact of nuclear technogenesis.

THE CONTENT OF STRONTIUM AND URANIUM ACCIDENTAL ORIGIN IN ENVIRONMENTAL OBJECTS

*V. P. Zhdanovich, A. N. Nikitin, E. A. Klementeva,
G. A. Leferd, S. A. Arendar, N. D. Adamovich*

**State scientific institution
«Institute of radiobiology of NAS of Belarus»
Gomel, Republic of Belarus
zhdanovich.vp@tut.by**

A worldwide problem is pollution of surface and underground water of waste production and consumption. For the Republic of Belarus, like many other developing countries, this problem is highlighted by the almost complete absence of modern infrastructure and ecologicpremie of waste management technologies. As a result, fail displays a production well, separate large water intakes and groundwater deposits, and accordingly reduced the previously estimated resources of drinking groundwater of this important geological and strategic potential of Belarus.

Agricultural pollution is characterized by lower intensity but covers a vast area of farmland and is thus regional.

In this regard, the main objectives of the research were: identify the existence of stable strontium and uranium in underground water of the centralized water supply sources (wells, columns) in the Gomel region; the analysis of these elements in soil and different groups of plant communities in areas geographically adjacent to the studied water sources; content analysis of strontium and uranium in groundwater sources; development of technologies of production that reduce the risk of their penetration into the groundwater.

By results of researches it is established that the amount of stable strontium and uranium in the soil of the experimental sources is grading them. In more cohesive soils isotopes of these elements much more (strontium — from 18.0 to 39.6 and uranium of 0.4–0.6 mg/kg of soil), and loose — less (respectively, of 6.2 and 9.8 and 0.2–0.3 mg/kg soil) In the experimental water sources stable isotopes of strontium do not exist.

Uranium in the experimental sources of groundwater contained in neznachitelnyh amounts (0,001–0,000003 mg/l), but this amount is the greater of (0,001–0,0027 mg/l) is accompanied by a more coherent soils, and less (0,000003–0,0000018 mg/l) is looser (easy);

The flow of stable strontium and uranium in plants does not depend on the number of them in the soil and soil texture, and to a greater extent related to the plant species and its biological characteristics.

More strontium accumulate annual shoots and leaves of sycamore maple (36,4), *Oenothera biennis* (49,9), yarrow (36,7 mg/kg) and shepherd's purse (35,9 mg/kg). On the contrary, low savings elements are characterized by annual shoots, leaves and flowers of common lilac (6,7), spire *trostnikovidnogo* (5,5–14,0), biennial shoots *physocarpus* English and sycamore (6,3–6,2 mg/kg).

Greater ability to accumulate stable uranium have: dandelion (0,008–0,038), *chernokoren* drug (0,016), yarrow (0,018), the young shoots and leaves of *physocarpus* English and sycamore (0,018–0,019), and biennial shoots of maple, mock orange, and fine-leaved plum (0,018–0,011 mg/kg). All other plants and parts of them accumulate a small amount of uranium (0,001–0,009 mg/kg).

THE IMPORTANCE OF THE STUDY OF THE BEHAVIOR OF STABLE AND RADIOACTIVE ISOTOPES OF CESIUM AND STRONTIUM IN PLANT ECOSYSTEMS UNDER CHANGING CLIMATIC CONDITIONS

V. P. Zhdanovich, A. N. Nikitin, G. A. Leferd, S. A. Arendar, N. D. Adamovich

**State scientific institution
«Institute of radiobiology of NAS of Belarus»
Gomel, Republic of Belarus
zhdanovich.vp@tut.by**

The publication examines the behavior of stable and radioactive isotopes of cesium and strontium in plant ecosystems under changing climatic conditions. Characteristics of stable isotopes of cesium and strontium are given. From literary sources, it is quite well known that, when present in living tissues, stable isotopes of cesium (133) and strontium (84, 86, 87 and 88), when interacting with radioactive isotopes, contribute to the accumulation of the latter in the tissues of plant and animal organisms. In a certain way, this is facilitated by changing climatic conditions. Therefore, the main purpose of the research is to establish quantitative characteristics of the arrival of stable isotopes of cesium and strontium in different plant species under varying microclimatic conditions and the links of this process with the accumulation of radioactive isotopes by different parts of plants.

This problem will be solved by:

the establishment of quantitative parameters for the accumulation of the stable isotopes of cesium and strontium with oats and winter wheat at two levels (min and max), enriching them

with soils at sites with different microclimatic conditions, taking into account the agrochemical properties and the granulometric composition of sod-podzolic soils;

determination of the initial concentrations of stable isotopes of cesium and strontium in the soil under the test crops;

the detection of levels of accumulation of cesium 137 and strontium 90 by crops and the links of this indicator with the level of their stable isotope content and microclimatic conditions of the terrain;

the establishment of dependencies and regularities of the synergy of stable radioactive isotopes and microclimatic conditions.

As a result, effective methods for regulating the intake of cesium and strontium into the phytomass of plant will be developed and a conceptual model for estimating and minimizing the negative environmental effects of environmental contamination by isotopes of strontium and cesium will be constructed.

STUDY OF INTERACTION OF MICROBIOLOGICAL COMPONENT OF SOILS OF CONTAMINATED TERRITORIES WITH FUEL-CONTAINING MATERIALS

*M. V. Zheltonozhskaya¹, V. A. Zheltonozhsky²,
A. V. Tugay³, T. I. Tugay³, A. P. Chernyaev¹*

¹Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics Lomonosov Moscow State University,

²Institute for Nuclear Research National Academy of Sciences of Ukraine,

³D. Zabolotny Institute of Microbiology and Virology
National Academy of Sciences of Ukraine

Microscopic fungi are the active and predominant microbial component of the soil (about 80 % of the microbiota in the soils are micromycetes). As a result of long-term research in the Chernobyl exclusion zone it was shown that different strains of microscopic fungi (micromycetes) of Chernobyl origin demonstrate the property of positive radiotropism. They have the ability of directed and accelerated growth to a source of radioactivity. Moreover, we established a significant biological impact of microscopic fungi (micromycetes) on the processes of destruction of fuel particles. Such their properties can significantly affect the movement of radionuclides along the trophic chains from soil to human.

The most harmful fuel components for living organisms are plutonium and americium. However, in recent years during the research of polygons in places of nuclear fuel contamination (Chernobyl exclusion zone) the obtained experimental data showed the 50 % migration of the isotopes of plutonium and americium from the soil surface to depths of 2–10 cm. Moreover, these isotopes are found at that depth also in dissolved form.

All of these facts indicate that microbiological processes are probably crucial for the migration of radionuclides in soils. The investigation of these processes requires complex studies with the participation of specialists in nuclear physics and microbiology.

Studies of the interaction of micromycetes with fuel-containing materials from the 4th destroyed power unit of the Chernobyl NPP have been carried out. The accumulation of ²⁴¹Am micromycetes from fuel particles was first discovered. We can observe almost complete assimilation of the ²⁴¹Am by mycelium without transferring part of the ²⁴¹Am radionuclides into the culture fluid. This is significantly different from the behavior of these strains of micromycetes in interaction with ¹³⁷Cs from the fuel particles involved in the experiment. We can unambiguously fix from the obtained results that, in contrast to ²⁴¹Am, ¹³⁷Cs activity in both mycelium and culture liquid is commensurable.

APPROACHES TO THE MAPPING OF RADIOACTIVE CONTAMINATION OF THE PSRER TERRITORY

O. M. Zhukova, M. G. Germenchuk, M. A. Podgajskaya, Zh. V. Bakarykava

**Center for Hydrometeorology and Control of Radioactive Contamination
and Environmental Monitoring (Hydromet)
Minsk, Republic of Belarus
zom@rad.org.by**

The report describes the methodological approaches to the inspection and mapping of radioactive contamination of the Polessky State Radiation Ecological Reserve (PSRER) carried out within the framework of the section «Implementation of a comprehensive project to create a thematic atlas of modern and forecast aspects of the consequences of the Chernobyl catastrophe in the affected territories of Russia and Belarus» of the Program of joint activities for overcoming the consequences of the Chernobyl catastrophe within the framework of the Union State and also during the implementation of the OSCE project «Analysis of Environmental Risk in the Exclusion Zone of Chernobyl NPP».

A full-scale inspection of PSRER territory using a grid with a step of 1 km was carried out. Sampling of soil was carried out at the grid points by the envelope method. In a mixed soil sample, the surface activity of ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{241}Am , $^{238,39,40}\text{Pu}$ was measured. Sampling points were geographically linked.

To store and process data a map database was designed. With the use of GIS MapInfo, maps of radioactive contamination of PSRER territory with ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{241}Am , $^{238,39,40}\text{Pu}$, a map-forecast of radioactive contamination with ^{241}Am as of 2056 have been prepared. In addition, a map of the retro-forecast of contamination PSRER territory with ^{241}Pu has been prepared.

When examining the Belarusian-Ukrainian border, sampling was carried out at a step of 500–1000 m, depending on the levels of radioactive soil contamination. If we take into account the fact that similar sampling in chessboard order in the territory of Ukraine was carried out by Ukrainian colleagues, the sampling frequency of the soil along the boundary line was 250–500 m.

The mapping of border area was carried out on the basis of data sets on radioactive contamination with ^{137}Cs , ^{241}Am and Pu isotopes obtained by both Belarusian and Ukrainian specialists. To construct a map of border territory contamination with Pu isotopes were used real data on the ^{241}Am contamination and the ratio of TUE activities. As result an Instruction to ensure the safety of personnel while performing demarcation of the Belarusian-Ukrainian border in the exclusion zone of the Chernobyl NPP was drafted.

SOME METHODOLOGICAL ASPECTS FOR ASSESSING DOSE OF THE REPRESENTATIVE PERSON

M. M. Kadatskaya, M. G. Germenchuk

**The Center of Hydrometeorology, Radioactive Contamination Control
and Environmental Monitoring of the Republic of Belarus
Minsk, Republic of Belarus
ammoad@gmail.com**

Currently the ICRP recommends to use the dose of representative person for radiation protection purposes. However there are still no strict methodological approaches for assessing dose of the representative person all over the world. In this article analyzed different methodological aspects for representative person dose assessing and conclusions on how to use these aspects on

Belarus territory. The purpose of this article is to analyze methodological approaches for estimating population doses for radiation protection based on modern international recommendations and adapting international approaches to the conditions of the Republic of Belarus, taking into account the situations of existing and planned exposures. These approaches will be developed taking into account the existing practice in the country to ensure radiation safety of the population based on radiation monitoring data. Necessity of developing such methodology in Belarus is an actual problem for public radiation protection in the late phase of the Chernobyl accident. The methodology is also necessary in connection with the commissioning of the Belarusian NPP to estimate the radiation doses of the population due to the release of radionuclides during normal operation of the station, as well as in case of emergency situations and determining the compliance of the received doses with the values of the normatively established dose constraints. Radiation monitoring of territories contaminated by the Chernobyl accident showed that, depending on radioactive contamination of the environment, it is possible to provide detailed approaches to radiation safety, highlighting several types of representative person for each specific type of pollution and the situation of exposure.

OXIDATIVE STRESS AND CHANGES IN THE GENETIC STRUCTURE OF THE CHRONICALLY IRRADIATED SCOTS PINE POPULATIONS

E. A. Kazakova, P. Yu. Volkova, S. A. Geras'kin

**Russian Institute of Radiology and Agroecology
Obninsk, Russia
elisabethafeb19@gmail.com**

The vast areas of pine forests of Russia and Belarus were affected by the radioactive trace of the Chernobyl accident. For more than 30 years these forests have been undergoing to chronic irradiation and showing the presence of biological effects of such exposure. Therefore, it is important to figure out the mechanisms of adaptation of irradiated forests to radiation exposure.

Polymorphism of three enzymes (glucose-6-phosphate dehydrogenase, malate dehydrogenase and leucine aminopeptidase) was studied in the Scots pine populations growing on the radioactively contaminated sites in Bryansk region (Russia) using the electrophoretic methods of analysis. It was revealed that the frequency of mutations in isozyme loci increased along the level of chronic radiation exposure (10.0–38.6 mGy/year). A number of genetic characteristics of populations were also investigated. The genetic structure and differentiation of the studied populations showed dependence on the dose rates at study sites. The activities of these enzymes also were studied using spectrophotometry; however, the same dose rate had no effect on activities of studied enzymes.

An antioxidant status of the chronically irradiated Scots pine populations was studied using the HPLC-analysis of the low-molecular weight antioxidants (reduced and oxidized glutathione, ascorbic acid) and malondialdehyde. It was revealed that for the most contaminated sites located in Belarus (50.9 and 66.6 mGy/ year) the concentration of reduced glutathione was increased in comparison with the control sites (0.02 and 0.23 mGy/year). The ratio of the concentrations of reduced and oxidized glutathione appeared to be significantly higher on sites with the highest dose rates (50.9 and 66.6 mGy/year). An assessment of the concentrations of malondialdehyde showed that the malondialdehyde concentrations depend on the magnitude of radiation exposure and tend to increase with the increasing rate of the chronic exposure.

Thus, in the most contaminated experimental populations changes in the antioxidant status were observed in the most contaminated experimental populations. This suggests that even low dose rates of chronic exposure may cause oxidative stress in the Scots pine populations. A chronic oxidative stress could be responsible for the observed changes in the genetic structure of experimental populations.

LANDSCAPE REDISTRIBUTION OF γ -DOSE RATE VALUES DEPENDING ON THE COMPOSITION TYPE OF CONCENTRATION GRADIENTS

S. A. Kalinichenko

**State Environmental Research Institution
«Polesye State Radiation-Ecological Reserve»
Khoyniki, Republic of Belarus
s-a-k@list.ru**

Assessment of spatial distribution character of γ -dose rate (DR) is conducted in the conditions of the landscape with a considerable, for the exclusion zone, altitude difference. The analysis proved that at the experimental ground «Yaseva gora» the dose rate values at the altitude of 3–4 cm showed high variability with the variation coefficient of 12.3 %. At the altitude of 1 m above the soil surface the variability was by 26 % lower ($V = 9.1$ %), which results from leveling of emanation values from point sources with heightening. At the same time, the correlation coefficient between DR values at the altitude of 1 m and on the soil surface makes 0.79, which coincides with our earlier obtained data for other experimental grounds. Low negative correlation coefficient values allow considering only the tendency depending on the distribution of DR values by altitude ($r_{xy} = -0.06-0.04$). Changes in DR values on the territory of studied biogeocenoses on the soil surface and at the altitude of 1 m have an identical pattern of projective traces. At that, an inverse relation of DR values to altitude is observed — lowest DR values were registered at the hill top. The conducted variation analysis proved the lognormal distribution character of DR values at the altitudes of 3–4 cm and 1 m above the soil surface at the experimental ground. Despite the considerable identity between DR distribution parameters at different altitudes above soil surface and the evident inverse relation of DR and altitude, no reliable connection between these categories was established.

CREATING A CARTOGRAPHIC DATABASE FOR PREPARATION OF RADON SPARE CARDS IN THE TERRITORIES OF BELARUS AND SERBIA

*A. Ch. Keura, O. M. Zhukova, Zh. V. Bakarikova, M. G. Germenchuck,
M. A. Podgaiskaya, I. V. Zhuk, T. V. Lisyavich*

¹**Center for Hydrometeorology and Control of Radioactive Contamination
and Environmental Monitoring of the Republic of Belarus,**

²**Joint Institute for Power and Nuclear Research —
Sosny of the National Academy of Sciences of Belarus
Minsk, Republic of Belarus
nastya.kevra@mail.ru**

Since 2006, Hydromet carries radon monitoring within the framework of the State program of development and functioning of the National Environmental Monitoring System in the Republic of Belarus. As a parameter of radon risk were used: volumetric radon activity in soil air (Bq/m^3); radon flux density from soil surface ($\text{Bq/m}^2\text{s}$). Evaluation of potential radon risk in the territory of Belarus was estimated using geological information.

The problem of natural radioactive gas radon, is an important problem of biology, ecology, and radiation medicine. According to the report of UNSCEAR (1990), radon and its daughter products of decay is determined approximately 2/3 of the annual individual effective dose received by the population from terrestrial sources of radiation, and about half the dose from all sources of radiation.

The potential radon risk of territory is divided into 3 categories (I, II, III). Evaluation of radon risk can be done according to one of four factors (Equivalent equilibrium volume activity of radon daughter products, Radon flux density, Volume radon activity, The specific activity of Ra-226 in the layers of rock geological sections).

More than 40 % of the territory of Belarus belongs to the radon priority areas. Existing significant difference in the individual dose for different districts of Belarus due to the inhalation of daughter products of radon and using radon rich water.

For the measurement of radon volume activity and assessment of radon flux density in soil air we used alpha radiometer such as PPA manufactured by Russia. Borehole depth of about 1 meter is used as the collection chamber from which air sampling is done.

By present time data array consists of about 300 records with outdoor radon measurement results. Radon data acquisition is continuing.

The measurement results are entered in a specially created database which provides calculation of radon volume activity and radon flux from indications of alpha radiometer.

DIFFERENTIATED USE OF FEEDS WITH VARIOUS LEVELS OF RADIOACTIVE CONTAMINATION AND INTRODUCTION OF «RATION+» SOFTWARE

E. V. Kopyltsova, E. N. Tsurankov

**Research Institute of Radiology (RIR), National Academy of Sciences of Belarus
Gomel, Republic of Belarus
kev81@tut.by**

In the long-term, cases are detected in Gomel region of Belarus where radionuclide concentrations in beef happen to be above the food safety standards set by the Technical Regulation of Customs Union TR CU 021/2011. To prevent such excess contamination cases in local livestock production, we developed the system of differentiated use of feeds containing various levels of ^{137}Cs and ^{90}Sr contamination which is based on RIR-developed «Recommendations on differentiated use of forage for livestock in radionuclide-contaminated areas». In practical application, differentiated feeds use is implemented with the help of a specially designed software tool and a framework of administrative and technical actions. The framework's role is to ensure that separate storage is ensured for feeds with different contamination levels and to optimize the storage sites on the premises of agricultural enterprises. The calculation software was designed to be used by livestock specialists of agricultural enterprises in contaminated areas (with ^{137}Cs and ^{90}Sr) to computerize the process of feeds arrangement according to their contamination levels and their use in feeds rations. It is based on the approach of adherence to the limits of radionuclide concentrations in different rations of different age-sex groups of livestock. This method allows the available feed resources with different levels of radioactive contamination to be used to their fullest extent while ensuring, at the same time, compliance of locally produced beef products with the existing sanitary and hygiene standards.

Both the system and software have been introduced and being practically implemented on «Dubovy Log» agricultural production site owned by «Dobrush-District AgroService» agricultural enterprise located in Gomel region, Belarus. Introduction of the software tool made it possible to automatically exclude those variants of feed rations that cannot ensure production of regulatory clean beef and dairy products.

INFLUENCE OF RADIOACTIVE POLLUTION OF THE SOIL ON ADMISSIBLE TIME OF FOREST CULTURE WORKERS AT VARIOUS WAYS OF CREATION OF FOREST CULTURES

V. V. Kopytkov¹, S. A. Rodin², A. A. Martynyuk²

¹SSI «Institute of Forest of the NAS of Belarus»
Gomel, Republic of Belarus

kopvo@mail.ru,

²FBI «All-Russian Scientific Research Institute of Forestry»
Pushkino, Russia

Results of the long-term research on various ways of creation of forest cultures on lands with various density of radioactive pollution by caesium-137 are presented in the article. Studying of creation of forest cultures is carried out in various ways in Vetkovsky and Chechersky special forestries of Gomel SPFI. On the area of more than 3 thousand hectares the experimental and production forest cultures created in the manual and mechanized way in the conditions of growth of A2 and B2 are surveyed. At aero sowing of the granulated seeds of the Scotch pine the constant trial areas are put depending on density of radioactive pollution of the soil on several gradation: from 5 to 15 Cu/sq.km, from 15 to 40 Cu/sq.km, from 40 to 80 Cu/sq.km and over 80 Cu/sq.km. Creation of forest cultures on constant trial squares was preceded by preplanting processing of root systems of seedlings of the Scotch pine with composite polymeric structure of «Korpansil» for increase in survival. Together with specialists of the radiological laboratory of Vetkovsky specialized forestry the maximum permissible period of operation is identified at the power of dose from 0,6 to 1,76 $\mu\text{Sv/h}$. Influence of flight altitude of the MI-2 helicopter on extremely admissible operating time of the pilot is studied. In all studied cases with increase in flight altitude the size of an effective dose of ionizing radiation considerably decreases. Therefore silvicultural works with the help of the helicopter can be carried out at various heights. The optimum norm of seeding of the granulated seeds of the Scotch pine (1,0–1,5 kg/hectare) and the change of size of the ionizing radiation are identified with various flight altitude of MI-2, and also maximum permissible operating time on territories with a density of pollution of the soil by caesium-137 from 15 to 40 Cu/sq.km and over 40 Cu/sq.km.

DYNAMICS AND FORECAST EVALUATION OF ¹³⁷CS RADIOACTIVE CONTAMINATION OF PINE FORESTS IN THE CHERNOBYL EXCLUSION ZONE

M. V. Kudin, A. V. Uhlianets, D. K. Garbaruk

State Nature Protective Scientific-Research Establishment
«Polesye State Radiation-Ecological Reserve»

Khoyniki, Republic of Belarus

dima.garbaruk.77@mail.ru

High biomass, complex vertical structure, and large area of assimilating plant organs provided considerable deposition of radioactive fallout in forest stands which, during first years, resulted in high gamma dose rates. Largest contribution to gamma background was made by short-lived radionuclides. For the most part, they had decayed by the middle of 1990's. Currently gamma background in pine forest in the near zone of ChNPP is formed by the long-lived ¹³⁷Cs.

Gamma dose rate and soil contamination density with ¹³⁷Cs are decreasing with time and distance from ChNPP. In heathery and mossy pine stands gamma dose rate at the altitude of 1m decreased from 1987 through 2016 by the factor of 11,7–13,7, and that includes during 1987–

2006 by the factor of 1,5, during 2006–2016 by 5,9–37,7 %. The decrease in gamma dose rate is, to a high credibility value, described with the exponential mathematical function, and soil contamination density with ^{137}Cs — with the linear and exponential function.

Since the middle of 1990's, gamma dose rate at the altitude of 1m has entered the phase of slow decrease. Calculations show, that in pine stands in the near zone of ChNPP during 2002–2020 it will drop by the factor of 1,9–2,2 and will almost coincide with the forecast. More often the decrease in ^{137}Cs soil contamination density does not coincide with the forecast due to continued uptake of radionuclides from vegetative waste by the forest floor and the surface soil layer.

It is established that gamma dose rate at the altitude of 1 m is decreasing more rapidly, and ^{137}Cs soil contamination density — more slowly than predicted. This requires adjustments to the predicted dynamic model of radioactive contamination by means of extending the databases and refining radionuclide migration processes in forest ecosystems.

MIGRATION PROCESSES IN POLLUTED AREAS NEXT 5-KM ZONE OF THE CHERNOBYL NPP

N. V. Kulich¹, M. V. Zheltonozhskaya², V. A. Zheltonozhsky¹, A. P. Chernyaev²

*¹Kiev Institute for nuclear research of NAS of Ukraine,
²Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics
Lomonosov Moscow State University*

Investigations of the vertical migration of Chernobyl origin radionuclides near the 4th destroyed unit of the Chernobyl nuclear power plant after the creation of the new Shelter object. The study was processed at the research site «Red Forest». A γ - and β -spectrometric measurements were executed for sampled soils by the anti-compton and beta spectrometers. The presence of ^{60}Co , ^{137}Cs and ^{241}Am was recorded to a depth of 30 cm in all sections of the soil. In areas with soddy-weakly podzolic silty-sand soils the presence of the isotopes ^{137}Cs , ^{90}Sr and ^{241}Am was fixed to a depth of 30 cm. In the upper layers of soil at the research site «Red Forest» we observed the presence of ^{243}Am and ^{243}Cm . The areas with isotopes ratio $A(^{241}\text{Am}) / A(^{137}\text{Cs}) = 0.11 \pm 0.02$ and $A(^{90}\text{Sr}) / A(^{137}\text{Cs}) = 2.0 \pm 0.3$ were detected. The study, conducted in 2012, before to the implementation of works of creation of the new Shelter object, showed the isotopes ratio $A(^{241}\text{Am}) / A(^{137}\text{Cs}) = 0.05 \pm 0.01$, $A(^{90}\text{Sr}) / A(^{137}\text{Cs}) = 0.6 \pm 0.1$ in soils of research site «Red Forest». Investigation of the concentration of these radionuclides in the fuel-containing materials selected inside the object «shelter» showed that the ratios of these radionuclides is $A(^{241}\text{Am}) / A(^{137}\text{Cs}) = 0.09 \pm 0.02$, $A(^{90}\text{Sr}) / A(^{137}\text{Cs}) = 2.5 \pm 0.5$.

SPECIATION OF ARTIFICIAL RADIONUCLIDES IN SOILS OF SEMIPALATINSK TEST SITE

A. Ye. Kunduzbayeva, S. N. Lukashenko

**Institute of radiation safety and ecology of National Nuclear Center of RK
Kurchatov city, Kazakhstan
kunduzbaeva@nnc.kz**

The STS territory has a unique feature: there are several objects with different levels and character of radioactive contamination of soil (depending on the type of test, mechanism of radioactive particles formation). Longstanding studies (2008–2015) allowed to accumulate a sig-

nificant amount of materials regarding speciation of artificial radionuclides in soils of various STS objects. This work is aimed at summarizing results of longstanding studies of ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{241}Am , $^{239+240}\text{Pu}$ artificial radionuclides' speciation in soil of various STS objects and at revealing distribution peculiarities of radionuclides' speciation at the STS territory depending on character of radioactive contamination of soil cover.

The lowest mobility and bioavailability of all the radionuclides studied was registered at the «Experimental Field» site and the «Atomic» lake, where the radionuclides were mainly found in tightly bound form (over 91,7 %). This is mainly due to peculiarities of formation mechanisms of the radioactive particles resulted from surface and excavation explosions. The highest mobility of radionuclides was registered in soils of WRA testing sites («4a» site), influence zones of radioactive streamflows from the «Degelen» site and conditionally «background» lands of the STS, for that sorption, mechanism of radioactive contamination of contaminated particles is typical.

The results of study conducted at the STS can be used in assessing and forecasting radionuclides behavior in soils of contaminated lands with similar mechanisms of radioactive contamination (the territory within the influence zone of nuclear industry objects, nuclear test sites, influence zones of radioactive fallout traces and etc.).

VARIABILITY RESEARCH IN ARTIFICIAL RADIONUCLIDES TRANSFER FACTOR FOR PLANTS IN VENUES OF URFACE NUCLEAR TESTS

N. V. Larionova, S. N. Lukashenko

**Branch «Institute of Radiation Safety and Ecology»
of the RSE «National Nuclear Center of the Republic of Kazakhstan»
Kurchatov, Kazakhstan
larionova@nnc.kz**

Results of multiple researches have been recently conducted at the Semipalatinsk Test Site (STS) show that transfer factors (Tf) of artificial radionuclides accumulated by plants from soil range widely. Definite differences we registered for some definite species of plants and soils with different physical and chemical properties. However the impact on accumulation of radionuclides by plants is mainly associated with the character of radioactive contamination. Minimal Tfs of radionuclides were registered in the epicenters of surface nuclear tests, on the radioactive fallout «plumes» a bit higher values were registered, while the maximum Tfs were registered in the zones of radioactive streamflows and in venues of testing warfare radioactive agents.

Some definite contribution can be made by individual biological peculiarities of plants, for studying that the abovementioned factors were not considered. The experiment was made in the area of one of the surface explosion epicenters at the «Experimental Filed» site. For conjugate sampling of soil and plants 2 small sites (approximately 100 m² each), with high concentrations of: 1) ^{137}Cs and ^{90}Sr ; 2) ^{241}Am and $^{239+240}\text{Pu}$ were chosen. As the experimental plant *Stipa capillata* perennial plant was chosen. Calculation of transfer factor (Tf), that are required for the quantitative description of parameters of the radionuclides transition from the soil to aboveground plant parts, represent the ratio of radionuclide contents in the unit mass of plants and the soil mass unit.

As the result of researches conducted significant variability of ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{241}Am and $^{239+240}\text{Pu}$ artificial radionuclides accumulation by plants in venues of the nuclear tests was registered. Tf values of ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{241}Am and $^{239+240}\text{Pu}$ range from 0,00051 to 0,016, 0,002 to 0,22, 0,001 to 0,27 and 0,00012 to 0,024 respectively. The accumulation rates of all the radionuclides considered range within two orders of magnitude on average. According to the obtained data, in addition to the impact on radionuclides accumulation, physical and chemical properties of soils and their contamination character, as well as the specific peculiarities of plants, some intraspeci-

fic (individual) biological peculiarities of plants can contribute to some extent as well. This can be explained by for example to age composition of the plants researched, or other more complex physiological processes, taking place in each individual plant.

THE INCIDENCE OF ACUTE RESPIRATORY INFECTIONS OF THE POPULATION OF GOMEL REGION IN POST-CHERNOBYL PERIOD

L. P. Mamchits

**Gomel State Medical University
Gomel, Republic of Belarus
luda-gomel77@list.ru**

This work presents the spatial and temporal characteristics of the epidemic manifestations of acute respiratory infections among the population in Gomel region in the post-Chernobyl period, which made it possible to assess the social significance of this group of infections in modern conditions. The method of epidemiological diagnostics is used - a retrospective epidemiological analysis. Data processing was carried out using statistical methods and computer programs. In the Gomel region, from 14.3 to 36.5 % of the population are involved in the epidemic every year, 40.0 % of them are sick once a year with acute respiratory infections (ARI), 41.1 % — 2–3 times. During the year, 7.1 % carry the ARI 4 or more times a year. The most important factor in the development of the epidemic process of ARI was a complex of constantly acting social factors: 1) the number of people living in a particular territory; 2) the number and proportion of children aged 0–14 years in the population structure; 3) the number of preschool institutions and the number of children in pre-school institutions; 4) the total number of pupils in general schools; 5) the number and proportion of urban residents in the population structure; 6) the number of bus fleets for passenger transportation; 7) air pollution. The incidence of ARI in the studied parameters (the trend of long-term morbidity dynamics, ARI incidence rates) in territories contaminated with radionuclides did not significantly differ from similar parameters in territories free from radionuclide contamination.

RADIOECOLOGICAL EFFECTS UPON THE ANDROGEN RECEPTOR COMPLEXES NUCLEAR TRANSLOCATION

T. I. Milevich, E. H. Popoff, I. A. Cheshik

**Institute of Radiobiology, Natl. Ac. Sci. of Belarus
t_milevich@mail.ru**

The purpose of this study was to assess the influence of radioecological environment factors on the main stage in the realization of the androgen signal, namely, the acceptance of androgen receptor complexes (ARC) with chromatin when translating them into the nuclei of target cells. Male albino rats were conditioned during 1 mo at reference point 'Pripyat' (800 m from ChNPP) exposing them to γ -phone (≥ 0.5 mSv/h) of ionising radiation (IR). Then the radioecological effects (≥ 36 cGy) upon the of nuclear translocation of androgen receptor complexes (ARCs) in model organs of somatic (liver) and reproductive (ventral prostate) systems was assessed. Results revealed the 2.7-time decrease of relevant values (vs control) — these correlates with 'growth arrest and DNA repair processes' additionally proving some fall in the working activity of the androgen receptor system. We believe that changes in acceptance by ARC nuclei are caused after

exposure to ionizing radiation. Apparently, specific ARK complexes in chromatin can be formed, which are analogous to the formation of complexes in chromatin during aging. When exposed to ionizing radiation, a stop of growth processes is observed during the period of reparative events. The study further confirms the greater radiosensitivity of the hormone-dependent organs of the genital area of the body, in comparison with the somatic ones. The phenomenon supposed to be an essential cause of depression in reproductive potential and detoxification abilities of hepatocytes for IR-sensitive residents of Chernobyl 30-km zone.

CORRECTION OF VIOLATIONS, WHICH WAS CAUSED BY THE EFFECT OF EMR WITH INDUSTRIAL FREQUENCY AND IRRADIATION IN A DOSE OF 1.0 GR ON THE CARDIOVASCULAR SYSTEM

A. A. Marozava, D. G. Stashkevich, M. A. Bakshayeva, S. N. Sushko

**The Institute of radiobiology of the NAS of Belarus Gomel
Gomel, Republic of Belarus
dmitryst@tut.by**

On the basis of mineral and vegetable raw materials a new preparation «Calcevitin» was created. «Calcevitin» consists of calcium-containing salt (calcium carbonate), the product of processing Jerusalem artichoke (powder from dried tubers of Jerusalem artichoke) and vitamin D₃ as its main ingredients (its composition was optimized). Additionally, two experimental samples of the new preparation, differing in the content of vitamin D₃ (400 IU/g and 280 IU/g), were produced and quality indicators were determined. The main objective of the current study was to explore of the influence of some anthropogenic factors (EMR, exposure at a dose of 1.0 Gy) on the body, the study of the conditions for the creation of new drugs based on mineral and plant raw materials and the assessment of the effectiveness of their effects on the functional state of the cardiovascular system.

The effects of Electromagnetic radiation or EMR (frequency 50 Hz for 4 hours during 22 days) and irradiation at a dose of 1.0 Gy on the cardiovascular system were studied. It was shown that the exposure of electromagnetic radiation and ionizing radiation at a dose of 1.0 Gy and their combined effects leads to multidirectional functional changes in isolated rat hearts, electrocardiographic indices, heart rate variability indices, and the formation of signal molecules of active forms of nitrogen. To draw the conclusion, one can say that use of new dietary supplements to food «Calcevitin-1» and «Calcevitin-2», especially the dietary supplement to the food «Calcevitin-1» (contains vitamin D₃ in the amount of 400 IU/g) gives a positive effect and shows a tendency to recovery on many parameters.

MEASURES OF RADIATION PROTECTION OF PERSONAL ON A DECOMMISSIONING OF RESEARCH REACTORS IN NRC «KURCHATOV INSTITUTE»

V. D. Muzrukova, V. I. Pavlenko, S. G. Semenov, S. Yu. Fadin, A. V. Chesnokov

**NRC «Kurchatov Institute»
Moscow, Russia, sgs@kia.ru**

Main technologies of work carrying out on a decommissioning of the MR and RFT research reactors in National Research Center Kurchatov Institute allowing an optimization of the radiation protection of personnel and the environment during work are submitted in paper. Methods of

remote diagnostics of a radiation situation, remotely controlled mechanisms and technologies of dust suppression were applied to decrease in dose loads of personnel. Based on these measurements average annual individual and collective doses of external and internal radiation of the personnel performing the works are defined. An equivalent dose rate and volume activity of aerosols in air are measured in the locations of remotely controlled mechanisms and the detecting blocks of measuring instruments. The working personnel of times in two years were measured on the SRP (spectrum of radiation of the person) facilities; measurements of personnel have given the incorporated activity ^{137}Cs and ^{60}Co in a body of each worker that allowed calculation of internal radiation doses of personnel. Estimates of the prevented dose of external and internal radiation of personnel due to use of remotely controlled mechanisms and means of remote diagnostics of a radiation situation are given. The received estimations can find application for definition of economic efficiency of use of remote technologies and methods of radiometric diagnostics based on risk analysis. Prospects of their use on other radiation-hazardous objects are shown, offers on radiation protection of the working personnel on elimination of objects of radiation legacy are submitted.

IMPACT OF THE MICRO-RANGE ELECTROMAGNETIC FIELD ON CHANGING THE SENSITIVITY OF PLANTS TO COLD STRESS

A. N. Nikitin, D. V. Suhareva, E. V. Michenko

**Institute of Radiobiology of the National Academy of Sciences of Belarus
Gomel, Republic of Belarus
nikitinale@gmail.com**

The biological effects of electromagnetic radiation are a fundamental scientific problem, which is clearly practice-oriented. Probably, there is no external factor that would have such a powerful effect on living organisms as electromagnetic radiation.

The object of our study was wheat in the early stages of development.

Laboratory experiments were performed with cold stress ($-15\text{ }^{\circ}\text{C}$) to analyze the effect of electromagnetic radiation of millimeter range on the growth and development of plants, depending on their initial state.

The aim of the work is to reveal the optimal regimes of the influence of electromagnetic radiation of millimeter length range on plant organisms with the purpose of increasing their adaptive potential, general resistance and productivity.

Main methods used: model experiment, vegetation experience, estimation of plant biometrics, evaluation of seed quality.

It is established that a preliminary 150-minute exposure germinating seeds to 55 GHz electromagnetic radiation with a power rate $0,066\text{ W/m}^2$ reduces their resistance to temperature stress, worsens growth and development. Less prolonged exposure to electromagnetic radiation (15 minutes) or exposure to temperature stress before irradiating has either a slightly pronounced positive or negative effect.

The obtained results deepen the scientific understanding of the interaction of plant organisms with non-ionizing radiation and will make it possible to develop recommendations on the irradiation of agricultural plants by millimeter-wave electromagnetic radiation to enhance their adaptive potential to unfavorable environmental factors, increase productivity, improve crop quality, improve the economic and energy efficiency of crop production, and Also reduce the negative impact of agriculture Production to the state of the environment.

THE INFLUENCE OF AGE FACTOR ON IMMUNE STATUS IN PERSONNEL OF NUCLEAR-CHEMICAL PRODUCTION

*I. V. Oradovskaya, V. V. Feoktistov, A. A. Vasilyev,
G. Kh. Viculov, M. F. Nikonova*

Federal state budgetary establishment State scientific center
«The Institute of immunology» Federal medico-biological Agency
Moscow, Russia
oradovskaya.39@mail.ru

Analyzed indicators of immune status (IS) personnel of the Mining and chemical combine, working in underground conditions in contact with radiation (RF) and chemical (ChF) factors in small doses. The analysis is performed in groups of staff male (n = 187) and female (n = 141). The survey was carried out 2 times a year: in spring and autumn. It is shown that in both groups develops a seasonal imbalance in IS. The female staff the largest imbalance develops in the autumn season in the absence of contact with RF and the ChF and due to the influence of underground working conditions. The staff of the male gender imbalance is also seen more in the fall season, but if you have contact with RF and ChF. Manifestations of immune imbalance in men and women were different.

If there is no contact with the RF and HF at female personnel of change more concerned decrease in indicators of the T-cellular link, increase in IgM and the general IgE, HLA-DR⁺ and the act. T-lymphocytes at rather stable indicators of other markers of activation: FAN, expression of CD95⁺, CD25⁺. At male personnel seasonal fluctuations more affected changes of markers of activation of CD95⁺(↑), CD25⁺(↓), the act. T-lymphocytes (↑) at stable values of HLA-DR⁺ and FAN, and also abs. values of cytotoxic cages CD8⁺(↓), CD16⁺(↓). Changes of a humoral link were characterized by existence of insufficiency of B-lymphocytes, decrease in the serum IgG which is initially raised in comparison with control to normal level and similar IgM values.

Distinctions between indicators of IS of an autumn and spring season at men in the presence of contact with the RF and HF were characterized by decrease in leukocytes, lymphocytes, abs. values CD3⁺-, CD4⁺-, CD8⁺-T-lymphocytes, B-lymphocytes, marker of CD25⁺, serum IgG and act. T-lymphocytes. Dissociation in IS indicators with decrease abs. values is revealed. In IS of female personnel reliable differences during an autumn and spring season are revealed only on the IgM (↑) level. The tendency to decrease in CD8⁺- and abs. values of CD4⁺-T-lymphocytes, serum IgG, to increase in an index of immunoregulation, NK-cells, markers of activation of CD25⁺, CD95⁺, HLA-DR⁺, B-lymphocytes (%) and general IgE is noted.

CHALLENGE OF RISK CURVES INTERSPECIES EXTRAPOLATION

S. V. Osovets

Southern Urals Biophysics Institute
Ozyorsk, Russia, clinic@subi.su

Extrapolation of data observed during animal experiments to humans is one of the main tasks for up-to-date radiobiology, medicine and radiation safety. Quantitative criteria used to adequately estimate equieffective radiation doses (or dose rates) for animals and humans play a pivotal role while dealing with problems of interspecies extrapolation. Predominantly such criteria are median lethal absorbed dose LD₅₀ when mortality is considered as an outcome or median effective absorbed dose ED₅₀ when incidence or radiation-associated organ/tissue damage are con-

sidered as outcomes. In addition to dose-response, radiobiology often makes use of time-response relationship for interspecies extrapolation. Time parameters of radiation-associated injuries occurring in humans and animals are average life expectancy, latency, hemopoietic cell turnover, time of agranulocytosis manifestation, etc. It should be noted that while dealing with such issues the theory of radiation risk for deterministic and stochastic effects is of particular importance. In the current paper we developed T-model describing distribution of risks for time-responses based on Weibull's distribution (W-model) used to plot risk curves describing dose-responses for deterministic effects. We produced power-law dependences allowing extrapolation from risk curves for animals to risk curves for humans and vice versa. Theoretical generalization of extrapolation equations is based on risk theory for deterministic (tissue) effects. Estimated quantitative correlations, trends and developed methodological approaches may be further elaborated and updated to be applied to stochastic effects. Development of similar techniques to be used for extrapolation based on exposure dose rate remains a separate issue of interspecies extrapolation. Certain limitations should be noted when considering implementation of findings of the current work. First, all estimated correlations and deduced equations are predominantly valid for whole-body uniform external radiation exposure of humans and animals. Second, in contrast to external radiation exposure, only certain isotopes, for instance tritium or cesium-137, may satisfy the principle of uniform distribution within a body. However, while investigating tritium distribution within human and animal bodies we should take into account peculiarities of water metabolism, and while investigating cesium-137 distribution one should be aware of potassium metabolism rate. Thus, interspecies extrapolation for internal radiation exposure is more complex.

PROSPECTS OF USING THE MEDICO-DOSIMETRIC REGISTER OF COMPUTED TOMOGRAPHY TO ASSESS THE CONTRIBUTION OF MEDICAL EXPOSURE TO THE RADIOGENIC RISK

M. V. Osipov¹, E. P. Fomin², M. E. Sokolnikov¹

¹**Southern Urals Biophysics Institute of FMBA RF, Ozyorsk**

²**Central Medical Sanitary Unit 71 of FMBA RF, Ozyorsk**

The purpose of the study was to create a register of patients undergoing CT examinations. We investigated the archival protocols of all 17529 patients who underwent Computed Tomography (CT) at the Radiology Department of CMSU of Ozyorsk for the period from 2007 to 2016. 2 types of CT scanners used to observe patients: CT-Max 640 and CT Bright Speed Elite (General Electrics). Observed patients includes Mayak personnel. The collected data were summarized in the electronic database «CT Register». The main medical-dosimetric characteristics of the register were statistically processed. Male/female ratio was about 1:1. The age of observed patients varied from 0 to 90 years, the mean age was around 56 years. The proportion of child CT (under 15 years old) was about 5 %. Mean effective dose varied widely from 0.1 mSv to 29.0 mSv depending on age, scanner type, the area observed, the use of contrast enhancement, the number of phases of contrasting and other criteria. Bolus contrast enhancement using intravenous Omnipack-300 has been used if administered. The structure of typical CT examinations by the study area has been presented. The most frequent study area was brain, chest and abdominal CT. The typical effective dose for one CT procedure was of the order of several mSv, but in some cases patients were assigned a series of CT-investigations that could cause an increased effective dose. Problems of CT dosimetry were discussed and optimization methods were proposed. The CT Register of Ozyorsk is the unique source of medical-dosimetric data for radiogenic risk analysis of persons working with occupational radiation and population living in a nearby area. Monitoring the radiation exposure of patients undergoing CT is an important part of the radiation protection measures for personnel of radiation hazardous facilities.

PARAMETERS OF RADIONUCLIDES TRANSFER INTO BODIES OF WILD ANIMALS INHABITING THE NUCLEAR WEAPONS TESTING VENUES

A. V. Panitskiy, S. N. Lukashenko, N. Zh. Kadyrova

**Branch «Institute of Radiation Safety and Ecology»
of the RSE «National Nuclear Center of the Republic of Kazakhstan»
Kurchatov city, the Republic of Kazakhstan
Panitskiy@nnc.kz**

The objective of this work is to characterize the radioecological state of fauna representatives which inhabit STS and to obtain some parameters of radionuclides transfer into body's wild animals for further use in assessment of possible risks for biota. The paper characterizes the present radiological state of fauna of Semipalatinsk Test Site. According to results of the researches conducted, the content of radionuclides in the wild animals' bodies differs from one STS part to another. In the ecosystems, associated with radioactive streamflows the main radionuclides contributing to contamination of animals are ^{137}Cs and ^3H . For the WRA testing sites it is — ^{90}Sr . In general, the researches show, that high specific activity values of artificial radionuclides in wild animals' bodies can be registered provided that they live directly at the locally contaminated sites. At the distance, from the contaminated sites exceeding activity radius of the animals, no high specific activity values of artificial radionuclides was found in bodies of the animals. In this paper the parameters of radionuclides transfer into bodies of some wild animals, inhabiting the nuclear weapons and warfare radioactive agents impact factor testing area were determined. It was found, that the transfer factor values for some of radionuclides can range within several orders of magnitude for the same species. This can be due to difference in character of radioactive contamination formation in habitats of these animals, and therefore, due to the difference in speciations of radionuclides in soil of habitats. Therefore, using either instruments or models for assessment of radiation risks for biota the difference in CRs, associated with the character of radionuclide contamination origin (radiation accidents at the NPPs, nuclear tests and etc.) should be considered. Therefore the researches aimed at comparison of parameters of radionuclides transfer at the sites with different nature of radionuclides' origin is of special interest. The paper shows that creatures can play significant part in redistribution of radionuclides in the environment.

THE STATE OF CALCIUM METABOLISM IN RAT PLATELETS IN THE NEAREST AND LONG TERM AFTER IRRADIATION

*O. G. Parhimovich¹, K. Y. Bulanava¹, L. M. Lobanok²,
O. D. Bichan³, T. I. Milevich⁴, V. A. Kugut¹*

¹«Belarussian State University, ISEI BSU»,

²«Belarusian State Medical University»,

³«Belarusian State University»

Minsk, Republic of Belarus,

⁴«Institute of Radiobiology of NAS of Belarus»,

Gomel, Republic of Belarus

o_1_y_a89@mail.ru

The action of ionizing radiation on the body of one of the most sensitive systems is the blood system. Among the cellular elements, platelets play a leading role in changing hemodynamic properties. One of the factors triggering platelet aggregation is Ca^{2+} . In the experiment, the cal-

cium metabolism in rat platelets was analyzed. Studies were carried out on mature white male rats (3 to 6 months age). Two groups of animals were studied. One group, the control group, was kept in the usual conditions of the vivarium. The animals of the second group were irradiated with γ -radiation in a dose of 1 Gy and the state of calcium metabolism in platelets was studied on the 3rd, 10th and 30th days after irradiation.

An increase in the basal level of calcium ions in platelets of irradiated rats in both calcium-free and calcium-containing media was observed on the 3rd day after irradiation. On the 10th day after irradiation in the calcium-free medium, a decrease in the level of calcium ions in the platelet cytoplasm and its normalization in the calcium-containing medium is noted. The concentration of calcium ions in the cytoplasm of platelets suspended in the calcium and calcium medium in the platelets of irradiated rats on day 30 after irradiation did not differ significantly from the values 30 in the control group.

In response to the action of physiological inducers of platelet aggregation, an increase in the concentration of calcium ions was observed on the 3rd, 10th and 30th days after irradiation compared to the same cells of unirradiated animals.

Under the action of ionomycin in the presence of thapsigargin, which is an inhibitor of the Ca^{2+} -ATPase of the endoplasmic reticulum, the concentration of calcium ions in the cytoplasm of platelets suspended in the calcareous medium in the control group was lower than in the platelets of irradiated rats on the 3rd day after irradiation. On the 10th day, the concentration of calcium ions in the cytoplasm of platelets under the action of thapsigargin was lower than in the control group. The concentration of calcium ions after the addition of thapsigargin in platelets of rats on the 30th day after irradiation did not differ from the values obtained in the control group of animals.

RADIOLOGICAL ASPECTS OF RETURNING FARMLANDS PREVIOUSLY WITHDRAWN FROM AGRICULTURE DUE BACK TO THEIR AGRICULTURAL USE IN BELARUS

A. G. Podolyak, A. F. Karpenko, S. A. Tagai, T. V. Lasko

**«Research Institute of Radiology»
Gomel, Republic of Belarus
alexpodolyak@tut.by**

The article proposes crop rotation schemes developed based on multi-year experiments to study cultivation of agricultural crops on sod-podzolic soils withdrawn from agricultural use in the first years after the Chernobyl NPP accident due to their radiation hazard.

It was established that the capability of returning previously withdrawn lands back to their agricultural use should be firmly based on implementation of specific and mandatory agrochemical and agrotechnical protective measures (e.g. lime treatment, application of phosphorus and potassium fertilizers, selection of crops with low radionuclide uptake characteristics).

In view of the high levels of accumulated radionuclides (^{90}Sr in particular), the use of agricultural products from such lands should be restricted (it should be used exclusively for feeding purposes as forage or be further processed for technical purposes).

The process of reintroduction of agricultural lands is executed in accordance with the provisions set in the Procedure for Designating Lands into Radiation-Hazard Category and Reclassifying Them into Exclusion Lands or Limited Agricultural Use Category, Removing Lands from Radiation-Hazard Category and Designating Them as Agricultural-Use Lands According to the Basic Designated Purpose, Removing Lands from Exclusion Lands Category and Designating Them as Limited Agricultural Use Lands (approved by the Resolution of the Council of Ministers No. 405 of March 22, 2010).

STUDY OF TRITIUM TRASFER WAYS IN PLANTS FOR EXAMPLE *HELIANTHUS ANNUS*

Y. N. Polivkina, N. V. Larionova, O. N. Lyakhova, S. N. Lukashenko

**Branch «Institute of radiological safety and ecology» National Nuclear Center
Kurchatov, Republic Kazakhstan
polivkina@nnc.kz**

The underground nuclear explosions in holes at the Semipalatinsk test site (STS) had formed areas with high level of tritium (^3H) pollution in the environmental objects therefore there is a problem of tritium transfer to the bordering areas. Plants participate in the transfer of ^3H directly therefore the aim of our research was to study the root and air intake of isotope into plants for example sunflower *Helianthus Annus*.

Air transfer experiment was conducted under conditions of STS. Root intake of ^3H was studied in the greenhouse. Sampling of plant material, water vapor of air and water produced every 10 days. Measurement of specific activity of ^3H was determined with a scintillation cocktail Ultima Gold LLT with QUANTULUS 1200 instrument. Tissue free water was extracted from the plant samples by means of a special installation; the preparation of samples for determination of organically bond tritium (OBT) has been performed with a Sample Oxidizer.

The close correlation between the HTO concentration in the air vapor, irrigation water and specific activity of ^3H in the tissue free water of the sunflower had discovered ($r = 0,9$ and $0,7$ respectively). Between the OBT concentration and HTO in water vapor air close correlation was not detected ($r = 0,5$ and $0,1$ respectively). In general, the specific activity of ^3H in the tissue free water and in the organic component of experimental plants increased at the root and air intake of the isotope during the growing season. The correlation dependence between specific activity of ^3H in the tissue free water and OBT concentration at the root intake of the radionuclide was absent ($r = 0,2$), on the contrary, the close correlation for these parameters was detected at the air intake of isotope ($r = 0,8$).

The distribution of OBT and ^3H in the tissue free water at the root intake is shown in the ranges (respectively): «leaves < stems < inflorescence < roots» and «roots < leaves < stems < inflorescence». The distribution of OBT and ^3H in the tissue free water at the air transfer is shown in the next ranges (respectively): «roots < inflorescence < stems < leaves» and «roots < stems < leaves < inflorescence».

Thus, plants actively participate in the transfer of ^3H in the ecosystem and transformation of its occurrence forms.

CHARACTERISTICS OF HEMATOPOIETIC SYSTEM IN OFFSPRINGS IN THE FIRST AND SECOND GENERATION OF RATS FROM PARENTS INTERNALLY IRRADIATED BY IODINE-131

*Ye. M. Prokhorova¹, N. P. Atamanuyk¹, E. A. Sova²,
I. P. Drozd², A. I. Lypska², V. V. Talko¹*

¹State Institute «National Research Center for Radiation Medicine»,
National Academy of Medical Sciences of Ukraine, Kiev

²Institute for Nuclear Research, NAS of Ukraine, Kiev
eugen.pro91@gmail.com

The paper presents the results of studies of hematological parameters of the peripheral blood of the Wistar rats born from animals exposed to the incorporated iodine-131.

An experimental model was designed to determine the functional state of the pituitary-thyroid and pituitary-gonadal system in white laboratory rats born from animals exposed to ^{131}I

incorporated by a single oral administration of an aqueous solution Na^{131}I . Experimental studies have been conducted on 114 white laboratory rats of both sexes aged 4,5 months, from which 18 were animal-parents (12 females and 6 males) and 48 were first generation of offsprings of both sexes. The animals were kept in a vivarium of the Institute for Nuclear Research of the National Academy of Sciences of Ukraine on a standard diet and access to water. Rats parents have been injected orally through a tube by 27,35 kBq sodium iodine (Na^{131}I), which formed the dose of thyroid gland: in females — 5,8 Gy, in males — 3,75 Gy.

The main changes in the quantitative and qualitative composition of the peripheral blood of animals were typical for irradiation. Due to transgression of the processes of mitotic division and destructive degenerative changes, we observe the decrease in the total number of leukocytes and monocytosis, and the increased number of atypical cells, changes in the size and shape of cells, violations of the nuclear-cytoplasmic ratio as well as undifferentiated forms of blood cells. Also, there was a tendency to changes in the parameters, which was comparable to the effect of the ionizing action of the radioisotope of iodine.

INNOVATIVE DEVELOPMENT OF BONE GRAFTS RADIATION STERILIZATION TECHNOLOGY

*V. V. Rozanov^{1,2}, I. V. Matveichuk², A. P. Chernyaev¹, Z. K. Nikitina²,
I. K. Gordonova², Ju. Ju. Litvinov², E. N. Lykova¹*

¹Physical Faculty of Lomonosov Moscow State University,

²Scientific and Educational-Methodical Center of Biomedical Technology
of the all-Russian Research Institute of medicinal and aromatic plants

Moscow, Russia

vrozanov@mail.ru

Manufacturing process of any biological implants should fail reliable sterilization with the greatest possible preservation of plastic properties of materials. Adopted in most tissue banks effective radiation dose of 25 kGy usually provides effective sterilization, but does not guarantee invariance properties of bone grafts. However, studies show the morphological changes of biological tissues even at 15 kGy, and the standard dose exceeding leads to destruction of morphogenetic proteins. A possible solution of this problem is to develop combined sterilization techniques that would allow as much as possible to reduce the dose of radiation while maintaining high standards of sterility of the plastic material. Experiments were carried out on the basis of the joint laboratory of biomedical technologies in SEMC BMT VILAR with radiation treatment at linear electron accelerator of Research Institute of nuclear physics of the Lomonosov Moscow State University. During the execution of the present study, new technology of bone grafts combined sterilization was proposed, implemented and verified experimentally. This technology is based on synergetic effects of combined action of physical-chemical sterilization factors of different nature (chemical treaty by ozone-oxygen mixture and radiation processing by fast electrons) on bone grafts. While the intensity of the effect of each factor separately can be lowered to reduce the harmful side effects and the extent to which each of them in strengthening synergies. Microbiological examination of sterility samples confirmed that the result of application of two-stage combination treatment (ozone and radiation) is an effective sterilization of done samples after irradiation effective radiation dose of 11 kGy.

CALCULATION OF EXPOSURE DOSES FOR THE CRITICAL GROUP LIVING IN THE RIVNE NPP OBSERVATION ZONE

O. Romanenko

**Separate subdivision «Rivne NPP» SE NNEGC «Energoatom»
Varash, Rivne region, Ukraine
roman@rnpp.atom.gov.ua**

In accordance with the requirements of regulatory documents of Ukraine the regulation and control of population exposure is based on calculations of annual effective and equivalent radiation doses to critical groups of the population which by their sex and age, socio-professional conditions, place of residence and other factors gets or may get the highest levels of radiation from the source.

Rivne NPP performs calculations of doses to the critical group of the population living in the observation area RAES, based on daily values of emissions and discharges from nuclear power plants, as well as the distribution of meteorological conditions.

Was implemented a software package RNPP_DOSES, developed by the «Institute for radiological protection» of ATN of Ukraine.

Additional software allows for automatic daily processing of information for gas and aerosol emissions, liquid discharges, determination of the statistical characteristics on the frequency of occurrence of the stability categories of the atmosphere and relative intensity of precipitation in 16 sectors of wind directions and 10 intervals of wind speeds.

In normal operation of the NPP the doses to the population, generated by emissions and discharges, hundreds of times lower than doses from sources of natural origin. The most important isotopes contributing to the dose in normal operation are ^{14}C and ^3H .

CHANGE OF RESERVE OF BIOLOGICALLY AVAILABLE CADMIUM, LEAD AND URANIUM IN SOIL DEPENDING OF TEMPERATURE

G. A. Sokolik, S. V. Ovsianikova, M. V. Papenia, K. V. Voinikava

**«Belarusian State University»
Minsk, Republic of Belarus
sokolikga@mail.ru**

A reserve of Cd, Pb and U in mobile (conditionally biologically available) forms (Me_{mob}) in air-dry and water-saturated soil samples after their exposure in the temperature range from -18 to $+30$ °C has been established by chemical fractionation using the acetate-ammonium buffer solution (pH 4.8). It is shown that the reserve of both Cd_{mob} and Pb_{mob} in air-dry sod-podzolic light loamy soil increases with temperature rise up to $+30$ °C, and in peaty soil — only up to $+15$ °C. With a subsequent increase in the temperature of peaty soil to $+30$ °C, the reserve of these heavy metals in mobile forms decreased insignificantly. Up to 15 °C, the uranium reserve in mobile form (U_{mob}) in sod-podzolic light loamy soil was practically unchanged, while in peaty soil it increased with temperature rise. A further increase in temperature to $+30$ °C led to a decrease in the supply of U_{mob} in both soils. On the whole, it was shown that at identical temperatures under the same moistening conditions of the studied soils, the relative content of heavy metal in the mobile (conventionally biologically available) form decreases in the next range: Cd – Pb – U. In the studied temperature range (from -18 to $+30$ °C), the relative content of Cd_{mob} and Pb_{mob} in sod-podzolic soil was higher than in peaty soil, both in air-dry conditions and in the state of water saturation of soil samples, which facilitated more intensive accumulation of Cd and Pb by vegeta-

tion that grows on sod-podzolic soil. The relative content of U_{mob} in air-dry and water-saturated samples of peaty soil was higher than in sod-podzolic soil, promoting a more active migration of this radioactive element to vegetation growing on peaty soil. The highest Cd_{mob} level (51 % of the total Cd content in the soil) was observed in sod-podzolic soil at a temperature of +30 °C in air-dry conditions and in the range from +15 to +30 °C in the water-saturated state, increasing the danger of accumulation of this highly toxic heavy metal by vegetation when the corresponding temperature levels are reached. The maximum content of Pb_{mob} (40 %) was found in air-dry sod-podzolic soil at a temperature of +30 °C, and the maximum U_{mob} content (26 %) was observed in air-dry peaty soil at a temperature of +15 °C.

INFLUENCE OF RADIOACTIVE POLLUTION OF THE ENVIRONMENT ON THE POPULATION STRUCTURE AND GENETIC CHANGES IN RODENTS

*N. I. Timochina, S. N. Sushko, E. M. Kadukova, K. N. Shaforost,
S. V. Goncharov, N. N. Veyalkina, S. O. Gaponenko*

«Institute of Radiobiology»
Gomel, Republic of Belarus
irb@irb.basnet.by

The influence of different densities of contamination on transformation of the population structure and genetic changes in somatic cells in rodents inhabiting Polesye State Radiation-Ecological Reserve territories was estimated.

Regardless of the density of radioactive contamination and the age, the content of ^{137}Cs was statistically significantly increased (by more than 20 times) in all the species of rodents (*Clethrionomys glareolus*, *Apodemus agrarius* and *Apodemus flavicollis*) in comparison with the specific activity of the radionuclide in rodents from control sites.

The dose dependence of the ^{137}Cs content on the density of radioactive contamination in the groups of mature *Cl. glareolus* and *Ap. agrarius* was revealed: the specific activity of ^{137}Cs in animals rises with increasing contamination of the habitat. In the *Ap. agrarius* and *Ap. flavicollis* a direct dependence of ^{137}Cs specific activity on the age is shown. In *Cl. glareolus* this dependence is not revealed.

Studying the demographic structure of the populations revealed that in all contaminated sites the sex ratio had species differences. The sex ratio in *Cl. glareolus* was shifted towards increasing the number of females, the proportion of which increased significantly with the rise of technogenic load in the contaminated zone from 69 % (Masany) to 83 % (Kulazhin). There is a stable tendency for the proportion of females in the *Ap. flavicollis* population (33 to 57 %).

It was established that in the transformed ecosystems with an increase in the level of radioactive contamination (Kulazhin), the number of immature animals decreases or is not detected (in *Cl. glareolus* it decreases to 12.5 %, in the *Ap. agrarius* — up to 20 %), since the presence of young animals indicates a normal functioning population.

Determination of the average number of polychromatic erythrocytes with micronuclei in the bone marrow of wild animals in the contaminated zone showed almost 3–5 fold increase in cytogenetic abnormalities in the investigated species compared to the control.

Thus, the study of the reactions of wild rodents under specific conditions makes it possible to assess its resistance to contamination of a certain type and the effectiveness of self-regulation mechanisms.

REPUBLIC BELARUS: CHERNOBYL CONTAMINATIONS & RADON AT THE ACCIDENT DISTANT PERIOD

*L. Chunikhin¹, I. Cheshik¹, D. Drozdov², A. Chehovskij²,
N. Vlasova³, A. Carabanov⁴, I. Zhuk⁵*

¹State scientific institute
«Radiobiology Institute of the Belarus Science Academy»,

²Education Institute

«Gomel State University by name F. Skoryna»,

³«Republic science-practical center Radiation medicine & human ecology»

Gomel, Republic of Belarus,

⁴State scientific Institute «Nature Using Institute»,

⁵State scientific Institute «Nuclear studying united Institute»

Minsk, Republic of Belarus,

leochun_rcrm@mail.ru

The change in the radiation situation in the territory of Belarus has been assessed. It was shown that the radiation dose values connected with the Chernobyl accident were decreased and the relative value of the radon factor was increased. It was shown that these radiation factors have different trends in the territory of the Republic. There is a large irregular radon distribution in the territory of Belarus. The difference of the radon dose values in many regions of Belarus was more than in the absolute value of the Chernobyl caesium-137 dose. It is necessary that the radon influence on people must be taken into account in the studies of biological and medical effects of radiation. An analysis of the radiation situation in the remote period after the accident at Chernobyl caused by Chernobyl fallout and radon is given. Based on the published materials, the radiation situation was assessed. It is concluded that radon should be taken into account when investigating the medical and biological effects of irradiation from man-made sources.

INFLUENCE OF THE BOKASHI OF THE DIFFERENT COMPOSITION ON THE VEGETATION OF STAR WHEAT IN THE CONDITIONS OF RADIOACTIVE POLLUTION OF THE SOIL

N. Shamal, E. Klementjeva, R. Korol, A. Dvornik, S. Gaponenko

Institute of Radiobiology of the NASB
Gomel, Republic of Belarus
namahasha@rambler.ru

The consequences of the disaster at the Chernobyl nuclear power plant affected the lives of people living in the affected regions. At present, the radioecological situation is determined by long-lived isotopes, which are included in geochemical and trophic migration cycles. Organic farming can be one of the promising ways of obtaining safe agricultural products in plant growing. To obtain safe agricultural products in crop production, the main method is the annual application of increased doses of mineral fertilizers. Negative aspects of this method are the rise in price of agricultural products in comparison with uncontaminated areas and the deterioration of the ecological condition of the soil. EM-technology is one of the directions of organic farming. Bokashi are a product of processing plant residues with the application of this technology.

In our studies, we used bokashi made from buckwheat husk (Bokashi 1), a mixture of buckwheat and rice husk (Bokashi 2) and coarse wheat bran (Bokashi 3). Soil additives — bokashi

stimulate the growth of plants, improve the agrochemical parameters of the soil, promote the anchoring of ^{137}Cs in the soil, which leads to a decrease in its transition to plants. Bokashi, obtained on the basis of fermentation of buckwheat husk, proved to be the most promising additive. Bokashi from wheat bran turned out to be the least effective. Its introduction into the soil had a negative effect on the germination of plants, led to acidification of the soil and reduced the transition of ^{137}Cs to plants to a lesser extent.

Soil additives are promising for use as a sorbent in contaminated areas to improve soil structure and obtain of normatively clean food of products.

PECULIARITIES OF ^{137}Cs ACCUMULATION IN PLANTS UNDER THE CONDITIONS OF SHORT-TERM INCREASING OF TEMPERATURES ON THE BACKGROUND OF FERTILIZERS

O. A. Shurankova, A. N. Nikitin, R. K. Spirov

**«Institute of Radiobiology of the National Academy of Sciences of Belarus»
Gomel, Republic of Belarus
shurankova@list.ru**

Now, the issue of the impact of climatic factors on the transfer of technogenic radionuclides into plants has been studied extremely weakly and fragmentarily. The relevance of this information is increasing as the problem of global climate change worsens. The effect of heat stress on the transfer of radioactive cesium into plants, as well as the effect of mineral and organic fertilizers on the transfer factor of the radionuclide has been studied.

The ^{137}Cs intake into the above-ground biomass of plants decreased by 13 % relative to the reference values in the variant with the introduction of organic fertilizer into the soil mixture, when plants were stressed at high temperatures. It is important to note that the application of organic soil improving additives stimulated the transfer of ^{137}Cs into plants of spring wheat in 2 times in comparison with the control variant. However, in the variant without introducing soil-improving additives, the content of ^{137}Cs in aboveground biomass of heat-stressed plants was exceeded by 12 %. In the experiment with white mustard, the accumulation of ^{137}Cs in the above-ground plant biomass is stimulated by the application of mineral and organic fertilizers. The accumulation of ^{137}Cs in the above-ground biomass of white mustard increased by 114 % when the chemical fertilizer NPK was applied. Increasing on 140 % of the accumulation was observed when organic fertilizer was used in groups with application. The accumulation of ^{137}Cs decreases by 10 % under impact of temperature stress on plants the variant with the application of organic fertilizer into the soil mixture and by 54 % in the variant with the application of NPK fertilizer. A different pattern is observed in the control group, under the influence of temperature stress on plants, there is an increase in the accumulation of ^{137}Cs in above-ground biomass by 27 %.

GROWTH AND DEVELOPMENT OF YOUNG CATTLE OF THE SHAROLAIS AND LIMOUSINE BREEDS RAISED ON THE TERRITORY OF RADIOACTIVE CONTAMINATION

I. V. Yanochkin, A. V. Garaschenko, S. V. Smyatkina

**State Environmental-Research Institution
«Polesye State Radiation-Ecological Reserve»
Khoyniki, Republic of Belarus
i.yanochkin@mail.ru**

It was established that raising the bull calves of the Sharolais and Limousine breeds at agricultural enterprises with forage contamination density of 555–740 kBq/m² (15–20 Ci/km²) and the concentration of ¹³⁷Cs in the diet below 10186–10241 Bq/d provides for beef production meeting the PДY-99 requirements (500 Bq/kg). The bull calves of the Sharolais and Limousine beef breeds raised at agricultural enterprises, located on the territories of radioactive contamination are characterized by high growing capacity. Higher growth rate up to the age of 18 months was registered in the Sharolais breed with average daily live weight gain of 942 g; in the Limousine breed — 856 g. The live weight at the age of 18 months comes to 546.3 kg in the animals of the Limousine breed and 565.2 kg in the bull calves of the Sharolais breed, which is higher by 3,5 %. The maximum concentration of ¹³⁷Cs in feed allowances of the Sharolais and Limousine bull calves from the age of 8 to 18 months were registered in cereal-legume hay and herb haylage — 1240 ± 0.17 and 1362 ± 0.12 Bq/kg respectively. By the mass index the Sharolais bull calves surpassed their peers by 2.4 %. At the same time the Limousine animals surpassed the Sharolais bull calves by the stretch index by 12.4 %. The meat index was by 5.6 % higher in Sharolais bull calves in all age periods. On the whole, during all breeding periods from birth to the 18 months' age, the Sharolais bull calves used the forage at total nutritive value of 3320 feed units per head, and the Limousine animals — 3110 feed units per head, which is less by 6.4 %. The Limousine bull calves are characterized by more typical correlation of hair fractions: higher content of top hair — 11.3 % with the minimum fluff concentration of 39.7 %.

THE CONCENTRATION OF ¹³⁷CS IN MUSCULAR TISSUE OF THE SPECIALIZED BEEF CATTLE BREEDS SHAROLAIS AND LIMOUSINE APPLYING THE FREE-RANGE GRAZING METHOD ON THE TERRITORY OF RADIOACTIVE CONTAMINATION

I. V. Yanochkin, A. V. Garaschenko, S. V. Smyatkina

**State Environmental-Research Institution
«Polesye State Radiation-Ecological Reserve»
Khoyniki, Republic of Belarus,
i.yanochkin@mail.ru**

The data on activity concentration of ¹³⁷Cs in muscle tissue of the specialized beef cattle breeds Charolais and Limousine, raised in the conditions of free-range grazing at agricultural farms, located on the territories of radioactive contamination, with the ¹³⁷Cs contamination density of 555–740 kBq/m² (15–20 Ci/km²), is presented. The dynamics of live weight, average daily liveweight gains and the biochemical indexes of the animals' blood were studied. The survey showed that the ¹³⁷Cs activity concentration in green mass at APC «Khoroshevskiy» came to 184 Bq/kg for the Sharolais bull calves, and at CAUE «Skorodnyanskiy» — 189 Bq/kg for the Limousine

bull calves. Mean concentration of ^{137}Cs in daily diet of the Sharolais bull calves was 5654 ± 5.5 Bq/day, and 4895 ± 2.5 Bq/day for the Limousine bull calves. During the whole period of studies from May through October the aggregate consumption of green forage by the animals of both breeds showed no differences. The ration structure for the Sharolais bull calves contained 82 % of green forage and 18 % of concentrates; for the Limousine animals — 80.2 % and 19.8 % respectively. The Sharolais bull calves at APC «Khoroshevskiy» consumed 9.3 feed units per 1kg of liveweight gain, and the Limousine bull calves at CAUE «Skorodnyanskiy» — 9.4 feed units. Throughout the summer grazing period the productivity of grasslands reached 164.5 Ztr/ha at APC «Khoroshevskiy», and 178.8 Ztr/ha at CAUE «Skorodnyanskiy». During the pasturing cycles the yield of green mass fluctuated between 19 and 53 Ztr/ha with the average utilization coefficient of 79.4 to 81.6 %. The morphological and biochemical blood indexes of the Sharolais and Limousine bull calves during the summer grazing period remained within the physiological standard.

Научное издание

**РАДИОБИОЛОГИЯ:
ВЫЗОВЫ XXI ВЕКА**

**Материалы международной научной конференции,
посвященной 30-летию института радиобиологии
(27–30 сентября 2017 г.)**

В авторской редакции

Компьютерная верстка С. Н. Козлович

Подписано в печать 08.09.2017.

Формат 60×84¹/₈. Бумага офсетная 80 г/м². Гарнитура «Таймс».
Усл. печ. л. 25,81. Уч.-изд. л. 28,22. Тираж 100 экз. Заказ № 426.

Издатель и полиграфическое исполнение:
учреждение образования «Гомельский государственный медицинский университет».
Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий № 1/46 от 03.10.2013.
Ул. Ланге, 5, 246000, Гомель.