

**НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ЯДЕРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ «МИФИ»**

**ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ И ТЕХНОЛОГИЙ**

# **ТЕХНОГЕННЫЕ СИСТЕМЫ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ РИСК**

**V МЕЖДУНАРОДНАЯ (XVIII РЕГИОНАЛЬНАЯ)  
НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ**

**Тезисы докладов  
Обнинск, 21-22 апреля 2022 г.**

**Обнинск 2022**





УДК 621.039:502/504

Техногенные системы и экологический риск: Тезисы докладов V Международной (XVIII Региональной) научной конференции / Под общ. ред. А.А. Удаловой. – Обнинск: ИАТЭ НИЯУ МИФИ, 2022. – 359 с.

Материалы конференции освещают проблемы безопасности функционирования производств, развития современных экологических технологий, утилизации отходов промышленного производства и ядерной энергетики, экологической химии, современные методы прогноза, оценки и управления рисками, способы биоиндикации и биотестирования объектов среды, экологические аспекты действия ионизирующих и неионизирующих излучений. Издание подготовлено для ученых, преподавателей и студентов, в область интересов которых входят перечисленные проблемы.

*ISBN 978-5-7262-2374-2*

© ИАТЭ НИЯУ МИФИ, 2022 г.

© Авторы, 2022 г.

## **ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ**

### **V Международной (XVIII Региональной) научной конференции «ТЕХНОГЕННЫЕ СИСТЕМЫ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ РИСК»**

#### **Председатель:**

**Удалова Алла Александровна**, д.б.н., профессор отделения ядерной физики и технологий ИАТЭ НИЯУ МИФИ

#### **Члены программного комитета:**

**Самохин Дмитрий Сергеевич**, к.т.н., доцент отделения ядерной физики и технологий ИАТЭ НИЯУ МИФИ

**Лаврентьева Галина Владимировна**, д.б.н., доцент, КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана

**Сынзыныс Борис Иванович**, д.б.н., профессор отделения ядерной физики и технологий ИАТЭ НИЯУ МИФИ

**Сарапульцева Елена Игоревна**, д.б.н., профессор отделения биотехнологий НИЯУ МИФИ

**Эпштейн Наталья Борисовна**, д.фарм.н., профессор отделения биотехнологий ИАТЭ НИЯУ МИФИ

**Комарова Людмила Николаевна**, д.б.н., профессор отделения биотехнологий ИАТЭ НИЯУ МИФИ

**Al-Kotb M.S., Ph.D.**, Director of Projects Development, Innovation and Intellectual Property Centre, Ain-Shams University

**Salah Ud-Din Khan, Ph.D**, Associate Professor, King Saud University

**Gadirova Elmina M.**, Associated Professor, Department of Ecological Chemistry, Baku State University

**Ticona Peralta R.D.**, PhD., Academic Director, Department of Physics, Universidad Mayor de San Andrés

**Şenturk Lule S.**, Assistant Professor, Deputy Director of ITU Energy Institute

**Shafiqul Islam Md.Dr.**, Chairman & Associated Professor, Department of Nuclear Engineering, Faculty of Engineering & Technology, University of Dhaka

**Маскевич Сергей Александрович**, д.ф.-м. н., профессор, директор МГЭИ им. А.Д. Сахарова БГУ

**Сегеда Тамара Александровна**, к.ф.-м.н., директор центра международных образовательных программ ВКГТУ им. Д. Серикбаева

**Алексанов Виктор Валентинович**, к.б.н., главный специалист ГБУ КО “Дирекция парков”

**Гераськин Станислав Алексеевич**, д.б.н., профессор, заведующий лабораторией радиобиологии и экотоксикологии растений, ФГБНУ ВНИИРАЭ

**Демин Виктор Максимович**, к.ф.-м.н., заведующий каф. №1, ИЯФиТ НИЯУ МИФИ

**Каткова Маргарита Николаевна**, к.б.н., заведующий лабораторией радиационного мониторинга, НПО «Тайфун»

**Козьмин Геннадий Васильевич**, к.б.н., ведущий научный сотрудник, ФГБНУ ВНИИРАЭ

**Колесов Валерий Васильевич**, к.ф.-м.н., доцент отделения ядерной физики и технологий ИАТЭ НИЯУ МИФИ

**Мельникова Татьяна Вадимовна**, к.х.н., доцент отделения ядерной физики и технологий ИАТЭ НИЯУ МИФИ

**Нахабов Александр Владимирович**, к.т.н., доцент отделения ядерной физики и технологий ИАТЭ НИЯУ МИФИ

**Перов Сергей Юрьевич**, д.б.н., заведующий лабораторией электромагнитных полей, ФГБНУ "Научно-

исследовательский институт медицины труда имени академика Н.Ф. Измерова"

**Полякова Людмила Павловна**, к.х.н., доцент отделения ядерной физики и технологий ИАТЭ НИЯУ МИФИ

**Рассказова Марина Михайловна**, к.б.н., доцент отделения биотехнологий ИАТЭ НИЯУ МИФИ

**Терехова Анна Михайловна**, старший преподаватель отделения ядерной физики и технологий ИАТЭ НИЯУ МИФИ

**Тирас Харламий Пантелеевич**, к.б.н., ведущий научный сотрудник Института экспериментальной и теоретической биофизики РАН

**Шершаков Вячеслав Михайлович**, д.т.н., научный руководитель НПО «Тайфун»»

**Шубина Ольга Андреевна**, к.б.н., заместитель директора по научной работе, ФГБНУ ВНИИРАЭ

## СЕКЦИЯ 1. ЯДЕРНАЯ И ТЕПЛОВАЯ ЭНЕРГЕТИКА

### РАСЧЕТ ПРОЧНОСТИ И СЕЙСМОСТОЙКОСТИ ЛИНЕЙНО-СПЕКТРАЛЬНЫМ МЕТОДОМ МЕРНИКА ИОНООБМЕННЫХ СМОЛ НА ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ «АРМ»

*В.В. Ахцигер<sup>1</sup>, И.А. Ахцигер<sup>2</sup>, А.С. Зевякин<sup>2</sup>, Д.В. Иванов<sup>2</sup>,  
М.А.Шпилько<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup> – ООО «Лассард», г. Обнинск, Россия*

*<sup>2</sup> – Обнинский институт атомной энергетики – филиал  
Национального исследовательского ядерного  
университета «МИФИ», г. Обнинск, Россия*

Во все времена люди стремились предотвратить разрушение сооружений при землетрясениях. Современные требования к конструкции оборудования и трубопроводов АЭС и других объектов использования атомной энергии включают в себя требования к сейсмостойкости.

Актуальность исследования обусловлена тем фактором, что на данный момент в мире строится большое количество блоков АЭС, а также производится большое количество оборудования для функционирования АЭС во всех предусмотренных режимах работы. Обеспечение сейсмостойкости оборудования и сооружений АЭС – обязательный этап проектирования. Поэтому необходимо производить расчеты на прочность.

Цель работы – проверить работоспособность мерника ионообменных смол в режимах нормальной эксплуатации (НЭ) и наложения нормальной эксплуатации и проектного землетрясения (НЭ + ПЗ).

В данной работе рассмотрим мерник ионообменных смол (ИОС). Мерник предназначен для обеспечения подачи смеси ИОС и воды. Мерник состоит из корпуса, опорных лап и крышки фланца, относится к классу безопасности 3Н по НП-001-15 [1] и II категории сейсмостойкости по НП-031-01 [2].

В этой работе при расчете мерника ИОС использовался линейно-спектральный метод, рекомендованный ПНАЭ Г-7-002-

86 [3]. Этот метод подразумевает, что отклики конструкции по каждой форме колебаний и соответствующей ей частоте независимы.

ПК «АРМ» – это модуль анализа прочности, предназначенный для работы с программным обеспечением систем автоматизированного проектирования. Эта система полностью учитывает требования государственных стандартов и правил, касающихся как оформления конструкторской документации, так и алгоритмов расчета [4].

В расчете в режиме НЭ учитывается нагрузка за счет силы тяжести с учетом нагрузки от рабочей среды, распределённая по объему. В расчете в режиме НЭ + ПЗ учитывается то, что распределённая инерционная нагрузка формируется как силой тяжести, так и сейсмическим воздействием, заданным спектрами ускорений. В результате расчета на ПК «АРМ» в разных режимах работы мерника ИОС были получены следующие результаты, приведенные в табл. 1.

Таблица 1

Результаты расчета мерника ИОС на ПК «АРМ»

Наименование элемента мерника	Допускаемые напряжения		Полученные напряжения на ПК «АРМ»	
	Режим НЭ	Режим НЭ + ПЗ	Режим НЭ	Режим НЭ + ПЗ
	[ $\sigma$ ] <sub>2</sub> , МПа			
Корпус	165	242	161,8	219,2
Крышка фланца	165	242	140,7	140,6
Опорные лапы	165	242	37,0	50,4

Значения максимальных приведенных напряжений не превышают допускаемых. Таким образом, выполнены условия прочности и работоспособности, что свидетельствует о прочности элементов мерников в указанных режимах работы.

## *Литература*

1 НП-001-15 «Общие положения обеспечения безопасности атомных станций» (по состоянию на 7 апреля 2022 г.) / Информационно-справочная система «Консультант–Плюс».

2 НП-031-01 «Нормы проектирования сейсмостойких атомных станций» (по состоянию на 7 апреля 2022 г.) / Информационно-справочная система «Консультант–Плюс».

3 ПНАЭ Г-7-002-86 «Нормы расчета на прочность оборудования и трубопроводов атомных станций» (по состоянию на 7 апреля 2022 г.) / Информационно-справочная система «Консультант–Плюс».

4 Ли К. Основы САПР (CAD, CAM, CAE) – СПб.: ПитерЮ 2004. – 560 с.

## **РАСЧЕТ ПРОЧНОСТИ И СЕЙСМОСТОЙКОСТИ МЕРНИКА ИОНООБМЕННЫХ СМОЛ НА ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ «ANSYS»**

*В.В. Ахцигер<sup>1</sup>, И.А. Ахцигер<sup>2</sup>, А.С. Зевякин<sup>2</sup>, Д.В. Иванов<sup>2</sup>,  
М.А. Штилько<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup> – ООО «Лассард», г. Обнинск, Россия*

*<sup>2</sup> – Обнинский институт атомной энергетики – филиал  
Национального исследовательского ядерного  
университета «МИФИ», г. Обнинск, Россия*

Современные требования к конструкции оборудования и трубопроводов АЭС и других объектов использования атомной энергии включают в себя требования к сейсмостойкости.

Актуальность исследования обусловлена тем фактором, что на данный момент в мире строится большое количество блоков АЭС, а также производится большое количество оборудования для функционирования АЭС во всех предусмотренных режимах работы. Обеспечение сейсмостойкости оборудования и сооружений АЭС – обязательный этап проектирования. Поэтому необходимо производить расчеты на прочность.

Цель работы – проверить работоспособность мерника ионообменных смол в режимах нормальной эксплуатации (НЭ)

и наложения нормальной эксплуатации и проектного землетрясения (НЭ + ПЗ) с использованием программного комплекса (ПК) «ANSYS».

ПК «ANSYS» один из популярных пакетов, который используется для расчета строительных конструкций. Программное средство предназначено для расчетов напряженно-деформированного состояния, собственных частот колебаний, устойчивости и параметров механики разрушения для элементов активных зон реакторных установок и оборудования ОИАЭ из металлов и сплавов [1].

В данной работе рассмотрим мерник ионообменных смол (ИОС). Мерник предназначен для обеспечения подачи смеси ИОС и воды. Мерник состоит из корпуса, опорных лап и крышки фланца, относится к классу безопасности 3Н по НП-001-15 [2] и II категории сейсмостойкости по НП-031-01 [3].

В этой работе при расчете мерника ИОС использовался линейно-спектральный метод, рекомендованный ПНАЭ Г-7-002-86 [4]. Этот метод подразумевает, что отклики конструкции по каждой форме колебаний и соответствующей ей частоте независимы.

В расчете в режиме НЭ учитывается нагрузка за счет силы тяжести с учетом нагрузки от рабочей среды, распределённая по объему. В расчете в режиме НЭ + ПЗ учитывается то, что распределённая инерционная нагрузка формируется как силой тяжести, так и сейсмическим воздействием, заданного спектрами ускорений. В результате расчета на ПК «ANSYS» в разных режимах работы мерника ИОС были получены следующие результаты, приведенные в табл. 1.

Таблица 1

Результаты расчета мерника ИОС на ПК «ANSYS»

Наименование элемента мерника	Допускаемые напряжения		Полученные напряжения на ПК «АРМ»	
	Режим НЭ	Режим НЭ + ПЗ	Режим НЭ	Режим НЭ + ПЗ
	[ $\sigma$ ] <sub>2</sub> , МПа			
Корпус	165	242	162,88	240,97
Крышка фланца	165	242	6,06	11,13
Опорные лапы	165	242	26,11	28,88

Значения максимальных приведенных напряжений не превышают допускаемых. Таким образом, выполнены условия прочности и работоспособности, что свидетельствует о прочности элементов мерников в указанных режимах работы.

### *Литература*

1 Каплун А.Б., Морозов Е.М., Олферьева М.А.: ANSYS в руках инженера. Практическое руководство. – М.: Едиториал УРСС, 2003. – 272 с.

2 НП-001-15 «Общие положения обеспечения безопасности атомных станций» (по состоянию на 7 апреля 2022 г.) / Информационно-справочная система «Консультант –Плюс».

3 НП-031-01 «Нормы проектирования сейсмостойких атомных станций» (по состоянию на 7 апреля 2022 г.) / Информационно-справочная система «Консультант –Плюс».

4 ПНАЭ Г-7-002-86 «Нормы расчета на прочность оборудования и трубопроводов атомных станций» (по состоянию на 7 апреля 2022 г.) / Информационно-справочная система «Консультант –Плюс».

## РАСЧЕТНЫЕ ПРОГРАММНЫЕ КОМПЛЕКСЫ В СОВРЕМЕННЫХ РЕАЛИЯХ

*И.А. Ахцигер, Ю.Е. Жакова, А.С. Зевякин, Д.В. Иванов,  
М.А. Штилько*

*Обнинский институт атомной энергетики – филиал  
Национального исследовательского ядерного  
университета «МИФИ», г. Обнинск, Россия*

В современных реалиях к проектируемым конструкциям предъявляются жесткие требования по прочности и надежности при одновременном снижении их материалоемкости. Создание конструкций в этих условиях требует выполнения разнообразных сложных и точных расчетов, основанных на использовании подробных математических моделей.

Для проведения качественных и правильных расчетов появляется необходимость использования современных программных комплексов, таких как Зенит-95, ANSYS, MSC Nastran, SolidWorks и других.

В настоящий момент обстановка в мире не дает гарантий в работе на зарубежных программных комплексах без блокировок лицензий. Поэтому необходимо изучить преимущества и недостатки отечественных программ, для возможной замены зарубежных программных комплексов отечественными аналогами.

Зенит-95 — программный продукт отечественного производства, обеспечивает выполнение проектных и научно-исследовательских расчетов широкого класса пространственных конструкций, механизмов, приводов методом конечных элементов. Одним из наиболее важных отличий программы от аналогов является возможность моделирования динамики систем, представляющих собой механизмы, т.е. системы, элементы которых совершают большие пространственные кинематические перемещения и одновременно испытывают упругие и пластические деформации.

ANSYS — универсальная программная система конечно-элементного анализа является довольно популярной у

специалистов в сфере автоматизированных инженерных расчётов стационарных и нестационарных пространственных задач механики деформируемого твёрдого тела и механики конструкций.

SolidWorks — программный продукт является самым распространенным инструментом, используемым для автоматизированного проектирования и 3D моделирования.

MSC Nastran — обеспечивает полный набор расчетов, включая расчет напряженно-деформированного состояния, запасов прочности, анализ устойчивости, решение задач теплопередачи, нелинейных статических и нелинейных переходных процессов.

В данной работе показано, что отечественный ПК Зенит-95 может конкурировать с зарубежными аналогами. По своему функционалу и возможностям он не уступает иностранным программным средствам, при этом является более доступным и дешевым.

### *Литература*

1 Курков С.В. Программный комплекс расчёта динамики и прочности сложных нелинейных физически неоднородных механических систем «Зенит-95». Математическое моделирование в механике сплошных сред на основе методов граничных и конечных элементов: доклады XVIII международной конференции. Доклады. - СПб.: НИИХ СПбГУ. 2000. - 324 с.

2. Каплун А.Б., Морозов Е.М., Олферьева М.А.: ANSYS в руках инженера. Практическое руководство. – М.: Едиториал УРСС, 2003. – 272 с.

3. Андреев В.Б., Руховец Л. А. Проекционные методы (Новое в жизни, науке и технике. Серия «Математика и кибернетика». № 11). – М.: Знание, 1986.

# **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ АКСИАЛЬНОГО ПРОФИЛИРОВАНИЯ ТВЭГОВ НА ВЫГОРАНИЕ ДОЛГОЖИВУЩИХ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ НА ПРИМЕРЕ МОДЕЛИ Z49A2 РЕАКТОРА ВВЭР-1200**

*Э.А. Гердт, Р.А. Внуков, В.В. Колесов  
Обнинский институт атомной энергетики – филиал  
Национального исследовательского ядерного  
университета «МИФИ», г. Обнинск, Россия*

Результатом работы ядерной энергетической установки, помимо наработки энергии, является и накопление продуктов деления, имеющих длительный период полураспада. Такие элементы при захоронении потенциально представляют угрозу для окружающей среды.

Профилирование – процесс перераспределения компонентов реакторной установки по объёму с целью улучшения её выходных характеристик. В данном исследовании перераспределялись концентрации делящихся материалов по высоте твэга, в результате чего изменялось их выгорание.

Целью данной работы является исследование влияния аксиального профилирования твэгов на выгорание долгоживущих радиоактивных отходов: изотопов нептуний-237, америций 241-243 и кюрий-247.

Исследование проводилось на примере ТВС реактора ВВЭР-1200 модели Z49A2 [1] с учётом некоторых конструкционных материалов (рис. 1) с целью повышения точности расчётов и моделирования в целом.

Расчёты проводились в ПК Serpent 2 [2], представляющем собой программный комплекс, использующий метод Монте-Карло для выполнения высокоточных нейтронно-физических расчётов.

Дальнейшим направлением исследования является оценка влияния аксиального профилирования твэлов.

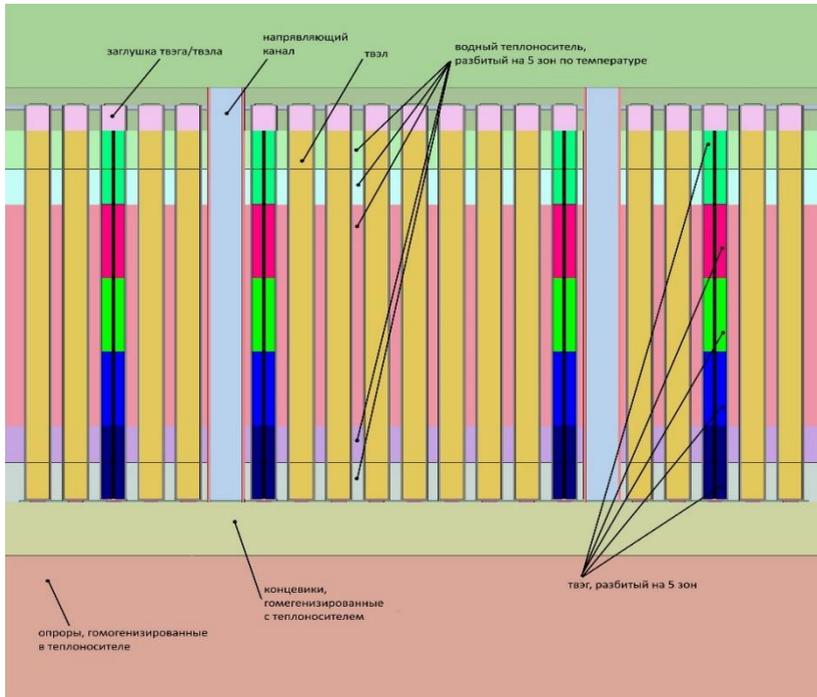


Рис. 1. Продольное сечение модели ТВС.

### *Литература*

1 Vnukov R.A. et al. Effect of gadolinium absorber radial profiling in fuel pins on VVER-1000 assembly neutron-physical characteristics // J. Phys.: Conf. Ser. – 2020. – 1689 012043. DOI: 10.1088/1742-6596/1689/1/012043/pdf.

2 Leppänen J., Pusa M., Viitanen T. et al. The Serpent Monte Carlo code: Status, development and applications in 2013 // Annals of Nuclear Energy. – 2015. – V. 82. – P. 142-150.

# РАСЧЕТНАЯ ОЦЕНКА ПАССИВНОЙ СИСТЕМЫ ТЕПЛОТВОДА НА ОСНОВЕ ПРИНЦИПА РАБОТЫ ТЕРМОСИФОНОВ

*С.М. Глухов, И.А. Ширманов, Е.Д. Стругов, А.Д. Тарасов,  
Д.Е. Шумков, О.Л. Ташлыков, В.А. Климова  
Уральский федеральный университет имени первого  
Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия*

Пассивные системы теплоотвода для бассейнов выдержки (БВ) облученных тепловыделяющих сборок (ОТВС) могут стать дополнительной системой безопасности как при штатной работе реакторной установки, так и при аварийных ситуациях, включая полную потерю электроснабжения или необходимость выгрузки всей активной зоны в БВ.

В данной работе предложена схема пассивной системы теплоотвода остаточных тепловыделений ОТВС на основе работы термосифонов, а также проведен оценочный теплофизический расчет максимально возможной мощности теплоотвода для дальнейшего ее сравнения с экспериментальными данными.

Также были проведены оценка рассеяния остаточных тепловыделений в строительные конструкции, разработка компьютерной модели основного оборудования шахты-хранилища (ШХ) ОТВС, теплогидравлический анализ процессов в отдельных элементах пассивной системы теплоотвода [1-3].

В табл. 1 представлены параметры выбранного теплоносителя (вода под разряжением) для данной системы, используемые при оценке эффективности теплоотвода.

Таблица 1  
Параметры насыщения теплоносителя (вода под разряжением)

$t_n, ^\circ\text{C}$	60	65	70
$P_n, \text{МПа}$	0,02	0,02576	0,032

Принцип работы пассивной системы основан на фазовом переходе теплоносителя из жидкого состояния в газообразное в

зоне нагрева с последующей конденсацией в зоне отвода теплоты [4-5]. Для данного процесса в настоящее время нет единой методики расчета, поэтому все полученные результаты будут проверяться экспериментальным методом.

Одним из этапов исследования являлось определение остаточного тепловыделения ОТВС в ШХ. Расчет проводился для одной ТВС, выгруженной из активной зоны в ШХ. Для расчета использовалась формула Унтермайера – Уэллса [6].

Проведено сравнение методик расчета мощности теплоотдачи при различных режимах и параметрах кипения теплоносителя. Выбраны методики, применимые в рамках поставленной задачи.

В настоящее время спроектирована экспериментальная установка для исследования пассивного теплоотвода, идет подготовка к ее сооружению.

### *Литература*

1 Глухов С.М., Климова В.А., Ташлыков О.Л., Шумков Д.Е., Лёзов А.Д. Моделирование системы пассивного отвода тепла от шахты-хранилища исследовательского ядерного реактора ИВВ-2М при помощи термосифонов / Физика. Технологии. Инновации: сборник материалов VIII Международной молодежной научной конференции; Екатеринбург, УрФУ. 2021. С. 919-920.

2 Kurteev A.V., Klimova V.A., Sevastyanov M.M., Tashlykov O.L. Numerical simulation of residual heat removal from the spent fuel assemblies storage pit. 2019. AIP Conference Proceedings 2174(1): 020170.

3 Shumkov D. E., Tashlykov O. L. Development of a passive removal heat system for the storage pit of IVV-2M research nuclear reactor. AIP Conference Proceedings 2313, 070005 (2020)

4 Рассохин Н.Г., Ма Цан\*Вень, Мельников В.Н. Теплоотдача при поверхностном кипении в узких кольцевых каналах. // Теплоэнергетика. – 1963. – № 5. – С. 83-85.

5 Михеев М.А., Михеева И.М. Основы теплопередачи. – 2-е изд. – М.: Энергия, 1977. 344 с.

6 Овчинников Ф.Я., Семёнов В.В. Эксплуатационные режимы водо-водяных энергетических реакторов. – 3 изд., пер. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 359 с.

## **РАЗРАБОТКА НАИБОЛЕЕ ЭФФЕКТИВНОЙ МИШЕНИ ДЛЯ НАРАБОТКИ $^{14}\text{C}$ НА РЕАКТОРЕ ВВР-Ц**

*А.С. Горбач, М.А. Левон, Р.В. Фомин  
Обнинский институт атомной энергетики – филиал  
Национального исследовательского ядерного  
университета «МИФИ», г. Обнинск, Россия*

В современной медицине для лечения и диагностики, главным образом, онкологических заболеваний применяются различные радиофармпрепараты. Эти препараты содержат в своём составе один или несколько радионуклидов, получаемых путём облучения изотопов стабильных элементов. Основными источниками производства этих препаратов для ядерной медицины являются: ядерные реакторы, ускорители заряженных частиц, циклотроны и радионуклидные генераторы.

С развитием медицины и применяемой в ней диагностической аппаратуры обнаруживается существенный рост в использовании радиоизотопов, и, соответственно, в их наработке.

Это влечёт за собой необходимость создания эффективных методов наработки, повышающих удельный выход радионуклида, что в свою очередь приведёт к уменьшению себестоимости конечной продукции для пациента.

В данной работе произведено исследование наработки изотопа  $^{14}\text{C}$  в экспериментальных каналах реактора ВВР-ц.

В рамках выполнения научной работы используется прецизионный программный комплекс SERPENT [1]. В данном ПК была разработана и верифицирована расчетная модель активной зоны реактора ВВР-ц с учетом выгорания топлива и размещением органов СУЗ [2].

В работе рассматривается наработка радиоизотопа  $^{14}\text{C}$ , получаемого по реакции  $^{14}\text{N} (n, p)^{14}\text{C}$ . Для этого была

разработана конструкция облучательной мишени, в качестве материала которой выбрано соединение  $\text{CaN}_2\text{O}_6$ . На рис. 1 представлена модель мишени.

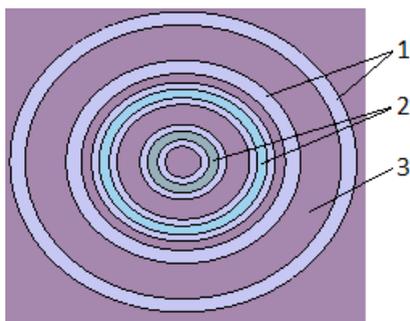


Рис.1. Модель облучательной мишени: 1 – экспериментальный канал; 2 –  $\text{CaN}_2\text{O}_6$ ; 3 – теплоноситель.

Для оценки выхода радионуклида был проведён прожиг облучательной мишени в течение 5 дней при тепловой мощности реактора 11 МВт. В результате проведенных расчетов наработка в первоначальной конструкции мишени составила 0,0048 Ки/нед. Данные результаты будут использованы в качестве эталонных для дальнейшего проведения поисковых решений по формированию оптимальной конструкции мишени с максимально возможным удельным выходом  $^{14}\text{C}$ .

### *Литература*

1 Каражелевская Ю.А., Терехова А.М., Колесов В.В. Использование программного комплекса SERPENT для проведения нейтронно-физического расчета реактора: учебное пособие. – Обнинск, 2016.

2 Колесов В.В., Фомин Р.В. Создание прецизионной модели реактора ВВР-ц для последующей оптимизации его конструкции и наработки радионуклидов / Итоговая конференция конкурса научных работ студентов ФГУП концерна «Росэнергоатом» Знания молодых ядерщиков – атомным станциям. Тезисы докладов. – Москва: НИЯУ МИФИ, 2011. – С. 50-51.

## **РАЗРАБОТКА ПРЕДИКТИВНЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ АЭС**

*С.В. Дворецкий, Д.А.Распопов, П.А. Белоусов  
Обнинский институт атомной энергетики – филиал  
Национального исследовательского ядерного  
университета «МИФИ», г. Обнинск, Россия*

В системах собственных нужд АЭС присутствует большое количество электрооборудования. От технического состояния данного оборудования зависит надёжная, безопасная и энергоэффективная эксплуатации станции [1].

Оценка состояния электросети на предприятиях промышленного типа, в том числе АЭС, проводится согласно регламентированным показателям качества [2]. Отклонение от установленных норм может приводить к возникновению аварийных ситуаций на АЭС. Источником искажения данных характеристик служит подключенное к сети оборудование.

На сегодняшний день поиск дефектов электрооборудования АЭС осуществляется с помощью термографического контроля, измерения физических параметров [3]. Применяемые методы требуют наличия специальной аппаратуры и высокой квалификации специалистов, проводящих диагностику.

Одним из наиболее значимых для надёжной и безопасной работы АЭС является электрооборудование технологических систем. К таким системам относятся: системы производства и преобразования энергии, системы безопасности, обеспечивающие системы, вспомогательные обеспечивающие системы, системы отвода тепла, системы очистки и обращения с отходами производства, системы транспортировки тепла. В технологических системах выполняется сбор, хранение и обработка большого количества информации. В связи с этим, электронно-вычислительные машины играют важнейшую роль в системах управления и безопасности АЭС, позволяя решить задачу автоматизации и централизации управления процессами. В связи с этим анализ и диагностика технического состояния

ЭВМ является актуальной задачей для обеспечения работоспособности атомных станций.

В работе с помощью экспериментального лабораторного стенда “Исследования параметров электросети” осуществлялся сбор данных с электрооборудования. Через датчики тока и напряжения в лабораторном стенде была получена информация о электрических характеристиках оборудования, подключенного к электросети.

Проведённый эксперимент направлен на диагностику электронно-вычислительных машин. В ходе его выполнения на ЭВМ отключались основные элементы, и таким образом имитировались неисправности. Применение алгоритмов машинного обучения позволило построить предиктивную модель состояния электрооборудования, показанную на рис. 1.

Также на основании собранных данных и выделенных электрошумовых характеристик были разработаны методы, базирующиеся на ГОСТ 32144-2013, для расчета и контроля показателей качества электрической энергии.

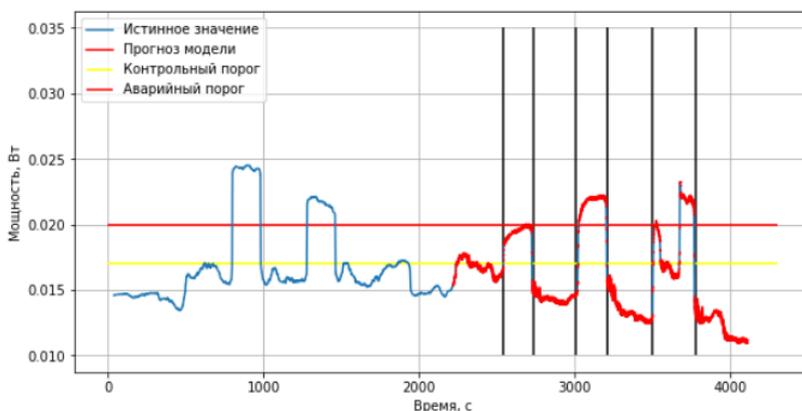


Рис. 1 Прогнозирование технического состояния электрооборудования.

### *Литература*

1 Распопов Д.А. Разработка методов и алгоритмов для интеллектуальных энергосистем АЭС / Студенческая научная

весна – 2021: Сборник тезисов XI Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. В 2-х частях. – Волгодонск, 2021. – С. 19-22.

2 ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – Введ. 2014.07.01. – М.: Стандартинформ, 2013. – 10 с.

3 МУ 0632-2006. Методические указания по диагностике электрических аппаратов, распределительных устройств станций и подстанций. – Введ. 2006.06.01.

## **ВЛИЯНИЕ ТЕМПА УВЕЛИЧЕНИЯ ТЕПЛО ВЫДЕЛЕНИЯ В НАГРЕВАТЕЛЕ НА НЕСТАЦИОНАРНЫЙ КРИТИЧЕСКИЙ ТЕПЛО В ПОТОК**

*М.И. Делов, Д.М. Кузьменков, К.В. Куценко, А.А. Лаврухин  
Национальный исследовательский ядерный университет  
«МИФИ», г. Москва, Россия*

При наступлении переходных или аварийных режимов в работе энергетического оборудования возникают нестационарные режимы теплообмена. В условиях быстрого увеличения мощности тепловыделения кризис кипения может происходить при отводимых теплоносителем тепловых потоках  $q_{кр}$ , отличных от первого критического теплового потока  $q_{кр1}$ . При малых скоростях роста тепловыделения кризис в различных жидкостях происходит при первом критическом тепловом потоке  $q_{кр1}$ . В воде при быстрых темпах нарастания тепловыделения кризис может наблюдаться при более высоких значениях теплового потока.

В ряде работ показано, что для некоторых жидкостей (жидкий азот, фреоны и др.) при больших скоростях кризис происходит при тепловых потоках, меньших  $q_{кр1}$ . В этом случае кризис кипения невозможен при тепловых потоках меньше минимального нестационарного критического теплового потока  $q_{кр,мин}$ . Представляет интерес исследование влияния темпа

увеличения теплового потока  $\omega$ , отводимого в жидкость с поверхности нагревателя, на величину критического теплового потока в различных жидкостях.

В работе представлены результаты экспериментального исследования кризиса кипения в насыщенной и недогретой воде, а также в жидком азоте при различных давлениях. Описание экспериментальных установок представлено в работах [1] и [2], рабочие участки представляли собой платиновую проволоку диаметром 100 мкм, которая служила нагревателем и термодатчиком. Тепловыделение в рабочих участках задавалось за счет пропускания электрического тока.

Разработаны новые методики и модели расчета критического теплового потока в зависимости от рода жидкости, давления, размера нагревателя и темпа нарастания тепловыделения.

На рис. 1 представлены результаты экспериментов и расчетов по моделям в виде зависимости отношения нестационарного критического теплового потока  $q_{кр}$  к первому критическому  $q_{кр1}$  от отношения среднего темпа нарастания мощности тепловыделения  $\omega_{кр}$  в момент времени наступления кризиса кипения к граничному значению темпа нарастания  $\omega_{гр}$ . Рассчитываемое по модели значение  $\omega_{гр}$  определяет минимальное значение скорости роста тепловыделения, выше которого  $q_{кр}$  может отличаться  $q_{кр1}$ . Как видно из рисунков, зависимости для воды и жидкого азота качественно различны.

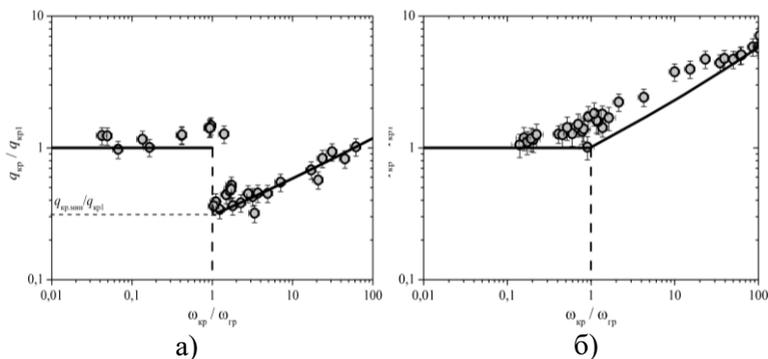


Рис.1. Зависимость приведенного значения критического теплового потока от приведенного значения темпа увеличения тепловыделения в момент наступления кризиса: а – жидкий азот при атмосферном давлении, б – насыщенная вода при атмосферном давлении.

Точки – экспериментальные данные, линии – расчет по моделям.

*Исследование выполнено за счёт гранта Российского научного фонда № 22-29-01009, <https://rscf.ru/project/22-29-01009/>.*

### **Литература**

1 Balakin B.V., Delov M.I., et al., Boiling crisis in cryogenic fluids during unsteady heat supply // International Journal of Heat and Mass Transfer. – 2017. – V. 111. – P. 1107-1111.

2 Deev V.I., Htay Lwin Oo, et al. Critical heat flux modeling in water pool boiling during power transients // International Journal of Heat and Mass Transfer. – 2007. – V. 50. – P. 3780-3787.

## ОРГАНИЗАЦИИ ПЕРЕДАЧИ ЭНЕРГИИ НЕЙТРИННЫМ ПОТОКОМ

*Д.В. Джан<sup>1</sup>, М.Ю. Егоров<sup>1,2</sup>*

*<sup>1</sup> – Санкт-Петербургский государственный университет  
аэрокосмического приборостроения,*

*г. Санкт-Петербург, Россия*

*<sup>2</sup> – Санкт-Петербургский государственный лесотехнический  
университет им. С.М. Кирова, Санкт-Петербург, Россия*

Поток мюонного нейтрино, созданный в точке А, направлен в точку Б, где встречается с заранее подготовленной установкой. Она включает экран (состоит из крайне плотного вещества с большим количеством нейтронов и протонов) и бак, наполненный веществом, готовым к ядерному синтезу (водород/дейтерий/тритий).

Поток мюонного нейтрино после встречи с экраном выбивает мюон, который в свою очередь, летит в бак, где попадает на орбиту атома водорода/дейтерия/трития и провоцирует мюонный катализ.

В результате реакции синтеза выделяется энергия. Таким образом с помощью потока нейтрино и созданной с его помощью реакции синтеза обеспечивается энергия в конечной точке.

В работе проанализирован мюонный катализ, синтез ядер изотопов водорода (протия  $p$ , дейтерия  $d$  и трития  $t$ ), обусловленный их взаимодействием с отрицательно заряженными мюонами  $\mu^-$  [1].

**Механизм работы  $\mu^-$ -катализа ядерных реакций.** Находящийся в водородной среде, содержащей ядра-изотопы  $d$  и  $t$ , свободный мюон образует сначала мюонный атом ( $d\mu$ ,  $t\mu$ ), а затем и мезомолекулярный ион. В таком ионе благодаря его малым размерам достаточно быстро протекает соответствующая ядерная реакция синтеза. При этом происходит высвобождение мюона (если его не подхватит образующееся в реакции заряженное ядро), цепочка описанных превращений повторяется до момента распада или захвата мюона.

Процесс протекания мюонного катализа показан на рис. 1.

Выход энергии зависит как от энергоэффективности реакции, так и от возможного количества циклов, инициируемых одним мюоном.

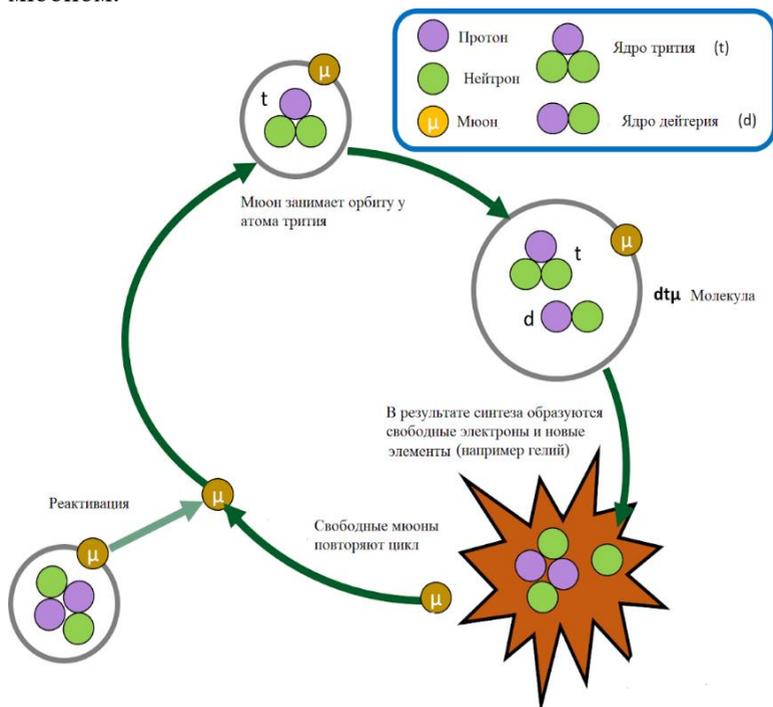


Рис. 1. Пример мюонного катализа

### *Литература*

1 Наумов Д.В. Физика элементарных частиц и атомного ядра  
// Письма в ЭЧАЯ. – 2011. – Т. 8. – № 7(170). – С. 1192-1231.

## **РАСЧЕТНОЕ СОПРОВОЖДЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТОВ, ПРОВОДИМЫХ НА БЫСТРЫХ РЕАКТОРАХ ТИПА БН**

*Э.М. Дзугоева, В.Ю. Стогов*  
*АО «ГНЦ РФ – ФЭИ», г. Обнинск, Россия*

Современные тенденции развития ядерной энергетики характеризуются не только повышением рабочих параметров, но и ужесточением режимов эксплуатации активных зон, увеличением энергонапряженности и ресурса работы тепловыделяющих элементов. Энергетические реакторы все чаще используются в экспериментальных целях для наработки изотопов промышленного и медицинского назначений, исследования влияния облучения на конструкционные материалы и др. В связи со сложностью экспериментальных исследований в реакторных условиях особую актуальность приобретают расчетные исследования моделирования процессов эксплуатации.

Целью доклада является описание подходов и программ, применяемых в расчетных исследованиях экспериментов, проводимых на реакторе на быстрых нейтронах типа БН, применяемых в АО «ГНЦ РФ – ФЭИ» для моделирования нейтронно-физических условий облучения тепловыделяющих сборок (ТВС), приближенных к реальным.

Многолетний опыт эксплуатации реакторов на быстрых нейтронах дает возможность исследовать перспективные направления развития ядерной энергетической системы. На сегодняшний день с помощью программного комплекса ModExSys в АО «ГНЦ РФ – ФЭИ» накоплена база, содержащая данные истории облучения и жизненного цикла сборок в активной зоне РУ БН-600 Белоярской АЭС с 39 по 83 микрокампанию.

Расчетное моделирование нейтронно-физических условий облучения ТВС проводится с использованием инженерного кода TRIGEX [1] и информационной системы ModExSys [2], которая оперирует паспортными характеристиками ТВС, загружаемых в реактор. Расчетные модели формируются системой ModExSys

на основе базы данных критических состояний и базовой модели активной зоны реактора, в которой каждая ТВС описывается отдельно. Для всех сборок в расчетной модели TRIGEX построена универсальная расчетная модель (рис. 1).

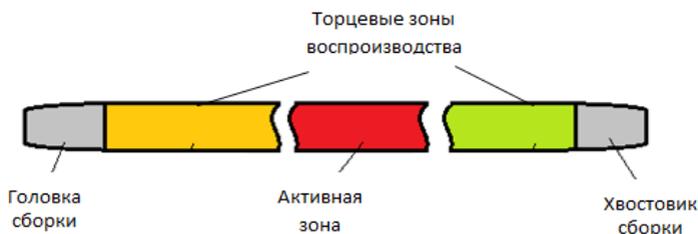


Рис. 1. Упрощенное изображение универсальной расчетной модели ТВС для TRIGEX.

Для каждой гомогенной физической зоны готовятся многогрупповые (26-групп) блокированные микро- и макроконстанты. В качестве константной базы для расчетов используется библиотека нейтронных данных БНАБ-93 [3] с системой подготовки констант CONSYST [4].

Многолетний опыт в области расчетного моделирования позволяет исследовать новые компоновки активных зон с использованием накопленных баз данных, полученных в ходе эксплуатации реактора БН-600.

### *Литература*

1 Свидетельство о регистрации программы TRIGEX, № 2013660588 от 25 сентября 2013 г.

2 Moiseyev A.V. System of modelling and calculation analysis of neutron-physical experiments at fast reactors / IYNC-2008 proceedings, Interlaken, Switzerland, September 21–26, 2008.

3 Мантуров Г.Н., Николаев М.Н., Цибуля А.М. Система групповых констант БНАБ-93 / Часть 1: Ядерные константы для расчета нейтронных и фотонных полей излучений». Сб. Вопросы атомной науки и техники. Сер. Ядерные константы. 1996. Вып.1. С. 59.

4 Мантуров Г.Н., Николаев М.Н., Цибуля А.М. Программа подготовки констант CONSYST. Препринт ФЭИ-2857, 2000.

## **АНАЛИЗ РЕАКТИМЕТРОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ДЛЯ ЯДЕРНЫХ РЕАКТОРОВ**

*Т.С. Дикова, Д.Д. Цветкова, А.М. Терехова  
Обнинский институт атомной энергетики – филиал  
Национального исследовательского ядерного  
университета «МИФИ», г. Обнинск, Россия*

Работа ядерного реактора требует непрерывного контроля и анализа значений реактивности. Реактивность является индивидуальным параметром, с помощью которого можно регулировать мощность реактора [1]. Для измерения реактивности применяют специализированные приборы: периодиметры, реактиметры и т.п. [2]

Реактиметр является обязательным элементом оборудования атомной станции, а также имеет широкое применение в атомной промышленности. Производя регистрацию потока нейтронов, реактиметр при помощи ряда компьютерных алгоритмов производит вычисление реактивности [3].

Целью данной работы является поиск возможности уменьшения погрешности вывода данных реактиметром, для получения более точных данных о реактивности энергетического реактора.

Вычисление реактивности в энергетических реакторах основано на приближении кинетики реакторов. Современные реактиметры обрабатывают сигнал, поступающий из ионизационной камеры по формуле обратного уравнения кинетики (ОРУК).

В ходе работы были рассмотрены различные схемы решения реактиметров, такие как параллельная, прямая, каноническая, симметризованная и другие [4]. Был произведен анализ связи между аппаратным и аналитическим аспектами измерения изменения реактивности.

## *Литература*

1 Юркевич Г.П. Система управления ядерными реакторами: Принципы работы и создания// Под редакцией академика РАН Н.С. Хлопкина. – М: ЭЛЕКС-КМ, 2009. – 2-е изд. – С. 448.

2 Могильнер А.И., Фокин Г.Н., Чайка Ю.В., Кузнецов Ф.М. Применение малых ЭВМ для измерения реактивности // Атомная энергия – 1974. – Т. 36. – Вып. 5 – С. 358–362.

3 Kim A.J. The design, construction, and testing of a reactimeter. – Virginia Polytechnic Institute, 1977.

4 Юферов А.Г. Схемные решения реактиметров// Известия вузов – 2019. – №4. – С. 95-108.

## **ВОЗМОЖНОЕ ТОПЛИВО РЕАКТОРОВ ВВЭР-1200**

*Е.С. Иваницкая, А.М. Терехова, Н.П. Шлапак  
Обнинский институт атомной энергетики – филиал  
Национального исследовательского ядерного  
университета «МИФИ», г. Обнинск, Россия*

Традиционно применяемое в атомной энергетике керамическое урановое топливо обладает важным недостатком – низкой теплопроводностью. Поэтому ведутся поиски новых топливных кампаний с улучшенными характеристиками. Целью данной работы является анализ различных видов топлива, предлагаемых на замену уранового, рассмотрение их физико-химических особенностей, приведение достоинств и недостатков [1]. А также выявление наиболее подходящей топливной кампании для замены диоксида урана.

При выборе ядерного топлива наибольшее внимание уделяют таким характеристикам, как химическая совместимость с материалами реактора, температура плавления и испарения, теплопроводность, увеличение объема при нейтронном облучении, технологичность производства.

Оксид плутония – твёрдое вещество с высокой температурой плавления. Наличие вакансий для продуктов деления в октаэдрических порах определяет пригодность использования в

качестве ядерного топлива.

Смешанное оксидное (МОКС) топливо: ядерное топливо, состоящее из нескольких типов оксидов, в основном смеси оксидов плутония с природным ураном, обогащенным ураном или обедненным ураном [2].

Смешанное оксидное уран-плутониевое (РЕМИКС) топливо - это регенерированная смесь оксида урана и плутония, получающаяся в процессе переработки ОЯТ. Использование РЕМИКС - топлива обеспечивает многократный рециклинг всего количества делящихся материалов, загруженных в реактор, и стабильность при производстве топлива [3].

Перспективным направлением является использование в качестве топлива Th-232 и продукта его распада - U-233. Однако сохраняется необходимость мощного источника нейтронов – ядерного реактора на уране, что не исключает уран из ядерного топливного цикла (ЯТЦ), а лишь снижает его концентрацию.

Нитридное топливо - вид ядерного топлива, в котором делящийся материал представлен в форме соединения азота. Теплопроводность и рабочая температура этого топлива намного выше оксидных аналогов.

Карбидное топливо обладает высокой теплопроводностью, повышенной плотностью и лучшей способностью к удержанию газообразных продуктов деления, что позволяет достигнуть глубокого выгорания и снижает стоимость ЯТЦ.

Исходя из сравнения характеристик различных топливных композиций, был сделан вывод о том, что несмотря на хорошо изученные свойства оксидов, нитридное топливо не уступает по многим пунктам. Высокая плотность, теплопроводность, температура плавления и хорошая совместимость с теплоносителями даёт нитридному топливу преимущество среди других видов топлива.

### *Литература*

1 Петровский А.М., Корбут Т.Н., Рудак Э.А. Сравнительный анализ топливных кампаний реакторов ВВЭР-1200 и ВВЭР-1000 // Сборник “Молодежь в науке – 2017” / Вести НАН Беларуси. Серия физико-технических наук, с. 268 – 277.

2 В.В. Бровцев, М.В.Коптелов. Использование мокс-топлива на реакторах на быстрых нейтронах // COLLOQUIUM-JOURNAL. - 2019. - Vol. 52. - P. 14-16.

3 Н.В. Ковалев, Б.Я. Зильберман, Н.Д. Голецкий, А.Б. Синюхин. Новый подход к повторному использованию отработавшего ядерного топлива тепловых реакторов в рамках концепции РЕМИКС // Известия высших учебных заведений. Ядерная энергетика. - 2020. - Т. 1. - С. 67-77.

## **АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ АКТИВНОЙ ЗОНЫ РЕАКТОРА ВВЭР-1000 ПО ПОКАЗАНИЯМ СВРК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОСЕТЕВЫХ АЛГОРИТМОВ**

*Е.С. Иванецкая, С.Т. Лескин, Н.П. Шлапак  
Обнинский институт атомной энергетики – филиал  
Национального исследовательского ядерного  
университета «МИФИ», г. Обнинск, Россия*

В последние годы во многих отраслях как промышленности, так и общественной жизни в целом, всё большую популярность набирают нейросетевые алгоритмы. Уже было предложено использовать их для обнаружения аномалий в работе оборудования [1] и для сегментации сигналов ЭПА [2]. Помимо этого, аналогичные алгоритмы позволяют анализировать состояние АЗ реактора по показаниям КНИ. Такой анализ обладает рядом неоспоримых преимуществ:

- высокая скорость анализа;
- возможность извлечь большое количество информации из относительно небольшого количества данных;
- простота отображения и восприятия выходных данных.

Некоторые из приведённых утверждений нуждаются в более подробном пояснении. Высокая скорость анализа достигается за счёт меньшего по сравнению с традиционными алгоритмами количества расчётов. Недостатком может показаться

необходимость длительного обучения модели (в предлагаемом алгоритме оно может длиться до 19 часов), однако стоит отметить, что обучение может производиться в любой момент при условии наличия достаточного количества данных. Таким образом при необходимости можно обучить модель во время пуска реактора (или даже до него), и к моменту выхода на номинальный режим эксплуатации алгоритм будет уже полностью готов. В нашей работе в целях демонстрации использовались данные, полученные в ходе определения правильности подключения КНИ в реакторе на Калининской АЭС. В АЗ поочерёдно вводились 18 стержней СУЗ. Задачей алгоритма было определение того, вводится ли какой-либо стержень и, если вводится, то какой именно. Как можно заметить, она сводится к задаче классификации. Эффективность нейросетей в таких задачах давно и многократно доказана, а их решение легко воспринимается человеком.

**Целью работы** является разработка алгоритма, позволяющего в автоматическом режиме обрабатывать информацию, предоставляемую СВРК, и дающего возможность максимально быстро и точно проанализировать состояние АЗ.

Разработанный алгоритм базируется на представлении состояния АЗ в виде графа [3] и включает в себя несколько этапов:

1. Преобразование полученных от СВРК данных для представления их в виде, наиболее удобном, для дальнейшей обработки.
2. Анализ преобразованных данных при помощи свёрточной нейросети в соответствии с описанной задачей.
3. Интерпретация полученного результата и формирование пакета для передачи на дисплей БЩУ.

### *Литература*

1 Трыков Е.Л., Трыкова И.В., Коцоев К.И. Обнаружение аномалий в работе реакторного оборудования с помощью нейросетевых алгоритмов//Известия вузов. Ядерная энергетика. - 2020. - № 3. - С.136-147.

2 Коцоев К.И., Трыков Е.Л., Трыкова И.В. Применение свёрточной нейронной сети для сегментации сигналов электроприводной арматуры//Известия вузов. Ядерная энергетика. - 2021. - № 2. - С.158-166.

3 Алыев Р.Р., Лескин С.Т. Использование графа для представления информации о состоянии активной зоны реактора ВВЭР-1000//Известия вузов. Ядерная энергетика. - 2010. - № 4. - С.64-71.

## **ВЛИЯНИЕ ПЛОТНОСТИ ПОТОКА НЕЙТРОНОВ НА ВОСПРОИЗВОДСТВА УРАНА-233 В ТОРИЙ-УРАНОВОМ БРИДЕРЕ**

*К.А. Исанов<sup>1</sup>, К.Р. Закирова<sup>1</sup>, М.Ю. Егоров<sup>1,2</sup>*

*<sup>1</sup> – Санкт-Петербургский государственный университет  
аэрокосмического приборостроения,  
г. Санкт-Петербург, Россия*

*<sup>2</sup> – Санкт-Петербургский государственный лесотехнический  
университет им. С.М. Кирова, г. Санкт-Петербург, Россия*

Исследована перспективная концепция торий-уранового реактора-размножителя не тепловых нейтронах [1]. Проведены нейтронно-физические расчеты для модели ТВС бесконечных размеров с характеристиками, представленными в табл. 1.

Таблица 1  
Характеристики рассматриваемой ТВС бесконечных размеров

Характеристики ТВС	Шаг решетки, мм	Диаметр ТВЭЛ, мм	Обогащение	Замедлитель
	25	10	1,55%	Тяжелая вода

Определены коэффициент эффективности и коэффициент воспроизводства для ТВС соответствующей компоновки.

Отличительной особенностью теплового бридера с уран-ториевым циклом [2] является возможность достижения

коэффициента воспроизводства на уровне, либо превышающем единицу, непосредственно за счет коэффициента воспроизводства активной зоны [3, 4]. Таким образом, в начальный момент кампании, и в последующий период, пока величина коэффициента воспроизводства не станет меньше единицы, возможен рост концентрации урана. Помимо увеличения концентрации делящегося нуклида, происходит непрерывное убывание сырьевого воспроизводящего материала – тория. Следовательно, при начальном росте концентрации урана, а также при непрерывной убыли сырьевого материала происходит увеличение коэффициента эффективности в течение кампании.

Проанализированы особенности уран-ториевого цикла, связанные с относительно большим периодом полураспада промежуточного изотопа протактиния, рис. 1. На начальном этапе наблюдается провал концентрации урана и дальнейший выбег. Определение протактиниевого эффекта, а также установление зависимости от плотности нейтронного потока.

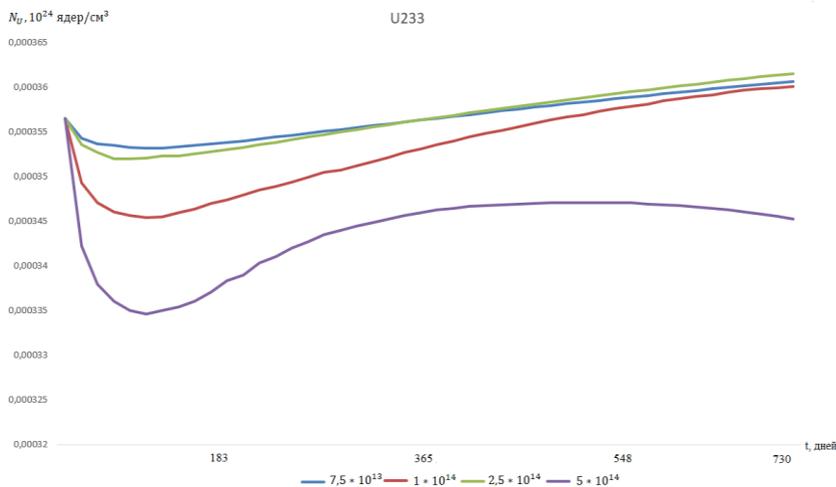


Рис. 1. Концентрация урана при различных плотностях нейтронного потока.

### *Литература*

1 Marshalkin V.E., Povyshev V.M. Breeding of  $^{233}\text{U}$  in the

Thorium-Uranium Fuel Cycle in VVER Reactor Using Heavy Water / Physics of Atomic Nuclei. – 2015. – V. 78. – № 11. – P. 1274-1286.

2 Marshalkin V.E., Povyshv V.M. On the Equilibrium Isotopic Composition of the Thorium-Uranium-Plutonium Fuel Cycle / Physics of Atomic Nuclei. – 2016. – V. 79. – № 8. – P. 1290-1297.

3 Пономарев-Степной Н.Н., Лунин Г.Л., Морозов А.Г., Кузнецов В.В., Кевролев В.В., Кузнецов В.Ф. Легководный ториевый реактор ВВЭР-Т / Атомная энергия – 1998. – Т. 85. – № 4. – С. 263-277.

4 Маршалкин В.Е. Концепция замкнутого торий-уран-плутониевого топливного цикла ядерной энергетики / Вопросы атомной науки и техники. Физика ядерных реакторов. – 2018. – Выпуск 4. – С. 5-28.

## **О ВОЗМОЖНОСТИ ИСКЛЮЧЕНИЯ ИЗБЫТОЧНОГО ШЛАКОВАНИЯ ЦИРКУЛЯЦИОННЫХ КОНТУРОВ С ТЕПЛОНОСИТЕЛЯМИ НА ОСНОВЕ СВИНЦА**

*М.М. Кошелев, В.В. Ульянов, В.С. Кремлёва  
АО «ГНЦ РФ – ФЭИ», г. Обнинск, Россия*

При проведении ряда технологических работ первые контуры реакторных установок со свинецсодержащими теплоносителями могут временно терять герметичность. Например, это может происходить при перегрузке элементов активной зоны. В этой связи рассматриваются возможности уменьшения попадания воздуха в первый контур установки за счет искусственного поддержания избыточного давления инертного газа в газовой полости путем организации течи газа из контура в атмосферу. Похожие решения реализованы в ряде областей, например, при регулировании фронта испарения многоатомных жидкостей [1], но эффект Кнудсена, наличие термодиффузии и бародиффузия позволяют предполагать возможность натекания атмосферных газов на противодавление.

Авторы провели экспериментальную оценку скорости натекания на противодавление в условиях стенда ТТ-2М [2] со

свинцово-висмутовым теплоносителем путем ослабления прокладки во фланце специального тупикового газового трубопровода с индикатором расхода газа, чем достигалась негерметичность контура с контролируемой течью аргона из контура.

В ходе эксперимента варьировали температуру, наличие или отсутствие теплоносителя в контуре. Избыточное давление аргона в газовом контуре составляло от  $1 \cdot 10^4$  до  $5 \cdot 10^4$  Па, а изменение состава газовой фазы при этом наблюдалось во всех режимах. По изменению концентрации азота в контуре и общего давления газа определили поток азота в контур. Полученные результаты сведены в табл. 1.

Таблица 1

Влияние режимных параметров на поток азота в контур

Наличие теплоносителя в контуре	Поток аргона из контура, л/ч	Температура, °С	Поток азота в контур, л/ч
Нет	0,4	19	0,013
Нет	1,7	240	0,051
Есть	2,5	320	0,085
Нет	5,5	19	0,175

Прослеживается прямо пропорциональная зависимость потока азота в контур от потока аргона из контура, причем характер утечки аргона из контура и поступления азота в контур практически не зависел от режима работы стенда.

При температуре 19 °С вместе с ростом концентрации азота в газовом контуре росла концентрация кислорода в соотношениях, близких к соотношению азота и кислорода в воздухе. Однако при температурах 240 °С и 320 °С после кратковременного увеличения объемная доля кислорода уменьшалась и стабилизировалась на уровне 0,02% об., что указывает на поглощение кислорода при повышенных температурах материалами контура и свинцово-висмутовым теплоносителем.

Таким образом, подтверждено натекание воздуха в контур на противодавление и более достоверной является оценка скорости натекания по азоту из-за поглощения кислорода теплоносителем и поверхностями контура в разогретом состоянии.

### *Литература*

1 Cercignani C. Numerical Study of the Strong Evaporation of a Binary Mixture. // Fluid Dynamics Research. – 1991. – Vol. 8. – Iss. 5-6. – PP. 175-187.

2 Гулевский В.А., Орлов Ю.И., Ефанов А.Д., Мартынов П.Н., Левченко Ю.Д., Ульянов В.В. Гидродинамические, физико-химические и технологические аспекты использования жидких металлов в ЯЭУ // Вопросы атомной науки и техники. Серия: Физика ядерных реакторов. – 2008. – Вып.4. – С. 15-33.

## **ВЛИЯНИЕ ПРИМЕСИ КИСЛОРОДА НА КОНЦЕНТРАЦИЮ ОКСИДОВ В ЭВТЕКТИЧЕСКОМ СПЛАВЕ КАЛИЯ С НАТРИЕМ**

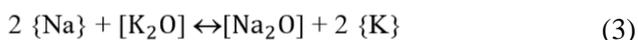
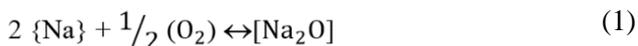
*В.С. Кремлёва, В.В. Ульянов, М.М. Кошелев  
АО «ГНЦ РФ – ФЭИ», г. Обнинск, Россия*

Ядерно-энергетические установки в настоящее время находят широкое применение в различных областях деятельности человека. Помимо промышленного производства электричества, ядерным реакторам нашли применение в установках космического назначения. Использование ядерных реакторов в системах энергоснабжения космических объектов практически снимает все ограничения в удовлетворении энергопотребностей при выполнении основных задач [1].

В качестве теплоносителя ядерного реактора космического назначения можно использовать литий, натрий, натрий-калиевую эвтектику. Последняя обладает рядом достоинств: низкая температура плавления, составляющая около - 12 °С – для ядерных энергетических установок космического назначения применение теплоносителя с низкой температурой замерзания упрощает требования к конструкции системы охлаждения;

относительная маленькая плотность эвтектического сплава позволяет уменьшить массогабаритные характеристики установки и снизить энергопотребление на прокачку теплоносителя.

При использовании натрий-калиевой эвтектики или иного теплоносителя в ядерном реакторе требуется поддержание и контроль качества данного теплоносителя. Основными химическими элементами, вступающими в реакцию с натрий-калиевой эвтектикой, являются кислород, водород, азот, хром, железо. Однако основной примесью, влияющей на качество эвтектики, является кислород. Поэтому был проведен анализ реакций взаимодействия компонентов натрий-калиевой эвтектики с кислородом. Были рассмотрены следующие реакции:



где  $\{Na\}$ ,  $\{K\}$  – жидкие натрий и калий;  $(O_2)$  – газообразный кислород;  $[K_2O]$ ,  $[Na_2O]$  – взвешенные оксиды калия и натрия.

В результате термодинамических реакций выявлено, что в диапазоне температур от 98 до 784 °С равновесие может быть достигнуто при существенно большей активности оксида натрия по сравнению с оксидом калия (см. рис.1). Это означает, что на каждую молекулу оксида калия в растворе будет приходиться от  $10^2$  до  $10^7$  молекул оксида натрия.

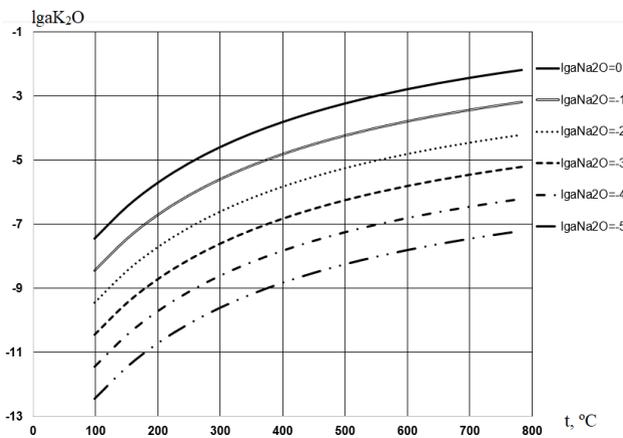


Рис.1. Температурные зависимости логарифмов активности оксида калия в натрий-калиевой эвтектике при различных активностях оксида натрия.

Таким образом, образование оксида калия в твердой фазе в натрий-калиевой эвтектике не обосновано, при анализе процессов массопереноса кислорода основное значение имеет реакция (1).

### *Литература*

1 Кузнецов В.А. Ядерные реакторы космических энергетических установок. – М: Атомиздат, 1977. – С 24 - 26.

## ПОСЛЕДСТВИЯ ПРОВЕДЕНИЯ КИБЕРФИЗИЧЕСКИХ АТАК НА ЯДЕРНУЮ ЭНЕРГЕТИКУ

*М.В. Ляхнов<sup>1</sup>, М.Ю. Егоров<sup>1,2</sup>*

*<sup>1</sup> – Санкт-Петербургский государственный университет  
аэрокосмического приборостроения,  
г. Санкт-Петербург, Россия*

*<sup>2</sup> – Санкт-Петербургский государственный лесотехнический  
университет им. С.М. Кирова, г. Санкт-Петербург, Россия*

**Цель работы** – анализ способов противодействия киберразведке и проведению киберфизических атак.

Один из возможных способ остановки работы энергосистемы государства является проведение киберфизических атак на критически важную инфраструктуру [1].

Для защиты единой энергосистемы Российской Федерации от такого рода кибератак необходимо исследовать

- как систему можно атаковать,
- где в системе расположены уязвимости,
- насколько критично сменить тот или иной канал передачи технической информации [2].

Существует несколько способов предотвращения кибератак на энергосистему [3]. Одним из главных является способ поимки киберразведывательного программного обеспечения и обнаружения киберразведчиков.

В работе проанализирована киберфизическая атака Stuxnet, проведённая на иранский завод по обогащению урана и отбросившая ядерную программу Ирана на несколько лет.

Установлено, в каком направлении направлено атакующее программное обеспечение противника и какие части системы (энергосистемы и информационной системы) подверглись разведке [4].

**Выводы.** Рассмотрены принципы киберразведки и методы противодействия сетевому криминалистическому анализу со стороны атакующей группы.

## *Литература*

1 Noor U., Anwar Z., Malik A.W., Khan S., Saleem S. A machine learning framework for investigating data breaches based on semantic analysis of adversary's attack patterns in threat intelligence repositories // Elsevier. – 2019 – V. 95 – P. 467-487.

2 Ruiz J.F., Desnitsky V.A., Harjani R., Manna A., Kotenko I.V., Chechulin A.A. A methodology for the analysis and modeling of security threats and attacks for systems of embedded components / Parallel, Distributed and Network-Based Processing, 2012 20th Euromicro International Conference on. – IEEE, 2012. – С. 261-268.

3 Малюк А.А., Пазизин С.В., Погожин Н.С. Введение в защиту информации в автоматизированных системах. – М.: Горячая линия - Телеком, 2017. – 147 с.

4 Бузов Г.А. Защита информации ограниченного доступа от утечки по техническим каналам. – М.: Горячая линия - Телеком, 2016. – 827 с.

## **РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ МОЩНОСТИ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ АЭС**

*З.Е. Плуталов, Д.А. Распопов*

*Обнинский институт атомной энергетики – филиал  
Национального исследовательского ядерного  
университета «МИФИ», г. Обнинск, Россия*

Технический прогресс в производственной сфере характеризуется увеличением потребления электроэнергии. Это затронуло и АЭС, на которой используется большое количество электрооборудования. Задача состоит в том, чтобы энергопотребление стало максимально эффективным и экономичным. Одним из путей повышения эффективности использования электроэнергии является совершенствование структур управления энергетикой. В настоящее время это достигается созданием интеллектуальных сетей.

Существующие методики прогноза электрической нагрузки потребителей, как правило, основываются на статистическом анализе временных рядов потребления электроэнергии. В общем случае прогнозирующая математическая модель электропотребления может включать в себя факторы влияющие на величину потребления электроэнергии, по которым имеются достоверные фактические данные. Методика допускает использование следующих влияющих факторов, такие как: время, суточные графики метеорологических параметров. [1-2].

Но эти методы не всегда дают точные прогнозы, так как аналитики основываются на усредненных данных и не учитывают много факторов. Точное прогнозирование потребления электроэнергии промышленного оборудования требует анализа внутренних производственных факторов.

В своей работе был выбран краткосрочный период прогнозирования, который подразумевает составление прогноза на один или несколько часов. Для модели прогнозирования использовалась ЭВМ, аналогичная оборудованию АЭС. В результате исследования были получены данные потребления электроэнергии. В эксперименте были получены данные мощности в трех состояниях: 1) без нагрузки 2) средняя нагрузка 3) максимальная нагрузка. На основании собранных данных была построена математическая модель прогнозирования мощности энергопотребления. На рис. 1 показана работа модели на полученных экспериментальных данных.

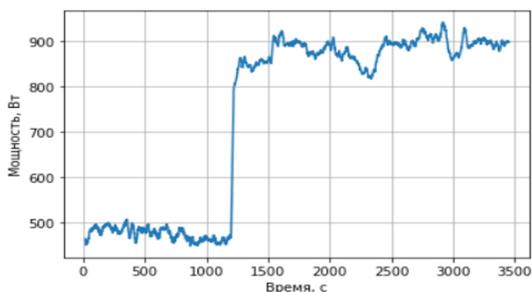


Рис. 1. Прогнозирование мощности энергопотребления с помощью математической модели.

## *Литература*

1 Казаринов Л.С., Барбасова Т.А., Колесникова О.В., Захарова А.А. Метод прогнозирования энергопотребления промышленного предприятия // Вестник Южно-уральского государственного университета. Серия: компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. – 2014. – Т. 14. – № 1. – С. 5-13.

2 Шульгинов Н.Г. Методика прогнозирования графиков электропотребления для технологий краткосрочного планирования // ОАО "СО - ЦСУ ЕЭС", 2007.

## **РЕАЛИЗАЦИЯ СТРУКТУРНОГО МЕТОДА РАСЧЁТА НАДЁЖНОСТИ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ ПРИ ПРОСТОМ СОЕДИНЕНИИ ЭЛЕМЕНТОВ**

*Е.С. Ракитянская, Н.В. Третьякова, Д.С. Самохин  
Обнинский институт атомной энергетики – филиал  
Национального исследовательского ядерного  
университета «МИФИ», г. Обнинск, Россия*

Надежность является важным показателем качества радиоэлектронной аппаратуры. Ввиду непрерывного развития технологий сложность такой аппаратуры со временем только увеличивается. Данный факт в свою очередь влечет за собой рост потребности в программном комплексе для расчета надежности радиоэлектронной аппаратуры. При этом важным условием является соответствие требованиям точности измерений.

На данный момент уже существует большое количества программных комплексов, позволяющих рассчитать надежность различных систем.

Целью данной работы является реализация программного комплекса на основе метода структурных схем. Данный метод был выбран, как наиболее удобный и наглядный в плане понимания и изображения путей сигнала, обеспечивающих работоспособность системы [1].

Структурные схемы надежности учитывают взаимосвязь элементов друг с другом и влияние каждого элемента на работоспособность всей системы [2].

В первую очередь, на основе данного метода будет реализован расчет простых схем. К числу таких схем относятся последовательные и параллельные схемы.

### *Литература*

1 Шкляр В.Н. Надежность систем управления: учебное пособие / В.Н. Шкляр; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 126 с.

2 Надежность технических систем. Методические указания и контрольные задания по курсу «Основы теории надежности». Сост.Е.В. Сугак. – Красноярск: Сиб. аэрокосм. академия, 2001. – 42 с.

## **МЕТОДИКА АНАЛИЗА НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОРАДИОИЗДЕЛИЙ, ПОДВЕРЖЕННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЮ ПРОТОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ**

*Д.С. Самохин<sup>1</sup>, А.Д. Вострилова<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup> – Обнинский институт атомной энергетики – филиал  
Национального исследовательского ядерного  
университета «МИФИ», г. Обнинск, Россия*

*<sup>2</sup> – Национальный исследовательский ядерный университет  
«МИФИ», г. Москва, Россия*

Одной из важнейших целей расчета надежности электрорадиоизделий в составе космического аппарата является определение достигнутого (ожидаемого) уровня надежности объекта и его составных частей, в том числе расчетное определение показателей надежности или параметров распределения характеристик надежности составных частей объекта в качестве исходных данных для расчета надежности объекта в целом [1]. Для корректного расчета надежности объекта необходимо иметь экспериментальные данные о

поведение его в реальных условиях. Чтобы получить точные экспериментальные данные, требуется максимально качественное и стандартизированное проведение эксперимента.

Модель проведения эксперимента должна быть четко спланирована. План проведения испытаний включает в себя:

- установление признака отказа объекта;
- выбор определяющего показателя надежности для изучаемого объекта;
- определение условий испытаний по нагрузкам, режимам работы, окружающей среде и т.д.;
- установление способа контроля работоспособности;
- определение числа изучаемых объектов;
- выбор способа замены отказавших объектов;
- выбор правила окончания испытаний.

Качественный план эксперимента соблюдает следующие условия:

1. Снижение количества испытаний, не нарушая регламента достоверности и точности их результатов;
2. увеличение информативности каждого из экспериментов в отдельности.

Стандарт [2] не допускает оценивать надежность космического аппарата по данным эксперимента, структурные схемы которой имеют ненагруженный резерв. В равной мере, невозможно воспользоваться оценками надежности электрорадиоизделий (ЭРИ), рассчитанными по результатам испытаний, в качестве predeterminedенной информации при расчете надежности ЭРИ того же номинала, подвергающихся воздействию различных дозовых и иных нагрузок.

Следовательно, планирование испытаний и их проведение необходимо для каждой отдельной единицы космической техники, с учетом особенностей компонентов самого космического аппарата и воздействующей среды.

### *Литература*

1 ГОСТ 27.301-95 Надежность в технике (ССНТ). Расчет надежности. Основные положения // М.: ИПК Издательство стандартов. – 1997. – С. 3-4.

2 ОСТ 134-1034-2012 Аппаратура, приборы, устройства и оборудование космических аппаратов // Отраслевой стандарт. – 2012. – С. 37.

## **ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ВСТАВОК ОГРАНИЧИТЕЛЕЙ ТЕЧИ ПРИ НОРМАЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ И РАЗРЫВАХ ТРУБОПРОВОДОВ СИСТЕМЫ ПОДШИТКИ-ПРОДУВКИ ПЕРВОГО КОНТУРА И РАЗРАБОТКА НОВЫХ МОДЕЛЕЙ С УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ**

*Д.Г. Скородумов<sup>1</sup>, Я.В. Чивилев<sup>1</sup>, С.В. Яуров<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup> – Обнинский институт атомной энергетики – филиал  
Национального исследовательского ядерного  
университета «МИФИ», г. Обнинск, Россия*

*<sup>2</sup> – Филиал АО «Концерн Росэнергоатом»  
«Нововоронежская атомная станция», г. Нововоронеж, Россия*

Вставки-ограничители течи (далее по тексту – ВОТ) предназначены для уменьшения на технологических трубопроводах реакций струй при одновременном сокращении аварийного расхода истекающей среды через поперечный разрыв трубопровода.

ВОТ представляет собой точеную деталь, в которой проточная часть выполнена в виде ассиметричного сопла Вентури с цилиндрическими частями по концам сопла.

В данной работе рассматриваются модернизированные геометрии ВОТ, разработанные с целью дополнительного сокращения расхода, и проводится анализ их режимов работы. Среди рассмотренных моделей: последовательное соединение ограничителей, ограничители с параллельным пучком из нескольких сопел Вентури, ограничители с завихрителями в виде спиральных бугров/ямок на внутренней поверхности сопла.

Для оценки эффективности рассматриваемых конструкций проводились теплогидравлические стационарные расчеты в программном коде Ansys CFX.

Эффективность схем с последовательными ограничителями по величине расхода не отличается от эффективности одного аналогичного ограничителя. Результаты остальных измененных моделей приведены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты расчетов

Тип конструкции	Критический массовый расход, кг/с	Перепад давления в режиме НЭ, МПа
исходная	107,52	0,0360
с 2-мя соплами	53,85	0,1639
с 3-мя соплами	59,22	0,1411
с 5-ю соплами	48,69	0,2319
со спиралью-ямкой	109,04	0,0514
со спиралью-бугорком	90,89	0,1288
с 2-мя спиральями-бугорками	81,15	0,1409
с 4-мя спиральями-бугорками	78,77	0,1263

Согласно проведенным расчетным исследованиям, у большинства модернизированных моделей наблюдается снижение аварийного расхода, но и соответственно возрастает перепад давления при нормальной эксплуатации. Оптимальной конструкцией по соотношению этих параметров можно считать ограничитель с 4-мя спиральями-бугорками.

### *Литература*

1 Хлесткин Д.А., Мальцев Б.К., Канищев В.П. Ограничители расхода при разрывах трубопроводов // Атомная энергия. – 1986. – Т.61. – Вып. 5. – С. 377-378.

2 Букринский А.М., Мальцев Б.К., Хлесткин Д.А. Способ ограничения свободного истечения потока среды из замкнутой системы. / А. с. 306378. – Б. И. – 1971. – №19.

3 Белозеров В.И., Жук М.М., Терехова А.М. Исследование режима с малой течью в первом контуре ВВЭР-1000 // Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2018. – №3. – С. 137-147.

## **СУЩЕСТВУЮЩИЕ СИСТЕМЫ ОЧИСТКИ НАТРИЕВОГО ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ**

*Р.О. Сулягина, В.В. Алексеев, И.А. Сулягин  
АО «ГНЦ РФ-ФЭИ», г. Обнинск, Россия*

Поддержание чистоты теплоносителя является одним из важнейших условий эффективной и безопасной работы реакторной установки. Для этих целей существуют специальные системы очистки натриевого теплоносителя от примесей, постоянно поступающих в контур. Примеси, присутствующие в теплоносителе, могут вызывать эффекты, усложняющие эксплуатацию реакторной установки. К основным источникам примесей относятся: примеси в исходном натрии, конструкционные и технологические материалы, защитный газ, попадание примесей при разгерметизации контура во время монтажных и ремонтных работ, смазочные средства, продукты ядерных реакций и т.д. [1].

Системы очистки должны удовлетворять следующим основным требованиям: обеспечивать требуемую чистоту теплоносителя в условиях длительной эксплуатации АЭС, иметь необходимую емкость по примесям, иметь производительность, гарантирующую очистку за время, заданное техническим заданием на установку [2], простота конструкционного исполнения и эксплуатации.

Очистку натриевого теплоносителя необходимо проводить как перед заполнением контура, так и непосредственно в контуре в процессе эксплуатации. К возможным системам очистки, используемым при предварительной подготовке теплоносителя, относятся дистилляция, фильтрация, отстаивание, центрифугирование и обезгаживание. Для очистки теплоносителя в контуре используются ловушки [3]. Ловушки

принято классифицировать по признакам, представленным на рис. 1.

В настоящее время проблема заключается в разработке наиболее эффективного метода. Анализ существующих систем очистки показывает, что имеются возможности улучшения их технологических характеристик. При размещении систем очистки в баке реактора из-за ограниченности объема, требования к характеристикам систем очистки по производительности и емкости повышаются.

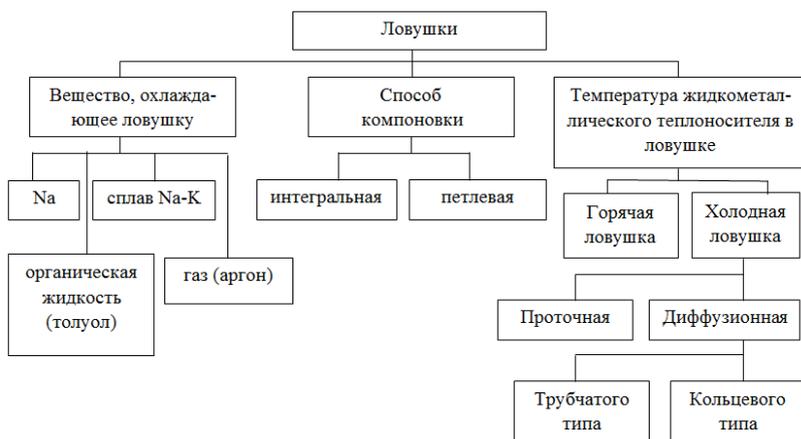


Рис. 1. Классификация ловушек, используемых для очистки теплоносителя.

Перспективным направлением исследований являются горячие ловушки, сконструированные ранее для использования на космических станциях. При всех положительных моментах, множествах исследований стоит также отметить, что одновременно целый ряд конкретных вопросов, связанных, например, с поиском оптимального геттерного материала для горячей ловушки, остаются мало изученными и исследованными.

## *Литература*

1 Сутягина Р.О., Алексеев В.В., Сутягин И.А. Обзор существующих систем очистки в области жидкометаллических теплоносителей: Препринт ФЭИ – 3295. Обнинск, 2021. – 53 с.

2 Сорокин А.П., Труфанов А.А. Очистка натрия АЭС с реакторами на быстрых нейтронах // ВАНТ, сер. Ядерно-реакторные константы. – 2017. – Вып. 3. – С. 142–162.

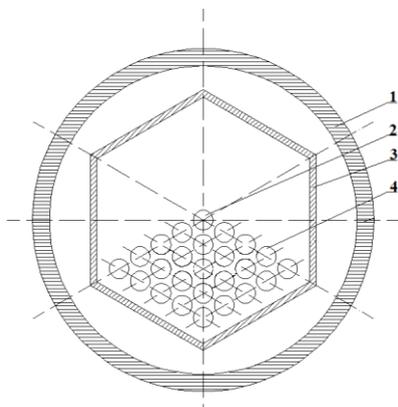
3 Козлов Ф.А. и др. Жидкометаллические теплоносители ЯЭУ. Очистка от примесей и их контроль. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 122 с.

## **РАСЧЕТ НЕСТАЦИОНАРНОГО ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ЭЛЕМЕНТОВ ТВС РЕАКТОРА ТИПА БН, НАХОДЯЩЕЙСЯ В ГАЗОВОЙ СРЕДЕ**

*Р.О. Сутягина, И.А. Пахомов  
АО «ГНЦ РФ-ФЭИ», г. Обнинск, Россия*

Отработавшие ТВС (ОТВС), транспортируемые в газовой среде, обладают сравнительно высоким остаточным тепловыделением (~ 7 кВт/ТВС) и низкой аккумулирующей способностью, что вызывает опасность перегрева оболочек твэла и их оплавления. Эти обстоятельства ограничивают время транспортировки ТВС. Для определения безопасных условий обращения с ОТВС в газовой среде была разработана методика расчета.

Объектом моделирования является ТВС реактора на быстрых нейтронах в трубе-гильзе. Задача определения температур элементов ТВС сводится к решению системы дифференциальных уравнений нестационарного теплообмена первого порядка методом конечных разностей по явной схеме. Расчетная схема ТВС представлена на рис. 1. ТВС находится в вертикальном положении в трубе-гильзе в газовой среде, имеющей неограниченный объем и постоянную температуру газа.



1 – труба-гильза; 2 – центральный твэл; 3 – чехол ТВС; 4 – ряд твэлов  
Рис. 1. Расчетная схема ТВС, находящейся в трубе-гильзе.

Для данной расчетной модели принята следующая физическая модель: теплоотдача с наружной поверхности трубы-гильзы осуществляется за счет естественной конвекции окружающего газа и излучения, теплопередача между внутренней поверхностью трубы-гильзы и наружной поверхностью чехла ТВС осуществляется за счет излучения и теплопроводности (с учетом конвекции) газового зазора и теплопередача между чехлом и наружным рядом твэлов и между рядами твэлов осуществляется за счет излучения и теплопроводности газового зазора.

Реализация данной методики рассмотрена на примере расхолаживания ТВС реактора типа БОР-60 в среде воздуха с исходными данными из [1-6]. Расчет температурного состояния ТВС в газовой среде трубы-гильзы проводился для различных значений мощности остаточного энерговыделения (0,15 – 0,35 кВт/ТВС).

Полученные результаты расчета показали, что значения стационарной температуры элементов ТВС сильно зависят от степени черноты соответствующих элементов. Информация о значениях стационарной температуры и времени разогрева ТВС позволяет избежать перегрева во времени операций с ОТВС.

## *Литература*

1 Корольков А.С. и др. Опыт эксплуатации реакторной установки БОР-60. – Атомная энергия. – 2001. – Т.91. – Вып. 5. – С. 363-369

2 Характеристики реактора на быстрых нейтронах // [Электронный ресурс] Режим доступа: URL: <http://www.niiar.ru> (дата обращения 06.12.2021).

3 Жемков И.Ю. Научно-методическое сопровождение эксплуатации исследовательского реактора на быстрых нейтронах: Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. Дмитровград. 2014. – 215 с.

4 Виноградов М.К., Федупин В.Н. Исследовательские ядерные установки государств – участников Содружества Независимых Государств. – М.: Гелиос АРВ, 2016. – 480 с.

5 Латыев Л.Н. и др. Излучательные свойства твердых материалов. – М.: Энергия, 1974. – 472 с.

6 Кириллов П.Л., Юрьев Ю.С., Бобков В.П. Справочник по теплогидравлическим расчетам (Ядерные реакторы, теплообменники, парогенераторы). Под общ. Ред. П.Л. Кириллова. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 296 с.

## **ВЛИЯНИЕ СОДЕРЖАНИЯ РАСТВОРЕННОГО ОКСИДА СВИНЦА НА ИНТЕНСИВНОСТЬ РАЗЛОЖЕНИЯ ВОДЯНОГО ПАРА В СВИНЦОВО-ВИСМУТОВОЙ ЭВТЕКТИКЕ**

*В.В. Ульянов, М.М. Кошелев, В.С. Кремлёва  
АО «ГНЦ РФ – ФЭИ», г. Обнинск, Россия*

Существующие теоретически обоснованные способы получения водорода можно условно разбить на 4 основные направления: низкотемпературное (<100 °С) разложение воды электролизом; термическое разложение воды при температурах выше 2500 °С; варианты окислительной конверсии и пиролиза газообразных и жидких углеводородов (паровая конверсия метана, парциальное окисление природного или попутного нефтяного газов, пиролиз метана, получение коксового газа из угля и др.); термоэлектрохимические и термохимические циклы

получения водорода из воды. К последнему направлению относится также способ, рассматриваемый авторами.

Процесс взаимодействия водяного пара со свинцово-висмутовой эвтектикой происходит посредством обмена кислородом между газовой и жидкой фазами. Равновесное состояние в реакции взаимодействия водяного пара с жидким металлом представлено на рис. 1 [1].

Анализ изображенных кривых показывает, что в случае использовании свинцово-висмутовой эвтектики возможно эффективное разложение водяного пара с образованием водорода практически при любых температурах. При этом для обеспечения эффективности разложения водяного пара необходимо уменьшать активность оксида свинца  $a_{PbO}$  в свинцово-висмутовой эвтектике, поскольку ее увеличение приводит к проявлению у свинцово-висмутовой эвтектики химической инертности по отношению к водяному пару.

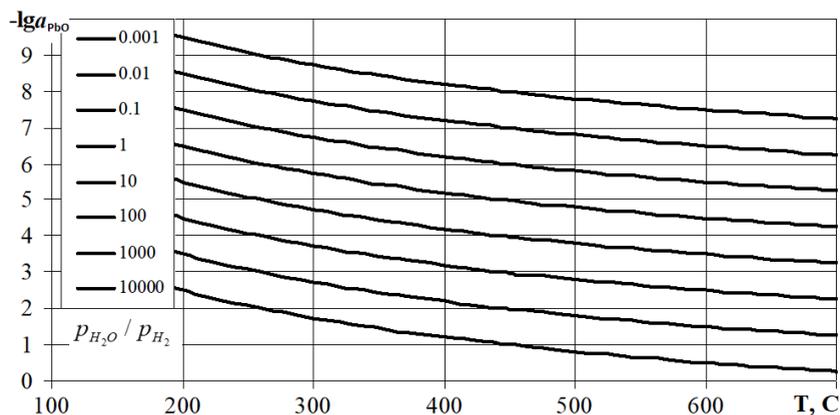


Рис. 1. Зависимость равновесной активности оксида свинца от состава газовой смеси и температуры свинцово-висмутовой эвтектики.

Справедливость теоретических выкладок авторы проверили в условиях лабораторного эксперимента, результаты которого представлены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты эксперимента влияния активности оксида свинца на интенсивность разложения водяного пара

Температура Pb-Bi, °С	Расход водяного пара, л/ч	$a_{PbO}$	Скорость генерации водорода, л/ч
595	45,5	$2,7 \cdot 10^{-3}$	0,5
690	45,3	$4,1 \cdot 10^{-3}$	2,9
810	45,2	$8,5 \cdot 10^{-4}$	4,2
830	46,7	$\sim 1 \cdot 10^{-4}$	7,1

Из полученных результатов видно, что уменьшение активности оксида свинца приводит к увеличению интенсивности разложения водяного пара. Однако, гораздо больший эффект оказывает увеличение температуры процесса.

### *Литература*

1 Ulyanov V.V., Gulevsky V.A., Storozhenko A.N., Teplyakov Y.A. Control of oxidizing potential of Pb and Pb-Bi coolants // Oriental Journal of Chemistry. – 2015. – V. 31. – № 4. – P. 2059-2069.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ РАДИОАКТИВНЫХ ИЗОТОПОВ В ТОПЛИВЕ С ДОБАВЛЕНИЕМ ТОРИЯ НА ПРИМЕРЕ ЭЛЕМЕНТАРНОЙ ЯЧЕЙКИ ВВЭР-1000**

*Е.И. Фирсов, М.З. Буркеев, Р.А. Внуков  
Обнинский институт атомной энергетики – филиал  
Национального исследовательского ядерного  
университета «МИФИ», г. Обнинск, Россия*

Работа посвящена изучению изменения концентраций изотопов  $Pu^{231}$ ,  $U^{232}$  для различного содержания оксида  $Th^{232}$  в уран-ториевом оксидном топливе элементарной ячейки ВВЭР (рис. 1). Отслежено общее изменение активности обработанного ядерного топлива.

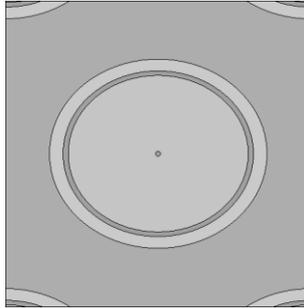


Рис. 1. Геометрия модели элементарной ячейки ВВЭР-1000.

Выбрано топливо с неизменным 4.95% обогащением по  $U^{235}$  с 0,001%, 0,005%, 0,01%, 0,05%, 0,1%, 1%, 5%, 10% добавлением оксида тория относительно исходной модели взамен оксида урана.

Проведена оценка возможности использования уран-ториевого топлива по параметрам начального энерговыделения топлива (рис. 2) и  $K_{inf}$ . Оценка критичности модели проводилась в программном комплексе Serpent, использующем метод Монте-Карло [1].

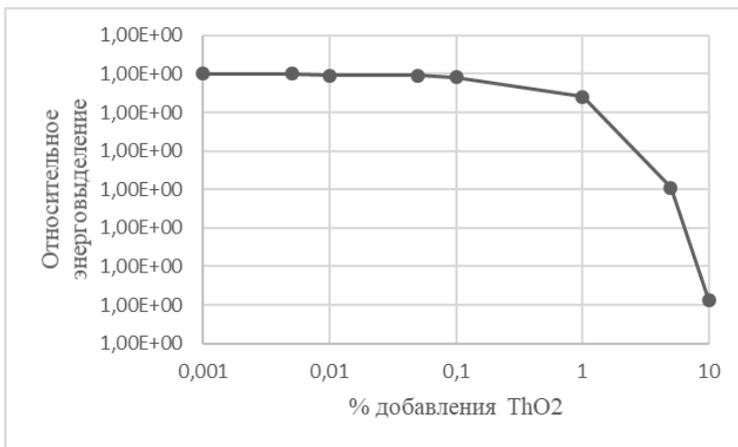


Рис. 2. Относительное энерговыделение топлива при различной концентрации оксида тория.

В торий-урановом топливном цикле помимо  $\text{Pa}^{231}$  и  $\text{U}^{232}$  представляют интерес продукты их распада ввиду активности последних. В рамках работы измерена остаточная активность отработанного ядерного топлива.

По данным  $K_{\text{inf}}$  и энерговыделения топлива в процессе кампании 0,1% содержание  $\text{ThO}_2$  в топливе не повлечет необходимость существенных изменений геометрии активной зоны, что говорит о возможности использования в реакторах с существующей конструкцией. Для топлива с 0,1% содержанием тория замечено увеличение активности на 0,217% в конце кампании после 30-дневной выдержки, что предположительно является приемлемым.

### *Литература*

1 Leppänen J., Pusa M., Viitanen T. et al. The Serpent Monte Carlo code: Status, development and applications in 2013. // Annals of Nuclear Energy. 2015.– V. 82. – P.142-150.

## **МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ РЕАКТИВНОСТИ ЯДЕРНОГО РЕАКТОРА**

*Д.Д. Цветкова, Т.С. Дикова, А.М. Терехова  
Обнинский институт атомной энергетики – филиал  
Национального исследовательского ядерного университета  
«МИФИ», г. Обнинск, Россия*

В данной работе мы ставим цель рассмотреть основные методы измерения реактивности, такие как метод обратного умножения, метод асимптотического периода, метод реактиметра и др. Оценить их актуальность и перспективы развития.

Измерения реактивности продолжают оставаться актуальной задачей поскольку, поведение реактора во времени определяется его реактивностью.

Поэтому для управления реактором надо понимать, как изменяется реактивность в зависимости от конфигурации активной зоны, от глубины выгорания топлива, от изменения

технологически характеристик реактора и т.д. [1]

Следовательно, было разработано много различных по математическому и аппаратурному подходу методов измерения реактивности, каждый из которых имеет свою оптимальную область применения. Не существует универсального для всех случаев метода.

Суть проблемы измерения реактивности заключается в том, что нет точного аналитического алгоритма, связывающего показания детектора и реактивность ядерного реактора [2].

В настоящее время методы измерения реактивности реакторов продолжают требовать развития.

### *Литература*

1 Казанский Ю.А., Матусевич Е.С. Экспериментальные методы физики реакторов – М: Энергоатомиздат, 1984. - 270с.

2 Казанский Ю.А., Матусевич Е.С. Экспериментальная физика реакторов. Учебное пособие для ВУЗов. – М: Энергоатомиздат, 1994. - 352с.

## **РАСЧЕТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОНКУРИРУЮЩИХ ПРОЦЕССОВ ДВИЖЕНИЯ СРЕДЫ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТЕПЛООБМЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ СО СПИРАЛЬНО НАВИТЫМИ ТРУБКАМИ**

*Я.В. Чивилев<sup>1</sup>, Д.Г. Скородумов<sup>1</sup>, С.В. Яуров<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup> – Обнинский институт атомной энергетики – филиал  
Национального исследовательского ядерного университета  
«МИФИ», г. Обнинск, Россия*

*<sup>2</sup> – Филиал АО «Концерн Росэнергоатом»  
«Нововоронежская атомная станция»  
г. Нововоронеж, Россия*

В ходе проведения пуско-наладочных работ на этапе холодно-горячей обкатки бго блока НВАЭС-2 было выявлено, что технологические параметры регенеративного теплообменника продувки и дренажей не соответствует

заявленным заводом изготовителем в проекте значениям [1]. При подробном анализе режимов работы РТО выяснилось, что основной вклад в его эффективность вносят два конкурирующих процесса:

1) принудительное движение среды, создаваемое за счет работы насосов системы;

2) свободное (конвективное) движение среды, создаваемое за счет подъемно-опускных сил вследствие изменения температуры и плотности среды [2].

Теплообменник представляет собой аппарат вертикального типа. Он состоит из двух съемных крышек, корпуса, патрубков, опор, строповых устройств, цилиндрических многозаходных змеевиков, расположенных внутри корпуса между двумя трубными решетками [3].

Учитывая полученные экспериментальные данные режимов работы РТО, была разработана теплогидравлическая модель, посчитанная в HS коде, в среде динамического моделирования SimInTech с целью анализа влияния выявленного эффекта на эффективность работы теплообменника.

В табл. 1 представлены численные значения температуры на входе/выходе в РТО в случаях противоположного и однонаправленного направления вынужденного и свободного движения среды для различных расходов среды.

Таблица 1

Численные значения температуры на входе/выходе в РТО в случаях противоположного и однонаправленного направления вынужденного и свободного движения среды для различных расходов среды

Направление среды	Параметр	Экспериментальные данные			Расчетные данные		
Противоположные	G продувки на входе в РТО, т/ч	148	60	140	148	60	140
	T на входе в РТО охлаждаемой среды, °C	281	280	285	281	280	285
	T на выходе из РТО охлаждаемой среды, °C	144	205	>10 0	146	190	195
	T на входе в РТО охлаждающей среды, °C	62	60	50	62	60	50
	T на выходе из РТО охлаждающей среды, °C	212	156	240	205	160	155
Однонаправленные	G продувки на входе в РТО, т/ч	166	64	140	166	64	140
	T на входе в РТО охлаждаемой среды, °C	281	280	285	281	280	285
	T на выходе из РТО охлаждаемой среды, °C	95	71	>10 0	101	82	104
	T на входе в РТО охлаждающей среды, °C	47	33	50	47	33	50
	T на выходе из РТО охлаждающей среды, °C	241	248	240	233	250	238

Полученные результаты расчета, позволяют сделать вывод о

том, что модель в полном объеме описывает режимы работы теплообменного аппарата со спирально навитыми трубками с учетом противоположного/однонаправленного направления принудительного и свободного движения среды.

### *Литература*

1 Яуров С.В., Галиев К.Ф., Боровой А.В., Вольнов А.С. Опыт ввода в эксплуатацию системы продувки парогенераторов проекта АЭС-2006 (РУ В-392 М). / Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2017. – №3. – С. 151-161.

2 Вольнов А.С., Боровой А.В., Гончаров Е.В., Яуров С.В. Ввод в эксплуатацию системы продувки парогенераторов проекта АЭС-2006 (РУ В-392М). Предложения по модернизации. / Сб. тез. докл. XIII Международной научно-практической конференции по атомной энергетике. – Севастополь: Севастопольский государственный университет, 2017. – С. 56-57.

3 Сиряпина Л.А., Маргулова Т.Х. Повышение эффективности продувки парогенераторов АЭС с ВВЭР. // Теплоэнергетика. – 1984. – № 2. – С. 59-60.

4 Справочная система SimInTech // [Электронный ресурс] Режим доступа: URL: <http://help.simintech.ru/> ( дата посещения 10.04.2022).

5 Маргулова Т.Х. Атомные электрические станции. Учебник для вузов, 5-е изд. – М.: ИздАТ, 1994. – 288 с.

## **РАСЧЕТ ТЕПЛОВОЙ СХЕМЫ ПЕРСПЕКТИВНОЙ АЭС С РЕАКТОРОМ БРЕСТ-ОД-300 СО СВЕРХКРИТИЧЕСКИМИ ПАРАМЕТРАМИ ПАРА**

*И.А. Ширманов, С.М. Глухов, Е.Д. Стругов, С.Е. Щеклеин  
Уральский федеральный университет имени первого  
Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия*

Наиболее распространенным типом реактора в атомной энергетике является реактор с водой под давлением (ВВЭР или PWR). Существенным недостатком таких реакторов является

низкое значение начальных параметров пара (температуры и давления). Это объясняется температурным ограничением, равным 350 °С для оболочек твэлов из циркониевых сплавов [1].

Одним из способов повышения энергоэффективности атомных электростанций является улучшение ее термодинамического цикла. В настоящее время уже начался переход на сверхкритические параметры пара, что позволяет повысить КПД и снизить расход топлива.

Существует новый проект реакторных установок нового типа с использованием сверхкритических параметров воды в качестве теплоносителя и рабочего тела (реактор ВВЭР СКД). Атомные энергоблоки с такими реакторами, как показывают исследования, в настоящее время имеют ряд преимуществ перед наиболее широко используемыми ядерными реакторами в мире (ВВЭР и РБМК в России, PWR и BWR в зарубежных странах).

При достижении сверхкритических параметров пара на АЭС ожидается значительный экономический эффект за счет возможности использования существующего стандартного оборудования, рассчитанного на сверхкритические параметры пара, в технологических схемах атомных электростанций [2].

В качестве перспективной АЭС был рассмотрен проект с реактором БРЕСТ-ОД-300, который имеет ряд преимуществ, по сравнению с другими реакторами. Одной из главных особенностей данного реактора является большой запас кипения теплоносителя при умеренной энергоемкости активной зоны. Благодаря этому возникает возможность достижения высоких параметров пара, что позволяет довести общую эффективность цикла до диапазона от 43 до 47%, при 30–33 процентах для АЭС с тепловыми реакторами [3].

В работе были смоделированы различные варианты тепловых схем реактора БРЕСТ-ОД-300 при нормальных термодинамических параметрах пара, а также при сверхкритических параметрах пара ( $P=30$  МПа,  $T=650$  °С). Данные параметры достигаются при применении огневого перегрева пара и использования насосов высокого давления перед парогенератором. Варианты тепловых схем с различными исходными данными были смоделированы и рассчитаны при

помощи системы автоматизированного проектирования United Cycle [4].

Также была проведена оценка использования компрессии и неядерного перегрева пара для повышения термодинамической эффективности цикла турбоустановки [5].

По результатам расчетов определены КПД и электрическая мощность предполагаемой тепловой схемы. Определен оптимальный вариант тепловой схемы с термодинамической точки зрения.

### *Литература*

1 Щепетина Т.Д. О повышении КПД энергоблоков с водяными реакторами (ВВР) // Энергия: экономика, техника, экология. – 2010. - №12. – С.21-29.

2 Деев В.И., Круглов А.Б., Маслов Ю.А. и др. Ядерные реакторы с водой сверхкритического давления (основы теплового расчета): Учебное пособие / - 2-е изд. – Москва: Издательство Юрайт, 2018. – 156 с.

3 Драгунов Ю.Г., Лемехов В.В., Смирнов В.С., Чернецов Н.Г. // Атомная энергия. – 2012. Т.113. №1. – С.58-64.

4 United Cycle. Руководство пользователя.

5 Ширманов И.А., Костарев В.С., Литвинов Д.Н., Щеклеин С.Е. О применении компрессии и неядерного перегрева пара на реакторах на быстрых нейтронах со свинцовым теплоносителем для повышения термодинамической эффективности цикла турбоустановки // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2021. – Т. 64. – №2 – 2(759). – С.171-177.

## **КРОСС-ВЕРИФИКАЦИЯ РАСЧЕТНЫХ КОМПЛЕКСОВ САПФИР\_95&RC\_ВВЭР И САПФИР\_РФ&RC\_ВВЭР ПО ЭКСПЛУАТАЦИОННЫМ ДАННЫМ БЛОКА №1 ЛЕНИНГРАДСКОЙ АЭС**

*М.А. Шпилько, Н.А. Милютин, И.А. Ахцигер, Д.В. Иванов  
Обнинский институт атомной энергетики – филиал  
Национального исследовательского ядерного университета  
«МИФИ», г. Обнинск, Россия*

САПФИР\_95&RC\_ВВЭР.2 и САПФИР\_РФ&RC\_ВВЭР.2 основаны на одних и тех же принципах. Обе программы решают системы конечно-разностных уравнений методом итерации источника.

САПФИР\_95&RC\_ВВЭР.2 [1] аттестован Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору России для расчетов нейтронно-физических характеристик реакторов типа ВВЭР.

САПФИР\_РФ&RC\_ВВЭР.2 находится на этапе верификации для данного типа задач. Материалы сравнительного анализа, представленные в настоящей работе, могут быть использованы в дальнейшей верификации программного средства САПФИР\_РФ&RC\_ВВЭР.2.

В результате были выполнены следующие задачи:

- 1) Подготовка малогрупповых констант;
- 2) Расчет и оценка отклонения критической концентрации борной кислоты и длительности борной кампании для первой и второй топливных загрузок.

Выявлено, что отклонение данных параметров обоих программ при этом не превышает паспортную погрешность САПФИР\_95&RC\_ВВЭР.2. Результаты сравнения критической концентрации борной кислоты показывают наилучшее совпадение расчетных и экспериментальных данных на уровне мощности 90 %.

Истинные значения [2,3] и результаты расчета параметров активной зоны для первой и второй топливных загрузок представлены на рис. 1 и 2 соответственно:

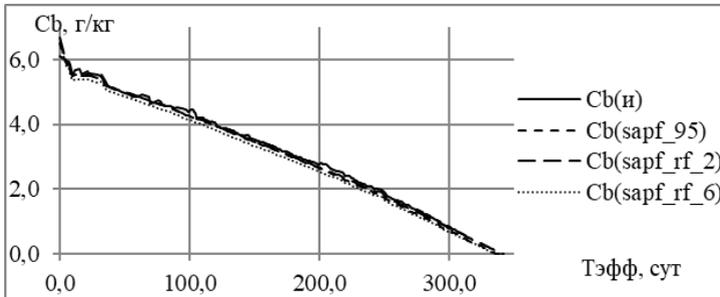


Рис.1. Критическая концентрация борной кислоты для первой топливной загрузки.

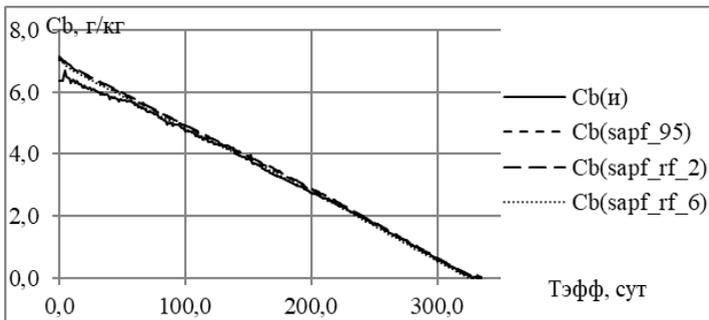


Рис.2. Критическая концентрация борной кислоты для второй топливной загрузки.

### *Литература*

1 Комплекс программ САПФИР\_95&RC\_ВВЭР.2. Аттестационный паспорт программного средства № 321, выдан Ростехнадзором 18.04.2013

2 Отчет № 1.02-1-ОЯБИН-2019 «Результаты нейтронно-физических расчетов в подтверждение безопасности 2-й топливной загрузки реактора ВВЭР-1200 блока №1 Ленинградской АЭС-2», г. Сосновый Бор, 2019

3 Отчет № 1.03-1- ОЯБИН -2020 «Результаты нейтронно-физических расчетов в подтверждение безопасности 3-й топливной загрузки реактора ВВЭР-1200 блока №1 Ленинградской АЭС-2», г. Сосновый Бор, 2020

## СЕКЦИЯ 2. ЯДЕРНЫЙ ТОПЛИВНЫЙ ЦИКЛ. ПРОБЛЕМЫ ОБРАЩЕНИЯ С ОТХОДАМИ

### ТЕХНОЛОГИЯ ОСТЕКЛОВАНИЯ ЖРО ПРИ ПОМОЩИ ИНДУКЦИОННОЙ ПЕЧИ С ХОЛОДНЫМ ТИГЛЕМ

*А.В. Волуца<sup>1</sup>, М.Ю. Егоров<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup> – Санкт-Петербургский государственный университет  
аэрокосмического приборостроения,  
г. Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> – Санкт-Петербургский государственный лесотехнический  
университет им. С.М. Кирова, Санкт-Петербург, Россия

**Актуальность.** Жидкие радиоактивные отходы – это ядерные отходы, которые образуются в результате эксплуатации атомных электростанций. Для захоронения ЖРО используется технология остекловывания, в которой применяется индукционная печь с холодным тиглем, см. рис. 1.

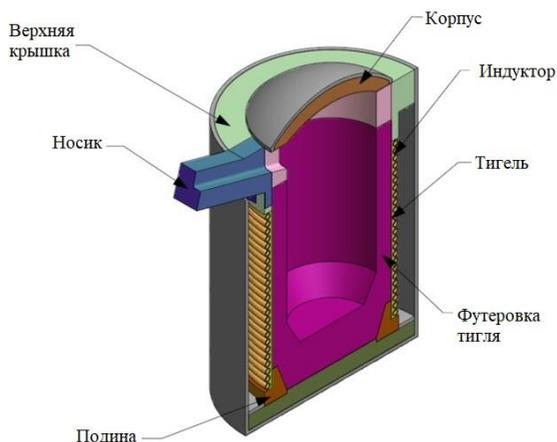


Рис.1. Индукционная печь с холодным тиглем.

**Цель работы** – проанализировать достоинства и недостатки индукционной печи с холодным тиглем.

Индукционный нагрев осуществляется с помощью преобразования энергии электромагнитного поля в тепловую [1].

В индукционной плавильной печи расплавляемый металл находится в тигле, вокруг которого расположен цилиндрический многovitковый индуктор. Индуктор служит для подвода высокочастотного электромагнитного поля. Внутри тигля- электропроводящий расплав оксидов. Он выделяет теплоту, которая поддерживает температуру расплава. Слив расплава проводится через сливной носик [2].

В табл. 1 приведены характеристики установки «Расплав-стекло», реализующей технологию одностадийного остекловывания радиоактивных отходов методом индукционной плавки в холодном тигле в данное время [3].

Таблица 1

Характеристики установки

Метод удержания расплава	Индукционная плавка в холодном тигле (ИПХТ)
Установленная мощность, кВт	160
Частота тока при нагреве, МГц	0,44
Масса расплава в тигле, кг	до 200
Температура расплава, °С	до 1500
Состав расплава	Фосфатные и боросиликатные стекла + продукты деления
Возможные манипуляции с расплавом	Слив расплава

### **Вывод:**

Недостатками установок с индукционным плавителем «холодный» тигель являются:

- относительно высокие энергозатраты на плавление стекла;
- сложность технологического процесса, обусловленная применением высоких температур.

## *Литература*

1 Сорокин В.Т., Павлов Д.И., Кащеев В.А., Мусатов Н.Д., Баринов А.С. Научные и проектные аспекты остекловывания жидких радиоактивных отходов АЭС с ВВЭР-1200 / Радиоактивные отходы. – 2020. – № 2 (11). – С. 56-65.

2 Научный портал «Атомная энергия 2.0»: Уникальный метод остекловывания. // [Электронный ресурс] Режим доступа: URL: <https://www.atomic-energy.ru/technology/17320> ( дата посещения 11.04.2022).

3 Сайт «НИТИ РОСАТОМ» Остекловывание радиоактивных отходов. [Электронный ресурс] Режим доступа: URL: [https://niti.ru/?page\\_id=1720](https://niti.ru/?page_id=1720) ( дата посещения 11.04.2022).

## **О РАСШИРЕНИИ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ СВЕДЕНИЙ В НАЦИОНАЛЬНОМ ДОКЛАДЕ РОССИИ ПО ОБЪЕДИНЕННОЙ КОНВЕНЦИИ ОБРАЩЕНИЯ С ОЯТ И РАО**

*Е.Г. Мамчиц, В.И. Дорогов  
ИБРАЭ РАН, г. Москва, Россия*

Рост количества вопросов к Национальному докладу России в рамках Объединённой конвенции [1–2] обуславливает необходимость совершенствования представления информации в национальном докладе России, к которому нужно отнести такие особенности, как уход от валового подхода, переход к представлению детализированных сведений и динамике изменений.

Последовательное размещение обработанных данных служит заявленным целям, а также прямым рекомендациям Объединённой конвенции в части открытости и прозрачности при предоставлении информации об объемах, активностях и конкретных радионуклидах, в рамках международного сотрудничества.

Далее представим краткие примеры предполагаемых изменений:

1. Одними из объектов с чрезвычайно высокими показателями потенциальной опасности для окружающей среды среди объектов «ядерного» наследия СССР в Российской Федерации обладают открытые водоемы-хранилища ЖРО и Теченский каскад водоемов (ТКВ).

Темпы развернутых работ позволяют с уверенностью надеяться, что принятые и реализуемые решения оправдают себя и проблема обеспечения безопасности объектов «ядерного» наследия в главной своей части будет решена. В то же время информационные впечатления от реализации этих масштабных мероприятий, описание которых размещается в национальном докладе России, остаются весьма скромными вследствие рассредоточения фрагментов информации по разным разделам национального доклада. С учетом этих особенностей в информационной подаче следует делать акцент на сами проводимые мероприятия (табл. 1), а не на количественное изменение характеристик.

Таблица 1

Пример предоставления результатов - проводимые мероприятия по обеспечению безопасного состояния водоема В-9

Год	Мероприятия
2018	<p>Обеспечено поддержание в безопасном состоянии<sup>^</sup></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- проведен мониторинг загрязнения подземных вод;</li> <li>- проведен геодезический мониторинг массива отсыпки акватории водоема В-9;</li> <li>-проведен мониторинг загрязнения атмосферы;</li> <li>-выполнено поддержание в безопасном состоянии массива засыпки, водоотводящего нагорного канала и подъездных дорог к ПХ РАО В-9;</li> <li>-проведен радиационный мониторинг ПХ РАО В-9.</li> </ul>
2019	<p>Проведён мониторинг Теченского каскада водоемов и гидротехнических сооружений:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-обслуживание и ремонт ГТС ФГУП «ПО «Маяк» и их элементов;</li> <li>-мониторинг состояния подземных вод вокруг поверхностных водоёмов-хранилищ жидких радиоактивных отходов (ЖРО)</li> </ul>

	ФГУП «ПО «Маяк»; -мониторинг загрязнения атмосферы в районе расположения поверхностных водоёмов-хранилищ ЖРО ФГУП «ПО «Маяк»; -аналитическое и нормативно-методическое обеспечение реализации «Стратегического мастер-плана решения проблем Теченского каскада водоёмов».
--	---

2. Значительно информативней должен быть представлен блок, посвященный обеспечению безопасности захоронения ЖРО с описанием хода работ по учету рекомендаций миссии МАГАТЭ по обеспечению долговременной безопасности полигонов глубинной закачки ЖРО.

3. На завершающем этапе обращения с ОЯТ предусматривается переработка топлива на действующем радиохимическом заводе РТ-1 ФГУП «ПО «Маяк» и строящемся заводе ФГУП «ГХК». Отдельные сведения и их краткое изложение требуют расширения представления о радиационной и экологической безопасности завершающей стадии.

4. Руководящими принципами Объединенной конвенции предлагается включать в национальные доклады описание работ по выводу из эксплуатации, выполнение которых требует значительных усилий по ограничению влияния на окружающую среду.

В заключение отметим, что концептуальные предложения по совершенствованию представления информации, предложенные в настоящей работе, могут послужить основой для разработки следующего 7-го национального доклада России по Объединённой конвенции.

### *Литература*

1 Крюков О.В., и др. Выполнение обязательств России в рамках Объединенной конвенции о безопасности обращения с отработавшим топливом и о безопасности обращения с радиоактивными отходами //Радиоактивные отходы. – 2019. – № 1. – С. 25—36.

2 Мамчиц Е.Г., Дорогов В.И. Об аспектах концентрации интересов зарубежных стран на актуальных экологических проблемах в национальных докладах России в рамках Объединенной конвенции // Тезисы докладов IV Международной (XVII Региональной) научной конференции «Техногенные системы и экологический риск». Под общей редакцией А.А. Удаловой. Обнинск, 2021 С.101-103.

## **ПОТЕНЦИАЛ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГИДРИДОВ МЕТАЛЛОВ В БЫСТРЫХ РЕАКТОРАХ**

*Р.А. Шагинян*

*АО «ГНЦ РФ-ФЭИ», г. Обнинск, Россия*

Реактор на быстрых нейтронах отличается от теплового высоким нейтронным потоком и большим избытком нейтронов, что позволяет такому реактору, кроме производства тепла, выполнять и ряд других задач. В то же время интенсивность большинства ядерных реакций увеличивается при взаимодействии с нейтронами низких энергий, но в быстром реакторе таких нейтронов нет, их надо сначала замедлить. Самым эффективным замедлителем является водород, который за одно столкновение может превратить быстрый нейтрон в тепловой. При этом чтобы не потерять достоинства быстрого реактора, водород нужно размещать не гомогенно по всей активной зоне, а локально, в отдельных сборках. Для этого нужен «твердый» водородсодержащий замедлитель, таковыми могут быть гидриды металлов. Данная работа посвящена исследованию возможностей, которые открывают использование гидридов металлов в быстрых реакторах.

В первом же случае, такое соединение – гидрид гафния. Материал имеет потенциал заменить существующий карбид бора. Гафний является вторичным сырьем (отходом) при производстве чистого циркония. Его применение способствует эффективному использованию ограниченных природных ресурсов.

Карбиду бора присущи следующие недостатки: набухание и потеря эффективности под облучением, отсутствие российского производства. В то время как гидриду гафния практически не присущи данные недостатки. Комбинация замедлителя и поглотителя в одной смеси позволяет создать благоприятные условия для поглощения нейтронов за счет «смягчения» спектра и повышения сечений взаимодействия. Упомянутое свойство позволяет гидриду соответствовать карбиду обогащенного бора по эффективности. Применение гидрида гафния должно быть ассоциировано исключительно с ячейками большого диаметра (более 10 см), так как по существующим данным [1] имеется существенная зависимость эффективности от толщины поглощающего элемента или доли поглотителя в ячейке.

Неэлектрическое применение АЭС и её продуктов находит много откликов в различных областях (медицина, промышленность, экология). Одним из способов неэлектрического применения АЭС является наработка радиоизотопной продукции. Потребности в радиоизотопной продукции требуют эффективные способы их наработки. Одним из основных энергетических реакторов-наработчиков искусственных радиоактивных изотопов является реактор РБМК. Однако в связи с их длительным сроком эксплуатации, они в скором времени будут остановлены. Поэтому возникает необходимость в поиске альтернативных масштабных способов наработки. Условия наработки в быстром реакторе являются неудовлетворительными для наработки большого списка изотопов, так как спектральные составляющие имеют низкую эффективность из-за низких сечений взаимодействия. В этом случае проявляется второй способ применения гидридов металлов, гидрид выступает основным материалом для облучательного устройства в быстром реакторе. В такой области свое применение находит гидрид циркония [2]. Он позволяет «смягчить» спектр, что в свою очередь повышает сечения взаимодействия мишенного материала, используемого для наработки требуемого искусственного. При этом используется преимущество быстрого реактора, имеющего высокую

плотность потока нейтронов, что позволяет увеличить скорость наработки, по сравнению с РБМК, в несколько раз.

### *Литература*

1 Стогов В.Ю., Шагинян Р.А, Шакиров А.М. Возможность замены карбида бора на гидрид гафния в органах СУЗ быстрых реакторов. Препринт ФЭИ-3296. Обнинск, 2022.

2 Э.М. Дзугоева, В.П. Евдокимов, В.Ю. Стогов, Р.А. Шагинян Исследование возможности наработки кобальта-60 заданной удельной активности в реакторе типа БН-800 // Ядерные технологии: от исследований к внедрению – 2021: Сборник материалов научно-практической конференции. – Нижний Новгород: Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, 2021. – С. 38-40.

## **СЕКЦИЯ 3. ТЕХНОГЕННЫЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ РИСКИ. РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ**

### **METHOD FOR NUMERICAL ESTIMATION OF ABSORBED DOSE IN COMPUTATIONAL PHANTOM**

*S.A. Adonle<sup>1</sup>, A.N. Solovev<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup> – Obninsk Institute for Nuclear Power Engineering,  
Obninsk, Russia*

*<sup>2</sup> – A. Tsyb Medical Radiological Research Center – branch of the  
National Medical Research Radiological Center of the Ministry of  
Health of the Russian Federation, Obninsk. Russia*

The methodology of absorbed dose estimation using computational phantoms is an important step in the dosimetry specialists training for nuclear medicine purposes. Conducting such assessments quickly and accurately without the actual use of sophisticated computer tools and full-scaled Monte Carlo models is an important task in the education procedure because it allows recognizing the background physics that take place under the actual irradiation conditions.

The main goal of this study is to estimate numerically the dose inside head-like mathematical phantom after inserting point-like source inside the patient head.

The reference level of absorbed dose rate was taken from actual measurements, during which we place the dosimeter at the exact isocenter point of the chair positioner under the laser in-room control systems. The result is that the central radiation beams intersect geometrically in a small volume that looks more like a sphere. The dosimeter used in this experimental investigation is Dosimeters of X-ray and gamma- radiation DKS-AT1121 / DKS-AT1123 [1]. It has a photon radiation energy range of 15keV – 10MeV. The average head radius for R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>, R<sub>3</sub> are 8cm, 9cm, and 10cm respectively [4]. Density for tissue is 1.04g/cm<sup>3</sup> and that of bone is 2.6g/cm<sup>3</sup> for head-like phantom. Absorbed dose rate of 550 μsv/h was recorded with an acquisition time 30s. And the photon energy was 100keV.

The value for absorbed dose obtained in one slice was 0.00030812 Sv. Using the value of absorbed dose for one slice obtained from above to calculate for absorbed dose in all slices, we got the value to be 0.34mSv. We observed a difference in absorbed dose between computational phantom and conventional CT. From the final absorbed dose value obtained in this study (0.34 mSv), it shows that computational phantom has relatively low doses as compared to conventional CT (0.6 mSv).

As a result, the primary goal of estimating numerically the dose inside a head-like mathematical phantom after inserting a point-like source inside the patient's head was accomplished. The absorbed dose in computational phantom shows that dose levels in computational phantom remained lower than those in conventional CT. Radiation dose must be kept as low as reasonably achievable at all times while balancing image quality. Estimating absorbed dose in a computational phantom without the use of sophisticated computer tools and full-scaled Monte Carlo models has helped me better understand the background physics that occur under practical irradiation conditions. However, more research is required to estimate and compare radiation dose values in the diploma work.

### ***References***

- 1 [Electronic resource] <https://atomtex.com/en/at1121-at1123-x-ray-and-gamma-radiation-dosimeters>.
- 2 Mohan K., Muhammad S., Ashwin S., Madhu K., Cone Beam Computed Tomography - Know its Secrets. J Int Oral Health. 2015 Feb.
- 3 Loubele M., Bogaerts R., Van D. E., Pauwels R., Vanheusden S., Suetens P., Marchal G., Sanderink G., Jacobs R., Comparison between effective radiation dose of CBCT and MSCT scanners for dentomaxillofacial applications. Europe, Elsevier, 2008.
- 4 [Electronic resource] <https://worldzfeed.com/average-head-size/>.

# DETERMINATION OF RADON DOSES FOR STUDENTS AND PERSONNEL AT OBNINSK INSTITUTE FOR NUCLEAR POWER ENGINEERING

*M. Mungwalubilo, B.I. Synzynys  
Obninsk Institute for Nuclear Power Engineering,  
Obninsk, Russia*

Radon-222 – is a radioactive gas mainly found in the soil/rocks which naturally occurs after the decay of radium-226 of the uranium-238 decay chain.

**Purpose of Work** – Carry out measurements of radon volumetric activity, dose estimation and risk assesment at Obninsk institute campus.

**Materials and Methods** – The Radex -MR107 radon detector-indicator was used which is designed to measure the level of radioactive radon gas in residential and public buildings. The formula below was used to calculate the Annual radon equilibrium volumetric activity on -1 floor of Obninsk institutute campus main building [1].

$$A_{ann}, RnEEVA = 0.5 * (A_{warm} * F_{warm} + A_{cold} * F_{cold}) [1]$$

FRn = 0.5 is often used, for example, this value is given for use in the guidelines MU 2.6.1.2838-11.

Where:  $A_{cold}$  and  $A_{cold}$  - radon volumetric activity according to measurements in the cold and warm periods of the year, respectively, Bq / m<sup>3</sup>;  $F_{warm}$  and  $F_{warm}$  - are the values of the coefficient of radioactive equilibrium between radon and its shortlived decay products in the air in the cold and warm periods of the year, respectively, which are determined from the data of instantaneous measurements of EEVA and volumetric activity of radon in the air.

Evaluation of individual annual effective doses of external radiation of the population in Kaluga and Obninsk. [2]

$$E(A) = 1.05 * 9.0 * 10^{-9} * t * (0.2 A_{iso}, open + 0.8 A_{iso}, indoor) [2]$$

Where:  $9.0 \cdot 10^{-9}$  - dose coefficient (Sv / (h · Bq / m<sup>3</sup>)), taken in accordance with the work of UNSCEAR for 2000;  $t = 8800$  h - time of annual exposure; 0.8 – time proportion spent in the premises; 0.2 –

time proportion spent on the street; 1.05 is a coefficient of additional contribution to the dose of the parent radionuclides, Rn-220 and Rn-222 (about 5% of the radiation dose due to the short-lived daughter products of radon and thoron). Also, indoor - average EEVA of radon isotopes in indoor air, Bq / m<sup>3</sup>; Also, open - 6.5 Bq / m<sup>3</sup> average EEVA of radon isotopes in the air in the open territory of the settlement, taken in accordance with information on the world average values of the EEVA of radon isotopes in the air

**Results and Conclusions** – The effective doses {E (A) = 3.74 mSv / y} was higher than the recommended 1 mSv/y effective dose in a year by IAEA. Hence it can be concluded that the people in this place are at risk of radiation exposure. To reduce the exposure, it's recommended people to spend less time in such a premise, seal all possible radon leakage sources from the floor foundation, paint the walls of the building to reduce radon escape from the building materials and finally increase ventilation in the premises.

Table 1

Radon activity (average:79.3 [Bq/m<sup>3</sup>]  
and other parameters recorded by the Radex -MR107 radon detector

DATE [d/m/yr]	TIME EXPOSURE [Hrs]	Rn Activity [Bq/m <sup>3</sup> ]	TEMP [°C]	HUMIDITY [%]
27.05.2021	4:00	92	16.4	72
27.05.2021	1:00	73	15.6	80
27.05.2021	1:00	73	19.7	78

### *References*

1 International Commission on Radiological Protection (ICRP) // Protection against Radon-222 at Home and Work, ICRP Publication 65, Pergamon Press, Oxford, 1994. [Electronic resource] <https://icrp.org/publication.asp?id=ICRP%20Publication%2065>.

**CHEMICAL ELEMENT MIGRATION ASSESSMENT  
IN WATER BODIES NEAR  
JSC "KARPOV RESEARCH AND DEVELOPMENT  
INSTITUTE FOR PHYSICAL CHEMISTRY" (OBNINSK)**

*A.K. Nkausu, T.V. Melnikova, O.A. Momot  
Obninsk Institute for Nuclear Power Engineering,  
Obninsk, Russia*

One of the indicators characterizing the intensity of the involvement of chemical elements, including pollutants and radionuclides, in cyclic migration in an ecological-geochemical system is the coefficient of water migration.

The goal of this work was to estimate the coefficient of water migration of copper, cesium and radium in water bodies near the radiation-hazardous object of the Karpov Institute.

The object of the study were water bodies located in the sanitary protection zone (SPZ), observation zone (ZN) of the Karpov Institute (water bodies 1 (sampling points 1, 1.1/1-13), 2-4) and the Dyrochnaya and Protva rivers, which flow at a distance of 2.4 - 4.0 km from the Institute.

When conducting radioecological monitoring of water bodies near the Karpov Institute during 2020 (summer, autumn) and 2021 (spring), the following results were obtained. Mineralization of water varied in the range from 18.64 to 578.67 mg/l, content of Cu - from 0.02 to 0.13mg/l, cesium - 6.57-0.14 Bq/l and radium - 1.47-0.03 Bq/l. Based on these data, the water migration coefficients presented in Table 1 were calculated.

Based on the calculations, series of water migration of elements were compiled according to the intensity of migration: Copper >  $^{137}\text{Cs}$  >  $^{226}\text{Ra}$ . A comparative analysis of the intensity of migration of chemical elements in water bodies and rivers was carried out. An element with a low migration contrast was revealed - copper, with a high migration contrast -  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{226}\text{Ra}$ .

At the next stage of work, it is planned to: calculate the coefficients of water migration according to the elements presented in this work, which were measured in the process of radioecological

monitoring (2018-2022); estimate water migration coefficients for chlorides, iron, potassium and sodium; to compare the coefficients of water migration calculated using the clark of the element and the content of the element determined in bottom sediments.

Table 1

Results of Kw calculations for copper, cesium-137 and radium-226

№	Kx								
	Cu*			<sup>137</sup> Cs**			<sup>226</sup> Ra***		
	2020 (summer)	2020 (autumn)	2021 (spring)	2020 (summer)	2020 (autumn)	2021 (spring)	2020 (summer)	2020 (autumn)	2021 (spring)
1.1	0.71	0.91	0.34	0.64	3.40	0.11	-	-	-
1.1/1	1.56	0.69	0.68	0.27	1.98	0.19	-	-	0.16
1.1/2	1.50	1.61	-	0.14	1.89	0.24	-	0.15	-
1.1/3	0.43	0.92	0.44	0.59	0.86	0.46	0.09	-	-
1.1/4	0.78	1.04	0.42	0.63	2.75	0.46	-	-	0.02
1.1/5	0.57	2.22	0.40	0.16	3.21	0.14	-	0.09	0.01
1.1/6	0.71	-	-	0.82	-	-	-	-	-
1.1/7	0.65	-	-	0.75	-	-	-	-	-
1.1/10	8.70	-	-	1.16	-	-	0.10	-	-
1.1/11	0.60	-	-	0.16	-	-	-	-	-
1.1/12	1.29	-	-	0.21	-	-	0.07	-	-
1.1/13	1.08	-	-	0.00	-	-	0.02	-	-
2	2.31	1.59	5.21	5.42	0.43	4.02		-	-
3	7.99	-	12.76	6.38	-	5.53	2.46	-	-
4	2.88	-	-	0.69	-	3.98		-	0.08
5	0.58	-	-	0.31	-	-		-	-
6	1.63	-	-	0.64	-	-	0.01	-	-
7	1.53	-	-	2.37	-	-		-	-

\*Clark of Cu is 47 mg/kg [1];

\*\* The background level of <sup>137</sup>Cs in the soils of Obninsk is 6.9 Bq/kg;

\*\*\* Clark of <sup>226</sup>Ra is 32 Bq/kg [2];

- there is no data.

## ***References***

1 Kasimov N.S., Vlasov D.V. Clarks of chemical elements as comparison standards in ecogeochemistry // Vestn. Moscow University. ser. 5. Geography. – 2015. – No. 2. – P. 7-17.

2 Aleksakhin R.M., Arkhipov N.P., Barkhudarov R.M. Heavy natural radionuclides in the biosphere: Migration and biological effects on populations and biogeocenoses. – M.: Science, 1990. – 368 p.

## **COMPREHENSIVE ASSESSMENT OF RADIATION IMPACT FROM NATURAL RADIOACTIVITY AND TRITIUM AROUND ROOPPUR NPP BEFORE COMMISSIONING AND PREDICTED EXPOSURES OF NPP OPERATION**

*R. K. Sadhukhan<sup>1</sup>, B.I. Synzynys<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup> – Department of Electrical and Electronic Engineering, University  
of Liberal Arts Bangladesh, Dhaka-1207, Bangladesh*

*<sup>2</sup> – Obninsk Institute for Nuclear Power Engineering,  
Obninsk, Russia*

Natural exposure varies depending on the geology of each part of the globe [1]. It is necessary to obtain "background" levels of radiation situation parameters before commissioning of Rooppur NPP (RNPP). After commissioning, the radiation monitoring data will be used to quantify the dose of technogenic radiation exposure and hence contribution of RNPP to total population irradiation dose. The assessment of NPPs' radiation impact on population is a vital component of demonstrating nuclear power facilities' radio-ecological stability [2].

**Purpose of Work** – Comprehensive assessment of radiation impact from natural radioactivity and tritium (<sup>3</sup>H) around RNPP before commissioning and predicted exposures of NPP operation.

**Materials and Methods** – All accessible studies on natural radioactivity in Bangladesh from previous two decades were reviewed and collated. The major radionuclide emitted by the NPP is

$^3\text{H}$  [3]. The dose of  $^3\text{H}$   $\beta$ -radiation from drinking water on the people of Rooppur before the NPP is commissioned is evaluated using methods proposed by Momot et al. [4] and Zhuravkov et al. The linear non-threshold concept is used to estimate risk. The population's exposure to radiation from expected atmospheric releases during normal RNPP operation after commissioning is calculated using models from the IAEA Safety Report Series No. 19 and the CROM software program.

**Results and Conclusions** – Population dose and risk assessment results shown in table 1 are 4 orders of magnitude lower than permitted limits of 1 mSv/yr. (ICRP 2007) and  $5.0 \times 10^{-5}$  (NRB-99/2009), respectively, indicating that drinking water in Rooppur is safe from  $^3\text{H}$   $\beta$ -radiation risk prior to RNPP's commissioning. Fig. 1 shows that predicted yearly effective dose to local population of 3.67  $\mu\text{Sv/yr.}$  owing to air releases during normal RNPP operation is 0.37% of the population dose quota of 1 mSv/yr., resulting in a minor radiological impact after commissioning. As a result, it can be concluded that population of Bangladesh faces little radiation risk both before and after commissioning of the RNPP with two VVER-1200 reactor units.

Table 1

Estimated annual effective dose E and risk R to Rooppur population due to  $^3\text{H}$  in drinking water prior to RNPP's commissioning

Researcher	E (Sv/yr.) $\times 10^{-8}$	$\frac{E_{\text{acceptable}}}{E_{\text{obtained}}}$ $\times 10^4$	R (pers. $^{-1}$ ·yr. $^{-1}$ )	$\frac{R_{\text{acceptable}}}{R_{\text{obtained}}}$ $\times 10^4$
Momot et al.	3.4 $\pm$ 0.3	2.9 $\pm$ 0.3	(1.9 $\pm$ 0.2) $\times 10^{-9}$	2.7 $\pm$ 0.3
Zhuravkov et al.	3.7 $\pm$ 0.4	2.7 $\pm$ 0.3	(2.0 $\pm$ 0.2) $\times 10^{-9}$	2.5 $\pm$ 0.3
Acceptable limits	1 mSv/yr.	-	$5.0 \times 10^{-5}$	-

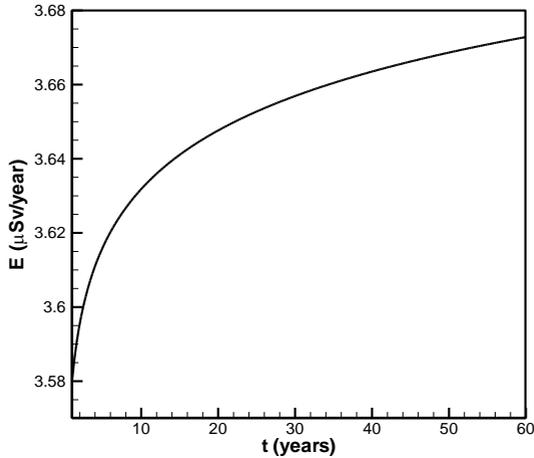


Fig. 1. Dynamics of predicted yearly effective population irradiation dose (adult) in the vicinity of RNPP (800 m) during normal operation for 60 years.

### ***References***

1 Ramit Kumar Sadhukhan and B I Synzynys Sadhukhan R. K., Synzynys B.I. Natural radioactivity around Rooppur nuclear power plant before commissioning // J. Phys.: Conf. Ser. – 2020. – V.1701 012009.

2 Mikailova R.A., Nushtaeva V.E., Spiridonov S.I. et al. Estimation and prediction of the population irradiation dose in the vicinity of NPP with VVER-1200 // Atomic Energy. – 2019. – V. 127(1) –. P.56-9.

3 Sadhukhan R. K., Synzynys B.I. Review of tritium in Bangladesh before commissioning of NPP Rooppur// IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 976 (2020) 012009. doi:10.1088/1757-899X/976/1/012009.

4 Momot O.A., Synzynys B.I., Oudalova A.A. Health risk assessment of potable water containing small amount of tritium oxide// IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series 784 (2017) 012040 doi:10.1088/1742-6596/784/1/012040.

## ENVIRONMENTAL IMPACT ASSESSMENT OF RADON IN SPRING WATER AROUND THE CITY OF OBNINSK

*K.A. Yeboah, B.I. Synzynyz, V.A. Roshchenko, I.V. Romantsova  
Obninsk Institute for Nuclear Power Engineering,  
Obninsk, Russia*

The quality of water is a necessary parameter for consideration in environmental studies. Ground water has more radioactive contents than surface water since it passes through rocks and soil formations, dissolves many compounds, and minerals.  $^{222}\text{Rn}$  (radon with half-life  $T_{1/2} = 3.8$  days, decay series member  $^{238}\text{U}$ ) an alpha emitting radionuclide decays into other radioactive elements, which include  $^{218}\text{Po}$ ,  $^{214}\text{Po}$ ,  $^{214}\text{Pb}$ ,  $^{214}\text{Bi}$ .

Purpose of work – Comprehensive environmental impact assessment of radon in spring water around the city of Obninsk

Materials and Methods - Water samples from the springs were taken the day before analysis (20-24 hours before the determination). The experiments used water from springs located on the northern and southern outskirts of the city of Obninsk in deep ravines with a depth of 10m, temperature 4-5°C.  $N_0$ , is tap water from the laboratory at the Department of Nuclear Physics,  $N_1$  -spring - "holy spring" in the city of Zhukov, Kaluga region, spring -  $N_2$ - source in the ravine near the stadium in the city of Obninsk, spring -  $N_3$  -at the village of Novo - Mikhailovskoye on the northern borders of Obninsk, spring -  $N_4$  - source in the deep outskirts in the forest near the so-called Konchalovsky's cottages.[1]

Eq. (1) and Eq. (2) was used to calculate the Effective dose ( $EFF_w$ ) due to drinking water radioactivity and Excess Lifetime Cancer Risk ( $ELCR$ ) value respectively.

$$EFF_w = Q_w \cdot IR_w \cdot ID_f \cdot 2 \quad (1)$$

(for both  $\alpha$  and  $\beta$ )

Where:

$EFF_w$  is the effective dose equivalent (Sv/year),

$Q_w$  is volumetric activity (Bq/L),

$IR_w$  - intake of water for one person in a year,

One person consumes an average of 2L of water per day,  
 $ID_f$  - ingestion effective dose equivalent factor for  $3.58 \cdot 10^{-7}$  Sv/Bq  
for alpha.

$$ELCR = EFF_w \cdot DL \cdot RF \quad (2)$$

Where:

$DL$  is the duration of human life (~70 years),

$RF$  is the risk factor (1/Sv).

For risk assessment, the nominal probability coefficient of  $7.3 \cdot 10^{-2}$  (1/Sv) was recommended and adopted.

Results and conclusion - The  $Q$  (Bq/L) from the “AlfaRad+” device, the  $EFF_w$  - the effective dose equivalent (Sv/year) and the Excess Lifetime Cancer Risk ( $ELCR$ ) for each location [1] are shown in Table 1.

Table 1

$Q$  of radon, the effective dose equivalent and excess lifetime cancer risk

Sample	Q (Bq/L)	$EFF_w$ (Sv/yr)	ELCR
N <sub>0</sub>	2,00 ± 0	$2,86 \cdot 10^{-6}$	$1.46 \cdot 10^{-5}$
N <sub>1</sub>	274,00 ± 64	$3,93 \cdot 10^{-4}$	$2.01 \cdot 10^{-3}$
N <sub>2</sub>	400,70 ± 105	$5,74 \cdot 10^{-4}$	$2.93 \cdot 10^{-3}$
N <sub>3</sub>	118,00 ± 57	$1,69 \cdot 10^{-4}$	$8.64 \cdot 10^{-4}$
N <sub>4</sub>	4,00 ± 0,5	$5,73 \cdot 10^{-6}$	$2.93 \cdot 10^{-5}$
Average	159,80	$2,29 \cdot 10^{-4}$	$1.17 \cdot 10^{-3}$

It was observed that the  $Q$  and  $ELCR$  are directly proportional. From these calculations, we can conclude, that all  $ELCR$  values are below the lethality adjusted cancer risk of  $6,35 \cdot 10^{-2}$  for the public and  $4,89 \cdot 10^{-2}$  for workers [2].

### References

1 Yeboah Knight Anokwah, Roshchenko V.A., Romantsova I.V., Synzynyns B.I. Radon in underground waters (spring water) around Obninsk. / Future of Nuclear Power-AtomFuture-2021. – Obninsk: IATE MEPhI, 2021. – p. 175-178.

2 International Commission on Radiological Protection (ICRP) // 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, ICRP Publication 61, Pergamon Press, Ann. 21(1-3), Oxford, 1991. [Electronic resource] <https://icrp.org/publication.asp?id=ICRP%20Publication%2060>.

## РОЛЬ ФИТОПЛАНКТОНА В САМООЧИЩЕНИИ ВОДОЕМОВ С РАДИОНУКЛИДНЫМ ЗАГРЯЗНЕНИЕМ

Л.Г. Бондарева<sup>1</sup>, И.Г. Тананаев<sup>2</sup>

<sup>1</sup> – ФБУН «Федеральный научный центр гигиены им. Ф.Ф.

Эрисмана» Роспотребнадзора, г. Мытищи, Россия

<sup>2</sup> – ФИЦ «Кольский научный центр РАН», Россия

Большой интерес для радиоэкологов вызывает изучение водных биогеоценозов, длительное время подвергавшихся радиоактивному загрязнению. Исследование днепровских водохранилищ, пострадавших после аварийного выброса на Чернобыльской АЭС, показало значительную роль микроводорослей в накоплении Sr и Cs. Максимальное потребление этих элементов происходило в процессе активного размножения фитопланктона в летний период. В послеаварийный период обнаружены изменения в структуре популяции *Microcystis aeruginosa* Kütz, emend Elenk. – основного возбудителя «цветения» воды. В первую очередь было отмечено увеличение размеров колоний. В период проведения исследований в структуре фитопланктона днепровских водохранилищ ведущую роль играли диатомовые (Diatomeae), сине-зелёные (Cyanophyta) и зеленые водоросли (Chlorophyta).

Изучение сезонной динамики развития одноклеточных водорослей при попадании стоков с Белоярской АЭС в Белоярское водохранилище показало, что в летне-весенний сезон происходит пятикратное возрастание их численности, что приводит к двукратному уменьшению радиоактивности. В водоёме доминировали 8 видов: *A. flos-aquae*, *M. aeruginosa*, *C. microporum*, *O. submarina*, *P. duplex*, *C. hirundinella*, *C. marssonii*, *Stephanodiscus* sp.

В техногенных водоёмах-хранилищах радиоактивных отходов ПО Маяк зафиксированы доминирующие виды синезеленых водорослей, вносящих значительный вклад в осаждение загрязнений в донные отложения.

В Красноярском крае источником радиоактивного загрязнения окружающей среды долгое время являлся ФГУП «Горно-химический комбинат» (ГХК), на правом берегу р. Енисей. В результате более чем пятидесятилетней деятельности комбината в пойме р. Енисей находят загрязнение  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{152}\text{Eu}$ ,  $\text{Pu}$  и др. При изучении уровня накопления радионуклидов компонентами пресноводной экосистемы, было выяснено, что лучшими аккумуляторами радионуклидов являются диатомовые микроводоросли, которые включают одноклеточные одиночные или колониальные организмы, почти всегда микроскопической величины или достигающие в диаметре 2-3 мм. К наиболее распространенным диатомовым водорослям р. Енисей относятся *Coscinodiscales*, *Biddulphiales*, а также диатомеи, относящиеся к *Pennatophyceae* и др.

Отличительным свойством диатомовых водорослей является высокая скорость размножения при благоприятных условиях и их закрепление на всех доступных поверхностях, в том числе и на поверхностях водных растений. Так, проведенные исследования по оценке уровня связывания радионуклидов со структурными частями погруженного макрофита *Elodea canadensis*, показали, что большая часть таких радионуклидов как  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{239+240}\text{Pu}$  находится на поверхности водных растений. При этом доля радионуклидов коррелирует с уровнем диатомовых водорослей, находящихся на поверхности.

Таким образом, на развитие фитопланктона в загрязненных радионуклидами водоемах значительное воздействие оказывает не только уровень радиационный, но и химической нагрузки. При этом, попадание макрокомпонентов отходов, источников азота, серы и фосфора приводит к эвтрофикации водоема, что увеличивает интенсивность его самоочистки. Чрезмерно высокий уровень химической нагрузки снижает видовое разнообразие фитопланктона, что уменьшает формирование илистых донных отложений и может существенно снизить

эффективность самоочистки.

*Работа выполнена при финансовой поддержке отраслевой программы Роспотребнадзора (фундаментальные исследования) и Севастопольского государственного университета, проект 42-01-09/169/2021-7».*

## **ЛОКБАТАНСКИЙ ГРЯЗЕВОЙ ВУЛКАН**

*С.Р. Гаджиева<sup>1</sup>, Т.И. Алиева<sup>1</sup>, Н.М. Шахназарова<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup> – Бакинский Государственный Университет,  
г. Баку Азербайджан*

*<sup>2</sup> – Азербайджанский Государственный Университет Нефти и  
Промышленности, г. Баку, Азербайджан*

Локбатан является одним из наиболее активным грязевым вулканом Азербайджана. Он расположен в 15 км к юго-западу от г. Баку. Первые сведения об извержении этого вулкана отмечены 1888 г. Другие наиболее мощные извержения произошли в 1923, 1935, 1954, 1972, 1977 и 2001 годах. Нужно отметить, что почти все крупные извержения вулкана Локбатан, сопровождались выносом на земную поверхность больших объемов вулканической брекчии в 100-300 тыс.м<sup>3</sup>, воспламенением и горением газов. Прослеживая периодичность извержения вулкана Локбатан, начиная с 1915 года, можно отметить, что как правило, оно повторяется каждые 2-5 лет. Не исключением явились и извержения, произошедшие 4 февраля 2010 г. и 20 сентября 2012 г. По сравнению с предыдущим, извержение 4 февраля 2010 г. оказалось значительно слабым. Началось оно утром подземным гулом, как всегда взрывом, однако без воспламенения газа, и кратковременным выбросом на земную поверхность вулканической брекчии, которая стекаясь вниз по склону, покрыла площадь, немногим более одного гектара. Извержение вулкана в течение дня характеризовалось 4-мя фазами активизации, зафиксированные лишь одной близ расположенной сейсмической станцией «Гобу». Первая произошла утром, в 9 часов 30 минут (длительность которой составила 4,5 мин), последующие в 13

часов 10 минут, 16 часов 30 минут и 20 часов 05 минут (длительность около 5 мин). 09:47:05 – 09:50:15 и 12:48.10 – 12:52:00 соответственно. Кроме того, ночью уже 5 февраля, была установлена еще одна как бы мгновенная активизация вулканической деятельности по времени 00:08:49 – 00:08:50.8. За неимением достаточного материала глубину извержения и выделенную энергию определить не удалось. 20 сентября 2012 г. произошло очередное 24-ое извержение этого вулкана. Оно было зафиксировано сейсмическими станциями «Гобу», «Нардаран», «Гала», «Гобустан», «Али-Байрамлы», «Алтыгач», «Пиргулу» и «Сиязань». Извержение началось выбросом пара и брекчии, вначале на небольшую высоту, а затем процесс стал интенсивнее, флюиды и брекчии были выброшены на высоту порядка 100 м. Фаза завершилась воспламенением основного факела. Извержение вулкана в течение дня характеризовалось 3-мя периодами активизации. Первый произошел утром в 04:59, последующие в 09:14:40 (длительность извержения 4 минуты, глубина очага 5.5 км,  $E=0,70 \cdot 10^7$  Дж) и в 09:23:00 (длительность извержения 12 минут, глубина очага 1,2 км,  $E=3,15 \cdot 10^7$  Дж). 3 мая 2017 г. по местному времени 08:55:51 в 15 километрах к юго-востоку от Баку, на берегу Каспийского моря, на территории нефтепромысла произошло 25 извержение вулкана Локбатан. Длительность извержения составила 4 минуты, глубина очага 4 км.

Обычно извержение вулканов сопровождается взрывом, огнем, образованием большого количества разнонаправленных трещин. Исследуются литологические и геохимические особенности разновозрастных пород, взятых из вулкана, выясняются причины извержения и, сопоставляя информацию о глубинных пластах земли, дают научно обоснованные предложения о нефтегазовой перспективе место расположения вулкана. Между грязевыми вулканами и сейсмичностью территории, землетрясениями существует тесная связь. В результате исследований было выявлено, что до появления землетрясений повышается активность вулканов, в составе газов и воды, выходящих на поверхность земли, резко

возрастает процентное число некоторых компонентов. Например, в составе газов возрастает количество гелия и углекислого газа, в воде возрастает количество бора, а в некоторых случаях хлоридов и сульфатов. В ближайшие годы в Азербайджане можно ожидать очередные извержения потухших грязевых вулканов.

## **ГРЯЗЕВЫЕ ВУЛКАНЫ АЗЕРБАЙДЖАНА- ЧРЕЗВЫЧАЙНЫЕ ПРИРОДНЫЕ ЯВЛЕНИЯ**

*С.Р. Гаджиева<sup>1</sup>, Т.И. Алиева<sup>1</sup>, Н.М. Шахназарова<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup> – Бакинский Государственный Университет,  
г. Баку Азербайджан*

*<sup>2</sup> – Азербайджанский Государственный Университет Нефти и  
Промышленности, г. Баку, Азербайджан*

Грязевые вулканы являются одним из природных достояний Азербайджана, по количеству которых наша страна занимает первое место в мире. Из 800 имеющихся в мире грязевых вулканов более 300 приходится на долю территории Восточного Азербайджана и пограничной акватории Каспия. Здесь можно встретить все виды вулканов: активные, потухшие, наземно-континентальные, нефтяные, островковые и подводные вулканы. Естественно, и в их изучении накоплен немалый опыт. Исследование областей развития грязевых вулканов, а также сейсмичности в этих областях, относится к числу актуальных и недостаточно хорошо исследованных вопросов наук о Земле. Очевидно, что эта проблема имеет важное как научное, так и практическое значение. С фундаментальной точки зрения такие исследования необходимы для понимания условий и механизма формирования грязевых вулканов. С практической точки зрения они интересны в связи с проблемой оценки сейсмической угрозы, включающей общее сейсмическое районирование, детальное сейсмическое районирование и микрорайонирование. Особое значение данная тема приобретает на современном этапе, когда проектируется интенсивная разработка

нефтегазовых месторождений, развитие агропромышленного комплекса и городских агромелиораций Азербайджана.

Таким образом, по количеству, разнообразию и активной деятельности вулканов территория нашей республики не имеет аналогов в Мире.

Грязевые вулканы широко распространены, главным образом, на территории Восточного Азербайджана – на Апшеронском полуострове, в Шемаха-Гобустанском районе, в юго-восточной Ширванской низменности и в Бакинском архипелаге. Только в Гобустане насчитывается около 100 грязевых вулканов, на суше - 190 грязевых вулканов и их производных. Около 40 грязевых вулканов (Медресе, Пашалы Ахтармасы, Айрантекен и др.) выводят на поверхность Земли нефть. Из 200 подводных вулканов Южного Каспия 120 находится в Азербайджанском секторе Каспия. На Бакинском архипелаге находится 9 островов вулканического происхождения (Хара-Зире, Зенбиль, Гарасу, Гиль, Сенги-Мугань и др.). Грязевые вулканы Торагай, высотой 400 м, Большой Кениздаг, Отманбоздаг, Гюздек-Боздаглы, а также с менее выраженным рельефом Дюздаг, Хыдырлы, долгое время недействующий «потухший» Кюрсенги и, наконец, морские вулканы резко отличаются друг от друга. Грязевые вулканы считаются спутниками нефтегазовых месторождений. Как и глубокие нефтяные скважины, они дают экологам информацию о структуре земли, о геохимических процессах, происходящих в недрах земли. Конечно, такая информация незаменима для поисков полезных ископаемых и, в первую очередь, месторождений нефти и газа. Наряду с этим, грязевые вулканы служат не только геологам. Они имеют также ценное лечебное значение, что находит широкое применение в медицине. Еще с древних времен вулканической грязью лечили суставные и кожные заболевания. В состав вулканической грязи входят белки, около 30-ти микроэлементов, органические вещества, минералы. Всасываясь в кровь, они положительно влияют на нервную и эндокринную систему. Поэтому вулканическую грязь используют при лечении многих заболеваний, таких как болезни желудочно-кишечного тракта, центральной и периферической

нервной системы, суставные и кожные заболевания, радикулит, болезни горла, гинекологические и урологические заболевания, а также вулканическая грязь находит широкое применение в области косметологии. В 16-ти лечебных пунктах (в поликлиниках и стационарах) города Баку проводятся лечение грязью.

## **ПРИМЕНЕНИЕ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОЦЕНКЕ ТЕРРИТОРИЙ КАЛУЖСКОЙ ОБЛАСТИ**

*Т.А. Гончарова, А.Б. Стрельцов  
КГУ им. К. Э. Циолковского, Россия, Калуга*

В настоящее время ГИС-технологии играют важную роль в экологических исследованиях. ГИС-технологии позволяют дать не только полный интегральный анализ исследуемой территории, но и помогают связать разрозненные данные друг с другом.

Таким образом, основная идея ГИС состоит в создании многослойной электронной карты. [3]

Целью работы является представление применения информационных технологий при экологической оценке Перемышльского района Калужской области.

При составлении комплексной оценки мы опирались на следующие параметры:

- общая географическая характеристика изучаемой территории (расположение, удаленность от центра, основные транспортные магистрали);
- доступность природных ресурсов для развития промышленности;
- растительный и животный мир (в том числе и редкие или находящиеся под угрозой исчезновения и исчезающие виды, занесенные в Красную книгу);
- земельные ресурсы (площади посевных земель, естественных лугов и пастбищ, их состояние, связанное с хозяйственной деятельностью);

- государственные природные заповедники, национальные парки, другие охраняемые природные территории;
- экологические проблемы, которые существуют на территории. [1, 2]

Методика сбора геоинформационных данных основывается на использовании ДЗЗ (данных дистанционного зондирования). Обработка полученных данных проходила с использованием геоинформационной системы Mapinfo Pro. Результаты обработки собранного материала перенесены в БД, по которым были созданы отдельные слои: границы района, автомагистрали, населенные пункты, земли сельскохозяйственного назначения, зарастающие территории, особо охраняемые территории «Национальный парк «Угра».

Создание слоя «Зарастающие территории» проходило следующим образом. По текстовым описаниям данные, собранные нами в процессе проведения исследования, о встречающихся видах сукцессий были занесены в базы данных. Ориентируясь на пункты обнаружения сукцессий, проставили точки, указывающие на появление сукцессии в каком-либо населенном пункте исследуемого района. Затем этот слой наложили на слой границы района, и сформировалась карта. Созданный слой необходим для проведения исследования на территории других районов Калужской области, он позволяет увидеть данные без специального оборудования.

Результаты комплексного анализа экологической информации в ГИС (электронные карты по нескольким параметрам) показывают, что ГИС способствуют объединению разнородной информации на основе пространственной локализации.

### *Литература*

1 Белорусцева Е.В. Мониторинг состояния сельскохозяйственных угодий Нечерноземной зоны Российской Федерации // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2012. – Т.9. – № 1. – С.57–64.

2 Красовская О., Скатерщиков С., Тясто С., Хмелефа Д. ГИС в системе территориального планирования и управления территорией // ArcReview, 2003. – №3 (38).

3 Наумова Т.А., Стрельцов А.Б. Использование ГИС-технологий в решении экологических проблем. // Научно-образовательный журнал для студентов и преподавателей «STUDNET». – 2020. – Т.3. – № 3. – С.312–318.

## **ВЛИЯНИЕ АЭС НА СОДЕРЖАНИЕ РАДИОНУКЛИДОВ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ВОДОЕМОВ ТЕРРИТОРИИ РАЗМЕЩЕНИЯ**

*А.В. Горбачев<sup>1</sup>, В.А. Кудымов<sup>2</sup>, И.А. Бубликова<sup>3</sup>  
Волгодонский инженерно-технический институт Филиал  
Национального исследовательского ядерного университета  
“МИФИ”, г. Волгодонск, Россия*

Строительство АЭС на новых территориях безусловно вызывает беспокойство населения по поводу экологических последствий для окружающей среды. Несмотря на то, что радиационный контур теплоносителя не имеет прямого контакта с объектами гидросферы, но теоретически атомная станция может стать источником радионуклидов в гидросфере.

Именно поэтому целью нашей работы является выявление закономерностей содержания долгоживущих изотопов Cs-137 и Co-60 в донных отложениях, куда они попадают со стоками промливневой канализации (ПЛК), хозфекальной канализации (ХФК), дебалансными водами и другими сбросами на примере давно эксплуатируемых АЭС, а именно Билибинской и Курской. Анализ данных выполнялся для определения основного источника поступления радионуклидов в гидросеть и их распределения в донных отложениях с учетом направления течения водных объектов.

В процессе работы были использованы данные годовых отчетов НПО Тайфун [1] с 2002 по 2020 год и ресурсов АО «Концерн Росэнергоатом» [2,3] с 2008 по 2020 год.

Согласно полученным результатам сравнительного анализа содержания радионуклидов в стоках различного происхождения, основным источником появления радионуклидов в водоемах является ПЛК (Билибинская АЭС), дебалансные воды (Курская АЭС), место сброса которых совпадает с местом сбора ПЛК.

Для выявления зависимости концентрации радионуклидов в донных отложениях от их сброса был проведен регрессионный анализ для обеих станций ниже по течению.

Были сделаны следующие выводы:

- Количество радионуклидов в донных отложениях в рассматриваемый нами промежуток времени остается практически неизменным.

- Эффект накопления в разных точках отсутствует.

- На Билибинской АЭС содержание рассматриваемых радионуклидов было максимальным на расстоянии 1,5 км ниже по течению от места сброса ПЛК в ручей Большой Поннеурген.

Проведенный анализ взаимосвязи между радиационной активностью сброса ПЛК и радиационной активностью донных отложений с разными временными лагами показал, что умеренная связь между показателями проявлялась для Со-60 с лагом в 1 год, а для Cs-137 – 2 года (Билибинской АЭС), для данных по Курской АЭС – связь умеренная, для Со-60 и слабая для Cs-137 наблюдается в обоих случаях с лагом в 1 год.

### *Литература*

1 Научно-производственное объединение «Тайфун» [Электронный ресурс]: Ежегодник «Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств» URL: <https://www.rpatyphoon.ru/products/pollution-media.php> (дата обращения: 11.03.2022).

2 Росэнергоатом [Электронный ресурс]: Экологические отчеты. Билибинская АЭС URL : [https://www.rosenergoatom.ru/stations\\_projects/sayt-bilibinskoy-aes/bezopasnost-i-ekologiya/ekologicheskie-otchety/](https://www.rosenergoatom.ru/stations_projects/sayt-bilibinskoy-aes/bezopasnost-i-ekologiya/ekologicheskie-otchety/) (дата обращения: 12.03.2022).

3 Росэннергоатом [Электронный ресурс]: Экологические отчеты. Курская АЭС URL : [https:// www.rosenergoatom.ru / stations\\_projects / sayt-kurskoy-aes / bezopasnost-i-ekologiya / ekologicheskie-otchety /](https://www.rosenergoatom.ru/stations_projects/sayt-kurskoy-aes/bezopasnost-i-ekologiya/ekologicheskie-otchety/) (дата обращения: 12.03.2022).

## К ВОПРОСУ О ШУМОВОМ ЗАГРЯЗНЕНИИ УФЫ

*С.А. Грибанова, Г.А. Ахметшина, Г.Р. Галяутдинова  
ФГБОУ ВО Башкирский государственный педагогический  
университет им. М.Акумлы, г. Уфа, Россия*

Звуки оказывают многообразное влияние на человеческий организм; в подавляющем большинстве такое многообразие является нежелательным по причине неблагоприятного воздействия на здоровье человека: они могут оказывать отрицательное воздействие на эмоциональное состояние, приводить к развитию заболеваний. В связи с этим изучение проблемы шумового загрязнения является актуальной для каждого человека.

На рис. 1 представлены результаты определения шума в городе Уфа, из которого видно, что основным источником шумового загрязнения является автотранспорт, он производит больше половины всего загрязнения [1].



Рис. 1. Основные источники шумового загрязнения в г. Уфе.

В данной работе приведены результаты измерения уровня шумового загрязнения в различных частях города Уфа. Замеры проведены в период с 21.02.2022 по 7.03.2022 в

разных точках исследуемых районов. Результаты по каждому району были приведены к среднему значению. Измерение уровня громкости проводили с помощью мобильного приложения «Шумомер» – отдельного портативного прибора с присоединенным микрофоном и встроенным индикатором [2].

В табл. 1 представлены результаты измерения шумового загрязнения различных городских районов Уфы.

Таблица 1

Результаты измерения шумового загрязнения  
Городских районов Уфы

Район города Уфа	Уровень шума, дБ	Степень шумового загрязнения
Советский	90,0	Чрезмерное
Кировский	75,9	Чрезмерное
Ленинский	89,2	Чрезмерное
Демский	67,0	Сильное
Октябрьский	82,0	Чрезмерное
Орджоникидзевский	74,0	Чрезмерное
Советский	71,2	Чрезмерное

Анализ полученных результатов практического исследования показал, что шумовое загрязнение присуще нашему городу: городские жители находятся в группе риска. При допустимом уровне шума в дневное время по санитарным нормам – 50-55 дБ большинство ледуемых районов города Уфа имеют высокий уровень шума: сильное и чрезмерное шумовое загрязнение, способное навредить жителям города. Первые в группе риска находятся центральные районы Уфы, где наблюдается огромное скопление анспорта – одного из главных источников массового шумового воздействия.

### *Литература*

1 Источники шумового загрязнения окружающей среды [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://metall->

en.ru/istochniki-shumovogo-zagryazneniya-okruzhayushhej-sredy/ (дата посещения 28.03.2022).

2 ГОСТ Р 53188.1-2019 Национальный стандарт РФ. Государственная система обеспечения единства измерений. Шумомеры. Часть 1. Технические требования.

## **ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ВЕЛИЧИНЫ ДОЗЫ РАДИАЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ МЯСНОГО ФАРША НА ИЗМЕНЕНИЕ СОСТАВА МИКРОБНОГО СООБЩЕСТВА**

*Е.С. Ефимова<sup>1</sup>, И.В. Полякова<sup>1</sup>, Н.А. Фролова<sup>1</sup>, О.А. Губина<sup>1</sup>,  
К.С. Лауринавичюс<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup> – ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии», г. Обнинск, Россия*

*<sup>2</sup> – ФГБУН Институт биохимии и физиологии микроорганизмов им. Г.К. Скрябина, г. Пуццоно, Россия*

Увеличение производства агропромышленной продукции и улучшение её качества – одна из важнейших задач обеспечения продовольственной безопасности РФ [1].

Большую проблему для охлажденных продуктов представляет такой патоген, как *Listeria monocytogenes*. [2]. В отличие от большинства патогенных микроорганизмов, при хранении в холодильнике происходит активный рост *L. monocytogenes*. Листерии могут образовывать биоплёнки на рабочих поверхностях, что увеличивает их устойчивость к дезинфицирующим веществам. [3].

К числу перспективных и экологически безопасных технологий, обеспечивающих увеличение срока годности готовой продукции и её безопасность для потребителя можно отнести радиационные технологии. [1] Инактивация неспорообразующих грамположительных листерий в свежих и замороженных продуктах питания происходит при дозе облучения 3-10 кГр [1, 2].

В качестве объекта был использован охлажденный мясной фарш из говядины и свинины, который облучали на электронном ускорителе с энергией электронов 9,5 МэВ и

мощностью 6 кВт (ООО «Теклеор»). Дозу облучения контролировали при помощи пленочных дозиметров СО ПД(Э)-1/10 (ВНИИФТРИ, Россия). Интегральная поглощенная доза составляла 0,5; 1,5 и 3,0кГр. Контроль – не облученные образцы. Фарш имел естественную микробную контаминацию. Оценивали изменение общей микробной обсемененности (ОМЧ) и видового состава микроорганизмов в зависимости от величины поглощенной дозы. Микроорганизмов идентифицировали методом MALDI TOF MS [2].

В результате обработки в разных дозах микробный состав образцов изменялся (табл. 1). Показано, что *Listeria monocytogenes* не встречается в облученных образцах фарша, даже с учетом исходного количества порядка 10-90 КОЕ/г. Также с увеличением дозы наблюдается сдвиг микробного сообщества в сторону грамположительных спорообразующих микроорганизмов, лактобацилл и грибов рода *Candida*.

Таблица 1

Изменение микробного сообщества мясного фарша после обработки ускоренными электронами в разных дозах

Образец/ Доза	Контроль	0,5 кГр	1,5 кГр	3 кГр
ОМЧ, КОЕ/г	83000± 5800	63000± 3100	58000 ±1400	3000 ± 500
Родовая принадлежность микроорганизмов, встречаемость	<i>Pseudomonas</i> 27 %	<i>Arthrobacter</i> 20%	<i>Clostridium</i> 25 %	<i>Clostridium</i> 23 %
	<i>Acinetobacter</i> 13 %	<i>Lactobacillus</i> 20%	<i>Lactobacillus</i> 25 %	<i>Lactobacillus</i> 23 %
	<i>Clostridium</i> 13 %	<i>Moraxella</i> 14 %	<i>Aeromonas</i> 13%	<i>Aeromonas</i> 15 %
	<i>Lactobacillus</i> 13 %	<i>Pseudomonas</i> 7%	<i>Pseudomonas</i> 12 %	<i>Staphylococcus</i> 15 %
	<i>Streptomyces</i> 13 %	<i>Staphylococcus</i> 7%	<i>Candida</i> 7%	<i>Bacillus</i> 8 %
	<i>Candida</i> 9%	<i>Streptococcus</i> 7 %		<i>Arthrobacter</i> 8 %

	<i>Staphylococcus</i> 6%	<i>Candida</i> 5%		<i>Candida</i> 5%
	<i>Listeria monocytogenes</i> 0,1 %			
	Другие 6,9 %	Другие 20 %	Другие 18 %	Другие 3%

Показано, что радиационная обработка мясного фарша в дозе 3 кГр снижает микробную общую обсемененность в 27, а также инактивирует микроорганизмы порчи, такие как *Pseudomonas* и другие.

### *Литература*

1. Исамов Н.Н., Козьмин Г.В., и др. Радиационная стерилизация продуктов животного происхождения / Сборник докладов круглого стола. – Обнинск: ФГБНУ ВНИИРАЭ, 2016. – С. 65-69.

2. Полякова И.В., Кобялко В.О. и др. Влияние ионизирующего излучения на количество и видовой состав микроорганизмов в матрице пищевых продуктов животного происхождения / В сборнике Актуальные вопросы сельскохозяйственной радиобиологии. – Обнинск: ФГБНУ ВНИИРАЭ, 2019. – С. 135-144.

3. Саруханов В.Я. Возможности использования радиационных технологий для профилактики бруцеллеза и листериоза // Молочная промышленность. – 2021. – №9. – С.60-61.

## ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ РАДОНООПАСНОСТИ ТЕРРИТОРИИ ВБЛИЗИ ОБЪЕКТА ПО ДОБЫЧЕ И ПЕРЕРАБОТКЕ УРАНОВЫХ РУД

*Л.Э.Карл*<sup>1,2</sup>, *П.С. Микляев*<sup>2,3</sup>, *Т.Б. Петрова*<sup>4</sup>, *Т.Н. Лащенкова*<sup>1,5</sup>,  
*А.М. Маренный*<sup>2</sup>, *Е.И. Кайгородов*<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> – *Российский университет дружбы народов (РУДН),  
г. Москва, Россия*

<sup>2</sup> – *ФГУП Научно-технический центр радиационно-химической  
безопасности и гигиены ФМБА России, г. Москва, Россия*

<sup>3</sup> – *Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН,  
г. Москва, Россия*

<sup>4</sup> – *Московский государственный университет им. М.В.  
Ломоносова, химический факультет, кафедра радиохимии, г.  
Москва, Россия*

<sup>5</sup> – *ФГБУ ГНЦ РФ Федеральный медицинский биофизический  
центр имени А.И. Бурназяна ФМБА России, г. Москва, Россия*

**Введение.** Наибольший вклад в суммарную годовую эффективную дозу облучения населения (СГЭД) вносят природные источники ионизирующего излучения. Основным является радиоактивный газ радон ( $^{222}\text{Rn}$ ) и его дочерние продукты распада (ДПР), вклад которых в облучение может достигать 90%.

На территории в районе г. Лермонтов Ставропольского края находится объект наследия, на котором проводилась добыча и переработка урановых руд подземным способом из Бештаугорского месторождения. Эта территория является потенциально радоноопасной за счет повышенного содержания природных радионуклидов в хвостохранилищах, штольнях, отвалах, реабилитация которых не закончилась.

Целью работы является оценка потенциальной радоноопасности территории селитебной зоны вблизи объекта НПО «Алмаз».

**Материалы и методы.** Радиационное обследование территории проводили по мощности амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения (МАЭД ГИ). На открытой местности

измеряли плотность потока  $^{222}\text{Rn}$  с поверхности грунта (ППР), удельную активность радионуклидов в горных породах.

Проводили мониторинг объемной активности радона ( $\text{OAR}_n$ ) в жилых и общественных зданиях г. Лермонтов интегральным методом.

**Результаты.** Провели статистическую обработку полученных данных, выявили, что распределение всех параметров контроля логнормальное, для характеристики средней тенденции использовали медиану. Оценку значений провели по ОСПОРБ-99/2010 для участков жилищного строительства.

На открытой местности в жилой зоне: медиана ППР ( $n = 60$ ) лежит в 95% доверительном интервале от 163 до 242 и составила 203, превышает в 2,5 раза  $80 \text{ мБк/м}^2\text{с}$ ; медиана содержания  $^{226}\text{Ra}$  в почве ( $n=91$ ) находится в интервале от 57 до 69 и равна  $63 \text{ Бк/кг}$ , эффективная удельная активность для природных радионуклидов составила  $179 \text{ Бк/кг}$  и не превышает  $370 \text{ Бк/кг}$ ; медиана МАЭД ГИ равна 0,2 и не превышает  $0,3 \text{ мкЗв/ч}$ .

Для жилых и общественных зданий рассчитали медианное значение для 2053 помещений: медиана  $\text{ЭРОAR}_n$  лежит в интервале от 100 до 116 и равна  $108 \text{ Бк/м}^3$ ; в 30% помещений (сосредоточены в 17 зданиях), имеются превышения  $200 \text{ Бк/м}^3$ ; расчетное значение СГЭД находится в интервале от 8 до 13 и превышает ограничение для природных радионуклидов  $5 \text{ мЗв/год}$ , максимум  $11 \text{ мЗв/год}$  для  $\text{ЭРОAR}_n$  равно  $1347 \text{ Бк/м}^3$ .

**Выводы.** Выявленные высокие уровни концентраций природных радионуклидов в грунтах жилой зоны г. Лермонтов обусловлены исключительно естественными причинами, не связанными с деятельностью уранодобывающего предприятия. Высокая радиоактивность слагающих территорию пород обусловлена широким развитием кислых щелочных интрузивов и криптоэффузивных образований, обогащенных естественными радионуклидами, пронизывающих осадочный комплекс. В связи с этим, практически вся территория города является потенциально радоноопасной и нуждается в проведении

противорадоновых мероприятий, контроле  $^{222}\text{Rn}$  в жилых и общественных зданиях.

*Исследование выполнено в рамках реализации ФЦП «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2016-2020 годы и на период до 2030 года», а также при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-38-90291.*

## **ВОЗДЕЙСТВИЕ ИЯУ МАЛОЙ МОЩНОСТИ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ**

*А.В. Картошкина<sup>1</sup>, О.Ю. Кочнов<sup>2</sup>, Н.В. Кузнецов<sup>2</sup>,  
Д.А. Пахолик<sup>2</sup>, В.В. Фомичев<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup> – Обнинский институт атомной энергетики – филиал  
Национального исследовательского ядерного  
университета «МИФИ», г. Обнинск, Россия*

*<sup>2</sup> – АО «НИФХИ им. Л.Я. Карпова», г. Обнинск, Россия*

Опасность ядерной энергетики заключается не только в сфере аварий и катастроф. В результате работы ядерных реакторов радиоактивные изотопы попадают в окружающую среду. Влияние ядерных установок широко рассматривается для АЭС, но для маломощных исследовательских ядерных установок (ИЯУ) такой информации нет. Учитывая большое количество ИЯУ с уникальными характеристиками по всему миру, которое продолжает увеличиваться, необходимо отдельно выделить вопрос их влияния, который будет рассмотрен в статье на примере АО «НИФХИ им. Карпова».

АО «НИФХИ им. Карпова» является крупным поставщиком радиофармпрепаратов (РФП) и медицинских изотопов. Институт производит более 20 видов РФП, например,  $^{99}\text{Mo}$ ,  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ,  $^{131}\text{I}$  и другие. Для производства радионуклидов, на основе которых производятся РФП, используется исследовательский ядерный реактор ВВР-ц (водо-водяной реактор – целевой). Максимальная тепловая мощность реактора ВВР-ц составляет 15 МВт.

Радиационная безопасность окружающей среды считается обеспеченной, если соблюдаются основные принципы

радиационной безопасности (обоснование, оптимизация, нормирование) и требования радиационной защиты, установленные Федеральными законами РФ, действующими нормами радиационной безопасности и санитарными правилами [1].

Цель работы – проанализировать влияние ИЯУ на примере АО «НИФХИ им. Л.Я. Карпова» на окружающую среду за последние 10 лет. В рамках работы оценивалась динамика радиационного воздействия на окружающую среду в санитарно-защитной зоне и зоне наблюдения и корреляция этого воздействия с объемом производства на предприятии, а также взаимосвязь контролируемых параметров между собой.

Для оценки воздействия АО «НИФХИ им. Л.Я. Карпова» на окружающую среду были выбраны следующие контролируемые радиационные параметры:

- активность выбросов радионуклидов в атмосферу;
- общая бета - активность в поверхностном слое почвы;
- объёмная активность снега;
- объёмная активность растительности;
- мощность амбиентного эквивалента дозы (МАЭД) фотонного (гамма) ионизирующего излучения;
- объёмная активность изотопов йода в приземном слое атмосферы.

Значения радиационных параметров взяты из «Отчетов по экологической безопасности АО «НИФХИ им. Л.Я. Карпова» [2] и Ежегодников «Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств» [3], выпускаемая НПО «Гайфун», за рассматриваемый период времени.

По результатам работы разработан «План мероприятий», направленный на снижение негативного воздействия на окружающую среду, который может быть использован как в частном случае для АО «НИФХИ им. Л.Я. Карпова», так и для маломощных ИЯУ с аналогичными производственными характеристиками.

### *Литература*

1. СП 2.6.1.2612–10 Основные санитарные правила

обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ–99/2010). Введены в действие приказом Главного государственного санитарного врача РФ от 26.04.2010 №40. [Электронный ресурс] Режим доступа: [https://orfi.ru/files/doc/uchcenter/osporb\\_2612612-10.pdf](https://orfi.ru/files/doc/uchcenter/osporb_2612612-10.pdf) (Дата доступа 05.11.2021).

2. Отчет по экологической безопасности АО «НИФХИ им. Л.Я. Карпова», Обнинск, АО «НИФХИ им. Л.Я. Карпова». [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://www.karpovipc.ru/index.php/ekologiya> (Дата доступа 05.11.2021).

3. Ежегодник «Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств», Обнинск, НПО «Тайфун». [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://www.rpatyphoon.ru/products/pollution-media.php> (Дата доступа 08.11.2021).

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПОДХОДОВ К МОНИТОРИНГУ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ, ЗАДЕЙСТВОВАННЫХ В РЕАБИЛИТАЦИИ ЯДЕРНОГО НАСЛЕДИЯ**

*С.М. Киселёв, В.В. Шлыгин, Ю.Н. Зозуль, С.В. Ахромеев,  
Н.Ф. Болотник, О.Б. Шашкова  
ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России,  
г. Москва, Россия*

Предприятие СЗЦ «СевРАО» осуществляет деятельность по подготовке и длительному хранению корпусных частей реакторных отсеков, утилизированных АПЛ, а также кондиционированию и обращению с низко- и среднеактивными РАО, образующихся в ходе реабилитации объектов ядерного наследия на северо-западе России. Спектр технологических операций включает газорезательные, сварочные, покрасочные работы, которые определяют особенности выбросов предприятием спектра веществ как радиационной ( $^{137}\text{Cs}$  - 64 %,  $^{90}\text{Sr}$  - 22 %,  $^{60}\text{Co}$  - 14 %), так и нерадиационной природы (ароматические и алифатические углеводороды, альдегиды,

без(а)пирен, токсичные металлы, неорганические кислоты и др.) Это диктует необходимость комплексной оценки состояния загрязнения окружающей среды для определения приоритетных загрязнителей, требующих оптимизации мониторинга качества производственной среды.

Целью настоящего исследования являлось комплексное исследование гигиенической обстановки на предприятии по обращению с радиоактивными отходами СЗЦ «СевРАО» (отделение Сайда-Губа) на современном этапе производственной деятельности. Отбор проб, измерения и анализ радиационных и химических параметров объектов окружающей среды проводили в соответствии со стандартными методиками аккредитованного испытательного лабораторного центра ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России (аттестат аккредитации RA.RU.21BY01).

Мощность дозы гамма-излучения на промплощадке варьирует в диапазоне 0,05-5,2 (med=0,08) мкЗв/ч, не превышая установленных предприятием контрольных уровней. Техногенные грунты на промплощадке загрязнены  $^{137}\text{Cs}$  ( $0,59-2,2 \cdot 10^2$  при med=4,9 Бк/кг),  $^{90}\text{Sr}$  (0,79-99 при med=0,94 Бк/кг) и  $^{60}\text{Co}$  (2,3-50 при med=5,2 Бк/кг) в концентрациях, в целом не превышающих значений, регламентирующих их использование в хозяйственной деятельности без ограничений по радиационному фактору. В следовых концентрациях обнаружены  $^{109}\text{Cd}$ ,  $^{152}\text{Eu}$ ,  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{125}\text{Sb}$ ,  $^{139}\text{Ce}$ . Вместе с тем загрязнение грунтов токсичными металлами характеризуется наличием широкого спектра веществ I класса – Pb (до 78 ПДК), Zn (до 17 ПДК), Cd (до 13 ПДК), As (до 1,6 ПДК), II класса – Ni (до 63 ПДК), Cu (до 21 ПДК) и III класса опасности – Mn (до 5,0 ПДК) и V (до 1,6 ПДК). Похожая картина отмечается при анализе подземных и поверхностных сточных вод. Суммарная альфа- и бета-активность подземных вод варьирует в диапазонах 0,016-0,24 (med=0,12) и 0,096-2,1 (med=0,26) Бк/кг соответственно, не превышая контрольные уровни, установленные предприятием. Наряду с этим в подземных и сточных водах обнаружены токсические металлы I класса опасности для питьевой воды – Be (до 2,9 ПДК), Tl (до 1,4 ПДК)

и II класса – Cd (до  $1,2 \cdot 10^2$  ПДК), Ni (до 40 ПДК), Pb (до 29 ПДК). Оценка состояния загрязнения прибрежной морской акватории позволяет заключить, что активность радионуклидов в донных отложениях ( $^{90}\text{Sr}$ -0,53 Бк/кг и  $^{137}\text{Cs}$ -1,7 Бк/кг), водорослях ( $^{90}\text{Sr}$ -0,44 Бк/кг и  $^{137}\text{Cs}$ -0,14 Бк/кг) и морской воде ( $^{90}\text{Sr}$ -0,0044 Бк/кг и  $^{137}\text{Cs}$ -0,0017 Бк/кг) прибрежной акватории соответствует фоновым региональным значениям. Вместе с тем в морской воде обнаружены металлы III класса опасности (As, Pb, Cu) в концентрациях, превышающих ПДК для рыбохозяйственной деятельности до 2 раз.

Результаты проведенных исследований определяют целесообразность дальнейшего изучения особенностей химического загрязнения окружающей среды в ходе производственной деятельности предприятий, задействованных в реабилитации ядерного наследия и совершенствования существующих программ производственного контроля состояния загрязнения окружающей среды с включением химических загрязнителей в качестве мониторируемых компонентов.

## **ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗАМЕНЫ ВОДЫ НА СВИНЦОВО-ВИСМУТОВУЮ ЭВТЕКТИКУ В ЩЕЛЕВЫХ КАНАЛАХ КРИСТАЛЛИЗАТОРОВ**

*М.А. Коновалов, В.В. Ульянов, М.М. Кошелев, В.С. Кремлёва  
АО «ГНЦ РФ – ФЭИ», г. Обнинск, Россия*

В ходе исследования процессов тепло- и массопереноса в кристаллизаторах стали со свинцово-висмутовым охлаждением выявлено, что в качестве конструкционного материала кристаллизатора наилучшим образом подходят хромоникелевые стали аустенитного класса 08X18H10T, 10X15H9C3B1-Ш, а также сталь ферритно-мартенситного класса 16X12MBCФБР.

Термодинамические расчеты показали, что на качество свинцово-висмутовой эвтектики влияют процессы ее взаимодействия с кислородом и железом. Учитывая температурные режимы эксплуатации свинцово-висмутового

контура кристаллизатора, рекомендуется поддерживать содержание растворенного оксида свинца в диапазоне от 0,0003 до 0,0075 ppm. Это предотвратит высаживание твердого оксида свинца и обеспечит существование железа только в растворенном виде [1].

Проведено моделирование перемещения затвердевающей жидкой стали через канал кристаллизатора щелевой формы, охлаждаемого водой с температурой 20°C и свинцово-висмутовой эвтектикой с температурой 247°C. Общий вид модели представлен на рис. 1 [2]. Результаты расчета тепла, отводимого водой и свинцово-висмутовой эвтектикой в кристаллизаторе с каналами щелевой формы, приведены в табл. 1. Видно, что отводимое в кристаллизаторе тепло при его охлаждении водой и свинцово-висмутовой эвтектикой практически совпадает при условии, что скорость воды в щелевом зазоре равна 2 м/с, а скорость свинцово-висмутовой эвтектики в аналогичном щелевом зазоре равна 1,5 м/с.

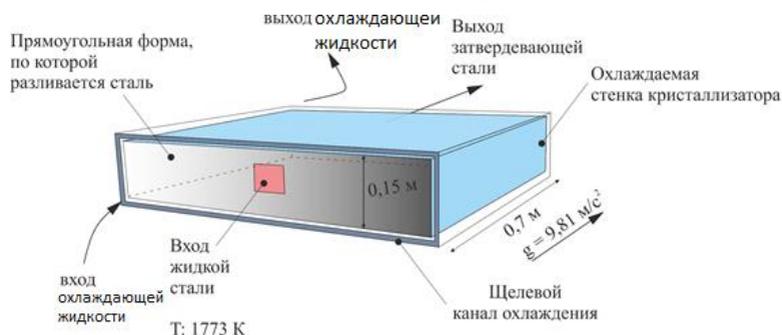


Рис. 1. Общий вид модели.

Таблица 1

Результаты расчета тепла, отводимого от кристаллизаторов

Параметр	Отводимый тепловой поток, МВт	
	Охлаждение водой	Охлаждение свинцово-висмутовой эвтектикой
Сплошной щелевой канал	1,722	1,404
Периодический щелевой канал	1,699	1,392

*Исследования проводятся при поддержке Российского Фонда Фундаментальных исследований (договор № 19-48-400003).*

### **Литература**

1 Ульянов В.В., Асхадуллин Р.Ш., Мельников В.П. и др. Свинцовсодержащие теплоносители в перспективных технологиях переработки твердого, жидкого и газообразного сырья // Вопросы атомной науки и техники. Серия: Ядерно-реакторные константы. – 2019. – № 1. – С. 52-66.

2 Torabi Rad M. solidificationMeltingSource: A Built-in fvOption in OpenFOAM® for Simulating Isothermal Solidification. In: Nóbrega J., Jasak H. (eds) OpenFOAM®. Springer, Cham. (2019) pp.455-464 [https://doi.org/10.1007/978-3-319-60846-4\\_32](https://doi.org/10.1007/978-3-319-60846-4_32).

## **«RISKAgro» – ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ ОЦЕНКИ РИСКА ПРОИЗВОДСТВА ПРОДУКЦИИ, НЕ СООТВЕТСТВУЮЩЕЙ НОРМАТИВНЫМ ТРЕБОВАНИЯМ ПО СОДЕРЖАНИЮ <sup>137</sup>Cs И <sup>90</sup>Sr**

*Е.В. Копыльцова, Р.С. Куриленко  
Государственное научное учреждение «Институт  
радиобиологии Национальной академии наук Беларуси»,  
г. Гомель, Республика Беларусь*

Для автоматизации расчетов и сокращения времени для принятия решения о возможности производства того или иного вида продукции сельского хозяйства на загрязненных

радионуклидами землях, разработано Windows-приложение «RISKAgro» (язык программирования C#). В приложение заложен модельный подход к прогнозированию удельной активности  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  с использованием статистической модели, связывающей коэффициенты перехода с совокупностью почвенных характеристик, и методов оценки риска несоответствия производимой продукции нормативным требованиям одновременно по двум радионуклидам ( $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$ ) с применением критериев степени значимости риска, присвоением рангов и использованием матрицы последствий/вероятностей [1-3].

«RISKAgro» представляет собой электронный интерактивный справочник рисков производства сельскохозяйственной продукции с превышением нормативов по содержанию радионуклидов, в состав которого входят три специализированных модуля: растениеводство, кормопроизводство и животноводство. На данном этапе исследований справочник функционирует на примере трех сельскохозяйственных организаций Гомельской области: ОАО «Брагинский» Брагинского района, КСУП «Судково» Хойникского района, КУП «Совхоз-комбинат «Заря» Мозырского района. Для этих организаций, используя созданное приложение «RISKAgro», спрогнозирована удельная активность  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  и выполнены расчеты рисков превышения допустимых уровней содержания радионуклидов в основных видах сельскохозяйственной продукции.

Риск производства ненормативной продукции по содержанию  $^{137}\text{Cs}$  в соответствии с республиканскими допустимыми уровнями (РДУ-99) для всех рассматриваемых культур на различные цели (зерно на пищевые цели, молоко цельное, молоко сырье для переработки на масло) практически отсутствует. Риск более 10% отмечен по отдельным элементарным участкам, которые в зависимости от культуры составляют от 1% до 20% площадей в ОАО «Брагинском» и КСУП «Судково». Максимальные риски по  $^{90}\text{Sr}$  (риск более 50% существует на 90% сельскохозяйственных угодий) отмечаются при выращивании зерна на пищевые цели для всей площади

сельскохозяйственных земель ОАО «Брагинский» Брагинского района и КСУП «Судково» Хойникого района. Для оценки рисков производства продукции животноводства (молока/мяса крупного рогатого скота) использовались типовые рационы кормления животных сельскохозяйственных организаций, расположенных на территории радиоактивного загрязнения. Расчеты показали, что, например, существуют высокие риски при производстве мяса с содержанием  $^{137}\text{Cs}$  более 200 Бк/кг (норматив ТР ТС 011/2011) и молока с содержанием  $^{90}\text{Sr}$  более 3,7 Бк/кг (норматив РДУ-99) при использовании в кормлении КРС рационов с преобладанием сенажа, использованием в качестве фуражных культур – бобовых, а также зеленой массы из некоторых кормовых культур, например, заготовленной на естественных сенокосах и пастбищах, пойменных и торфяных почвах. Прогнозные средние значения удельной активности  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  хорошо сопоставимы с данными радиационного контроля.

Электронный справочник «RISKAgro» может быть использован, как инструментарий, позволяющий значительно сократить время на принятие управленческого решения по оценке пригодности земельных ресурсов для производства нормативно чистой продукции в сельскохозяйственных организациях, расположенных на территориях радиоактивного загрязнения.

### *Литература*

1 Аверин В.С., Буздалкин К.Н., Копыльцова Е.В., Цуранков Э.Н. Применение статистических методов для прогноза загрязнения  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  сельскохозяйственных культур в отдаленный период после катастрофы на Чернобыльской АЭС //25 лет после Чернобыльской катастрофы. Преодоление ее последствий в рамках Союзного государства. Сб. пл. док. Межд. науч.-практ. конф. Под общ. ред. д-р б. н. В.С. Аверина. – Гомель: "Сож", 2011. –С. 136-144.

2 Копыльцова, Е.В. Методы оценки риска производства продукции, не соответствующей нормативным требованиям по содержанию  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  / Техногенные системы и экологический

риск: Тезисы докладов IV Международной (XVII Региональной) научной конференции 19-20 апреля 2021 г./ Под общ. ред. А.А. Удаловой. – Обнинск: ИАТЭ НИЯУ МИФИ, 2021. – С. 152-154.

З Копыльцова, Е.В. Риск-ориентированный подход к оценке возможности производства «нормативно-чистой» продукции на загрязненных радионуклидами землях / Радиоэкологические последствия радиационных аварий: к 35-ой годовщине аварии на ЧАЭС. Сборник докладов Межд. науч.-прак. конф. – г. Обнинск 22–23 апреля 2021 г. – С. 263-266.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ МИГРАЦИИ ТРИТИЯ ПО МЕХАНИЗМУ «ВОЗДУХ-РАСТЕНИЕ»**

*С.А. Краснопеев, С.Н. Лукашенко, М.А. Эдомская,  
А.В. Томсон*

*ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский радиологии  
и агроэкологии», г. Обнинск, Россия*

Тритий является одним из основных радионуклидов в выбросах атомных станций. В настоящее время объем годовых выбросов трития в мире оценивается величиной  $n \cdot 10^{17}$  Бк. Учитывая темпы развития атомно-энергетической промышленности, можно утверждать, что количество трития в окружающей среде будет возрастать.

С радиозэкологической точки зрения важно вести мониторинг концентрации трития не только в воздухе и водных объектах, но и в растительных объектах. Влияние на конечную концентрацию трития в растениях может оказывать ряд факторов, в том числе путь поступления трития в растительный объект. Считается, что лишь незначительное количество воды, а соответственно и тритированных ее форм, поглощаются из воздуха. Соответственно, процессы миграции трития по механизму «воздух-растение» малоизучены. В связи с этим, целью данной работы является исследование поступления трития в растительные объекты данным путем.

Для достижения поставленной цели был проведен вегетационный эксперимент, в ходе которого растения

выращивались в теплицах с поддерживаемой и контролируемой тритиевой атмосферой. Для изучения использовались несколько видов растений: огурцы, томаты, свекла, редис, картофель, кукуруза, петрушка, перец, салат, укроп и бобы. В процессе эксперимента отбирались образцы растений. Из образцов отжимался сок, из которого посредством перегонки получали аналитический образец, в котором тритий определялся жидкосцинтилляционным методом.

При средней концентрации трития в водяных парах воздуха 810 Бк/л, была определена следующая концентрация трития в растениях: огурцы – 140-730 Бк/л, томаты – 150-630 Бк/л, свекла – 200-540 Бк/л, редис – 410 Бк/л, картофель – 80-240 Бк/л, кукуруза – 110-310 Бк/л, петрушка – 150-240 Бк/л, перец – 110-560 Бк/л, салат – 180-750 Бк/л, укроп – 170-460 Бк/л, бобы – 540 Бк/л. Следует отметить, что концентрация трития в различных вегетативных органах отличается. У огурцов концентрация трития в листьях и плодах превышает его концентрацию в стеблях в среднем в 1,5-2 раза. Средняя концентрация в листьях огурцов – 380 Бк/л, в плодах – 340 Бк/л, в стеблях – 210 Бк/л. У томатов концентрация в стеблях и плодах практически равна, тогда как концентрация в листьях почти в 2 раза больше. Средняя концентрация в листьях томатов – 530 Бк/л, в плодах – 280 Бк/л, в стеблях – 280 Бк/л. Также было проведено исследование влияние влажности почвы (в диапазоне от 30% до 50% влажности) и ее состава (отличалась доля органического вещества в почве) на поступление трития по механизму «воздух-растение». Результаты показали, что данное влияние отсутствует в обоих случаях.

Комплекс полученных результатов позволяет сделать вывод о чрезвычайной важности механизма миграции трития по пути «воздух-растение» и необходимости учета его вклада при оценке радиоэкологической ситуации на потенциально радиационно-опасных объектах.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРА ВЕРТИКАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ $^{137}\text{Cs}$ , $^{241}\text{Am}$ и $^3\text{H}$ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ПРИРОДНЫХ ОЗЕР ТЕРРИТОРИИ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА

*Р.Г. Лаврикова, Ж.Е. Тлеуканова, А.К. Айдарханова,  
А.С. Мамырбаева*

*Институт радиационной безопасности и экологии НЯЦ РК,  
г. Курчатов, Казахстан*

В работе представлены данные по вертикальному распределению техногенных радионуклидов в донных отложениях природных озер территории Семипалатинского испытательного полигона. Объектами исследования являлись оз. Жингылды, оз. Кишкенсор, оз. без названия (б/н) 4 и оз. Шубран. Был произведен точечный отбор по 1 ненарушенной колонке донных отложений. На оз. Жингылды и оз. Кишкенсор пробы отбирались с прибрежной части озер. На оз. б/н 4 и оз. Шубран в связи с климатическими условиями наблюдалось частичное обмеление, что дало возможность произвести отбор проб донных отложений в центральной части озер. Высота отобранных колонок достигала до 20 см. Разделение колонки донных отложений послойно проводилось сразу на местах отбора. Толщина одного слоя составляла 10-12 мм, масса 0,25-0,30 кг.

В работе применялись методы гамма-спектрометрических измерений для определения содержания в анализируемых пробах  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{241}\text{Am}$ , и бета-спектрометрических измерений для определения содержания  $^3\text{H}$  в прочносвязанной форме.

При исследовании донных отложений оз. Жингылды пик активности радионуклида  $^{137}\text{Cs}$  наблюдается в поверхностном слое 0-1 см, удельная активность составила  $6,0 \pm 1,0$  Бк/кг. Значения удельной активности  $^{241}\text{Am}$  в донных отложениях данного озера находятся ниже предела обнаружения используемого аппаратурно-методического обеспечения. Для оз. Жингылды пик активности  $^3\text{H}$  зафиксирован на глубине 8-9 см

( $2250 \pm 200$  Бк/кг), также имеются численные значения на уровне 2-3 см, которые равны  $110 \pm 10$  Бк/кг и  $80 \pm 8$  Бк/кг соответственно.

По данным исследований донных отложений оз. Кишкенсор полученные численные значения радионуклида  $^{137}\text{Cs}$  не превышают  $6,0 \pm 1,0$  Бк/кг по всему профилю. Значения удельной активности  $^{241}\text{Am}$  в донных отложениях находятся ниже предела обнаружения. Содержание  $^3\text{H}$  в донных отложениях оз. Кишкенсор фиксируется от минимального  $112 \pm 10$  Бк/кг до максимального  $12600 \pm 1200$  Бк/кг по всей глубине. По результатам ранее проведенных работ установлено, что радионуклидное загрязнение оз. Кишкенсор происходит в результате выхода загрязненных подземных вод из скважин площадки «Балапан» на дневную поверхность озера.

В донных отложениях для оз.б/н 4 наблюдается сдвиг в расположении активностей по профилю радионуклида  $^{137}\text{Cs}$  на глубину 6-9 см. В данном диапазоне удельная активность для  $^{137}\text{Cs}$  составляет от  $2,2 \pm 1,0$  до  $3,0 \pm 1,0$  Бк/кг. Удельная активность  $^{241}\text{Am}$  в донных отложениях наблюдается с 5-9 см, что согласовывается с результатами по  $^{137}\text{Cs}$ , значения варьируются от  $2,0 \pm 0,5$  до  $3,0 \pm 1,0$  Бк/кг. Максимальное содержание по  $^3\text{H}$  фиксируется на глубине 5-6 см, и составляет  $2100 \pm 210$  Бк/кг. Максимальные значения по  $^{137}\text{Cs}$  для оз. Шубран также зафиксированы на глубине 4-5 см и составляют  $11,0 \pm 1,2$  Бк/кг и  $13,0 \pm 1,4$  Бк/кг. В донных отложениях оз. Шубран зафиксировано численное значение  $^{241}\text{Am}$  ( $1,6 \pm 0,3$  Бк/кг) только в 4 см. Значения удельной активности  $^3\text{H}$  в донных отложениях находятся ниже предела обнаружения.

Согласно результатам,  $^{137}\text{Cs}$  сосредоточен в поверхностных слоях оз. Жингылды и оз. Кишкенсор, а в оз.б/н 4 и оз. Шубран полученные значения равноудалены от поверхностного слоя. Для оз.б/н 4 полученные численные значения по всем радионуклидам согласовываются между собой. Численные значения радионуклида  $^{241}\text{Am}$  зафиксированы только в оз.б/н 4 и оз. Шубран. Закономерность распределения  $^3\text{H}$  в исследуемых озерах не установлена, возможно, из-за высокой миграционной способности данного радионуклида. Стоит отметить, что

полученные результаты в данной работе согласовываются между собой и тесно связаны с расположением точек отбора проб донных отложений.

## **АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ И РОБОТИЗИРОВАННЫЙ ГАММА-СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЯДЕРНО-ФИЗИЧЕСКИХ УСТАНОВОК ПРИ ВЫВОДЕ ИХ ИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ И КОНТРОЛЯ ЗА РАДИАЦИОННОЙ ОБСТАНОВКИ**

*А.И. Маджидов, В.В. Дмитренко, С.Е. Улин, К.Ф. Власик,  
В.М. Грачев, Р.Р. Егоров, К.В. Кривова, З.М. Утешев,  
И.В. Чернышева, А.Е. Шустов  
Национальный Исследовательский Ядерный Университет  
«МИФИ», г. Москва, Россия*

После аварий на атомных электростанциях в Три-Майл-Айленд, Чернобыле и Фукусиме стало ясно, что необходимо проведение дальнейших научных разработок и создание новых измерительных комплексов для решения задач вывода из эксплуатации ядерных радиационно-опасных объектов (ВЭ ЯРОО). При этом важными требованиями, предъявляемыми к измерительной аппаратуре, являются дистанционное управление, наличие телеметрических систем видеонаблюдения и контроля, возможность передачи полученных результатов измерений с помощью современных систем связи на удаленные компьютерные системы сбора и обработки информации в режиме реального времени.

Большинство созданных роботизированных систем состоит из двух частей: перемещаемой платформы и расположенном на ней блоке детектирующей аппаратуры с системами управления и навигации [1]. Современные роботизированные комплексы отличаются друг от друга, в основном, составом аппаратуры, используемой для регистрации различных компонент ионизирующего излучения.

Недостатком многих мобильных комплексов является отсутствие гамма-спектрометрической аппаратуры с высоким

энергетическим разрешением, детально определяющий изотопный состав и их активность. Комплексы, оснащённые гамма-спектрометрической аппаратурой, как правило, основаны на базе сцинтилляционных или полупроводниковых гамма-спектрометров.

Впервые в составе роботизированного комплекса предлагается использовать ксеноновый гамма-спектрометр (КГС). Данный тип спектрометров обладает высоким энергетическим разрешением (1,7% для энергии 662 кэВ [2]), превосходящим в несколько раз приборы на основе сцинтилляторов NaI и CsI, для которых оно составляет 7 – 9 % при той же энергии. Ксеноновые гамма-спектрометры не требуют охлаждения и в отличие от полупроводниковых гамма-спектрометров на основе сверхчистого германия способны работать при температурах до 180°C. Полупроводниковые детекторы обеспечивают значительно лучшее энергетическое разрешение, которое достигает 0,2 – 0,3 % на линии 662 кэВ, однако их необходимо охлаждать до низких температур.

Создан и испытан прототип гамма-комплекса, в первые были проведены непрерывные испытания дистанционного приёма и передачи данных на расстоянии 2 км с помощью микрокомпьютера и модуля мобильной связи SIM7600E-N в течение двух суток. В качестве гамма-спектрометра был использован 2 л ксеноновый гамма-детектор и измерение проводилось с помощью радиоактивных источников ОСГИ  $^{133}\text{Ba}$ ,  $^{60}\text{Co}$  и  $^{22}\text{Na}$ . Гамма-спектры визуально отображались с помощью программным обеспечением «НАБОР», которое было создано для набора гамма-спектров от КГС. Указанные свойства КГС демонстрирует перспективность использования его для обнаружения и идентификации радиоактивных материалов. При этом обеспечивается радиационная безопасность рабочего персонала в процессе вывода из эксплуатации ядерно-физических установок.

### *Литература*

1 Guzman, R., et al. RESCUER: Development of a Modular Chemical, Biological, Radiological, and Nuclear Robot for

Intervention, Sampling, and Situation Awareness //Journal of Field Robotics. – 2016. – 33(7) – P. 932-945.

2 Novikov A.S., Ulin S.E., Chernysheva I.V., et al.; "Xenon gamma-ray detector for ecological applications," J. Appl. Remote Sens., 9(1), 096087 (2015). doi:10.1117/1.JRS.9.096087.

## **ЭПР-СИГНАЛ ЧЕРНОГО МОЛОТОГО ПЕРЦА, РАДИАЦИОННО-ОБРАБОТАННОГО В ДОЗЕ 6 КГР**

*И.М. Меджидов, В.А. Харламов, И.В. Полякова  
ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт  
радиологии и агроэкологии», г. Обнинск, Россия*

Черный перец – высушенная, незрелая ягода (*Piper nigrum L.*), является широко используемой пряностью, которая обладает интересными фармакологическими и токсикологическими свойствами. Образцы черного перца часто загрязнены опасными для человека микроорганизмами. Радиационная обработка пищевых растительных продуктов в настоящее время принята в качестве стандартного и безопасного метода стерилизации, который снижает риск микробиологических загрязнений и продлевает срок годности продуктов. Однако эффективная защита потребителей требует однозначного определения того, подвергались ли пищевые продукты воздействию облучения даже в течение длительного периода после процесса облучения. С целью решения данной задачи Европейским комитетом была предложена методика ЭПР спектрометрии для идентификации факта облучения пищевой продукции (EN 1787 (2000)). В настоящей работе проведено экспериментальное исследование по идентификации факта облучения черного перца при помощи спектрометра на основе электронного парамагнитного резонанса.

Семена черного перца были облучены на гамма-установке ГУР-120 (Обнинск, ВНИИРАЭ) дозой 6 кГр. Облученные образцы были измельчены и помещены в сухожаровой шкаф для дальнейшей сушки. После всех процедур пробоподготовки бралось по 200 мг исследуемого вещества и помещалось в

специальные кварцевые пробирки, предназначенные для проведения спектрометрии.

ЭПР-спектры регистрировались при помощи спектрометра ESR70-03 XD/2 (Минск, Беларусь). Основные параметры ЭПР-спектрометра во время измерений были следующими:

- Модуляция – 10 Э.
- Мощность СВЧ – 200 мВт.
- Время снятия – 100 сек.
- Количество повторных измерений – 10.

Полученные результаты представлены ниже (рис. 1, 2). Стрелками обозначены значения g-фактора для различных пиков. Для расчёта использовалась следующая формула:

$$g = hv/\beta H, \quad (1)$$

где  $h$  – постоянная Планка,  $\nu$  – СВЧ-частота,  $\beta$  – магнетон Бора,  $H$  – выбранное магнитное поле.

Полученные спектры относятся к двум различным парамагнитным видам:

1. Яркий выраженный пик посередине поля, обусловленный органическим свободным радикалом, который является результатом либо биохимических, либо радиационно-индуцированных реакций.
2. Триплет сигнал с обеих сторон основного сигнала, который относится к иону  $Mn^{2+}$  [1].

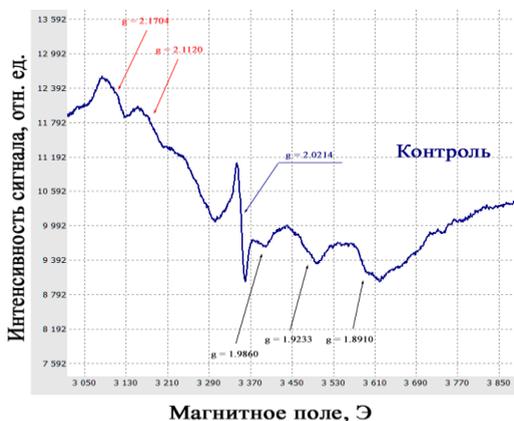


Рис. 1. ЭПР-спектр необлученного образца.

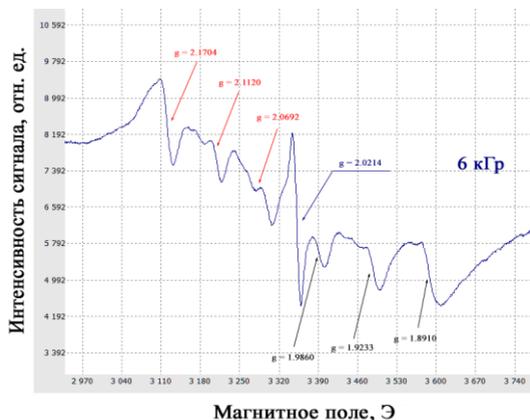


Рис. 2. ЭПР-спектр образца с поглощенной дозой 6 кГр.

Наблюдается увеличение интенсивности сигнала у образца с дозой 6 кГр, что обусловлено воздействием ионизирующего излучения. Амплитуда основного пика возросла на 80% относительно контрольного значения, что позволяет идентифицировать факт облучения пищевой продукции и проводить дозиметрию, имея базу градуировочных данных.

### *Литература*

1 Ukai M., Shimoyama Y., «Free radicals in irradiated pepper: An electron spin resonance study» // Applied Magnetic Resonance 24, 2003.

## **ОЦЕНКА УРОВНЕЙ ВМЕШАТЕЛЬСТВА ДЛЯ ЗАЩИТЫ НАСЕЛЕНИЯ ПРИ АВАРИЯХ НА АЭС**

*Р.А. Микаилова, С.И. Спиридонов, С.В. Фесенко  
ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии», г. Обнинск, Россия*

Принятие оперативных решений при радиоактивном загрязнении территорий в результате аварий на АЭС должно основываться на результатах радиэкологического мониторинга в первый период после выпадений. В связи с этим МАГАТЭ

разработало рекомендации для определения уровней оперативного вмешательства (УОВ), которые должны быть установлены до возникновения аварийной ситуации [1]. Решение о применении защитных мероприятий принимается по результатам сопоставления УОВ с данными мониторинга.

Цель работы - расчет УОВ для показателя «содержание  $^{131}\text{I}$  и  $^{137}\text{Cs}$  в продуктах питания» на основе данных, характеризующих сценарии аварийных выбросов российских АЭС.

В качестве исходных данных рассматривались составы радиоактивных выбросов при постулированных авариях для реакторов ВВЭР-1200, ВВЭР-1000, БН-800 и при аварии на ЧАЭС для реактора РБМК-1000.

Как показано на рис. 1, критическими являются уровни содержания  $^{131}\text{I}$  в сценариях ПА-2, ЗА-2 и ЗА-4 для БН-800 ввиду его минимального содержания в выбросах относительно других радионуклидов. Оценка  $\text{УОВ}_{\text{Cs-137}}$  показывает, что наиболее опасным является сценарий для АЭС с реактором РБМК-1000.

Следует подчеркнуть, что  $\text{УОВ}_{\text{I-131}}$  резко снижается в первые недели после выпадений за счет распада короткоживущего  $^{131}\text{I}$ . В последующий период времени целесообразно применять  $\text{УОВ}_{\text{Cs-137}}$ , так как  $^{137}\text{Cs}$  является радиоэкологически значимым долгоживущим радионуклидом.

Полученные значения УОВ можно использовать для принятия решений по радиационной защите населения, основываясь на базовых критериях, предложенных МАГАТЭ. Для определения значений УОВ, отвечающих нормативам Российской Федерации, необходимо пересмотреть базовые критерии в соответствии с указанными в НРБ-99/2009 уровнями облучения населения, при которых необходимо срочное вмешательство.

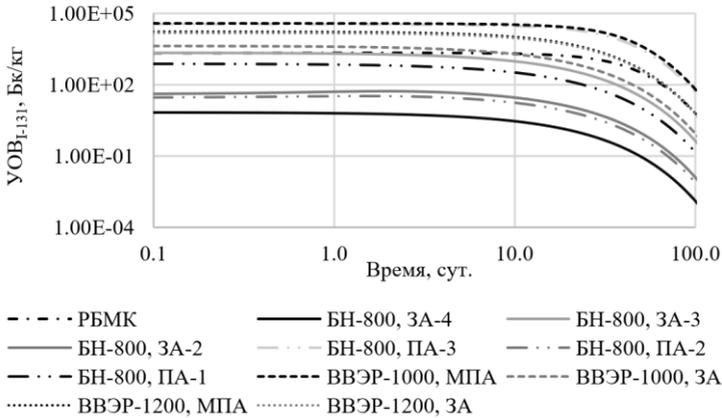


Рис. 1. УОВ<sub>I-131</sub> для различных сценариев аварийных выбросов.

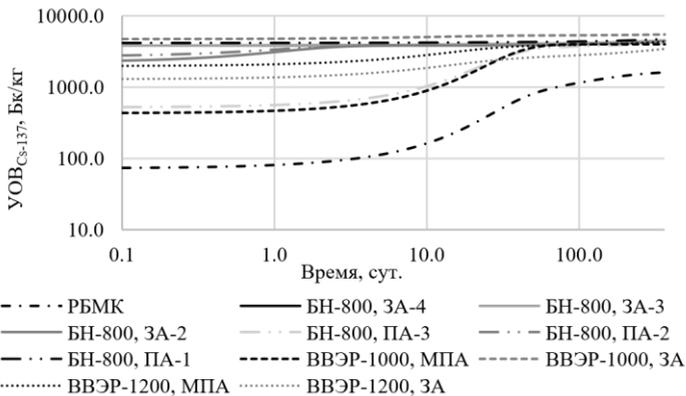


Рис. 2. УОВ<sub>Cs-137</sub> для различных сценариев аварийных выбросов в 1-й год после аварии.

### *Литература*

1 IAEA. Operational Intervention Levels for Reactor Emergencies and Methodology for Their Derivation. Vienna: International Atomic Energy Agency, 2017. 160 p.

## ХАРАКТЕРИЗАЦИЯ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ В РАЙОНЕ РАСПОЛОЖЕНИЯ ОБЪЕКТА ЛПО «АЛМАЗ» И Г. ЛЕРМОНТОВ

*П.С. Микляев<sup>1,2</sup>, Т.Б. Петрова<sup>3</sup>, Т.Н. Лащенова<sup>4,5</sup>,  
Л.Э. Карл<sup>1,4</sup>, А.М. Маренный<sup>1</sup>, Ю.К. Губанова<sup>1,4</sup>,  
М.Р. Мнацаканян<sup>4</sup>*

<sup>1</sup> – ФГУП НТЦ РХБГ ФМБА России, г. Москва, Россия

<sup>2</sup> – Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН,  
г. Москва, Россия;

<sup>3</sup> – МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия;

<sup>4</sup> – Российский университет дружбы народов (РУДН),  
г. Москва, Россия;

<sup>5</sup> – ФГБУ ГНЦ РФ ФМБЦ А.И. Бурназяна ФМБА России,  
г. Москва, Россия

**Введение.** На территории объекта наследия ЛПО «Алмаз» после реабилитации остались отвалы и штольни, что приводит к выходу на поверхность дренажных вод с повышенным содержанием природных радионуклидов уранового ряда, которые поступают в поверхностные водоемы. Эти водоёмы потенциально могут быть использованы населением в рекреационных целях и для несанкционированного питьевого водоснабжения, которое на данной территории регулируемое. Цель работы – радиоэкологическая оценка водных объектов в районе расположения объекта ЛПО «Алмаз» и в жилых районах города Лермонтов.

**Материалы и методы.** Опробовали 16 водных объектов. Измерили объемную активность  $^{222}\text{Rn}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  и  $^{238}\text{U}$  в воде и удельную активность  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$  в донных отложениях. Радиоэкологическую оценку воды проводили в сравнении с уровнями вмешательства для питьевой воды, а донные отложения по эффективной удельной активности ( $A_{\text{эфф}}$ ) для природных радионуклидов, установленными в НРБ-99/2009 для твердых материалов. Среднегодовая эффективная доза облучения (СГЭД) для воды котируется и не должна превышать 0,1 мЗв/год для населения.

**Результаты.** Провели статистическую обработку полученных данных, выявили, что распределение всех параметров контроля подчиняются логнормальному распределению, для характеристики средней тенденции использовали медиану. При этом есть районы с существенными превышениями ЕРН: максимальные концентрации  $ОА_{Rn}$  (411 Бк/кг) и  $ОА_{Ra}$  (6,2 Бк/кг) зафиксированы в воде в районе шахты №16; УВ в воде превышает по  $^{222}Rn$  в 7 раз, по  $^{226}Ra$  в 13 раз; в воде родника Монастырский  $ОА_{Rn}$  (218 Бк/кг) и  $ОА_{Ra}$  (1,1 Бк/кг), превышение УВ в 4 и 2 раза соответственно; рассчитали СГЭД, превышение квоты в воде из штольни №16 в 8-13 раз (0,86-1,3 мЗв/год), в роднике Монастырский в 2 раза (0,2 мЗв/год). Вода штольни №16 собирается в прудах, выполняющих роль отстойников,  $^{226}Ra$  концентрируется в донных отложениях, которые по  $A_{эфф}$  могут классифицироваться как отходы промышленного производства 3-4 класса опасности.

Водные объекты в жилой застройке города, соответствуют требованиям радиационной безопасности: превышение УВ в воде по  $^{222}Rn$  и  $^{226}Ra$  не выявлено; максимальные значение в одном из прудов составило 6,2 и 0,32 Бк/кг соответственно;  $A_{эфф}$  для ЕРН в донных отложениях - на уровне фона, при максимальном значении 154 Бк/кг,  $ОА_{Rn}$  и  $ОА_{Ra}$  в воде из системы централизованного водоснабжения находится ниже МДА. Рассчитали потенциальный канцерогенный риск при рекреационном использовании водных объектов с превышением УВ по ЕРН. Для перорального пути поступления риски находятся во втором диапазоне от  $1,0 \cdot 10^{-6}$  до  $1,0 \cdot 10^{-4}$  и не превышают верхнего предела риска для населения в целом. Значения пожизненного канцерогенного риска за счет внешнего облучения при погружении человека в воду прудов отстойников с повышенным  $A_{эфф}$  не выше  $1,0 \cdot 10^{-6}$  - классифицируется как «низкий» и не отличается от повседневных рисков. Установлено, что донные отложения прудов в районе штольни №16 нельзя использовать для рекреационного использования за счет  $^{226}Ra$ , который вносит основной вклад в потенциальный канцерогенный риск и меняется от  $1,0 \cdot 10^{-3}$  до 1,0 и является неприемлемым для населения.

**Выводы.** Водные объекты в районе объекта ЛПО «Алмаз» и в жилых районах г. Лермонтов в основном соответствуют требованиям радиационной безопасности. Пруды в районе штольни №16 содержат ЕРН потенциально опасные для здоровья населения. Это требует проведения постоянных мониторинговых работ на территории объекта наследия и информировании населения об их состоянии.

*Исследование выполнено в рамках реализации ФЦП «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2016-2020 годы и на период до 2030 года», а также при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-38-90291.*

## **СОДЕРЖАНИЕ РАДИОНУКЛИДОВ В ПОЧВЕ В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ НИФХИ им. Л. Я. КАРПОВА В 2018-2021 Г.**

*Я.В. Непогодина, А.А. Удалова*

*Обнинский институт атомной энергетики – филиал  
Национального исследовательского университета  
«МИФИ», г. Обнинск, Россия*

Радионуклиды природного происхождения ( $^{40}\text{K}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  и другие) содержатся в объектах окружающей среды, их излучение вносит вклад в радиационный фон планеты. Также в результате хозяйственной деятельности человека в окружающую среду поступают долгоживущие техногенные радионуклиды, например  $^{137}\text{Cs}$ . Для оценки экологической безопасности ядерно опасных предприятий необходимо изучать закономерности поведения естественных и техногенных радионуклидов в прилегающих природных экосистемах. В отличие от объектов ядерной энергетики, воздействие на окружающую среду предприятий неэнергетического профиля изучено недостаточно. Одним из таких объектов является расположенный в г. Обнинске научно-исследовательский физико-химический институт им. Л.Я. Карпова (НИФХИ).

Целью данной работы является изучение содержания гамма-излучающих радионуклидов в почвах в зоне влияния производственной деятельности НИФХИ им. Л.Я. Карпова.

Пробы почвы были отобраны методом конверта в 15-19-ти точках санитарно-защитной зоны и зоны наблюдения НИФХИ им. Л.Я. Карпова в 2018-2021 гг. Определена удельная активность радионуклидов ( $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$ ) в почве методом гамма-спектрометрии (НИЯУ МИФИ, г. Москва).

В табл. 1 представлены результаты определения удельной активности радионуклидов с 2018 по 2021 год, а также указаны средние фоновые значения по Московскому региону, по России и миру. Средние удельные активности естественных радионуклидов на изучаемой территории с течением времени практически не изменялись и оказались значительно ниже как региональных, так и мировых уровней. Видимо, это связано со свойствами данных почв. Гранулометрический состав изученных образцов представлен в основном песчаными и суглинистыми фракциями. Сорбирующая поверхность частиц этих типов почв низкая, что говорит о слабой способности к накоплению радионуклидов.

Таблица 1

Удельная активность радионуклидов в почвах вблизи НИФХИ, Бк/кг

	$^{137}\text{Cs}$	$^{226}\text{Ra}$	$^{232}\text{Th}$	$^{40}\text{K}$
2018 г.	4,4±4,7	11,5±2,2	13,9±2,7	316,1±34,5
2019 г.	4,0±4,3	12,6±7,7	11,6±7,9	316,1±109,9
2020 г.	4,0±1,5	13,3±3,2	16,5±3,5	337,4±67,8
2021 г.	6,1±1,9	11,2±3,1	16,8±3,7	334,7±68,8
Среднее по Московскому региону [1]	9,0	22,0	40,0	560
Среднее по России [2,3]	12,0±0,4	21,6±0,3	29,2±0,3	490±5
Среднее по миру [4]	-	35±4	33±3	400±24

Среднее содержание в изученных почвах техногенного  $^{137}\text{Cs}$  несколько ниже регионального и среднего по России уровня глобальных выпадений. На содержание и распределение  $^{137}\text{Cs}$  на изученной территории влияют как физико-химические условия в почвах, так и антропогенная деятельность человека.

Таким образом, исследование почв в зоне влияния НИФХИ в течение 4-х лет (2018-2021 гг.) показало, что содержание в почвах как естественных радионуклидов, так и  $^{137}\text{Cs}$  в изученный период практически не изменяется и остается на низком уровне по сравнению со средними региональными и мировыми значениями; пространственное распределение определяется особенностями микрорельефа.

### *Литература*

1 Лашенцова Т., Зозуль Ю. Определение фонового содержания радионуклидов и тяжелых металлов в почве // Атомная энергия, 2006. - Т. 100, вып. 3. – С. 231-237.

2 Орлов П. М., Аканова Н. И. Результаты радиационного мониторинга почв на реперных участках сельскохозяйственных угодий Российской Федерации // МСХ. 2020. – №1. – С. 27-32.

3 Орлов П. М., Сычев В. Г., Аканова Н. И. Естественные радионуклиды в почвах России и фосфатных рудах планеты // МСХ. 2020. – №4. – С. 62-66.

4 Мингареева Е.В., Апарин Б.Ф., Сухачева Е.Ю. Радионуклиды  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  в почвах на звонцовых и ленточных глинах // Биосфера. 2018. – №3. – С. 207-217.

## **ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ОЦЕНКИ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАДИАЦИОННОЙ ОБСТАНОВКИ В РАМКАХ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОТИВОАВАРИЙНЫХ ТРЕНИРОВОК В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ**

*Е.К. Нилова, К.Ю. Войтенко, В.С. Егоров  
ГНТУ «Центр по ядерной и радиационной безопасности»  
МЧС Республики Беларусь, г. Минск, Республика Беларусь*

В Республике Беларусь сформирована Государственная система предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций, обеспечивающая как аварийную готовность и аварийное реагирование в случае ядерных и радиационных аварий, так и контроль состояния объектов использования атомной энергии, а

также информационно-аналитическую поддержку в случае возникновения аварийных ситуаций. Важной составной частью функционирования таких систем является применение инструментариев для поддержки принятия решений в случае чрезвычайных ситуаций на радиационно опасных объектах, призванных обеспечивать как анализ складывающейся в результате аварии радиационной обстановки и прогноз ее развития, так и выработку рекомендаций по защите персонала объектов использования атомной энергии, населения, подвергшегося воздействию радиоактивного выброса и снижению возможных последствий для окружающей среды.

Специалисты Центра по ядерной и радиационной безопасности (далее – Центр), входящие в группу оценки и прогнозирования радиационной обстановки Информационно-аналитического центра Департамента по ядерной и радиационной безопасности (далее – ИАЦ), регулярно принимают участие в проведении противоаварийных тренировок с применением имеющихся в Центре программных средств, предназначенных для оперативной оценки и прогнозирования показателей, характеризующих радиационную обстановку при возникновении аварийных ситуаций на объектах использования атомной энергии, таких как JRODOS (ЕС), RECASS (Российская Федерация) и HotSpot (США). Для определения порядка использования указанных инструментариев с целью применения в деятельности ИАЦ проведены сравнительный анализ выходных параметров и ранжирование программных средств по степени заложенного в них консерватизма. Выбран сценарий аварийной ситуации на объекте проекта АЭС-2006, связанный с возникновением спектра разрывов паропроводов внутри и вне контейнента вплоть до максимального диаметра парового трубопровода с разрывом одной трубки в парогенераторе и выполнена оценки радиационных последствий. Установлено, что в расчетные коды оперативной оценки (HotSpot и RECASS Express) заложена наибольшая степень консерватизма. При этом данные инструментарии позволяют обеспечивать быстрые упрощенные расчеты для ранней стадии аварии на радиационно-опасном

объекте и наглядное представление результатов расчетов, в этой связи являются удобными программными продуктами для проведения обучения и тренировок экспертов по анализу ситуаций при гипотетических аварийных выбросах радиоактивных веществ и могут быть рекомендованы к использованию в целях оперативного исполнения функций ИАЦ в качестве первых инструментариев. Однако заложенные в данных инструментариях подходы накладывают временные и пространственные ограничения ввиду существенного повышения погрешности прогноза по мере отдаления от источника на расстояние свыше 10 км и при времени моделирования свыше нескольких часов.

В этой связи статус проведенной оценки радиационной обстановки рекомендуется считать предварительным, дополнительным к основным расчетам, выполненным, к примеру, расчетными кодами JRODOS и RECAST NT, технические возможности которых позволяют выполнять оценку радиационного воздействия, в том числе на значительных расстояниях от источника, как в случае возникновения аварийных ситуаций, так и в рамках проведения командно-штабных учений, и могут применяться также в качестве многофункциональных систем выработки адекватных к частным условиям с учетом ряда количественных и качественных критериев стратегических направлений проведения контрмер для ликвидации/минимизации возможных последствий аварий для использования лицами, принимающими решение.

## **ЭФФЕКТИВНОСТЬ КОРЕННОГО УЛУЧШЕНИЯ ЛУГОПАСТБИЩНЫХ УГОДИЙ ПОСЛЕ АВАРИИ НА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС**

*А.В. Панов, В.К. Кузнецов, Н.Н. Исамов  
ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт  
радиологии и агроэкологии», г. Обнинск, Россия*

После аварии на ЧАЭС сельское население, проживающее в

радиоактивно загрязненных регионах, оказалось в наибольшей степени подвержено дополнительному облучению за счет потребления местных продуктов питания с повышенным содержанием  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$ . При этом из всех сельскохозяйственных пищевых продуктов, содержащих радионуклиды, наибольший вклад в дозу внутреннего облучения населения вносило молоко. Поэтому организация кормовой базы сельскохозяйственных животных стало важнейшим звеном в производстве пищевых продуктов, отвечающих радиологическим нормативам. Целью работы является оценка радиэкологической эффективности коренного улучшения сенокосов и пастбищ, на радиоактивно загрязненных вследствие аварии на ЧАЭС территориях, в первые годы и через 15 лет после проведения реабилитации.

Исследование проведено на примере населенного пункта Веприн Клинцовского района Брянской области. Весной 2004 г. на двух участках в ареале населенного пункта были проведены работы по коренному улучшению пастбища и созданию окультуренного сенокоса на землях заброшенной пашни, для получения кормов (травы и сена) с пониженным содержанием  $^{137}\text{Cs}$ . Эффективность внедрения технологий для данного населенного пункта была обоснована с помощью многокритериального анализа как по радиэкологическим критериям, так и по экономическим, а также социально-психологическим показателям [1].

Коренное улучшение лугопастбищных угодий включало глубокую перепашку почвы, известкование, внесение повышенных доз минеральных удобрений и высев травосмесей. Показано, что агротехнические мероприятия позволили уменьшить плотность поверхностного загрязнения  $^{137}\text{Cs}$  почвы сельскохозяйственных угодий в 1,8 раза. Проведение коренного улучшения пастбища, расположенного в пойме реки, дало возможность снизить плотность поверхностного загрязнения  $^{137}\text{Cs}$  в 2,7 раза, мощность дозы в 1,9 раза. Отмечено, что критическими по накоплению  $^{137}\text{Cs}$  в травостое и аккумулярованию радионуклидов в пойме реки являются пониженные геоморфологические элементы ландшафта, где

преобладают торфяные почвы. В первые три года после коренного улучшения пастбища переход  $^{137}\text{Cs}$  в травостой уменьшился в 3 раза, на окультуренном сенокосе после агромелиорации до 8 раз. Через 15 лет после реабилитационных работ потенциал коренной мелиорации заметно снизился, однако накопление  $^{137}\text{Cs}$  в травостое сенокоса было меньше по сравнению с неокультуренными участками в 1,6 раза. На пастбище эта разница составила 1,8 раза. За счет коренного улучшения лугопастбищных угодий содержание  $^{137}\text{Cs}$  в молоке в первые годы после реабилитации снизилось в 3,3 раза, через 15 лет кратность снижения составила 1,5 раза [2]. Полученные результаты будут востребованы при оптимизации стратегий реабилитации радиоактивно загрязненных сельскохозяйственных земель, загрязненных радионуклидами вследствие аварии на ЧАЭС. Результаты многолетних наблюдений за изменением радиоэкологической обстановки на лугопастбищных угодьях, после коренного улучшения, можно использовать для обоснования целесообразности проведения реабилитационных мероприятий, обеспечивающих радиационную безопасность населения и производство радиологически безопасной сельскохозяйственной продукции на радиоактивно загрязненных территориях.

*Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (грант №18-19-00016).*

### ***Литература***

1 Панов А.В., Фесенко С.В., Алексахин Р.М. Оптимизация защитных мероприятий в сельских населённых пунктах в зоне аварии на Чернобыльской АЭС // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. – 2005. – №3. – С. 3-6.

2 Кузнецов В.К., Исамов Н.Н., Панов А.В. Оценка эффективности реабилитации лугопастбищных угодий на различных этапах после аварии на Чернобыльской АЭС // Радиация и Риск. – 2021. – Т. 30. – №2. С. – 50-61.

## РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ В РАЙОНЕ РАСПОЛОЖЕНИЯ БЕЛОЯРСКОЙ АЭС

*А.В. Панов<sup>1</sup>, А.В. Трапезников<sup>2</sup>, А.В. Коржавин<sup>2</sup>, И.В. Гешель<sup>1</sup>,  
С.В. Коровин<sup>1</sup>, М.А. Эдомская<sup>1</sup>*

*<sup>1</sup> – ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский  
институт радиологии и агроэкологии», г. Обнинск, Россия*

*<sup>2</sup> – ФГБУН ИЭРИЖ УРО РАН, г. Екатеринбург, Россия*

Питьевая вода – это один из наиболее ценных природных ресурсов, от качества которого напрямую зависит здоровье и нормальная жизнедеятельность человека. Поэтому к обеспечению приемлемого уровня безопасности питьевой воды предъявляются специальные требования. Одним из важных показателей качества питьевой воды является радиоактивность, обусловленная наличием в ней природных и техногенных радионуклидов. Цель исследования – анализ радиационной безопасности использования источников питьевого водоснабжения в районе расположения Белоярской АЭС и Института реакторных материалов.

Дана радиационно-гигиеническая оценка современного состояния источников питьевого водоснабжения населения в зоне наблюдения Белоярской АЭС (БАЭС) и Института реакторных материалов. На примере 10 тестовых населенных пунктов, расположенных на разном расстоянии и направлениях от радиационно-опасных объектов, определено содержание природных ( $^{234}\text{U}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$ ,  $^{210}\text{Po}$ ,  $^{222}\text{Rn}$ ,  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{228}\text{Th}$ ,  $^{230}\text{Th}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ) и техногенных ( $^3\text{H}$ ,  $^{14}\text{C}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{238}\text{Pu}$ ,  $^{239,240}\text{Pu}$ ,  $^{241}\text{Am}$ ) радионуклидов в питьевой воде водопроводов, скважин и колодцев. Результаты мониторинга источников водопользования в 2012-2013 гг. и в 2019 г. показали радиационную безопасность питьевых вод в районе БАЭС по ряду критериев. Так, максимальные уровни удельной суммарной альфа-активности радионуклидов в пробах были в 3,9 раза ниже критерия предварительной оценки соответствия воды требованиям радиационной безопасности (0,2 Бк/кг), удельной суммарной бета-активности в 5,7 раза меньше данного критерия

(1 Бк/кг). За весь период наблюдений ни в одной из проб питьевых вод не были превышены как уровни вмешательства по отдельным радионуклидам, определенные Приложением 2а к НРБ-99/2009, так и критерий соответствия питьевой воды требованиям радиационной безопасности – сумма отношений удельных активностей радионуклидов к уровням вмешательства не превышала 1. Содержание природных и техногенных радионуклидов в питьевой воде района БАЭС снижается в ряду: колодцы > скважины > водопроводы. Показано уменьшение за последние 20 лет удельной активности трития в питьевой воде района БАЭС на 20-35% в зависимости от источника водоснабжения. Отмечено, что начало эксплуатации реактора БН-800 не привело к увеличению содержания техногенных радионуклидов ( $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ) в подземных водах. Средняя годовая эффективная доза (СГЭД) внутреннего облучения населения от потребления питьевой воды в зоне потенциального влияния БАЭС составляет 0,05 мЗв, по консервативным оценкам – 0,07 мЗв, что ниже референтного дозового уровня ожидаемой эффективной дозы за счет потребления питьевой воды в течение одного года (0,1 мЗв/год), рекомендованного ВОЗ. Основной вклад в формирование СГЭД внутреннего облучения населения (98,9%) от потребления питьевой воды в районе БАЭС вносят природные радионуклиды. Наибольший вклад в дозу внутреннего облучения за счет потребления питьевой воды от природных радиоизотопов вносит  $^{210}\text{Po}$  – 43%, несколько меньший  $^{210}\text{Pb}$  – 25%. На третьем месте в дозоформировании от природных радионуклидов находятся:  $^{234}\text{U}$  (8%),  $^{228}\text{Ra}$  (7%),  $^{226}\text{Ra}$  (6%) и  $^{230}\text{Th}$  (6%). Роль остальных природных радиоизотопов в формировании дозы внутреннего облучения от потребления питьевой воды не превышает 2-3%. Вклад техногенных радионуклидов в СГЭД от потребления питьевой воды ничтожно мал (около 1%). От техногенной компоненты наибольший вклад в формирование дозы внутреннего облучения вносят  $^{90}\text{Sr}$  (60%),  $^3\text{H}$  (20%) и  $^{241}\text{Am}$  (12%) [1].

*Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (грант №18-19-00016).*

## *Литература*

1 Панов А.В., Трапезников А.В., Коржавина А.В., Гешель И.В., Коровин С.В., Эдомская М.А. Радиационный мониторинг питьевой воды в районе Белоярской АЭС // Радиационная гигиена. – 2021. – Т. 14. – №1. – С. 86-101.

## **ВЛИЯНИЕ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА СОДЕРЖАНИЕ КВЕРЦЕТИНА В РАСТВОРАХ С РАЗНЫМ ЗНАЧЕНИЕМ pH**

*И.В. Полякова, Н.А. Фролова, О.А. Губина  
ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии», г. Обнинск, Россия*

Кверцетин — природный антиоксидант из группы флавоноидов. В большом количестве содержится в растениях (преимущественно красного, багрового цвета). Чистое вещество получают из растительного сырья путем гидролиза.

В исследовании кверцетин (Диа-М, Россия) растворяли в этиловом спирте с итоговой концентрацией 100 мг/л и подвергали воздействию гамма-излучения в дозах 1, 3, 5 и 10 кГр

В итоге полученные спектры поглощения имели следующий вид (рис. 1).

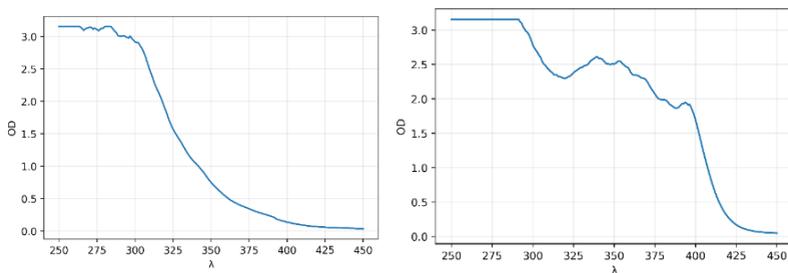


Рис. 1. Зависимость оптической плотности исследуемых растворов кверцетина от длины волны (справа - контроль pH = 6, слева - 10 кГр pH = 6)

Полученные данные обрабатывались в предположении, что в области 370 нм (максимум поглощения кверцетина) спектр формируется суммой линейного фона и пика, имеющего форму гауссиана, обусловленного поглощением света кверцетином, площадь которого линейно зависит от концентрации:

$$s_i = a_0 + a_1 \cdot \lambda_i + a_2 \cdot g(\lambda_i, \mu, \sigma) \quad (1)$$

где  $g(x, \mu, \sigma) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$  — плотность нормального распределения с центром в точке  $\mu$  и стандартным отклонением среднего  $\sigma$ .

Параметры  $a_0$ ,  $a_1$ ,  $a_2$  зависимости (1) для каждого спектра определяли методом наименьших квадратов. Для поиска оптимальных значений  $\mu$  и  $\sigma$  применяли метод Нелдера — Мида где минимизируемой функцией выступала сумма квадратов, полученная при оценке параметров  $a_0$ ,  $a_1$ ,  $a_2$ . Алгоритм автоматизированной обработки спектров был реализован на языке программирования Python версии 3.8.

В итоге расчетный параметр  $a_2$  (см. зависимость 1) отражает площадь пика с максимумом на  $370 \pm 5$  нм, который напрямую связан с концентрацией исследуемого вещества (табл. 1).

Таблица 1

Пересчет площади пика кверцетина в концентрацию

Доза облучения, кГр	pH=6		pH=3	
	Площадь пика, отн. ед	Концентрация, мг/л	Площадь пика, отн. ед	Концентрация, мг/л
0 (контроль)	0,8685	51,4	1,5849	93,9
1	1,2157	72,1	1,6873	100
3	0,3912	23,2	0,4769	28,2
5	0,0400	2,4	0,0106	0,63
10	-0,0128	-	0,0026	0,15

Ввиду того, что при растворении кверцетина в этаноле (рН=6) через 10 мин происходит процесс диссоциации и окисления молекул по первой гидроксильной группе [1], спектр поглощения раствора размывается (Рис. 1). При снижении рН до 3 молекулы кверцетина более устойчивы к диссоциации и окислению.

При увеличении дозы облучения молекулы кверцетина подвергаются окислению и деградаци, ввиду чего снижается концентрация антиоксиданта. При дозе в 3 кГр в растворе остается порядка 20-30% от исходного количества кверцетина.

### *Литература*

1 Решетникова И.С. Спектрофотометрическое изучение устойчивости растворов кверцетина и рутина при различной кислотности среды / Изв. Саратов. Ун-та. Нов сер. Химия. Биология. Экология. - 2018. – Т. 18. - №3. – С. 256-260.

## **ИЗУЧЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РАДИОУГЛЕРОДА В КОМПОНЕНТАХ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ ИСПЫТАТЕЛЬНОЙ ПЛОЩАДКИ «ОПЫТНОЕ ПОЛЕ»**

*А.М. Раимканова, А.К. Айдарханова, А.С. Мамырбаева*  
*Филиал «Институт радиационной безопасности и экологии»*  
*РГП «Национальный ядерный центр РК»,*  
*г. Курчатов, Казахстан*

Радиоуглерод ( $^{14}\text{C}$ ) – долгоживущий изотоп с периодом полураспада 5730 лет. В природных условиях он образуется в верхних слоях атмосферы под воздействием космического излучения. Радиоуглерод техногенного происхождения («бомбовый углерод») образуется при взаимодействии нейтронов, возникающих при ядерном взрыве, с ядрами атомов азота, в количествах, которые приводят к заметному увеличению его содержания в атмосфере и биосфере [1].

С этой точки зрения изучение распределения  $^{14}\text{C}$  в окружающей среде представляется интересным на территории Семипалатинского испытательного полигона (СИП). Площадка

«Опытное поле» была первой испытательной площадкой Семипалатинского полигона, которая предназначалась для проведения атмосферных (наземных и воздушных) ядерных испытаний в период с 1949 по 1962 гг [2]. В качестве участков исследований выбраны основные технические площадки «Опытного поля» – П-1, П-2, П-3, П-5, П-7. Пробы почвы отобраны послойно с глубины 0-5, 10-15 и 20-25 см. На участках отбора проб почвы производился отбор смешанной пробы растительности. Исследуемые образцы собирались в чистые полиэтиленовые пакеты, затем в лабораторных условиях удаляли включения (камни, корни и т.п.), высушивали до воздушно-сухого состояния в сушильном шкафу при температуре 105°C, и гомогенизировали.

Подготовка проб на радиоуглеродный анализ проводилась методом прокаливания и озоления. Для этого использовалась автоматизированная система Pyrolyser-6 Trio, специально разработанная для эффективного извлечения  $^3\text{H}$ ,  $^{14}\text{C}$ , а также других летучих радионуклидов из различных матриц (почва, донные отложения, пищевые продукты, биота, бетон и другие строительные материалы, металлы и биопробы). Измерение удельной активности  $^{14}\text{C}$  в подготовленных образцах проводилось методом жидкостцинтиляционной спектрометрии с использованием высокочувствительного альфа-бета радиометра SL-300.

Согласно полученным результатам, содержание  $^{14}\text{C}$  в почве находится в диапазоне  $<4 \div 24700$  Бк/кг, а в растениях –  $<4 \div 1400$  Бк/кг, что превышает уровень естественного фона (230 Бк/кг). Наибольшие концентрации  $^{14}\text{C}$  фиксируются на технических площадках П-1, П-3 и П-5, что объясняется нейтронно-активационными процессами, происходившими на данных участках в результате проведения ядерных испытаний. Относительно невысокое содержание  $^{14}\text{C}$  в пределах от 150 до 850 Бк/кг наблюдается в почвах исследовательских участков П-2 и П-7, где проводились гидроядерные и гидродинамические эксперименты, в процессе которых практически отсутствовало значимое ядерное энерговыделение. Полученные данные позволили установить общую тенденцию в вертикальном

распределении  $^{14}\text{C}$  по почвенному профилю: максимальные концентрации  $^{14}\text{C}$  фиксируются в верхней части профиля и закономерно уменьшаются с глубиной. Вероятнее всего, что специфика распределения  $^{14}\text{C}$  в исследуемых компонентах природной среды, в первую очередь, определяется механизмом радиоактивного загрязнения, обусловленным радиоактивными выпадениями из облаков ядерных испытаний, проведенных на площадке «Опытное поле».

### *Литература*

1 Айтмухамбетов А.А., Коломеец Е.В., Мансуров К.Ж. Радиационные аспекты испытания атомного оружия в атмосфере // Вестник КазГУ. Серия физика. – 1998. - № 4. – С. 51-53.

2 Семипалатинский испытательный полигон. Современное состояние / под ред. Э. Г. Батырбекова, С. Н. Лукашенко. – Изд. 3-е, перер. и доп. – Павлодар: Дом печати, 2017. – С. 6-8.

## **ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ВЫЯВЛЕНИЯ СТЕПЕНИ РАДИОАКТИВНОСТИ ГЛИНИСТЫХ МИНЕРАЛОВ РАЙОНОВ АЗЕРБАЙДЖАНА**

*Х.Л. Рафиева<sup>1</sup>, Л.А. Абдуллаева<sup>2</sup>, З.Р. Агаева<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup> – Бакинский Государственный Университет,  
г. Баку Азербайджан*

*<sup>2</sup> – Институт Катализа и Неорганической Химии,  
г.Баку, Азербайджан*

Деятельность человека является основным источником загрязнения почвы. Но также в наших руках применить устойчивые методы управления почвенными ресурсами [1].

Энергоносители - такие, как нефть, газ, газовый конденсат и сопутствующие им пластовые воды, содержат в своем составе, наряду с химическими элементами, и естественные радионуклиды [2].

В данной работе изучены вопросы экологической безопасности нефтеносных районов Азербайджана. Нефть и

сопутствующие им пластовые воды содержат в своем составе, наряду с химическими элементами, и естественные радионуклиды, вынос которых на поверхность земли происходит в процессе добычи нефти и газа. В этом аспекте особый интерес представляет радиоактивность почвенного покрова, непосредственно влияющим на наземную растительность и животный мир. Исследовалась радиоактивность горных пород алюмосиликатного типа. Ранее проведенными исследованиями в направлении определения степени радиоактивности глинистых пород ряда бентонитовых месторождений Хызинского и Товузского районов ( $K^{20}$ ,  $C_s^{137}$ ,  $U^{238}$ ,  $R^{228}$ ,  $Th^{232}$ ) в различных бентонитовых породах: Агдере, Гызылдере и Даш-Салахлы, было установлено, что их показатели радиоактивности находятся в пределах допустимых норм, безопасных для жизнедеятельности живых организмов [3].

Таблица 1

Результаты исследования степени радиоактивности глинистых пород месторождений Даш-Салахлы и Абшерон

Наименование месторождений	Активность	U (Бк/кг)	Th (Бк/кг)	K (Бк/кг)
Бентонитовая глина «Даш - Салахлы»	52,0	21,8	21,9	17,5
Бентонитовая глина "Абшерон"	144,72	40,7	51,8	412,11

Установлено, что радиоактивность глинистых пород нефтеносного Абшеронского района в несколько раз превышает радиоактивность пород других месторождений республики.

Радиационно-экологическая обстановка, определяемая уровнями радиоактивного загрязнения в местах работ, по-видимому, зависит от пролива нефти и пластовых вод на грунт. В связи с этим, вопросы утилизации источников радиоактивного загрязнения в технологических циклах работ должны

выделяться в особую строку обеспечения радиационно-экологической безопасности.

### *Литература*

1 Кораблева А.И., Чесанов Л.Г., Савин Л.С. Введение в экологическую экспертизу. Д.: Полиграфит, 2000. – 144 с.

2 Беспамятная Г.П. Предельно допустимые концентрации химических веществ в окружающей среде, Л. Химия, 1985. – 639 с.

3 Гарибов А.А., Халилов А.Д., Нагиев Д.А. Об урановых породах на южном склоне Большого Кавказа Азербайджана. VIII-ая конф. «Радиационные исследования и их практические аспекты», 2013. – С.169-179

## **СЦЕНАРИЙ ОЦЕНКИ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОДСТИЛАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ БЕСПИЛОТНОГО ДОЗИМЕТРИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА**

*И.А. Родионов, А.П. Елохин*

*Национальный исследовательский ядерный университет  
«МИФИ», г. Москва, Россия*

Авария на АЭС Фукусима выявила определенный недостаток традиционных методов регистрации излучения с помощью системы автоматизированной системы контроля радиационной обстановки (АСКРО). В момент выброса радиоактивных веществ, посты контроля в результате цунами были повреждены (23 из 24), что не позволило на ранних этапах оценить степень радиационного поражения местности [1].

При возникновении необходимости в оценки степени радиационного загрязнения территории, существует перспективный способ действий — бесконтактный, с применением беспилотного дозиметрического комплекса (БДК) [2], что позволит уменьшить риск облучения персонала, осуществляющего поисковые и разведывательные работы.

Использование БДК устраняют определенные трудности при оценке радиационного загрязнения – наличие мест или областей, нахождение на которых подвергает человека риску переоблучения, что делает невозможным нахождение на ней достаточное количество времени для проведения измерений.

При возникновении выброса в атмосферу на объектах использования атомной энергии, на первое место выходит сценарий, в рамках которого оценка радиоактивного загрязнения подстилающей поверхности может осуществляться путем использования геофизических моделей переноса воздушных масс [3]. Второй сценарий радиационного контроля подстилающей поверхности состоит в анализе радиоактивных пятен, случайно расположенных на почве. Использование оборудования системы АСКРО и математических моделей дает возможность получить исчерпывающую информацию классов устойчивости атмосферы во время аварии, позволяющую, в конечном итоге, получить картину расчетов изолиний радиоактивного загрязнения на карте местности [4,5]. В работе [6] показано, что использование БДК при разведке местности позволит не только сократить дозовую нагрузку разведывательного персонала, но и повысить скорость получения данных о распределении радиоактивных источников на местности. В работе дополнительно показана возможность оптимизации маршрута следования БДК при использовании аппарата задач линейного программирования при экономии топлива (см. рис. 1)

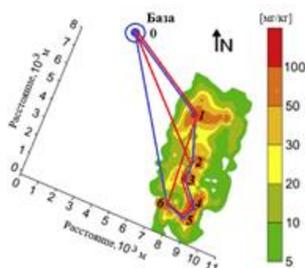


Рис. 1. Иллюстрация маршрута следования БДК в рамках задачи оптимизации маршрута с учетом экономии топлива.

## *Литература*

1 Stohl, A., Seibert, P., Wotawa, G., Arnold, D., Burkhart, J.F., Eckhardt, S., Tapia, C., Vargas, A., Yasunari, T.J. Xenon-133 and caesium-137 releases into the atmosphere from the Fukushima Dai-ichi nuclear power plant: determination of the source term, atmospheric dispersion, and deposition//Atmos. Chem. Phys. –2012. –V. 12. – P.2313-2343.

2 Елохин А.П. Методы и средства систем радиационного контроля окружающей среды. Монография. – М.: НИЯУ МИФИ, Издательство 2014. – 520 с.

3 Лайхтман Д.Л. Физика пограничного слоя атмосферы. – Л.: Гидромет. изд-во, 1970. – 340 с.

4 Елохин А.П., Алалем Е.А., Ксенофонтов А.И. Метеорологические характеристики района АЭС «Бушер» в Иране // Глобальная ядерная безопасность. – 2017. – №4 (25). – С. 23-47.

5 А.П. Елохин, Исса Алалем, Ксенофонтов А.И., Федоров П.И. Метеорологические характеристики района строительства АЭС в иордании // Глобальная ядерная безопасность. – 2017. – №3 (24). – С. 19-34.

6 Родионов И.А. Елохин А.П. Методы оценки радиоактивного загрязнения подстилающей поверхности // Глобальная ядерная безопасность. – 2022. – №1 (42). – С. 6 – 23.

## ОЦЕНКА КОЭФФИЦИЕНТОВ НАКОПЛЕНИЯ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕХНОГЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ ДЛЯ БИОТЫ И ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ БАРЕНЦЕВА МОРЯ

*Н.А. Росновская<sup>1,2</sup>, А.И. Крышев<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup> – Обнинский институт атомной энергетики – филиал  
Национального исследовательского ядерного  
университета «МИФИ», г. Обнинск, Россия*

*<sup>2</sup> – ФГБУ Научно-производственное объединение «Тайфун»,  
г. Обнинск, Россия*

На дне морей Арктики находится около 18 000 радиационных объектов, некоторые из затопленных объектов содержат радиоактивные вещества в составе отработавшего ядерного топлива [1]. Компоненты природной среды Арктических морей России нуждаются в радиационном мониторинге. Для корректной интерпретации данных мониторинга необходимо сравнить их с критериями оценки радиационной обстановки, обеспечивающими приемлемый экологический риск. В качестве таких критериев удобно использовать контрольные уровни содержания радионуклидов в компонентах природной среды, с которыми могут прямо сопоставляться результаты измерений.

Для расчета контрольных уровней, которые обеспечат безопасность биоты Баренцева моря, требуется оценить значения коэффициентов накопления и коэффициентов распределения радионуклидов в компонентах морской экосистемы. С этой целью проанализированы данные российско-норвежского мониторинга и литературных источников за 1992 – 2020 гг. Составлена общая база данных по содержанию радионуклидов  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{239,240}\text{Pu}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в компонентах природной среды. В качестве референтных организмов были выбраны: рыба (треска), моллюск (мидия), водное растение (фукус), морское млекопитающее (гренландский тюлень). Полученные коэффициенты накопления и распределения

сравнивались с усредненными мировыми данными из публикации МАГАТЭ [2].

Коэффициенты накопления для биоты Баренцева моря по подсчетам составили: для рыбы по  $^{137}\text{Cs}$  – 93 л/кг,  $^{239,240}\text{Pu}$  – 262 л/кг,  $^{90}\text{Sr}$  – 12 л/кг; для моллюсков по  $^{137}\text{Cs}$  – 51 л/кг,  $^{239,240}\text{Pu}$  – 1180 л/кг,  $^{90}\text{Sr}$  – 21 л/кг; для водных растений по  $^{137}\text{Cs}$  – 69 л/кг,  $^{239,240}\text{Pu}$  – 732 л/кг,  $^{90}\text{Sr}$  – 19 л/кг; для морских млекопитающих по  $^{137}\text{Cs}$  – 63 л/кг,  $^{239,240}\text{Pu}$  – 222 л/кг,  $^{90}\text{Sr}$  – 14 л/кг.

Полученные результаты по коэффициентам накопления для биоты по радионуклиду  $^{137}\text{Cs}$  коррелируют с данными из рекомендаций [2], тогда как расчётные значения по  $^{90}\text{Sr}$  для биоты превышают мировые данные, рекомендованные МАГАТЭ.

Коэффициенты распределения между водой и донными отложениями по результатам мониторинга составили по  $^{137}\text{Cs}$  – 426 л/кг,  $^{239,240}\text{Pu}$  – 189600 л/кг,  $^{90}\text{Sr}$  – 443 л/кг. Коэффициент, полученный по  $^{137}\text{Cs}$ , оказался меньше значения МАГАТЭ в 7 раз. Результаты, полученные по  $^{239,240}\text{Pu}$  и  $^{90}\text{Sr}$ , отличаются от данных из рекомендаций приблизительно в 2 раза.

Выполнен анализ динамики коэффициентов накопления радионуклидов в рыбе с 1992 по 2020 год. Показано, что выраженный тренд коэффициента накопления отсутствует для всех рассмотренных радионуклидов. Это может указывать на установление равновесия в распределении радионуклидов между компонентами среды Баренцева моря.

Рассчитанные коэффициенты накопления и коэффициенты распределения  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{239,240}\text{Pu}$  и  $^{90}\text{Sr}$  будут использоваться для расчета контрольных уровней содержания радионуклидов в воде и донных отложениях, обеспечивающих радиационную безопасность морской биоты.

### *Литература*

1. Саркисов А.А., Сивинцев Ю.В., Высоцкий В.Л., Никитин В.С. Атомное наследие холодной войны на дне Арктики // Радиозэкологические и технико-экономические проблемы радиационной реабилитации морей. ИБРАЭ, Москва, 2015. – 699 с.

2. Sediment Distribution Coefficients and Concentration Factors for Biota in the Marine Environment. IAEA Technical Reports Series No. 422. IAEA, Vienna, 2004.

## **АНАЛИЗ ПРИЧИН СОЗДАВШЕЙСЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СИТУАЦИИ НА ТРАНСГРАНИЧНОЙ РЕКЕ АРАКС**

*У.Н. Рустамова, Э.М. Кадырова, А.И. Халилов  
Бакинский Государственный Университет,  
г. Баку, Азербайджан*

Река Аракс берет начало в Эрзрумской провинции восточной Турции. До захода на территорию Азербайджана она течет вдоль турецко-армянской границы и ирано-азербайджанской границы. Притоки текут с Армении на юг и впадают в Аракс.

Изменения в гидрологическом режиме обусловлены рядом человеческих вмешательств, включая непосредственный водозабор с поверхностных и подземных водных объектов, и возросший уровень испарения в результате создания водохранилищ, урбанизации и обезлесения.

Река Аракс загрязняется городским, сельскохозяйственным, промышленным стоком и стоком с предприятий горнодобывающей промышленности и в Армении, и в Иране, хотя основную проблему представляет загрязнение определенными тяжелыми металлами, поступающими из металлургических и горнодобывающих предприятий, расположенных в Армении и Турции [1].

У места слияния рр. Аракс и Кура концентрация металлов в воде превышает допустимую норму в девять раз, концентрация фенола – в 6 раз выше нормы, а концентрации нефтепродуктов и сульфатов превышают норму в 2 или 3 раза (USAID/DAI 2004). В 2006 году сброс сточных вод в результате аварии привел к гибели значительного количества рыбы в р. Вачаган на юге Армении (Инфоагентство ARKA, июнь 2006 г.).

Азербайджан является членом 17-ти международных конвенций о трансграничных водах, тогда как другие страны Южного Кавказа их не подписывают [2].

Основные отрицательные воздействия включают в себя исчезновение видов и ареалов обитания. Многие виды флоры и фауны оказались перед угрозой и были внесены в список МСОП, Красные Книги бывшего СССР и национальные Красные Книги, а недавно – в План экорегиональной консервации Закавказья (2006 г.)

### *Литература*

1 Халилов Ш.Б. Экологические проблемы Азербайджана. – Баку: Нафта Пресс, 2006. – 160 с.

2 Будагов Б.А., Кашкай Р.М. Географические проблемы рационального использования и охраны от загрязнения межгосударственных рек Закавказья // Геоинформационные и геоэкологические исследования СНГ. М.: ГЕОС, 1999, С. 91-94.

## **СУММАРНАЯ АЛЬФА- И БЕТА-АКТИВНОСТИ В ВОДЕ ИЗ РОДНИКА В ОБНИНСКЕ: ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОЙ ДОЗЫ ОБЛУЧЕНИЯ И ОЦЕНКА РАДИАЦИОННОГО РИСКА ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ**

*Б.И. Сынзыныс, Д.К.К. Агрето, В.А. Роценко, И.В. Романцова  
Обнинский институт атомной энергетики – филиал  
Национального исследовательского ядерного  
университета «МИФИ», г. Обнинск, Россия*

Родниковая вода из природных источников-родников всегда была популярна среди жителей г. Обнинска. Одним из наиболее посещаемых родников является источник в овраге у городского стадиона «Труд». В исследованиях осенью 2021г. было установлено, что вода из этого источника содержит до 400 Бк/л радона при нормативе для потребления 60 Бк/л (ОСПОРБ-99/2009) [1]. Это побудило нас ранней весной 2022 г. провести исследование радиологических и физико-химических характеристик родниковой воды на предмет определения суммарной остаточной альфа- и бета-активностей с дальнейшим вычислением индивидуальной эффективной дозы внутреннего облучения и оценкой пожизненного радиологического риска.

**Материалы и методы.** Воду из родника у стадиона «Труд» отбирали в пластиковые бутылки 4 апреля 2022 г. и в тот же день проводили определение остаточной альфа- и бета-активностей. Суммарные (остаточные, после выпаривания воды) альфа- и бета-активности определяли согласно методическим рекомендациям «Суммарная активность альфа- и бета-излучающих радионуклидов в природных водах (пресных и минерализованных). Подготовка проб и измерения». Москва, ФГУП ВИМС, 2009. Измерения и анализ полученных результатов проводили согласно «Методике выполнения измерений суммарной альфа- и бета-активности водных проб (пресные воды хозяйственно-питьевого назначения) на альфа-бета радиометре УМФ-2000. (НПП «Доза»). Эффективную дозу (E) внутреннего облучения человека от альфа- или бета-излучения определяли по формуле [2]:  $E=A*IR_w*ID_f*2$ ,

где E-эффективная доза, Зв/год; A-удельная активность, Бк/л;  $IR_w$  – годовое потребление воды одним человеком из расчёта 2,5 л/сут;  $ID_f$  – фактор дозового эквивалента, равный для альфа- и бета-излучений  $3,58*10^{-7}$  Зв/Бк. Пожизненный (70 лет) риск развития раковых заболеваний (Risk, жизнь<sup>-1</sup>) во время внутреннего облучения определяли по формуле [2]:

$$Risk=E*DL*RF,$$

где E – эффективная доза за год, Зв/год; DL – продолжительность жизни, 70 лет; RF – в пересчёте на 1 Зв равен  $7,3*10^{-2}$  Зв<sup>-1</sup>.

**Результаты и заключение.** Выполненные по этим формулам расчёты значений эффективной дозы внутреннего облучения для соответствующих альфа- и бета - активностей и риска онкологических заболеваний представлены в табл. 1.

Таблица 1

Остаточная альфа- и бета активность, эффективная доза облучения и радиационный риск

Излучение	Активность, Бл/л	Е, Зв*10-6	Риск пожизненный
Альфа	0,07 +/- 0,09	22,90	11,17*10-5
Бета	0,04 +/- 0,04	13,07	6,7*10-5
Сумма	-	35,97	18,4*10-5
НРБ99/2009	-	1000	35*10-5
ВОЗ (WHO)	0,5 (альфа) 1,0 (бета)	-	-

Как следует из данных, представленных в табл. 1, значения суммарной остаточной альфа-активности, также как и для бета не превышают значений, рекомендованных ВОЗ в качестве предельно допустимых для питьевой воды. Также показатели эффективной дозы и пожизненного риска, рекомендованные в документе МАГАТЭ (ОНБ-2014) и в НРБ99/2009, не превышены.

### *Литература*

1 Yeboah Knight Anokwah, Roshchenko V.A., Romantsova I.V., Synzynys B.I. Radon in underground waters (spring water) around Obninsk. / Future of Nuclear Power-AtomFuture-2021. – Obninsk: IATE MЕРhI, 2021. – p. 175-178.

2. Karahan et al. Environmental impact assessment of natural radioactivity and heavy metals in drinking water around Akkuyu Nuclear Power Plant in Mercin province// Turkish J. Chemistry. – 2018. – V.42. – P. 735-747. Doi: 10.3906/kim-1710-83.

## ВОЗДЕЙСТВИЕ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ НА *STAPHYLOCOCCUS* В ПРИСУТСТВИИ КВЕРЦЕТИНА И ЭТИЛОВОГО СПИРТА

*Н.А. Фролова, И.В. Полякова, О.А. Губина*  
ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт  
радиологии и агроэкологии», г. Обнинск, Россия

Стафилококки широко распространены в окружающей среде. Пищевые интоксикации, вызванные стафилококком, представляют собой острые заболевания, возникающие в результате употребления пищи, содержащий стафилококковый энтеротоксин [1].

В качестве объекта исследования были выбран *Staphylococcus cohnii* (АТСС 29974), полученный из ВКМ - подразделения ФГБУН ИБФМ им. Г.К. Скрыбина РАН.

Суспензии микроорганизмов готовили на основе стерильного физраствора с добавлением спиртового раствора кверцетина и этилового спирта. Итоговая концентрация кверцетина составляла 40 мкг/мл, концентрация спирта менее 1 %

После этого суспензии подвергали облучению на гамма-установке ГУР-120 (ФГБНУ ВНИИРАЭ). Выбор доз обработки обусловлен литературными данными [2]. Поглощенная доза составила 0, 250, 500, 1000 Гр при мощности дозы 1803 Гр/час.

Посев обработанных гамма-излучением суспензий на жидкую питательную среду ViMedia 001B (Sy-Lab, Австрия) производился спустя 12-18 часов после облучения.

Определяли динамику роста и количество микроорганизмов с помощью метода разделенного импеданса на приборе БакТрак 4300 (Sy-Lab, Австрия)

На рис. 1 показано, что при облучении в дозе 250 Гр и кверцетин, и спирт способствуют увеличению времени достижения порога импеданса и снижению количества жизнеспособных микроорганизмов.

С увеличением дозы облучения наблюдаются обратные эффекты, т.е. добавление раствора кверцетина в спирте и спирта

снижают время достижения порога импеданса относительно контрольных образцов.

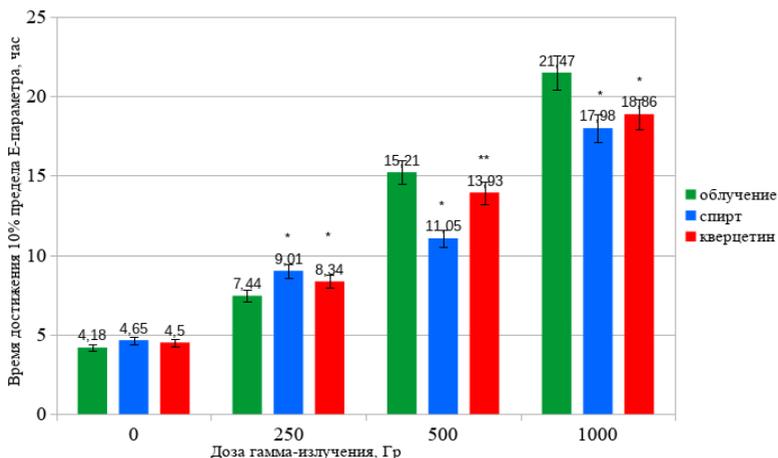


Рис.1. Зависимость времени достижения порога импеданса по E-параметру для контрольных и облученных суспензий *Staph. cohnii* с добавлением и без добавления кверцетина и (или) этилового спирта»  
Примечание: \* - статистически значимое ( $p \leq 0,05$ ) отличие от варианта облучение; \*\* - статистически значимое ( $p \leq 0,05$ ) отличие от варианта спирт.

Образцы с добавлением спирта имеют более низкие значения, чем образцы с добавлением кверцетина и спирта. Это возможно объясняется тем, что кверцетин в дозе 40 мг/л обладает бактерицидным действием по отношению к грамм-положительным микроорганизмам, в т.ч. к *Staph. spp.*

В диапазоне доз 200-300 Гр наблюдается изменение характера модифицирующего влияния кверцетина на действие ионизирующего излучения.

### Литература

1 Бородина Е.С. Богданова О.Ю. Микробиологические исследования пищевых продуктов на наличие бактерий рода *Staphylococcus* // Успехи современного естествознания. – 2011. – № 8. - С. 24 - 24

2 Lienen, T., Schnitt, A., Hammerl, J.A. et al. Multidrug-resistant *Staphylococcus cohnii* and *Staphylococcus urealyticus* isolates from German dairy farms exhibit resistance to beta-lactam antibiotics and divergent penicillin-binding proteins // *Sci Rep.* – 2021. – 11(1):6075. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-85461-6>.

## **ПРОМЫШЛЕННАЯ КОМПЬЮТЕРНАЯ ТОМОГРАФИЯ ДЛЯ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

*С.С. Шарипбаев<sup>1</sup>, П.А. Белоусов<sup>1</sup>, С.В. Легконогих<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup> – Обнинский институт атомной энергетики – филиал  
Национального исследовательского ядерного  
университета «МИФИ», г. Обнинск, Россия*

*<sup>2</sup> – Национальный исследовательский ядерный университет  
«МИФИ», г. Москва, Россия*

Одним из наиболее универсальных и информативных методов неразрушающего контроля по праву считается рентгенография. Первая рентгеновская лаборатория, предназначенная для промышленных исследований, была организована в 1925 году. За прошедшее с тех пор время в технической базе рентгенографии произошло несколько настоящих этапных изменений; последнее из них привело к появлению промышленной компьютерной томографии, которая кардинально расширила возможности этой технологии как инструмента неразрушающего контроля и, более того, вывела ее в новые области применения [3].

Промышленная рентгеновская томография позволяет получать трехмерные количественные данные о внутренней и внешней структуре изделий в виде цифрового изображения. В томографе объект поворачивается с небольшим шагом на 360°, и в каждом положении делается его снимок. Число снимков определяется требуемым качеством цифровой модели и может составлять от нескольких сотен до нескольких тысяч. Далее следует этап томографической реконструкции: сложная алгоритмика строит 3D-модель объекта, в которой степень

ослабления рентгеновского излучения отображена шкалой серого цвета. Программное обеспечение может преобразовать изображение в цветное, присвоив каждой плотности серого цвета некоторый цвет из видимого спектра со своим уровнем интенсивности.



Рис. 1. Трехмерные данные КТ с анализом пористости и отклонений поверхности.

Возможности, предоставляемые такой цифровой 3D-моделью, чрезвычайно широки, они даже выходят за пределы собственно дефектоскопии. Например, можно непосредственно сопоставить ее с САD-данными объекта. Более того, можно импортировать модель в САD-систему, создав таким образом основу для решения одной из сложных и иногда очень актуальных задач – задачи обратного проектирования [1-3].

### *Литература*

1 Марусина М.Я., Казначеева А.О. Современные виды томографии. Учебное пособие. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2006. – 132 с.

2 Сухоруков В.В., Вайнберг Э.И., Кажис Р.-Й. Ю., Абакумов А.А. Неразрушающий контроль. В 5 кн. Кн. 5. Интроскопия и автоматизация контроля: Практик. пособие. – М.: Высшая школа, 1993. – 328 с.

3 Антон Нисан к.т.н. Компьютерная томография // Вектор высоких технологий. – 2018. – №3(38). – С.16-18.

## РАЗМЕРЫ ОПАСНЫХ АВАРИЙНЫХ ЗОН ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ НАЗЕМНЫХ БЫТОВЫХ ГАЗГОЛЬДЕРОВ МАЛОГО ОБЪЕМА

*С.В. Шилов*

*Сыктывкарский государственный университет,  
г. Сыктывкар, Россия*

Сжиженные пропан-бутановые смеси широко используются для обогрева и питания кухонных плит в частных домах. Это экономичней по сравнению с использованием электроэнергии. Важно также, что есть экологическое преимущество по сравнению со сгоранием других видов топлива. Хранятся смеси в специальных резервуарах – газгольдерах различного объема и типа. Распространение получили подземные и наземные газгольдеры. Более уязвимыми к внешним воздействиям являются наземные. Для частных домов наиболее часто используют небольшие емкости объемом до 1 м<sup>3</sup>.

В результате ударов, падения тяжелых предметов, внешней и внутренней коррозии, неисправности арматуры возможны утечки газа с последующим взрывом.

В работе проанализированы опасные последствия для окружающих строений аварий с пропан-бутановыми газгольдерами объемами 600 л (минимальный объем) и 1000 л (характерный средний газгольдер для небольшого дома). Резервуар объемом 1000 л может использоваться для обогрева дома площадь 80 м<sup>2</sup> и питания газовой плиты.

Оценивалась ударная волна и эффект огненного шара [1]. Расчеты показали, что ввиду того, что сжиженный газ – очень энергетическое топливо, возможны опасные поражающие факторы как для строений, так и для людей. Причем они выходят за пределы территории домовладения, особенно если учитывать снос облака газозвушной смеси ветром [2].

Результаты можно использовать для понимания рисков эксплуатации бытовых газгольдеров и совершенствования системы их безопасного применения.

## *Литература*

1 Руководство по безопасности «Методика оценки последствий аварийных взрывов топливно-воздушных смесей». Серия 27. Выпуск 15. – М.: Закрытое акционерное общество «Научно-технический центр исследования проблем промышленной безопасности», 2015. – 44 с.

2 РБ Г-05-039-96. «Руководство по анализу опасности аварийных взрывов и определению параметров их механического действия» / Информационно-справочная система «Консультант-Плюс».

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД НА ПРЕДПРИЯТИИ ПО ОБРАЩЕНИЮ С РАДИОАКТИВНЫМИ ОТХОДАМИ СЗЦ «СЕВРАО» (ОТДЕЛЕНИЕ САЙДА-ГУБА)**

*В.В. Шлыгин, С.М. Киселёв, Ю.Н. Зозуль, С.В. Ахромеев  
ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России,  
г. Москва, Россия*

СЗЦ «СевРАО» (отделение Сайда-Губа) является региональным центром по обращению с РАО, накопленного и образующегося в ходе реабилитации ядерного наследия в северо-западном регионе России. Производственная деятельность предприятия включает разделку корпусных частей атомных подводных лодок с выгруженным отработавшим ядерным топливом, кондиционирование и хранение низко- и среднеактивных РАО. В ходе производственной деятельности на промплощадке СЗЦ «СевРАО» накапливаются ОНАО, а также промышленные отходы с повышенным содержанием радионуклидов, которые являются потенциальным источником загрязнения окружающей среды.

Целью настоящего исследования являлось изучение состояния радиоактивного загрязнения подземных вод на производственной площадке СЗЦ «СевРАО (отд. Сайда Губа).

Подземные воды на предприятии являются объектом контроля, в пределах промплощадки и санитарно-защитной

зоны организована сеть наблюдательных скважин и осуществляется периодический мониторинг подземных вод по показателям суммарной альфа- и бета-активности. Анализ состояния загрязнения подземных вод на 2021 год позволяет отметить, что количественные значения суммарной альфа- и бета-активности не превышают контрольных уровней, установленных предприятием. Вместе с тем отмечено превышение нормативов (53 % скважин по  $\Sigma A_\alpha$  и в 32 % скважин по  $\Sigma A_\beta$ ), установленных для питьевой воды [1]. Исследование качества водной среды в динамике проводили в двух временных интервалах, которые характеризовали становление производственной инфраструктуры предприятия (2011-2015 гг.) и полноценное функционирование производственного комплекса (2016-2021 гг.). Сравнительный анализ показывает тенденцию к снижению суммарных показателей – в 1,3 раза для  $\Sigma A_\alpha$  и 2,0 раза для  $\Sigma A_\beta$ . Вместе с тем отмечается устойчивое доминирование скважин с превышением уровней вмешательства для питьевой воды по  $\Sigma A_\alpha$  по сравнению с  $\Sigma A_\beta$  в 1,7 раза. Для исследования повышенной альфа-активности подземных вод нами были проведены альфа-спектрометрические исследования содержания изотопов урана  $^{234}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$  и  $^{238}\text{U}$  в 6 скважинах с максимальными уровнями суммарной альфа-активности. Показано, что удельная активность изотопов урана ни в одной из скважин не превысила уровней вмешательства для питьевой воды по радиационному фактору (для  $^{234}\text{U}$  и  $^{238}\text{U}$  максимальная кратность норматива находилась в пределах 0,11-0,12, для  $^{235}\text{U}$  – на уровне 0,0056). Вместе с тем в двух из исследуемых скважин выявлено превышение ПДК урана (1,4-1,7 ПДК) [2] в качестве химического компонента вод хозяйственно-бытового назначения. Отмечено, что медианное значение соотношения  $A_{238\text{U}}/A_{234\text{U}}$  (по результатам анализа 6 скважин) оказалось достоверно ниже (0,90) природного соотношения изотопов урана (0,97) [3]. Данный факт может свидетельствовать о возможном техногенном характере загрязнения подземных вод и определяет целесообразность проведения дальнейших исследований.

## *Литература*

1 СанПиН 2.6.1.2523-09 «Нормы радиационной безопасности НРБ-99/2009» [Электронный ресурс] // Информационно-правовое обеспечение «Гарант». URL: <https://base.garant.ru/> (дата обращения: 04.04.2022)

2 СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» [Электронный ресурс] // Информационно-правовое обеспечение «Гарант». URL: <https://base.garant.ru/> (дата обращения: 04.04.2022)

3 Safety Series № 115. International basic safety standards for protection against ionizing radiation and for the safety of radiation sources [Электронный ресурс] // International Atomic Energy Agency. URL: <https://gnssn.iaea.org/> (дата обращения: 04.04.2022).

## **СОДЕРЖАНИЕ $^{226}\text{Ra}$ и $^{137}\text{Cs}$ В ВОДНЫХ ОБЪЕКТАХ ВБЛИЗИ АО «НИФХИ ИМ. Л.Я. КАРПОВА» ЗА ПЕРИОД 2019- 2021 ГГ.»**

*М.А. Шпилько, Т.В. Мельникова, А.А. Удалова  
Обнинский институт атомной энергетики – филиал  
Национального исследовательского ядерного  
университета «МИФИ», г. Обнинск, Россия*

Контроль и оценка загрязнения радиоактивными веществами сбросовых вод, обязательны для всех радиационно-опасных предприятий, в том числе и для АО НИФХИ им. Л.Я.Карпова.

Целью данной работы являлась оценка изменения объемной активности (ОА) радионуклидов  $^{226}\text{Ra}$  и  $^{137}\text{Cs}$  в водных объектах, расположенных вблизи АО НИФХИ им. Л.Я.Карпова за 2019-2021 гг.

Объектом исследования являлась вода, отобранная из искусственного пруда, в который стекает вода с территории НИФХИ. Данный пруд состоит из двух водоемов, соединенных трубой под автомобильной дорогой. Ежегодно, в указанный

период отбирались и исследовались осенью 6 и весной 9 проб воды.

Во всех пробах содержание радионуклидов определялось методом гамма-спектрометрии на сцинтилляционном спектрометре с ПО "Прогресс".

На основании полученных результатов по содержанию  $^{226}\text{Ra}$  и  $^{137}\text{Cs}$  в воде были построены две диаграммы, представленные на рис. 1-2. Поскольку нормируются содержание радионуклидов только для вод питьевого назначения, полученные результаты сравнивались с уровнями вмешательства (УВ). Для  $^{226}\text{Ra}$  уровень вмешательства составляет 0,49 Бк/л, для  $^{137}\text{Cs}$  – 11,0 Бк/л.

Исходя из данных, представленных на диаграммах, можно сделать вывод, что ОА изучаемых радионуклидов во всех точках, кроме точек 1.1/2 (осень) и 1.1/7 (весна) не превышают их уровень вмешательства. ОА радия в точке 1.1/2 определена с большой погрешностью, таким образом мы не можем говорить о превышении УВ. Сезонная динамика практически не прослеживается. С годами значения ОА снижаются, поскольку сброс вод в пруды-отстойники прекращен [1].

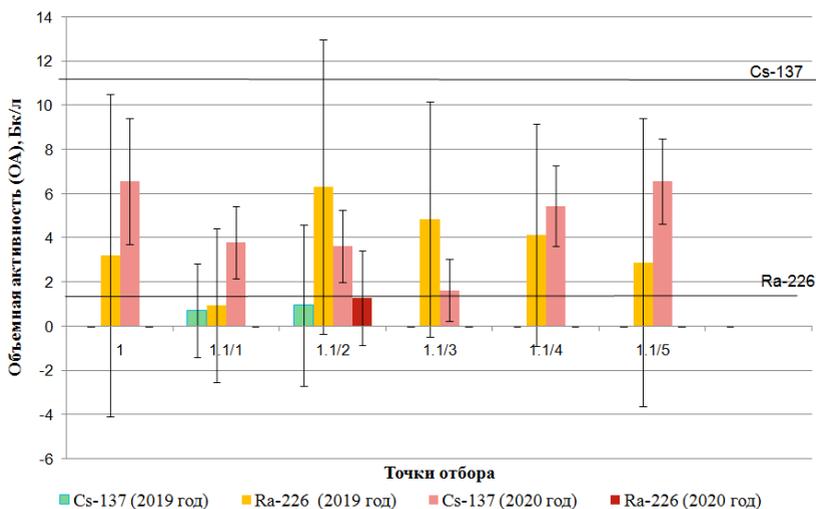


Рис.1. Объемные активности  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{226}\text{Ra}$  в воде  
(осень 2019 и 2020 гг.).

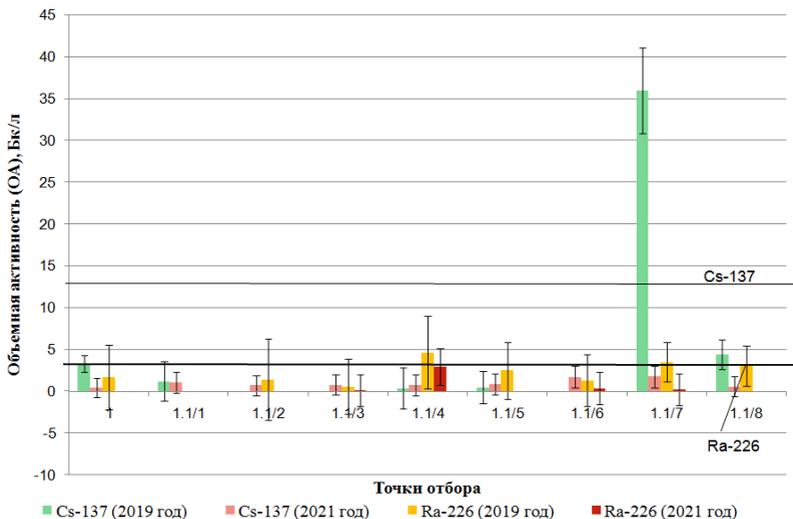


Рис.2. Объемные активности  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{226}\text{Ra}$  в воде  
(весна 2019 и 2021 гг.).

### *Литература*

1 Отчет по экологической безопасности АО «НИФХИ им. Л.Я. Карпова» за 2018 год [Электронный ресурс]: Государственная корпорация по атомной энергии «Росатом», 2008-2020. Режим доступа: <https://www.rosatom.ru/upload/iblock/145/145018ae12a5b0d4dd03816eb68248ba.pdf>.

## **СЕКЦИЯ 4. БИОТЕСТИРОВАНИЕ И БИОИНДИКАЦИЯ ОБЪЕКТОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

### **ISOLATION OF ACTIVE STRAINS-DESTRUCTORS OF OIL AND OIL PRODUCTS FROM OIL-CONTAMINATED SEA WATER**

*K.R. Gahramanova<sup>1</sup>, S.F. Osmanova<sup>1, 2</sup>*

*<sup>1</sup> – Institute of Chemistry of Additives named after Academician  
A.M.Guliyev of Azerbaijan National Academy of Sciences Baku,  
Azerbaijan*

*<sup>2</sup> – Western Caspian University Baku, Azerbaijan*

One of the most important environmental problems of the present time is the pollution of seawater with petroleum hydrocarbons as a result of oil production and refining. The reason for the increase in pollution of seawater with oil and petroleum products is that in the modern world, oil has become one of the most necessary organic compounds for the life of mankind.

Vast areas of the sea coast suffer from oil pollution, and the physical properties of water deteriorate. Oil and petroleum products create a thin layer on the surface of the water, covering huge surfaces. Such films sharply hinder the flow of oxygen from the atmosphere and reduce its content in the water, have a direct toxic effect on the life of the sea, threatening, first of all, marine and coastal ecosystems, leads to the death of fish, shellfish and algae. Intermediate products of the destruction of petroleum hydrocarbons are also formed as a result of processes occurring in the water column, in bottom sediments and in the water-atmosphere contact zone [1].

The objects of research were samples of seawater from the coastal zone of the Baku Bay, in particular, near the Bibi-Heybat field. The selection of crops was carried out using the traditional method. To obtain an enrichment culture, a nutrient medium, oil-contaminated sea water and crude oil were used. The ability of pure cultures of microorganisms to consume hydrocarbons was determined by the

method of oil extraction and subsequent determination of the degree of oil destruction. As a result, active strains of microorganisms of various types were obtained from oil-contaminated sea water, the degree of destruction of which ranges from 70-85%.

The analysis of the hydrocarbon composition of oils was also carried out: native and subject to degradation in the conditions of a model experiment. The adsorption separation of oils on МК-5/40 grade silica gel and aluminum oxide was carried out. Elution was performed with hexane, benzene, alcohol-benzene (1:1) and acetone. The fractions of the studied oils were analyzed by the Fourier method of IR spectroscopy.

The purpose of this work was to search for active strains of microorganisms capable of recycling oil and petroleum products and accelerating the process of self-purification of seawater from oil pollution, as well as to study their hydrocarbon-oxidizing ability.

### **References**

1 Гольдберг В. М., Зверев В. П., Арбузов А. И. Техногенное загрязнение природных вод углеводородами // Наука. – 2001. С. 125.

## **ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМЫ ПОЧВА-РАСТЕНИЕ ДЛЯ БИОТЕСТИРОВАНИЯ РАДИОНУКЛИДНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ**

*Р.Э. Авалян, А.Л. Атояни, Э.А Агаджанян, Р.М. Арутюнян  
НИИ “Биология”, Ереванский госуниверситет,  
г.Ереван, Армения*

В системе генетического мониторинга окружающей среды *in situ* традесканция (клон 02) широко используется как высокочувствительный биоиндикатор обнаружения мутагенности физических и химических факторов, а также радиоактивных выбросов от АЭС.

В качестве основных маркерных тестов клона 02 традесканции используются: тест система волосков тычиночных нитей (тест Трад-ВТН – генотоксический эффект) для

выявления соматических мутаций в клетках волосков тычиночных нитей и морфологических изменений волосков и цветка, а также микроядерный тест (тест Трад-МЯ – кластогенный эффект).

Целью настоящего исследования явилось биотестирование уровня генотоксичности и кластогенности почвенных образцов с территории Арагацкого плато (Армения) с учетом содержания в них долгоживущих природных ( $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$ ) и техногенных ( $^{137}\text{Cs}$ ) радионуклидов с применением биотестов Трад-ВТН и Трад-МЯ клона 02 традесканции в системе почва-растение.

В качестве материала для исследования были использованы 12 почвенных образцов с территории южного склона Арагацкого массива и северной части прилегающей к нему Араратской долины, отличающиеся различным уровнем содержания радионуклидов. Почвенные образцы и данные о загрязнении почв природными –  $^{238}\text{U}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$  и техногенными радионуклидами –  $^{137}\text{Cs}$  предоставлены Эколого-Ноосферным центром РА. В качестве условно фонового (контроля) образца использовали почвенную пробу из теплицы ЕГУ. Культивирование растений в системе почва-растение традесканции и анализ данных проводили по международной общепринятой методике [1,2].

При проведении биотестирования уровня генотоксичности и кластогенности исследуемых почвенных образцов по данным биотестов Трад-ВТН и Трад-МЯ было показано достоверное повышение уровня розовых мутационных событий (РМС), а также тест-критериев микроядерного теста (процент МЯ в тетрадах и процент тетрад с МЯ) в почвенных образцах Rg-At-17, Rg-At-18, Rg-At-19. Максимальное значение РМС наблюдалось в почвенной пробе Rg-At-17, которое превысило уровень контроля в 5 раз ( $p < 0,001$ ). Повышенная частота встречаемости микроядер, наблюдаемая в данных почвенных пробах, превышала условно фоновый уровень в 4 раза ( $p < 0,001$ )

По полученным данным характерным является то, что высокий уровень РМС и наибольшая частота встречаемости микроядер наблюдались в почвенном образце Rg-At-17 с низким

содержанием  $^{137}\text{Cs}$ , что подтверждает выводы, сделанные ранее об индукции высокой частоты мутаций малыми дозами радиоцезия в модельных экспериментах на традесканции [3].

### *Литература*

1 Ma T.-H., Cabrera G.L., Cebulska-Wasilevska A., Chen R., Loarca A.I., Vanderberg A.L., Salamone M.F. Tradescantia stamen hair mutation bioassay // *Mutat. Research.* – 1994 (a). – V.310. – №2. – P. 211–220.

2 Ma T.-H., Cabrera G.L., Chen R., Gill B.S., Sandhu S.S., Vanderberg A.L., Salamone M.F. Tradescantia Micronucleus Bioassay // *Mutat. Research.* – 1994 (b). V.310. – №2. – P. 220-230.

3 Minouflet M., Aurault S., Badot P.M., Cotellet S., Ferard J.F. Assessment of the genotoxicity of  $^{137}\text{Cs}$  radiation using Vicia-micronucleus, Tradescantia-micronucleus and Tradescantia-stamen-hair mutation bioassays // *J. Environment Radioactivity.* – 2005. – V.81. – №2. – P.143-153.

## **АНАЛИЗ МЕТАБОЛИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ КЛЕТОК *POESILIA RETICULATA* ПОД ДЕЙСТВИЕМ ИОНОВ РТУТИ**

*А.А. Афонин, Е.Р. Ляпунова, Л.Н. Комарова  
Обнинский институт атомной энергетики – филиал  
Национального исследовательского ядерного  
университета «МИФИ», г. Обнинск, Россия*

Тем или иным путем попав из техногенных источников в природную среду, тяжелые металлы аккумулируются в верхних горизонтах почв и в донных отложениях, активно включаются в биогеохимические циклы миграции, концентрируются в некоторых звеньях трофических цепочек и уже практически не выводятся из биогеоценозов. Попадая в водоемы, тяжелые металлы оказывают токсическое действие на фитопланктон, который является первичным звеном в системе пищевых связей водных организмов и определяет состояние водной экосистемы в целом. Наиболее опасными для окружающей среды являются

ртути и ртутьсодержащие соединения [1].

Рыбы являются одними из часто используемых тест-объектов для водных систем, методики по работе с которыми указаны в стандартах ГОСТ. В качестве объекта исследования была выбрана пресноводная живородящая рыбка гуппи (*Poecilia reticulata*). Анализ цитотоксического действия ионов ртути на клетки *Poecilia reticulata* проводился на мальках 3-х недельного возраста с помощью МТТ-метода.

Действие соединений ртути сказывается на активности митохондриальных ферментов, участвующих в процессах энергопродукции, что приводит к падению мембранного потенциала митохондрий, разобщению компонентов электрон-транспортной сети, накоплению в клетке активных форм кислорода и окислительному стрессу [2].

1 ПДК ртути вызывает стимуляцию метаболической активности клеток *Poecilia reticulata* на 25,58% после часового воздействия и на 44,19% после полуторачасового, что вызвано активацией систем детоксикации, представленной SH-содержащими соединениями, высокое сродство с которыми имеет ртуть, и эффективной работой антиоксидантной системы. Нельзя не отметить большую устойчивость к перекисному окислению у рыб [3].

При воздействии 10 ПДК ртути в течение 60 и 90 минут, было обнаружено снижение метаболической активности на 12,09% и 21,09%, соответственно. Данный эффект можно объяснить, в первую очередь, истощением компонентов антиоксидантной и детоксикационной систем, что вызывает усиленную генерацию свободных радикалов и активных форм кислорода, а также «забивание» ионных каналов и нарушение работы митохондрий.

### ***Литература***

1 Крамар К.В., Кыров Д.Н. Содержание ртути в органах и тканях рыб // Символ науки. – 2017. – Т.3. – №4. – С. 18-21.

2 Арэфьева А.С., Барыгина В.В., Зацепина О.В. Современные представления о влиянии соединений ртути на клеточном и

системном уровне (обзор) // Экология человека. – 2010. – № 8. – С. 35-41.

3 Rana S.V., Singh R., Verma S., Mercury-induced lipid peroxidation in the liver, kidney, brain and gills of a fresh water fish, *Channa punctatus* // Japanese Journal of Ichthyology. – 1995. – №42. – P. 255-259.

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БИОИНДИКАЦИОННЫХ МЕТОДОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ КОМФОРТНОСТИ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ**

*Е.А. Батраченко*

*Курский государственный университет, г. Курск, Россия*

В настоящее время в связи с усилением антропогенного воздействия на компоненты окружающей среды и преобразованием их большое значение имеет оценка комфортности территории для проживания человека. Сохранение благоприятной комфортной среды обитания является важнейшим условием обеспечения экологической безопасности и достижения устойчивого социально-экономического развития городских поселений. В научной литературе активно обсуждается вопрос о подходах к оценке степени комфортности. Оценка природно-экологических условий может опираться на несколько параметров, в том числе на климатическую комфортность, геолого-геоморфологические условия, фитоценологические и т.д. Ряд исследователей считают биоиндикацию достаточно перспективным способом для оценки комфортности городской среды. Биоиндикационные методы оценки состояния экосистем служат для определения степени изменения окружающей среды под влиянием загрязняющих веществ.

Для территории города Курска была проведена комплексная оценка факторов комфортности городской среды с последующим выделением функциональных зон по уровню комфортности. Для анализа были выбраны следующие параметры: климатические показатели комфортности (среднегодовые температуры воздуха и скорость ветра);

геолого-геоморфологические условия как показатель сложности градостроительного освоения и реконструкции, с одной стороны, и неблагоприятных гидрогеологических явлений, в том числе, имеющих прямое воздействие на организм человека (геопатогенные поля) с другой.

Антропогенное преобразование оценивалось по количественным показателям состояния компонентов городской среды. Было изучено пространственное распределение шумового и радиационного загрязнения, а также исследовано состояние зеленых насаждений с помощью биоиндикационных методов (лихеноиндикации). В качестве организмов – индикаторов использовались виды накипных и листоватых лишайников (*Solorina Crocea*, *Hypogymnia Physodes*, *Xanthoria Parietina*, *Cladonia coniocraea*, *Amandinea punctata*, *Parmelia sulcata*, *Physcia adscendens*, *Caloplaca holocarpa*). Была выявлена корреляция между уровнем транспортной нагрузки и состоянием лишайнофлоры. По результатам комплексного исследования были выделены зоны на территории города, различающиеся по комфортности проживания. Факторами, обуславливающими уровень комфортности, являются интенсивность и специфика антропогенного воздействия. Одним из вариантов улучшения условий экологической комфортности на наш взгляд является совершенствование структуры зеленых насаждений и перераспределение транспортной нагрузки в селитебных зонах города.

### *Литература*

1 Батраченко Е.А., Гонеев И.А., Лукашова О.П., Лунин В.Н. Методические аспекты оценки комфортности ландшафтно-рекреационных зон городской среды // Проблемы региональной экологии. – 2021. – № 2. – С. 27-35.

2 Батраченко Е.А. Особенности экологической комфортности г. Курска // Техногенные системы и экологический риск: Тезисы докладов XII Региональной научной конференции, Обнинск, 23–24 апреля 2015 года. – Обнинск: ИАТЭ НИЯУ МИФИ, 2015. – С. 41-42.

## **БИОМОНИТОРИНГ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА ОЗЕРА ЗЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МХОВ-ТРАНСПЛАНТОВ**

*С.Р. Гаджиева<sup>1</sup>, И.И. Мустафаев<sup>2</sup>, Т.И. Алиева<sup>1</sup>*

*<sup>1</sup> – Бакинский Государственный Университет,  
г. Баку Азербайджан*

*<sup>2</sup> – Институт Раиационных проблем НАНА,  
г.Баку, Азербайджан*

В Бакинском Государственном Университете на кафедре экологической химии провели анализ стойких органических загрязнителей. Целью настоящего исследования является определение токсичных органических веществ в атмосферном воздухе на территории озера Зых (Хатаинский район города Баку) с использованием метода биомониторинга (мхи-транспланты).

Для определения содержания органических веществ в атмосферном воздухе озера Зых нами изучалось их содержание и для этой цели провели биомониторинг атмосферного воздуха с использованием мхов-трансплантов (мох в мешочках) *Moss Sphagnum girgensohnii* Russow. С этой целью мхи-биомониторы вида *Sphagnum girgensohnii* экспонировались в течении трех месяцев в некоторых местах этого района. Необходимо отметить, что в этом районе города Баку ведется интенсивное строительство, работают предприятия по производству асфальта, битума, нефтеперерабатывающие заводы.

Мох был собран в экологически чистом болоте Центральной России и экспонирован в мешочках. Время экспозиция составило 3 месяца.

Сначала, мхи после сбора очищали от инородных тел. Полученный чистый образец мха сушится при температуре 130<sup>0</sup>С в течение семи дней. После просушки они укладываются в мешочки и помещаются в области, подлежащей анализу. Затем производится экстракция образцов мхов. 0,3-1 г каждого образца было отобрано для экстракции в стеклянную коническую посуду, заранее очищенную метилен хлоридом. Экстракция проводилась на ультразвуковой бане с

использованием дихлорметана. Экстракты фильтровались в круглодонную колбу и концентрировались с помощью роторного испарителя при температуре водяной бани  $30\pm 5^\circ\text{C}$  до объема 2 мл, далее под тонкой струей азота перенесены в пробоотборники в объеме 1 мл.

Во время анализа образцов использовались растворители дихлорметан (Rathburn, Scotland) с хроматографической степенью чистоты. Особые меры были приняты для предотвращения загрязнения от стеклянной посуды, тефлона, стальных материалов. Для чистки посуды использовались деионизированная вода и метилен хлорид.

Качественный анализ проводился на приборе Agilent 6890N газовый хроматограф с масс селективным детектором Agilent 5975, ГХ-МД производства фирмы Agilent Technologies, оснащенный инжектором без деления потока и капиллярной колонкой ZB-5 (Phenomenex, США). Колонка ZB-5 имеет следующие спецификации - 5%-дифенил 95%-диметилполисилоксан сополимер, длина – 60 м, внутренний диаметр 0.25 мм, толщина пленки 0.25 мкм. В качестве газаносителя использовался гелий. Образцы вводились с помощью автоматического пробоотборника. Анализ проводился в режиме сканирования (SCAN). В качестве спектральных баз данных были использованы библиотеки WILLEY и NIST. Обработка и анализ данных проводился с использованием многомерного статистического анализа.

По результатам анализов определили, что наблюдается увеличение количества полициклических ароматических углеводородов- нафталина, азулена, асенафтена, хризена, фенантрена, антрацена, флуорантена, пирена, бензантрацена, бензапрена, фенолов, нитробензола, дибензофурана, пиридина, фталатов, алкилбензолов, толуола, стирола, ксилола, бензола, этанола, бензальдегидов, ацетофенона, бензойной кислоты, формамидов, фуранов, фурфурола, органических кислот и.т.д. в атмосферном воздухе озера Зых. Как известно, эти органические соединения токсичны и могут попадать в окружающую среду при нефтепереработке.

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГРИБОВ В БИОТЕСТИРОВАНИИ РАДИАЦИОННОГО ЗАРАЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

*К.Н. Заросликов*

*Северный Арктический Федеральный Университет,  
г. Архангельск, Россия*

Работа направлена на освещение темы использования высших базальных грибов в качестве тест-объектов для оценки загрязнения почвы. Количественный анализ радиоактивного заражения грибами осложнен тем, что многие грибы способны к очень высокому накоплению ионов радиоактивных и радиоизотопных металлов. Но в тестах на качественный анализ грибы показывают высокие результаты в биотестировании – разграничивая зараженные территории от не зараженных территорий.

В условиях постоянно растущих ядерных выбросов на среду обитания наиболее необходимым является возможность оценки объективных данных о выбросах и влияния последних с оценкой количественно-качественных параметров.

Использование в качестве объектов биотестов высших базидиальных грибов менее известно, несмотря на повсеместное распространение данной группы живых организмов в различных регионах мира и высокую толерантность многих из них к антропогенному прессингу. Высшие базидиальные грибы являются неотъемлемым компонентом многих природных и искусственных экосистем, встроенным в трофические цепи благодаря симбиотическим и паразитическим взаимоотношениям с листовыми и хвойными растениями. Длительно существующий мицелий обладает способностью к активной аккумуляции из почвы различных токсичных компонентов, таких как радионуклиды и ионы тяжелых металлов. что некоторые базидиомицеты накапливают в течение длительно времени ионы тяжелых металлов, обнаруживаемые впоследствии в плодовых телах в концентрациях, превышающих предельно допустимые, даже в условиях

экологически благополучных по всем параметрам экосистем, вследствие глубокого расположения мицелия, избирательно поглощающего ионы из почвы. Авторы также отмечают, что наибольшая концентрация тяжелых металлов регистрируется в шляпках плодовых тел, рекомендуя использовать именно данную часть грибов для анализа, и, подчеркивая вид специфичный характер аккумуляционной способности грибов

## **ВЫДЕЛЕНИЕ И ХАРАКТЕРИСТИКА МОРФОЛОГИИ НОВЫХ БАКТЕРИОФАГОВ *STREPTOMYCES* ИЗ ПРОБ ПОЧВЫ ПРИОКСКО-ТЕРАССНОГО ЗАПОВЕДНИКА**

*А.Н. Карманова<sup>1,2</sup>, Н.А. Рябова<sup>3</sup>, И. Лу<sup>4</sup>, А.А. Зимин<sup>1</sup>*

*1 - Институт биохимии и физиологии микроорганизмов им. Г.К. Скрыбина РАН – обособленное подразделение ФИЦ ПНЦБИ РАН, г. Пуццино, Россия*

*2 – ФГБОУ ВО «Пуцинский государственный естественно-научный институт» Российская Федерация, г. Пуццино, Россия*

*3 – ФГБУН Институт белка РАН, г.Пуццино*

*4 – College of Life Sciences, Shanghai Normal University, Shanghai, China*

Бактериофаги *Streptomyces* могут нести в себе различные гены гомологов ферментов, которые могут найти применение в биотехнологии и фармакологии, поэтому поиск новых вирусов данной группы бактерий может оказаться важен для развития технологий в данных сферах науки [1]. Помимо этого, поиск и изучение бактериофагов достаточно распространенной группы почвенных бактерий может пролить свет на различные рода экологические взаимодействия, опосредованные связями между данными вирусами и их хозяевами [2].

Для поиска и выделения бактериофагов были произведены отбор и обработка почвенных проб из Приокско-терассного заповедника. Обработка включала в себя экстракцию почвенной пробы в фаговом буфере и специальной среде для актиномицет.

Удалось выделить несколько бактериофагов для *Streptomyces venezuelae*. Наиболее устойчивым при хранении оказался бактериофаг «1б». Он был очищен, морфология бляшек данного фага была охарактеризована. При помощи электронной микроскопии были получены снимки бактериофага, за счет чего было произведено описание морфологии фага. По этим полученным данным, был сделан вывод, что новый бактериофаг «1б» относится к отряду *Caudovirales*, семейство *Siphoviridae*.

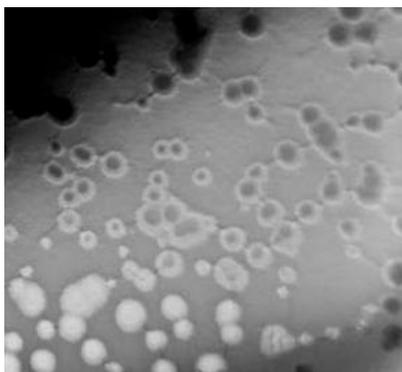


Рис.1. Бляшки бактериофага «1б».

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-25-00669.*

### **Литература**

- 1 Montaño E.T., Nideffer J.F., Brumage L., et al. Isolation and characterization of *Streptomyces* bacteriophages and *Streptomyces* strains encoding biosynthetic arsenals // PLoS One. – 2022. – V. 17(1): doi:10.1371/journal.pone.0262354.
- 2 Smith M.C., Hendrix R.W., Dedrick R., et al. Evolutionary relationships among actinophages and a putative adaptation for growth in *Streptomyces* spp // J Bacteriol. – 2013. – V.195(21). – P.4924-4935. doi:10.1128/JB.00618-13.

## **ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ КАТАЛАЗЫ В ТЕМНО-СЕРОЙ ЛЕСНОЙ ПОЧВЕ ПРИ ХИМИЧЕСКОМ ЗАГРЯЗНЕНИИ**

*А.А. Кузина, Д.И. Мощенко, С.И. Колесников*

*Южный федеральный университет, Академия биологии и биотехнологий им. Д.И. Иванковского, г. Ростов-на-Дону, Россия*

Определение активности каталазы, благодаря простоте опыта, высокой скорости метода, малой трудоемкости, подтвержденной высокой чувствительности и информативности, относится к одному из результативных параметров биодиагностики состояния почв при внесении поллютантов [1].

Цель — оценить изменение активности каталазы в темно-серой лесной почве при воздействии тяжелых металлов и нефти.

Объектом исследования была выбрана темно-серая лесная почва, отобранная в окрестностях г. Ставрополь, заказник «Русский лес» на территории буково-дубового леса.

В качестве загрязняющих веществ были выбраны оксиды Cr, Pb, Cu, Ni и нефть. Тяжелые металлы (ТМ) вносили в почву в количестве 100, 1000, 10000 мг/кг почвы ПДК. На 30 сутки после внесения в почву загрязняющих веществ определяли активность каталазы по методу Галстяна [2, 3].

В результате проведенных модельных опытов установлено, что внесение в темно-серую лесную почву ТМ и нефти, как правило, снижает активность каталазы (рис. 1).

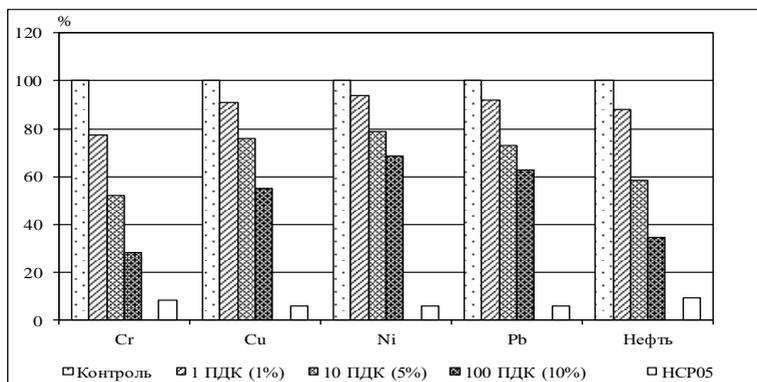


Рис 1. Изменение активности каталазы в темно-серой лесной почве при загрязнении ТМ и нефтью.

Был получен ряд токсичности ТМ, ранжированный по степени угнетения активности каталазы темно-серой лесной почвы:  $Cr (53) > Cu (74) \geq Pb (76) > Ni (81)$ . Чем выше цифра, указанная в скобках, тем менее токсическое воздействие оказал тяжелый металл. Таким образом, наиболее токсичным оказался оксид хрома, менее токсичным – оксид никеля.

Подобная закономерность наблюдалась в исследованиях с другими почвами юга России [4].

*Исследование выполнено при финансовой поддержке Президента РФ (МК-2688.2022.1.5 и НШ-449.2022.5) и Министерства науки и высшего образования РФ в рамках приоритета стратегического академического лидерства ЮФУ («Приоритет 2030»), проект «Аспирант-научный руководитель» (2021–2022 гг.).*

### **Литература**

1 Даденко Е.В., Казеев К.Ш., Колесников С.И. Влияние пастбищной нагрузки на ферментативную активность лесных почв Северо-Западного Кавказа // Известия Самарского Научного Центра Российской Академии Наук. – 2016. – № 2–2. – Т. 18. – С. 345–348.

2 Казеев К.Ш., Колесников С.И., Акименко Ю.В., Даденко Е.В. Методы биодиагностики наземных экосистем. Ростов-на-

Дону: Издательство Южного федерального университета, 2016. – 356 с.

3 Методы почвенной микробиологии и биохимии / Под. ред. Д.Г. Звягинцева. М.: Изд-во МГУ, 1991. – 304 с.

4 Колесников С., Мощенко Д., Кузина А., Тер-Мисакянц Т., Неведомая Е., Вернигорова Н., Казеев К. Экологические нормативы содержания тяжелых металлов в бурых лесных почвах Крыма и Кавказа // Экология и промышленность России. – 2021 – Т.25(1) – С.65-71. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2021-1-65-71>.

## **ФЛАВОНОЛЫ И ИУК В ПРОРАСТАЮЩЕМ *IN VITRO* МУЖСКОМ ГАМЕТОФИТЕ ПЕТУНИИ (*PETUNIA HYBRIDA L.*)**

*Ю.В. Минкина*

*Обнинский институт атомной энергетики – филиал  
Национального исследовательского ядерного  
университета «МИФИ», г. Обнинск, Россия*

Целью данного исследования была проверка гипотезы о том, могут ли флавонолы (Фл) быть эндогенными регуляторами транспорта ИУК в процессе прорастания и роста мужского гаметофита. Для этого определяли динамику содержания ИУК и Фл в прорастающей *in vitro* зрелой пыльце и системе *in vivo* пыльца–пестик петунии самосовместимого и самонесовместимого клонов.

Зрелая пыльца содержала 60–70 нг ИУК/г сырой массы и 20 мг Фл/г сырой массы. Зрелый мужской гаметофит и неопыленные пестики содержали примерно одинаковое количество ИУК, но различались по уровню Фл: по сравнению с мужским гаметофитом спорофитные ткани пестика характеризовались в 10 раз более низким содержанием Фл. В прорастающих *in vitro* мужских гаметофитах обоих клонов отмечено повышение уровня ИУК в течение 2ч культивирования, в то время как повышение содержания Фл наблюдали только в течение первого часа прорастания.

Прорастание мужского гаметофита на воспринимающей поверхности рыльца в течение 1–2ч, так же как и *in vitro*, сопровождалось постепенным повышением уровней ИУК и Фл. Однако дальнейший рост пыльцевых трубок в тканях рыльца (от 2 до 4ч после опыления), а затем и в тканях столбика (от 4 до 8ч после опыления) сопровождался повышением уровня только ИУК при сохранении мало меняющегося уровня Фл. Характер изменений уровней ИУК и Фл в системе пыльца–пестик петунии после самосовместимого и самонесовместимого опыления оказался сходным, однако их содержание после совместимого опыления было несколько выше.

Внесение в среду культивирования пыльцевых трубок петунии самосовместимого клона экзогенных ИУК и Фл влияло на их прорастание по-разному (табл.1). ИУК в концентрациях  $10^{-10}$ - $10^{-12}$ М стимулировала прорастание пыльцевых трубок в 1.5 раза, при концентрациях  $10^{-6}$ - $10^{-4}$ М проявлялась тенденция к ингибированию их прорастания, а при концентрации  $10^{-3}$  М прорастание пыльцы было полностью подавлено. Эффекты ИУК отмечали уже через 1 ч. Кемпферол в низких концентрациях ( $10^{-12}$ - $10^{-8}$ М) стимулировал, а в высоких ( $10^{-4}$ - $10^{-6}$ М) ингибировал прорастание пыльцевых зерен. Его эффекты проявлялись только через 4–6 ч культивирования. Кверцетин в концентрации  $10^{-12}$ М на 25% стимулировал рост пыльцевых трубок самосовместимого клона, а кемпферол в той же концентрации примерно на столько же стимулировал рост пыльцевых трубок самонесовместимого клона. В концентрации  $10^{-3}$ М оба Фл ингибировали рост пыльцевых трубок на 30%.

Таблица 1

Эффекты экзогенных флавонолов на рост *in vitro* пыльцевых трубок  
петунии двух клонов, в мкм

Концентрация, М	Самосовместимый клон		Самонесовместимый клон	
	Кверцетин	Кемпферол	Кверцетин	Кемпферол
контроль	205.5 ± 9.4	205.5 ± 9.4	252.5 ± 9.4	252.5±9.4
10 <sup>-12</sup>	257.5±10.9	236.2±15.1	323.8±10.3	317.8±5.5
10 <sup>-10</sup>	220.0±13.8	222.5±14.3	219.1±19.0	226.3±12.5
10 <sup>-8</sup>	192.5±12.5	213.3±15.6	211.5±10.0	203.7±16.8
10 <sup>-6</sup>	172,5±8.9	189.8±10.2	205,5±8.9	200.6±14.8
10 <sup>-4</sup>	166.3±10.5	171.7±10.9	200.4±10.3	198.9±11.6
10 <sup>-3</sup>	131.3±8.8	145.5±9.6	176.9±6.3	170.2±11.56

Фл блокируют отток ауксина из прорастающего мужского гаметофита, повышая, тем самым, его внутриклеточную концентрацию, что, в свою очередь, способствует полярному росту пыльцевых трубок.

### **ИЗМЕНЕНИЕ МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОРОСТКОВ ЛЮПИНА УЗКОЛИСТНОГО В ОТВЕТ НА РАЗНЫЕ ДОЗЫ ГАММА-ОБЛУЧЕНИЯ СЕМЯН**

*А.С. Миценьк<sup>1</sup>, А.Ю. Николаева<sup>2</sup>, М.Ю. Подобед<sup>1</sup>, Д.Д. Бабина<sup>1</sup>,  
И.В. Горбатова<sup>1</sup>, Я.А. Блинова<sup>1,2</sup>, А.А. Празян<sup>1</sup>,*

*Е.В. Бондаренко<sup>1</sup>, В.С. Бондаренко<sup>1</sup>, П.Ю. Волкова<sup>1,2</sup>*

*<sup>1</sup> – ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии», г. Обнинск, Россия*

*<sup>2</sup> – Обнинский институт атомной энергетики – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», г. Обнинск, Россия*

Одной из хозяйственно важных однолетних зернобобовых культур является люпин узколистый (*Lupinus angustifolius* L.), используемый в качестве сидеративного и мелиоративного растения, а также как источник высококачественного

растительного белка в кормопроизводстве. Низкая устойчивость к фитопатогенам обуславливает необходимость увеличить разнообразие генетического материала *L. angustifolius*, что может быть выполнено применением радиационного мутагенеза [1]. Цель исследования – изучение влияния гамма-облучения на динамику прорастания семян и морфометрические параметры проростков (длина гипокотилия и корня, свежая масса) *L. angustifolius*.

Семена отечественного сорта Белорозовый 144 (любезно предоставленные ВНИИ люпина – филиал ФГБНУ «ФНЦ кормопроизводства и агроэкологии им. В.Р. Вильямса», г. Брянск) были облучены в дозах 25, 50, 100, 200 и 400 Гр мощностью 100 Гр/час на уникальной научной установке ГУР-120 ( $^{60}\text{Co}$ , ВНИИРАЭ) в 3 повторностях, по 20 семян в каждой. Облученные и контрольные семена выращивались в контролируемых условиях климатической камеры для выращивания растений (фитотрон ЛиА-2). При статистической обработке результатов применялись непараметрические методы.

Гамма-облучение не повлияло на процент проросших семян, однако, с увеличением дозы, статистически значимо увеличило среднее время прорастания. Дозы в диапазоне 50-400 Гр статистически значимо уменьшали длину гипокотилия, корня и массу проростков. Корреляционная матрица изучаемых параметров представлена на рис. 1.

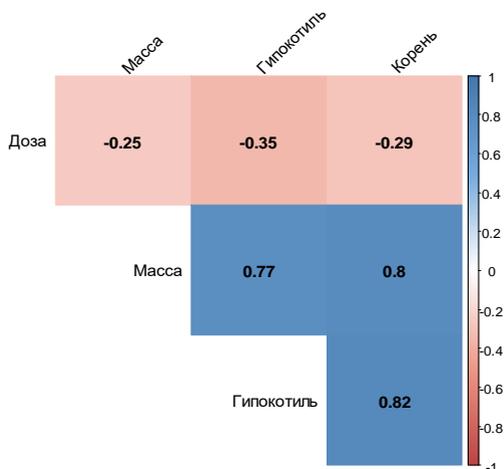


Рис. 1. Корреляционная матрица изучаемых параметров. Цифрами представлены значения коэффициента корреляции Спирмена при  $p < 0.05$ . Синим цветом обозначена положительная корреляция; розовым – отрицательная.

Диапазон доз 100-400 Гр оказал негативное влияние на способность *L. angustifolius* образовывать первые истинные листья, выступающие за пределы прямостоящих семядолей, замедлив скорость их появления на 24-48 часов по сравнению с дозами 25, 50 Гр и контролем.

В результате эксперимента выявлена доза гамма-излучения, вызывающая 50 % уменьшение длины гипокотилия и корня ( $RD_{50}$ ). Для сорта Белорозовый 144  $RD_{50}$  составляет 300 Гр. Полученные данные могут быть использованы в протоколах радиационного мутагенеза отечественных сортов люпина узколистного, а также в решении радиобиологических задач с использованием *L. angustifolius* в качестве объекта исследования.

### ***Литература***

1 Анохина В.С., Дебелый Г.А. и др. Люпин: селекция, генетика, эволюция. – Минск: БГУ, 2012. – 271 с.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ БИОТЫ НА ЭКСПЛУАТАЦИЮ СМОЛЕНСКОЙ АЭС

Е.В. Морус, Д.О. Шарин, С.Ю. Суворова, Г.К. Игнатенко,  
М.М. Рассказова

Обнинский институт атомной энергетики – филиал  
Национального исследовательского ядерного  
университета «МИФИ», г. Обнинск, Россия

Влияние эксплуатации АЭС на организмы хоть и является дискуссионным, но вопрос влияния гидробионтов на работу атомной станции не был изучен в должной мере.

Целью данной работы является анализ данных за промежуток 2018-2020 гг. и оценка воздействия живых организмов на работу Смоленской атомной электростанции, в частности влияние биоты Десногорского водохранилища.

Из проведенного анализа данных можно сказать, что проблемными видами среди биоты водоёма-охладителя СЭАС являются *Dreissena polymorpha* – инвазивный вид – и *Vallisneria spiralis* L. [1,2,3]. В качестве непосредственного агента биомелиорации, способного ограничить численность дрейссены в водоеме, является черный амур (*Mylopharyngodon piceus*) - облигатный моллюскофаг. Для борьбы с «цветением» водоемов и зарастанием прибрежных зон было выпущено около 15,4 т. мальков Белого амура (*Stenopharyngodon idella*).

Рыбы помогают защищать самый уязвимый узел станции — конденсатор. При исправной работе конденсатора вода в нем контактирует с латунью, но поверхность трубок загрязняют водные организмы. При этом пленка на поверхности воды толщиной 0,1 мм уменьшает теплообмен в 4 раза. Следовательно, возникает риск перегрева реактора, поэтому, когда конденсатор забивается, реактор приходится останавливать, что очень затратно.

Показатель БПК на 1-ом выпуске близок к норме, когда на выпусках 2 и 3, он находится на отметках ниже половины нормы. Загрязнение фенолом находится в пределах нормы, что

означает достаточную очистку водоёма как естественным, так и искусственным путями.

Учитывая размеры водоёма-охладителя, стоит отметить, что популяции рыб смещены к местам с повышенной концентрацией пищевых организмов, где прохождение личинок и взрослых рыб через технические системы АЭС приводит к гибели и созданию препятствий для прохождения воды. Что также может привести к перегреванию реактора.

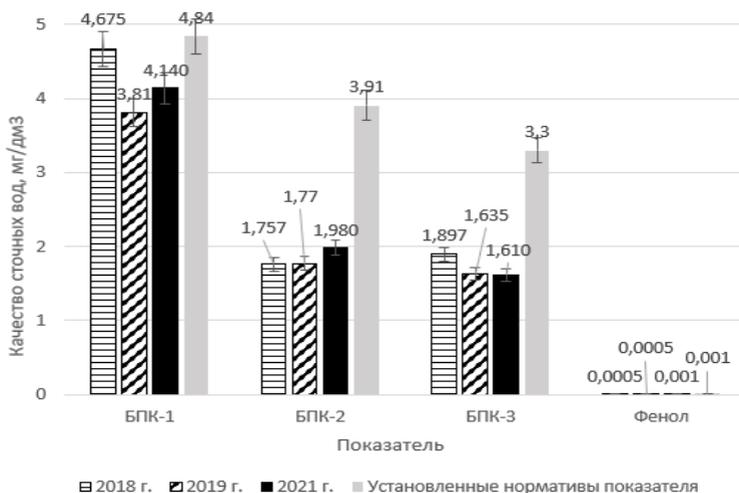


Рис. 1. Качество сточных вод относительно загрязнения различными показателями, 2018-2020 г.

Исходя из данных, полученных во время исследования, можно сказать, что очищение Десногорского водохранилища от видов-захватчиков с помощью различных видов рыб, является эффективным методом.

### *Литература*

1 АО «Концерн РОСЭНЕРГОАТОМ». Отчет по экологической безопасности Смоленской АЭС за 2018 год [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://www.rosenergoatom.ru/upload/iblock/d4d/d4d8ed4b0dd1e8f3715361b77659cc3c.pdf> (дата посещения 30.03.2022)

2 АО «Концерн РОСЭНЕРГОАТОМ». Отчет по экологической безопасности Смоленской АЭС за 2019 год [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://www.rosenergoatom.ru/upload/iblock/cad/cad204cfa4f3214188042c359f8701f4.pdf> (дата посещения 30.03.2022)

3 АО «Концерн РОСЭНЕРГОАТОМ». Отчет по экологической безопасности Смоленской АЭС за 2020 год [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://www.rosenergoatom.ru/upload/iblock/5a5/5a5b2bf4bd03c71a81dad22ac2f9e98a.pdf> (дата посещения 30.03.2022).

## **БИОДИАГНОСТИКА УСТОЙЧИВОСТИ ЧЕРНОЗЕМА ОБЫКНОВЕННОГО ЦЕНТРАЛЬНОГО ПРЕДКАВКАЗЬЯ ПРИ ХИМИЧЕСКОМ ЗАГРЯЗНЕНИИ**

*Д.И. Мощенко, С.И. Колесников*

*Южный федеральный университет, Академия биологии и биотехнологии им. Д.И. Ивановского, г. Ростов-на-Дону, Россия*

Черноземы обыкновенные осуществляют незаменимую роль в обеспечении продовольственной безопасности страны, занимают значительные территории на Юге России и являются самыми плодородными почвами мира.

Цель работы — оценить устойчивость целлюлозолитической активности в черноземе обыкновенном Центрального Предкавказья при загрязнении тяжелыми металлами (Cu, Cr, Ni, Pb) и нефтью.

Объект исследования — чернозем обыкновенный Центрального Предкавказья. Место отбора — Ставропольский край, Кочубеевский район, село Кочубеевское.

Химическое загрязнение чернозема моделировали в лабораторных условиях. Чернозем загрязняли оксидными формами тяжелых металлов. Концентрации вносимых тяжелых металлов составляли — 1, 10, 100 ПДК (100, 1000 и 10000 мг/кг соответственно) и нефти — 1, 5, 10 % от массы почвы.

Почву инкубировали в вегетационных сосудах при комнатной температуре (20-22°C) и оптимальном увлажнении

(60% от полевой влагоемкости) в двухкратной повторности. Образцы для лабораторно-аналитического исследования отбирали через 30 дней после загрязнения.

Целлюлозолитическую активность оценивали по степени разложения хлопчатобумажного полотна, экспонированного в почве – аппликационным методом.

В результате исследования установлено, что загрязнение чернозема обыкновенного оксидами Cu, Cr, Ni, Pb и нефтью приводит к снижению целлюлозолитической активности (рис.).

По силе влияния на целлюлозолитическую активность в черноземе обыкновенном ТМ образуют следующий ряд: Cr > Pb ≥ Cu > Ni.

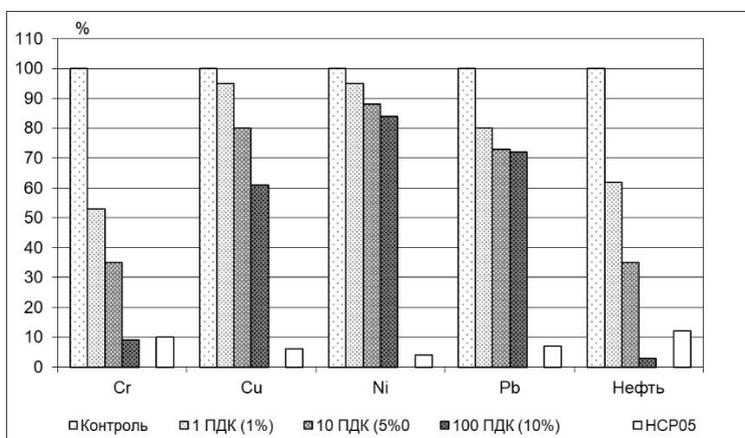


Рис. Оценка устойчивости целлюлозолитической активности в черноземе обыкновенном Центрального Предкавказья при загрязнении тяжелыми металлами (Cu, Cr, Ni, Pb) и нефтью., % от контроля.

При исследовании действия тяжелых металлов на биологические свойства почвы наблюдалось снижение целлюлозолитической активности. Из тяжелых металлов наиболее токсичным оказался Cr, наименее токсичным — Ni.

Снижение целлюлозолитической активности зависит от природы загрязняющего вещества и концентрации тяжелых металлов и нефти, вносимых в почву [1].

*Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках приоритета стратегического академического лидерства ЮФУ («Приоритет 2030»), проект «Аспирант-научный руководитель» (2021–2022 гг.).*

### **Литература**

1 Колесников С.И., Ярославцев М.В., Спивакова Н.А., Казеев К.Ш. Сравнительная оценка устойчивости биологических свойств разных подтипов черноземов юга России к загрязнению Cr, Cu, Ni, Pb (в модельном эксперименте) // Почвоведение. – 2013. – № 2. – С. 195-200.

## **ОЦЕНКА КАЧЕСТВА СРЕДЫ ПО ФЛУКТУИРУЮЩЕЙ АСИММЕТРИИ БЕРЕЗЫ ПОВИСЛОЙ (*BETULA PENDULA* ROTH.) НА ТЕРРИТОРИЯХ ЖИЗДРИНСКОГО РАЙОНА**

*А.А. Наумова., А.Б. Стрельцов  
КТУ им. К. Э. Циолковского. Россия, Калуга*

В основе нашей работы лежит исследование территорий Калужской области с различным уровнем загрязнения по ФА листовой пластинки березы повислой (*Betula pendula* Roth.).

Для проведения исследования нами были выбраны десять площадок в Жиздринском районе. Оценка исследуемых территорий была проведена с использованием наиболее распространенного вида – березы повислой (*Betula pendula* Roth.). Материал для оценки экологического состояния на данных территориях был собран в десяти стационарных точках двух населенных пунктов и в их окрестностях – д. Остров и д. Дубищенский по 10 листьев с нижней части кроны с 10 деревьев из каждой точки. [2]

Точка 1 – располагается в 10 м от проезжей части; точка 2 – на въезде в д. Остров; точка 3 – выезде из д. Остров; точка 4 – на окраине леса за д. Остров; точка 5 – в 650 м от д. Остров до водоема; точка 6 – в 10 м от проезжей части д. Дубищенский; точка 7 – на въезде в д. Дубищенский; точка 8 – на выезде из д.

Дубищенский; точка 9 – на окраине леса за д. Дубищенский; точка 10 - в 450 м от д. Дубищенский до водоема.

Исследование проводилось по методике В.М. Захарова. Измерения проводили на гербаризированном материале. Для обработки собранного материала использовали пакет программ Bioindikation tool kit, разработанный Лабораторией биоиндикации. [4]

Результаты оценивали по 5-ти балльной шкале согласно методике В.М. Захарова: 1 балл (условная норма) -  $<0,040$ ; 2 балла –  $0,040 - 0,044$ ; 3 балла –  $0,045 - 0,049$ ; 4 бала –  $0,050 - 0,054$ ; 5 баллов -  $> 0,054$ . [1; 3].

В данных точках получены коэффициенты флуктуирующей асимметрии, значения которых представлены на графике:

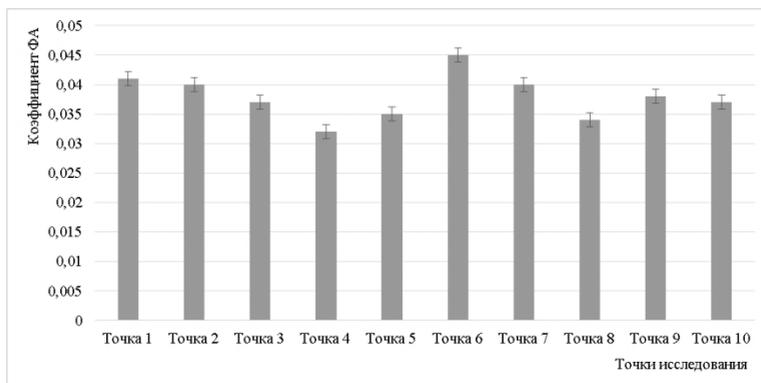


Рис. 1. График показателей ФА листовой пластинки березы повислой (*Betula pendula* Roth.) в д. Остров и д. Дубищенский за 2021г.

Анализ результатов исследуемых территорий в д. Остров и д. Дубищенский показывает, что эти территории являются идеальным местом для проживания населения, а также для сбора грибов, ягод, орехов и лекарственных трав, т.к. они являются экологически чистыми. Самая чистая точка располагается на окраине лесов данных деревень, а наиболее загрязненная (2 – 3 балла) возле проезжей части.

## *Литература*

1 Захаров В.М., Чубинишвили А.Т., Дмитриев С.Г., Баранов А.С. и др. Здоровье среды: практика оценки. – М.: Центр экологической политики России, 2000 – 318 с.

2 Стрельцов А.Б., Наумова А.А. Методика оценки степени флуктуирующей асимметрии листовых пластинок на примере березы повислой (бородавчатой) (*Betula pendula* Roth.). Журнал StudNet, 2020 г.

3 Стрельцов А.Б., Константинов Е.Л. Захаров В.М. и др. Здоровье среды. Региональное учебно-методическое пособие. Калуга, издательство КГПУ. 2006. 40 с.

4 Стрельцов А.Б., Наумова А.А., Наумова Т.А. Флуктуирующая асимметрия листовой пластинки березы повислой (*Betula pendula* Roth.) как индикатора определения загрязняющей среды. Международный журнал прикладных наук и технологий «Integral» №2/2021 с.

## **БИОИНДИКАЦИЯ ВОЗДЕЙСТВИЯ ДЫМА ПРИ ПОЖАРАХ НА ПОЧВЕННУЮ БИОТУ**

*М.С. Нижельский, К.Ш. Казеев, В.В. Вилкова*

*Южный федеральный университет, Академия биологии и биотехнологии им. Д.И. Ивановского, г. Ростов-на-Дону, Россия*

На сегодняшний день пожары являются опасным и разрушительным бедствием, которое часто наносит экономический и экологический ущерб. Ранее уже было доказано, что огонь как один из видов пирогенного воздействия влияет на физико-химические и другие свойства почвы [1–2]. Также опасным воздействием на почву и ее биоту может быть дым от сгорания различных материалов. Для выявления изменений необходимо проводить мониторинг. Биоиндикация является часто используемым подходом. В связи с чем целью данного исследования было влияния газообразных продуктов горения на почвенную биоту.

Был выполнен эксперимент в лабораторных условиях, где объектами исследований были почвенные тараканы (*Nauphoeta* 182

*cinerea*) и дождевые черви (*Eisenia fetida*). Опыт проведен с помощью дымогенератора «Merkel Standart» (Helicon, Россия), а продуктами горения были древесные опилки липы. Время воздействия дыма на тест-организмы составляло 1, 5, 10 и 30 минут. После, подверженные дыму живые организмы сравнивали с контрольными вариантами.

*Eisenia fetida* помещали в контейнеры, объемом 200мл, во влажную почву, слоем 0,6см и массой 40г. В каждый из контейнеров помещали по 5 дождевых червей. Также выполнили тест без субстрата (скрининговый тест) [3]. Подсчет после опыта произведен сразу по окончании эксперимента, а также спустя 14 суток.

Помимо этого, в качестве тест-объекта были тараканы (*Nauphoeta cinerea*), которые предварительно поместили в контейнеры, объемом 1000мл. В них помещали по 10 тараканов. Время обработки дымом составило 1, 5, 10, 30 минут. После опыта подсчет происходил аналогично тесту с червями.

В табл 1. представлены результаты биотестирования (% смертности).

Таблица 1

Летальный исход биотестирования дождевых червей *Eisenia fetida* и тараканов *Nauphoeta cinerea* (%)

Вариант	Контроль	1	5	10	30
		мин	мин	мин	мин
Дождевые черви (скрининговый тест)	0	0	0	0	100
Дождевые черви (в почве)	0	0	0	0	40
Тараканы	0	0	0	0	80

Таким образом установлена высокая чувствительность червей в скрининговом тесте и тараканов к дыму. Критерием высокой токсичности являлась гибель 50% и более тест-организмов по сравнению с контролем согласно ГОСТ 33036–2014 [3]. Однако смертность червей в почве составила 40%. Это может быть связано с защитной функцией самой почвы.

*Исследование проведено при финансовой поддержке ведущей научной школы Российской Федерации (НШ-449.2022.5).*

### ***Литература***

1 Бурлакова Л.М., Морковкин Г.Г., Ананьева Ю.С., Завалишин С.И., Каменский В.А. Влияние лесных пожаров на свойства подзолистых почв (на примере Ханты-Мансийского автономного округа) // Лесной вестник. – 2002. – №2. С. – 66-71.

2 Одабашян М.Ю., Трушков А.В., Казеев К.Ш., Минникова Т.В., Колесников С.И. Комплексное влияние факторов пирогенного воздействия на биологические свойства черноземов // Бюллетень Государственного Никитского ботанического сада. – 2020. – № 134. – С. 80-87.

3 Межгосударственный стандарт ГОСТ 33036–2014 от 20.10.2014. Методы испытаний химической продукции, представляющей опасность для окружающей среды. Определение острой токсичности для дождевых червей.

## **ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ГАММА-ОБЛУЧЕНИЯ НА ПРОРАСТАНИЕ СЕМЯН И МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ПРОРОСТКОВ ЛЮПИНА ЖЕЛТОГО**

*А.Ю. Николаева<sup>1</sup>, А.С. Миценьк<sup>2</sup>, Е.М. Шестерикова<sup>2</sup>, М.С. Подлуцкий<sup>2</sup>, С.В. Битаривили<sup>2</sup>, Е.С. Макаренко<sup>2</sup>, М.А. Лыченкова<sup>2</sup>, Е.В. Бондаренко<sup>2</sup>, В.С. Бондаренко<sup>2</sup>, П.Ю. Волкова<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup> – Обнинский институт атомной энергетики – филиал  
Национального исследовательского ядерного  
университета «МИФИ», г. Обнинск, Россия*

*<sup>2</sup> – ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский инсти-  
тут радиологии и агроэкологии», г. Обнинск, Россия*

Благодаря высокому сопоставимому с соей содержанию белка, низкой концентрации ингибиторов трипсина [1], а также симбиозу с нитрифицирующими бактериями, желтый люпин (*Lupinus luteus* L.) является ценной кормовой культурой, которая вносит значительный вклад в продуктивность пашни [2]. Люпин

желтый выгодно отличается от других видов люпина отсутствием быстрого одревеснения стебля, характерного для люпина белого и узколистного, и большей урожайностью зеленой массы, в сравнении с люпином узколистным [3]. Слабая устойчивость люпина желтого к фитопатогенам грибковой природы, однако, ограничивает его возделывание. Увеличение продуктивности и стабильности этой кормовой культуры в условиях изменяющихся абиотических и биотических факторов является актуальной проблемой растениеводства [4], которая может быть решена при помощи увеличения разнообразия генетического материала. Гамма-излучение – это эффективный мутагенный агент, используемый для увеличения генетического разнообразия культур. Целью этого исследования было оценить влияние  $\gamma$ -облучения на прорастание семян и морфометрические параметры проростков (длина гипокотилия, длина корня, свежая масса) *L. luteus*.

Семена отечественного сорта Надежный (включен в Госреестр; любезно предоставлен ВНИИ люпина – филиал ФГБНУ «ФНЦ кормопроизводства и агроэкологии им. В.Р. Вильямса», г. Брянск) были облучены в дозах 25, 50, 100, 200 и 400 Гр мощностью 100 Гр/час на уникальной научной установке ГУР-120 ( $^{60}\text{Co}$ , ВНИИРАЭ) в 3 повторностях (20 семян/повторность). Облученные и контрольные семена выращивались в контролируемых условиях. Обработка результатов проводилась непараметрическими статистическими методами.

Семена сорта Надежный проросли с высокими значениями процента прорастания (97-100 %) вне зависимости от дозы облучения. Среднее время прорастания, однако, увеличивалось на всем диапазоне исследуемых доз, достигая статистически значимых различий с контролем в дозах 100-400 Гр. Анализ морфометрических параметров выявил стимулирующий эффект  $\gamma$ -излучения в дозе 50 Гр: длина гипокотилия, корня и масса проростков были статистически значимо выше, чем в контроле. Кроме этого, отмечено, что первые истинные листья, выступающие за пределы прямостоящих семядолей, появились на 7-е сутки после переноса в фитотрон также в группе,

облученной в дозе 50 Гр. Из изученных параметров длина гипокотилия оказалась наиболее чувствительной к воздействию  $\gamma$ -излучения. Выявлена слабая корреляция между длиной гипокотилия и остальными морфометрическими параметрами ( $p < 0,05$ ). Результаты эксперимента могут быть использованы при планировании радиобиологических исследований, а также быть полезными для определения доз  $\gamma$ -излучения в протоколах радиационного мутагенеза отечественных сортов люпина желтого.

### ***Литература***

1 Лукашевич М.И. и др. Достижения и перспективы селекции люпина // Достижения науки и техники АПК. – 2018. – Т. 32. – №. 2. – С. 29-32.

2 Такунов И.П., Слесарева Т.Н. Безгербицидная ресурсоэнергосберегающая технология возделывания люпина и злаковых культур в смешанных посевах. Научно-практические рекомендации. – Брянск: Издательство «Читай-город», 2007. – 60с.

3 Новик Н.В. Люпин желтый: перспективы использования и задачи селекции // Новые сорта люпина, технология их выращивания и переработки, адаптация в системы земледелия и животноводство. – 2017. – С. 66-75.

4 Яговенко Т.В., Трошина Л.В., Грибушенкова Н.В. Элементы структуры урожая люпина желтого в условиях ценозов разной плотности. // АФР 4. – 2019. – С. 6–14.

## **АНАЛИТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ДЛЯ СУДЕБНОЙ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЭКСПЕРТИЗЫ ОБЪЕКТОВ ПОЧВЕННО-ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ**

*С.С. Позняк*

*Научно-практический центр Государственного комитета  
судебных экспертиз, г. Минск, Республика Беларусь*

Индустриализация промышленного и интенсификация сельскохозяйственного производства оказывают существенное

негативное влияние на окружающую природную среду, являясь одним из факторов загрязнения почвенного покрова тяжелыми металлами. С целью разработки мероприятий по снижению отрицательного воздействия загрязнителей на экосистему автором предложена новая концепция подхода к экологическому мониторингу фитоценозов в зонах воздействия промышленных центров, основанная на сопоставлении данных биогеохимического мониторинга почв в зоне воздействия промышленных предприятий и в аналогичных почвах в условно чистой зоне [1].

В качестве экспресс-метода для определения содержания валовых форм тяжелых металлов (от Na до U) при проведении экологического мониторинга предложено использование рентгено-флуоресцентного анализа. Для этих целей было разработано соответствующее методическое обеспечение [2]. Проведенные исследования показали, что данный метод хорошо подходит для качественного и полуколичественного определения содержания валовых форм некоторых тяжелых металлов (медь, хром, рублий, олово, никель), однако неприемлем для прецизионного количественного анализа отдельных химических элементов (кадмий, мышьяк, селен, йод), что вызывает определенные сложности при проведении судебной экологической экспертизы.

В настоящее время одной из задач, решаемых при проведении судебных экспертиз объектов почвенно-геологического происхождения, является выявление загрязненности почвенного и растительного покрова техногенными поллютантами, в том числе и тяжелыми металлами. Для прецизионного контроля содержания подвижных соединений тяжелых металлов, или оксидов тяжелых металлов в образцах в рамках судебной экологической экспертизы наиболее часто используются методы атомно-абсорбционной и атомно-эмиссионной спектроскопии. Применение современного аналитического оборудования, автоматизированных систем пробоподготовки, а также наличие соответствующего гостированного методического обеспечения [3] позволяет на качественном уровне в рамках судебной

экологической экспертизы объектов почвенно-геологического происхождения проводить определение микроэлементов в экстрактах после кислотного разложения почв или в почвенных растворах с использованием метода атомно-эмиссионной спектроскопии индуктивно связанной плазмы для 34 элементов: алюминий, барий, бериллий, бор, ванадий, висмут, железо, кадмий, калий, кальций, кобальт, кремний, литий, магний, марганец, медь, молибден, мышьяк, натрий, никель, олово, ртуть, рубидий, свинец, селен, сера, серебро, стронций, сурьма, таллий, титан, фосфор, хром, цинк.

### *Литература*

1 Позняк С.С. Экологическое состояние сельскохозяйственных земель в зоне воздействия промышленных центров: монография / С.С. Позняк; МГЭУ им. А.Д. Сахарова. – Минск: МГЭУ им. А.Д. Сахарова, 2010. – 211 с.

2 МВИ.МН 4092-2011. Методика выполнения измерений массовой доли химических элементов в почве и донных отложениях методом рентгено-флуоресценции [Электронный ресурс] / С.С. Позняк, Ю.В. Жильцова. – Минск: БелГИМ, 2011. – Режим доступа: [http : www.belgim.by / uploaded / tematic\\_01\\_01\\_2017\\_1.pdf](http://www.belgim.by/uploaded/tematic_01_01_2017_1.pdf) (дата посещения 21.02.2017).

3 ГОСТ ISO 22036-2014 Качество почвы. Определение микроэлементов в экстрактах почвы с использованием атомно-эмиссионной спектроскопии индуктивно связанной плазмы (ИСП-АЭС) (по состоянию на 31.03.2022) / Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов.

## ДИАГНОСТИЧЕСКАЯ РОЛЬ МОХОВИДНЫХ ОВРАЖНЫХ КОМПЛЕКСОВ РАЗЛИЧНЫХ ФИТОЦЕНОЗОВ

*Е.М. Рыжова, М.М. Рассказова*

*Обнинский институт атомной энергетики – филиал  
Национального исследовательского ядерного  
университета «МИФИ», г. Обнинск, Россия*

Эпифитные и эпиксильные виды мохообразных могут проявлять индикаторные свойства на уровне лесного сообщества, формируя единые детерминантные группы с сосудистыми растениями. [1]. Особый интерес представляет изучение бриофлоры северо-восточных районов области, т.к. особенности распространения мохообразных изучены недостаточно полно, а также изучение самих овражных комплексов: более половины специфичных видов Калужской области являются петрофитами, большинство из них проявляет приуроченность к комплексам с обнажениями карбонатных пород [2].

**Целью исследования** было сравнение состава и особенностей произрастания моховидных на различных с точки зрения геологии участках крупных лесных оврагов. Материал был собран на участках оврагов Долгининский и Зайцевский и на склонах р. Таруса близ д. Лысая гора. В ручье Долгининский есть выходы нижнекаменноугольных отложений, представленных пестроцветными глинами и известняками, в левобережном обнажении оврага Зайцевский и склонах р. Таруса вскрываются дерново-подзолистые почвы. За 2017-19 годы исследований на территории оврагов Долгининский и Зайцевский, и на склонах реки Таруса было выявлено 43 вида моховидных. Впервые для территории пригородного леса г. Обнинска определено 28 вида мохообразных. На склонах р. Таруса определили 33 вида. 10 видов из 43 выявлены в оврагах г. Обнинска и на склонах р. Таруса. По встречаемости на обоих участках выявленные виды преимущественно являются обычными. На берегах р. Тарусы отмечено в 2 раза больше

видов со спорадическим распространением (*Hygroamblystegium varium*, *Hypnum cupressiforme* и др.) и 3 редких вида. Коэффициент сходства Сёренсена -21,3%. Это обуславливается тем, что несмотря на сходство геоэкологических условий, на склонах р. Таруса субстраты для произрастания мхов более разнообразны и данный фитоценоз испытывает меньшую антропогенную нагрузку. Так, в Долгинском овраге были выявлены виды печеночных мхов, характерные для мест произрастания с антропогенной нагрузкой (*Marchantia polymorpha*, *Chiloscyphus pallescens*), а в пойме р.Тарусы обнаружен редкий вид для Калужской области (*Dicranum viride*). В целом полученные данные по распространению моховидных совпадают с литературными источниками на территории Калужской области и Подмосковья [1]. Большинство видов –эпифиты и эпиксилы. В овраге Долгининский, правый борт представлен ассоциацией липы мелколистной с хвощем зимующим, и овраг Зайцевский - липняком разнотравным с примесью березы заселены эпифитами, сопровождающих липу, дуб (*Sciuro-hypnum reflexum*) и ряд представителей базифильного комплекса, являющиеся неморальными видами (*Platygyrium repens*, *Serpoleskea subtilis*). На левом борту оврага Долгининский, представленным ельником осоковым, встречаются широко распространенные полизональные виды эпифитов и эпиксиллов (*Callicladium haldanianum*). *Sanionia uncinata* – арктобореальный вид, характерный хвойным лесам. Выделяется группа напочвенных видов, характерных пойменным фитоценозам, и петрофитов, на кремнезённом известняке (*Atrichum undulatum*, *Leskea polycarpa*, *Leptodictyum riparium*). В пойме р.Таруса, в липняке, преобладает древесный субстрат, живая кора липы. Распространены эпифитные и эпиксильные формы широко распространенных и спорадически встречающихся видов (*Anomodon attenuates*, *Stereodon pallescens*, *Mnium lycopodioides*), редко встречающийся (*Dicranum flagellare*) обнаружен на поваленном дереве липы. На известняках обнаружены редко встречающиеся виды для Калужской области такие как *Hygroamblystegium tenax*, *Seligeria pusilla*.

## *Литература*

1 Кучеров И.Б., Телеганова. О диагностической роли эпифитных мохообразных при классификации лесной растительности //Вестник Тверского государственного университета. – 2021. – № 1 (61). – С. 102-123.

2 Телеганова В.В. Ценные бриологические комплексы, территории и биотопы Калужской области // Известия Калужского общества изучения природы. Калуга: Издательство КГПУ им. К.Э. Циолковского, 2009 – С. 9-14.

## **ИЗМЕНЧИВОСТЬ РАЗМЕРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТРАХЕИД СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ В УСЛОВИЯХ АВТОТРАНСПОРТНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ**

*А.Н. Хох*

*НПЦ Государственного комитета судебных экспертиз  
Республики Беларусь, г. Минск, Беларусь*

Сосна обыкновенная является удобным объектом при проведении мониторинга окружающей среды из-за разнообразия биологических реакций в ответ на многие антропогенные факторы.

Цель работы заключалась в экологической оценке влияния автотранспорта на формирование ранних и поздних трахеид.

Образцы для исследования (буровые керны) были взяты на удалении 5-10 м от автомобильных дорог с интенсивностью движения 3000, 1500, 1000, 200 и <100 ед/час; контрольные образцы – на территории ГПУ РЛЗ «Налибокский». Измерения радиального размера и толщины клеточной стенки трахеид проводились на поперечных срезах [1]; длину трахеид измеряли способом, описанном в работе Taylor F. W. и др. [2] после мацерации древесины по методу Franklin G. L. [3]. Статистическая обработка проводилась с использованием программы SPSS v.22.0 (IBM, USA).

В табл. 1 представлены полученные результаты.

Таблица 1

Средние значения исследуемых параметров

Параметр, мкм	3000	1500	1000	200	<100	Контроль
	интенсивность движения, ед/час					
L РТ	<b>1447,90</b>	<b>1947,39</b>	2529,96	2530,82	2549,31	2542,64
SEM	14,33	14,59	15,58	14,75	17,54	18,33
значение t	-45,10	-25,84	-1,85	-1,42	0,12	
p-value	<0,001	<0,001	0,065	0,156	0,901	
L ПТ	<b>1639,97</b>	<b>2244,50</b>	<b>2382,26</b>	2470,05	2563,89	2569,33
SEM	17,81	18,35	19,56	19,51	19,34	23,37
значение t	-31,28	-13,04	-6,86	-1,01	-0,63	
p-value	<0,001	<0,001	<0,001	0,314	0,529	
R РТ	35,25	<b>34,47</b>	35,18	<b>34,07</b>	34,68	35,64
SEM	0,34	0,30	0,26	0,27	0,35	0,33
значение t	-1,81	-2,70	-0,34	2,09	-1,53	
p-value	0,071	0,007	0,733	0,037	0,128	
WR РТ	<b>3,59</b>	<b>3,16</b>	<b>2,95</b>	2,26	2,33	1,90
SEM	0,05	0,05	0,07	0,08	0,06	0,07
значение t	19,02	15,22	8,60	-0,36	0,03	
p-value	<0,001	<0,001	<0,001	0,723	0,185	
R ПТ	20,26	20,97	20,51	19,81	20,75	20,59
SEM	0,55	0,48	0,47	0,49	0,48	0,44
значение t	-0,59	-0,88	0,07	-0,36	-0,53	
p-value	0,555	0,381	0,946	0,723	0,598	
WR ПТ	<b>4,61</b>	<b>4,99</b>	<b>4,79</b>	4,25	4,30	3,89
SEM	0,13	0,12	0,10	0,12	0,12	0,12
значение t	2,99	5,29	5,84	0,05	0,33	
p-value	0,003	<0,001	<0,001	0,957	0,739	

Примечание: L P(П)Т – длина ранних (поздних) трахеид, R P(П)Т – радиальный размер ранних (поздних) трахеид, WR P(П)Т – толщина клеточной стенки ранних (поздних) трахеид, SEM – стандартная ошибка среднего; для оценки статистической значимости разности средних значений применялся t-критерий Стьюдента, жирным шрифтом выделены достоверные различия по сравнению с контролем.

Из табличных данных видно, что у сосны обыкновенной, произрастающей вблизи автомобильных дорог с интенсивностью движения 1000-3000 ед/час формируются более короткие ранние и поздние трахеиды (на 28% и 20% короче, чем в контроле) с большей толщиной клеточных стенок (на 41% и 19% толще, чем в контроле), в то время как при снижении интенсивности движения до 200 и < ед/час достоверные различия при сравнении с контролем не выявлены.

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о существенном изменении состояния сосны обыкновенной в местах с интенсивным движением автотранспорта.

### *Литература*

1 Хох А.Н. Географическая обусловленность анатомических характеристик клеточной структуры древесины сосны обыкновенной в условиях Беларуси // Веснік Брэсцкага ўніверсітэта. – 2020. – №1 – С. 68-78.

2 Taylor F. W. Fiber length measurement-an accurate inexpensive technique // Tappi. – 1975. – V. 58. – №12. – P. 126-127.

3 Franklin G.L. Preparation of thin sections of synthetic resins and wood-resin composites, and a new macerating method for wood // Nature. – 1945. – V. 155. – №3924. – P. 51.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ЦЕНОПОПУЛЯЦИИ *BETULA PENDULA* В УСЛОВИЯХ ТРАССЫ А-295 РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН ПО МЕТОДИКЕ ФЛУКТУИРУЮЩЕЙ АСИММЕТРИИ**

*Р.Р. Хуснуллин, Е.А. Минакова*

*Казанский (Приволжский) федеральный университет,*

*Институт фундаментальной медицины и биологии,*

*г. Казань, Россия*

Биомониторинговые исследования позволяют оценивать состояние качества окружающей среды с помощью маркёров живых биологических объектов. Биомониторинговой методикой является методика флуктуирующей асимметрии (ФА). В рамках

данной работы с помощью ФА была дана интегральная оценка качеству окружающей среды придорожных участков трассы федерального значения А-295, пролегающей на территории Республики Татарстан, по показателям древесных насаждений. Данная работа является продолжением биомониторинговых исследований на территории трассы [1, 2].

Сбор материала проводился в конце августа 2021 г. В качестве площадок для сбора материала были выбраны 4 площадки на разных участках трассы А-295. На каждой площадке было выбрано по 10 деревьев генеративного возраста, с укороченных побегов нижней части кроны которых было собрано по 10 листьев примерно одинакового размера.

Морфометрические показатели рассчитывались с помощью программы Bioindication tool kit.

Для оценки степени выявленных отклонений от нормы использовали балльную шкалу оценки, разработанную под руководством Захарова и утвержденную Распоряжением Росэкологии от 16.10.2003 № 460-р (табл.1) [3].

Таблица 1

Балльная шкала стабильности развития *Betula pendula*

Балл	Величина показателя стабильности развития	Состояние среды
1	< 0,040	Условно нормальное
2	0,040-0,044	Начальные, незначительные отклонения от нормы
3	0,045-0,049	Средний уровень отклонений от нормы
4	0,050-0,054	Существенные отклонения от нормы
5	> 0,054	Критическое состояние

Полученные нами значения показателя ФА в условиях трассы А-295 варьируют в пределах 0,053-0,059. Среднее значение ФА исследуемой территории за 2021 г. составило 0,056, что соответствует оценке критическое отклонение от нормы состояния среды. Основными стрессовым фактором является высокая автотранспортная нагрузка.

Таким образом, данное исследование отражает негативное влияние автотранспортной нагрузки на ценопопуляции *Betula pendula* трассы А-295. Состояние исследуемых древесных насаждений по шкале Захарова оценивается как критическое состояние.

### ***Литература***

1 Хуснуллин Р.Р. Скрининг качества окружающей среды на территории придорожных участков Волжско-Камского заповедника / Р.Р. Хуснуллин, Ф.И. Гиматдинова, Е.А. Минакова // Географическое изучение территориальных систем [Электронный ресурс]: сборник материалов XIV Всеросс. науч.-практ. конф. студ., асп. и молодых учёных (03-04 декабря 2020 г.); Пермский госу-дарственный национальный исследовательский университет. - Электронные данные. - Пермь, 2020. - с. 209-213.

2 Хуснуллин Р.Р. Фитоиндикационная оценка качества среды трассы А-295 на территории поселка Дубровка Раифского заповедника / В кн.: Сборник материалов XV Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных (11-12 мая 2021 г.). С. 25-28.

3 Захаров В.М. и др. Здоровье среды: методика оценки / В.М. Захаров, А.С. Баранов, В.И. Борисов, А.В. Валецкий, Н.Г. Кряжева, Е.К. Чистякова, А.Т. Чубинишвили — М.: Центр экологической политики России, 2000. — 68 с.

## **ИНДИКАТОР КОНТРОЛЯ БИОМАССЫ ДЛЯ ВОДОЕМА-ОХЛАДИТЕЛЯ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ**

*Д.О. Шарин, Е.В. Морус, С.Ю. Суворова, Г.К. Игнатенко,  
П.А. Белоусов*

*Обнинский институт атомной энергетики – филиал  
Национального исследовательского ядерного  
университета «МИФИ», г. Обнинск, Россия*

Большинство АЭС России используют пруды-охладители для отвода тепла от турбинных установок. В летний период

происходит биологическое загрязнение теплообменного оборудования органикой, что снижает общий КПД станции на 3-4 %, а недовыработка в год превышает 50 миллионов кВт/час. Исследования данной проблемы проводились на Ленинградской АЭС [1]. Для сравнения, по данным на 2018 год, простой одного энергоблока АЭС мощностью 1 ГВт приводит к убыткам в размере около 30 миллионов рублей в день.

Таким образом, эффект биологического загрязнения весьма значим и требует системного анализа. Необходимо создать методические рекомендации, по численной оценке, и приборному контролю-мониторингу водоема-охладителя на содержание в нём биомассы [2]. В данной работе для контроля содержания органического углерода в воде предлагается емкостной индикатор с сорбентом органики.

Индикатор для контроля биомассы в воде представляет емкостной датчик с специальной кассетой, заполненной поглотителем. Принцип работы лабораторного стенда основан на измерении ёмкости контрольного конденсатора при осаждении органики из воды на сорбенте, находящимся между обкладками конденсатора. Лабораторный стенд выполнен на едином листе фольгированного стеклотекстолита: одна его половина служит обкладкой конденсатора, на второй смонтирована электрическая схема со стабилизированным блоком питания.

Особенность контроля общей органики в воде ёмкостным методом состоит в сравнении ёмкостей контрольного конденсатора с пропиткой сорбента исследуемой водой и водой, имеющей те же неорганические примеси в тех же количествах.

Работа индикатора проверялась на водных объектах (аквариумах) с различными представителями флоры (ряска, дафнии, цианобактерии). Проведённые измерения показали, что стенд позволяет контролировать содержание органического углерода в воде при превышении её значения  $5 \text{ г/м}^3$ .

Для разработки методики контроля предполагается подобрать оптимальные габаритные размеры контрольного конденсатора, сорбент, методику набора воды в конденсатор.

Предполагаемый результат – разработка прибора для количественной оценки содержания органики в воде.

### *Литература*

1 Александрова А.В., Ткачева А.М. Вопросы эксплуатации систем водоснабжения Ленинградской АЭС. / Сб. трудов III Научно-практической конференции «Экологическая безопасность АЭС». — Калининград.: 2016.

2 РД 153-34.2-21.144-2003 «Методические указания по технологическим расчетам водоемов-охладителей» (по состоянию на 7 апреля 2022г.) / Информационно- справочная система «Консультант – Плюс».

## **СЕКЦИЯ 5. ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ И ФАРМАЦЕВТИЧЕСКАЯ ХИМИЯ**

### **DETERMINATION OF SODIUM CONTENT IN THE SOILS AT THE KARPOV INSTITUTE OF PHYSICAL CHEMISTRY**

*E.T. Afum, Y.V. Nepogodina, A.A. Udalova  
Obninsk Institute for Nuclear Power Engineering,  
Obninsk, Russia*

During the operation of nuclear facilities, just like in other types of industrial enterprises, several pollutants, including radioactive substances and chemicals, enter the natural environment. The controlled release into the atmospheric and aquatic environments is a legitimate waste management practice in the nuclear industry and its related facilities [1]. The Karpov Research Institute of Physical Chemistry was chosen as a site of this study due to the presence of a nuclear research reactor mainly used for medical radioisotopes production. Due to this, there is a potential of radioactive and non-radioactive discharges and the release of chemicals which can cause pollution in the immediate surrounding.

Among chemical elements present in the environment there is sodium, a trace element conditionally necessary for plants, its content in them is an average of about 0.02%. Sodium is involved in the transport of nutrients through cell membranes, being one of the components of the so-called sodium-potassium pump. In addition, it regulates the delivery of carbohydrates in plants. Sodium can activate some enzymes, but the mechanism of this action is not fully understood. The sodium concentration between 1550- 2300 mg/kg in soil is known to cause the detrimental effects on the growth of most crop plants [2]. Sodium is not a plant nutrient, but it does play a role in soil health and this is a cause for the need to monitor its sources and concentrations in our soils.

Purpose of this work is to determine the concentration of sodium (Na) in the soil around the Karpov Institute.

In summer 2021, soil was sampled in 19 locations around the Karpov facility. After drying and other routine preparation of the

samples, they were used for determination of physical and chemicals parameters of the soil. Measurements of sodium content were done using potentiometric method, and results were applied in the formular below to obtain the actual content of sodium in soil, x (mg/kg):

$x = (C \cdot M \cdot 1000) / a$ , where C – concentration, mol/l; M – molar mass, g/mol; a – soil mass, g.

Results from sodium concentration determination in the soil samples are shown in Fig.1.

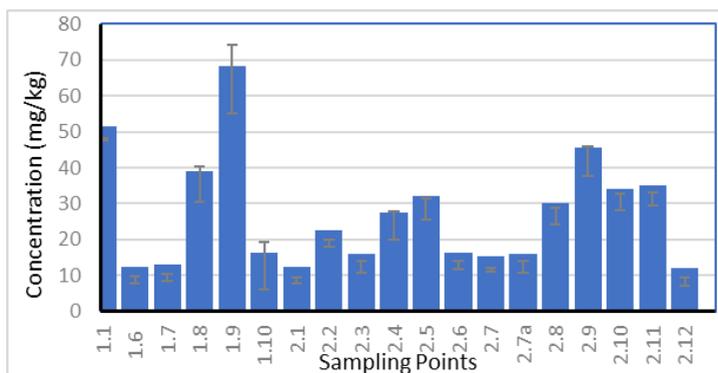


Fig 1. Na concentration in soils.

The sodium content recorded varies essentially, from  $8.4 \pm 0.65$  to  $64.6 \pm 5.6$  mg/kg. In general, these values correspond to the range of sodim concentrations in soil, known from literature, and are close to the values that were found in the same locations around the Karpov Institute in the previous years of studying, in 2019-2020.

Content of chemicals in soil is likely to be dependent on soil texture, cation exchange capacity and other soil properties, which is the objective for our following study.

### *References*

- 1 International Atomic Energy Agency. The principles of Radioactive Waste Management. Safety Series No. 111-F Vienna, 1995.
- 2 Marscsner H. Mineral Nutrition of Higher Plants Point, Academic Press, London, 1986. — 674 p.

## LEVEL OF TOXIC ORGANIC COMPOUNDS IN REFINERY WASTEWATERS

*E.M. Gadirova*

*Baku State University, Baku, Azerbaijan*

For the analysis of such waters three samples were collected from the Oil Refinery and the content of PAHs and heavy metals in wastewater was determined using analytical methods. Water samples were analyzed in accordance with the contract HS-153/2-18 between Heydar Aliyev Oil Refinery and Baku State University's Department of Ecological Chemistry. The chemical analysis of PAHs were carried out using extremely sensitive devices such as GC-MSD gas chromatograph 6890N with a highly efficient mass-selective detector -Agilent 5975. In the Hazar Ecological Laboratory performed quantitative analysis of PAHs in water samples as well as heavy metal determination. It was determined that some the toxic organic compounds (for example naphthalene) investigated in the waste waters of the oil industry exceed the allowable limit. A total of 16 PAHs were detected in water samples [1].

Table 1

Amount of PAHs in water samples

PAHs	1	2	3
	mkg/l (or µg/l)		
naphthalene	95607.1	17113.3	59317.4
acenaphthylene	1626.5	2461.4	101.2
acenaphthene	1879.4	1023.5	441.8
fluorene	5575.2	6869.3	1662.5
phenanthrene	1445.8	7469.4	2606.1
anthracene	7873.0	4260.0	188.2
fluoranthene	3299.0	2650.5	143.6
pyrene	3148.6	2727.8	1750.2
benzo(a)anthracene	7202.7	2402.4	407.2
chryzen	1400.0	996.6	724.0
benzo(b)fluoranthene	1180.0	535.5	63.2
benzo(k)fluoranthene	518.3	174.3	33.2
benzo(a)pyrene	867.6	453.5	107.2
indeno(1,2,3-cd) pyrene	562.2	152.8	31.5
benzo (ghi) perylene	662.2	101.4	36.1
dibenzo(ah)anthracene	961.0	188.3	66.5

The amount of PAHs found in the analyzed samples was found to be very high exceeding the MPC for wastewater. The Maximum Permissible Concentration (MPC) for polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in various watercourses start from 4246 µg/l [2]. But for wastewater samples this rate was slightly higher .

### ***References***

1.Gadirova E.M. Determination of PAH content in wastewater of Oil Refinery.News Bulletin. ANAS //Ganja. — 2019. — No.-4(78). — P.74-79.

2.Yunker M. B., Macdonald R. W., Vingarzan R., et al. PAHs in the Fraser River basin: a critical appraisal of PAH ratios as indicators of PAH source and composition // Organic Geochemistry. – 2002 . – V. 33. – P.489-515.

## **DETERMINATION OF pH AND ELECTRICAL CONDUCTIVITY OF BOTTOM SEDIMENTS (SUMMER AND AUTUMN, 2021)**

*D.-D. E .Golo, T.V. Melnikova, A.A. Oudalova  
Obninsk Institute for Nuclear Power Engineering,  
Obninsk, Russia*

Soil pH is a measure of soil acidity or alkalinity. Soil pH is a key characteristic that can be used to make informative analysis both qualitative and quantitatively regarding soil characteristics [0-0]. pH of bottom sediments affects the transfer of radionuclides from bottom sediments to water and vegetation.

The electrical conductivity (EC) of soils correlates with the size and structure of the particles that make up the soil and is also closely related to other soil properties. For example, the higher the EC, the more negatively charged sites (clay and organic particles) there must be in the soil, and therefore the more cations (which have a positive charge) there are that are being held in the soil [0].

The purpose of the work is to conduct a study of acidity and electrical conductivity of bottom sediments near of the Karpov Institute of physical chemistry.

Measurements of the actual and exchangeable acidity of bottom sediments were performed on the pH meter Anion 4100 (Anion, Russia). Measurement of the electrical conductivity were carried out on the conductivity meter Anion 4100. All measurements were performed in three repetitions. The specific electrical conductivity was taken in the unit  $\mu\text{S}/\text{cm}$  ( $\text{mS}/\text{cm}$ ).

Results of actual acidity of summer and autumn samples are shown in figure 1.

Actual and exchangeable acidity of bottom sediments for summer according to our results showed that, none of the samples were strongly acidic or medium acidic in nature, 1 slightly acidic and the rest are neutral or alkali in nature. For autumn samples, none of the samples were strongly acidic, medium acidic in nature or slightly acidic. The rest were neutral or alkali in nature.

Correlation of actual acidity of bottom sediments between summer and autumn is moderate with the correlation of 0.554, but statistically significant ( $p < 0.05$ ). The correlation of exchangeable acidity of bottom sediments between summer and autumn is very strong with the  $r$  of 0.639, the correlation is reliable at  $p < 0.05$ . The correlation of specific conductivity of bottom sediments between summer and autumn was observed to be weak with the  $r$  of 0.230. The correlation is unreliable ( $p > 0.05$ ).

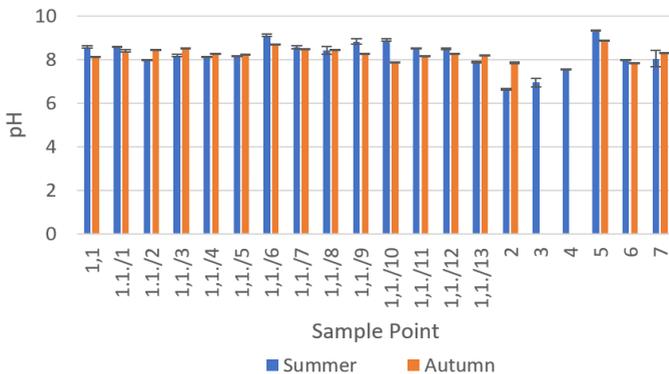


Fig.1. Actual acidity of summer and autumn samples.

In the next stages of the work, the specific activity of radionuclides (RN) in bottom sediments and water will be determined, and the dependence of the RN content in the objects of study on pH and EC values will be assessed.

### ***References***

1 Slessarev E.W., Lin Y., Bingham N.L., Johnson J.E. et al. Water balance creates a threshold of soil pH at global scale // Nature. 2016. – P. 567-569. <https://doi.org/10.1038/nature20139>

2 Queensland Department of Environment and Heritage Protection //Soil pH. URL:<https://www.qld.gov.au/environment/land-management/soil/soil-properties/ph-levels> (Access date: 25.11.21)

3 Wei B., Lingwei K., Aiguo G. Effects of physical properties on electrical conductivity of compacted lateritic soil // Rock mechanics geotechnical engineering. – 2013. – V5. – I5. – P406-411. [doi.org/10.1016/j.rmge.2013.07.003](https://doi.org/10.1016/j.rmge.2013.07.003).

## **HEAVY METALS IN REFINERY WASTEWATERS**

*S.R. Hajiyeva, E.M. Gadirova*  
*Baku State University, Baku, Azerbaijan*

The chemical analysis of heavy metals were carried out using extremely sensitive devices such as Perkin Elmer ICP/OES-2100DV. 9 heavy metals were detected in water samples. It was found the total amount of organic and inorganic C atoms in wastewaters. The total number of organic and inorganic C atoms is also found in the water samples 1;2;3.The analyses were carried out in the laboratory of Baku State University's Department of Ecological Chemistry using the Multi N/C3000 device.

It has been established that carbon atoms of inorganic origin in industrial wastewater are 3 times less than carbon atoms of organic origin. This fact indicates that the wastewater is enriched or contaminated with toxic organic compounds.

Table 1

Quantity of heavy metals in wastewater samples from the Oil Refinery

Heavy metals, mg/l	1	2	3
Fe	0,044	0,042	0,043
Zn	0,112	0,067	0,002
Cu	0,022	0,023	0,022
Mn	0,0168	0,103	0,036
Pb	0,025	0,017	0,008
Cd	0,006	0,005	0,008
Cr	0,004	0,001	0,002
Co	0,007	0,011	0,008
Ag	0,007	0,008	0,007

The amount of Cd in the studied samples is slightly higher than the norm as can be seen in Table 1[1].

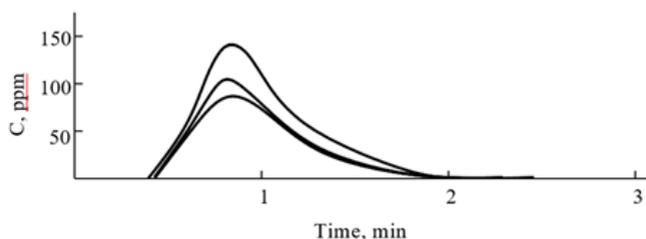


Fig.1. Concentration of organic C atoms in the samples 1;2;3.

The amount of organic C atoms in the analyzed water samples is greater than the amount of inorganic C atoms as shown in Figures 1. This indicates that all 3 water samples are more contaminated with organic toxic compounds (approximately 3 times more) than with inorganic compounds.

Pollution of the aquatic ecosystem is currently one of the most serious global environmental issues [2]. Water purification in industry is insufficient and has a negative impact on the aquatic ecosystem's flora and fauna by discharging water containing a sufficient amount of organic toxic substances. In this regard one of the most pressing environmental issues today is the protection of the aquatic environment from pollution. In the modern area the

contamination of water ecosystem is the most important of the global ecological problems [3].

### ***References***

1.Hajiyeva S.R.,Gadirova E.M. Monitoring of the Petrogenically Polluted Territories. E3S Web of Conferences // ICBTE.- 2020.- P.212-217.

2.Hajiyeva S.R., Gadirova E.M.,Ozdemir N.,et al. Oil Refinery Wastewater and Environmental Assessment. Processes of Petrochemistry and Oil Refining// Baku. -2021.- V.22. - No.4. - P.457-467.

3.Gadirova E.M. Modern methods for wastewater treatment. Hacattepe Journal of Biology and Chemistry// Turkey- DergiPark.- 2021.- V.49, - №2.- P.125-131.

## **DETERMINATION OF THE CONCENTRATION OF POTASSIUM AND SPECIFIC ACTIVITY OF K-40 IN SOILS AROUND THE KARPOV INSTITUTE**

*M. Mbesi, Y.V. Nepogodina, E.T. Afum, A.A. Udalova  
Obninsk Institute for Nuclear Power Engineering, Obninsk, Russia*

To understand an impact from technogenic activity including nuclear facilities, a functioning of natural ecosystems in a vicinity of sources of impact has to be studied. Important component of natural ecosystems are soils, and normal conditions and content of nutritive elements and natural radionuclides in soils are an obvious subject of studying. The most abundant inorganic cation in soils is potassium (K), which is necessary for optimal plant growth. Protein synthesis, sugar transport, N and C metabolism, and photosynthesis are just a few of the enzymes that K activates [1]. Radionuclide  $^{40}\text{K}$  is also present in natural biogeocenoses or can be introduced as an impurity with fertilizers. Ionizing radiation released by the radionuclide can create additional burden on living organisms [1,2].

**Purpose of work** - To determine the concentration of general potassium (K) and  $^{40}\text{K}$  in soils around the Karpov Research Institute of Physical Chemistry in Obninsk.

**Materials and Methods.** Sampling of soil was carried out in 2021 around the area of the Karpov Institute; a total of 19 sampling points were considered. In the laboratory, measurements of potassium content were done using potentiometric method, and specific activity of  $^{40}\text{K}$  was measured using the gamma-spectrometer Progress (NRNU MEPhI).

**Results.** Specific activity of  $^{40}\text{K}$  in 2021 was in the range  $273\pm 58$  to  $391\pm 80$  Bq/kg, which is similar to the previous measurements done in 2020, in the range  $247\pm 52$  to  $425\pm 8$  Bq/kg. Correlation between activity concentrations obtained in 2020 and 2021 is significant ( $r = 0.466^*$ ,  $p < 5\%$ ). According to the UNSCEAR the worlds average for  $^{40}\text{K}$  in soil is  $420\pm 82$  Bq/kg. In Russian soils [3], the average for  $^{40}\text{K}$  activity concentration is  $490\pm 73$  Bq/kg, with typical range of 340-640 Bq/kg. Thus, the  $^{40}\text{K}$  content in soil in this study appeared to be at a lower limit or below the average values reported in literature.

For the element K, concentration was in the range of  $7.1\pm 0.2$  to  $34.7\pm 1.0$  mg/kg, which is similar to 2020 results, which were in the range  $4.0\pm 1.7$  to  $29.8\pm 0.6$  mg/kg. Correlation between the measurements done in these two years is significant ( $r = 0.96^*$ ,  $p < 5\%$ ). There is no MPC for K in soil, but from literature it is known that mobile potassium concentration can be considered high when it is above 180 mg/kg (soil analysis in greenhouse complexes in Uzbekistan), and even potassium reserves in the arable layer/ha around 350 mg/kg is not a threat. The K concentrations obtained in this study all fall under the range of the maximum.

Also, in the studied soils around the Karpov Institute, a significant correlation is revealed between K and  $^{40}\text{K}$ , with  $r = 0.94^*$  ( $p < 5\%$ ).

**Conclusions.** Activity concentrations of  $^{40}\text{K}$  in soils in the studied area are found to be lower than the worldwide and country average levels. For potassium similarly the values obtained are lower than typical or harmful levels. There is good correlation of measurements results obtained in 2020 and 2021. Between the levels of K and  $^{40}\text{K}$  isotope in soil, the high and statistically significant correlation is shown, which supports the well-known fact about the constancy of the isotopic ratio for potassium in the environment.

## **References**

1 Xu X., Wang F., Sha J. Effects of potassium levels on plant growth, accumulation and distribution of carbon, and nitrate metabolism in apple dwarf rootstock seedlings // *Front. Plant Sci.* – 2020. – V.11. – Article 904. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00904>.

2 Lag J., Hadas A., Fairbride W.R. *Encyclopedia of Soil Science and Encyclopedia of Earth Sciences Series*. New York. 2008. 928 p.

3 Орлов П.М., Сычев В.Г., Аканова Н.И. Естественные радионуклиды в почвах России и фосфатных рудах планеты // *Международный сельскохозяйственный журнал.* – 2020. – Т.63. – №. 4. – С. 62-67.

## **GAS CHROMATOGRAPHIC ANALYSIS OF IRRADIATED HCH ISOMERS IN THE COMPOSITION OF "HEXACHLORANE DUST"**

*G.G. Mugisa, T.V.Melnikova*

*Obninsk Institute for Nuclear Power Engineering, Obninsk, Russia*

Organochlorine pesticides (OCPs) are substances included in the Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants (POPs), accumulated over decades of their use, carry a serious risk of environmental pollution. One of these POPs include Hexachlorocyclohexane (HCH) isomers, especially the gamma isomer also known as lindane. HCH is a chemical active ingredient of pesticides, previously used in agriculture to control harmful insects and pests of stocks. Although the use of Hexachlorane for insect control is banned and production stopped,  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -, and  $\delta$ -HCH have been found in the soil and surface water at hazardous waste sites because they persist in the environment and there are large stocks of the pesticide that require disposal. Most common methods of disposal of OCPs today have a lot of drawbacks hence there is a need to develop radiation technologies for the disposal of obsolete and banned pesticides in the environment.

The objective of this work is to estimate the content of HCH

measurements in the composition of the pesticide preparation "Hexachlorane dust" before and after its irradiation with accelerated electrons. Instrumental analysis of the samples was performed by gas-chromatography on the HC "Crystal-5000.2" (Russia) designed for the analysis of complex multi-component mixtures, based on the laboratory "Environmental Control of NFC facilities" in the mode of temperature programming. Irradiation was carried out in a range of increasing doses (10, 100, 200, 500, 700 kGy) at the Tekleor plant and animal products processing center (Industrial Park K-AGRO, Kaluga region). The conditions for preparing samples for gas chromatographic studies are given in [1, 2].

The results of calculation of the degradation degree of  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -isomers of HCH in the composition of the aqueous suspension of "Hexachlorane Dust" under affected electron radiation are presented in Table 1.

According to the data presented in Table 1, for the isomers -  $\alpha$ - and  $\beta$ -HCH - the degree of degradation remains statistically unchanged. For the  $\gamma$ -HCH isomer, the degree of degradation significantly increases upon irradiation at doses of 100–700 kGy.

Table 1

Degree of degradation of HCH isomers in the samples after electron irradiation

Pesticide	P, %				
	10 kGy	100 kGy	200 kGy	500 kGy	700 kGy
$\alpha$ -HCH	15.1±5.7	13.0±3.2	24.1±4.4	26.8±6.1	22.7±3.8
$\beta$ -HCH	56.0±3.5	57.9±2.6	56.3±3.1	60.4±2.9	54.8±2.1
$\gamma$ -HCH	24.3±4.9	24.3±4.9	34.8±3.5	44.6±3.4	45.1±2.4

The relationship between the degree of decomposition and the absorbed dose in this case is non-linear and will be described by the allometric function  $y = ax^b$ . The determination coefficient for such a dependence will be equal to 0.95.

The analysis of the obtained data showed that it is possible to obtain more accurate results of pesticide decomposition, it is necessary either to change the dilution (reduce) of the prepared extracts from an aqueous suspension of "Hexachlorane Dust", or to

change (reduce) the concentrations of the calibration solutions. However, this assumption requires verification and will be a task at the next stage of the study.

### **References**

1 Мельникова Т.В., Полякова Л.П., Козьмин Г.В., Никулкина Ю.И., Глушков Ю.М. Изучение устойчивости хлорорганических соединений в составе пестицидного препарата под воздействием гамма-излучения // Ядерная физика и инжиниринг. – 2011. – Т. 2. – №4. – С.370-374.

2 Полякова Л.П., Мельникова Т.В., Козьмин Г.В., Лукьянова Н.Н., Глушков Ю.М. Методические аспекты радиационной обработки пестицидных препаратов в целях утилизации их отходов // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2014. – № 11 – С. 210- 215.

## **RESEARCH OF ECOLOGICAL-CHEMICAL INDICATORS OF KHOJASAN LAKES OF THE ABSHERON PENINSULA**

*I.I. Mustafayev<sup>1</sup>, S.R. Hajiyeva<sup>2</sup>, T.I. Aliyeva<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup> – Institute of Radiation Problems of ANAS, Baku, Azerbaijan,*

*<sup>2</sup> – Baku State University, Baku, Azerbaijan*

Environmentalists also believe that the main reason for the pollution of the Apsheron Lakes is the lack of a unified sewerage system on the peninsula and the discharge of wastewater from newly built settlements and industrial enterprises into nearby lakes. On the shores of most lakes in Absheron there are residential areas - Khojasan, Kurdakhany, Bul-Bul, Amirjany, Zabrat, Zyk, Boyukshor and others.

In accordance with the mineralization of the water of Lake Khojasan, it belongs to the group of salt-water lakes, and the mineralization of the water is much higher than that of others. The oxygen regime of the lake is completely broken. One of the main reasons why soluble oxygen is weak in the water of Lake Khojasan is the acceleration of biological processes as a result of the oxidation of pollutants. That is why the biochemical consumption of oxygen in

the lake is several times higher. As a result of the influence of natural factors and wastewater into Lake Khojasan, the concentrations of cations and anions in the water also increase sharply with an increase in the mineralization of the lake. Thus, the amount of calcium, magnesium and chlorides is higher than the sanitary norm, and sulfates are several times higher. The concentrations of oil products and phenols, which are the main pollutants of the lake, are many times higher than the MPC. Copper, cadmium, iron, zinc, manganese and other heavy metals are the main pollutants of the lake and exceed the MPC by several times. Synthetic surfactants in Lake Khojasan exceed the MPC by several times. Together with wastewater, surfactants enter the water of Lake Khojasan. We carried out ecological monitoring of Lake Khojasan and thus discovered the sources of pollution of this lake. It was found that sewage is the main culprit of pollution.

The water of Lake Khojasan, located in the Absheron Peninsula of Azerbaijan, seems clean and transparent from a distance, but as soon as you get closer to the shore, the stench makes it hard to breathe and you can see how the lake and its shores are clogged with various debris. Moreover, sewage water flows into the lake from all sides.

We have previously written about the environmental problems of Absheron, in particular, about polluted suburban lakes. According to the state program "On the socio-economic development of Baku and its suburbs in 2014-2016", all the lakes of Absheron were to be cleaned. Cleaning of Lake Khojasan began, but soon the work to clean up the reservoir was stopped.

In order to study the degree of pollution of water and soil with heavy metals, we carried out monitoring studies to determine the content of some heavy metals in them. During the monitoring, we took samples of water and bottom sediments from various places of Lake Khojasan, as well as from the soil near the lake, and carried out chemical analysis using atomic absorption spectroscopy (AAS). And also found in the bottom sediments of iron 120.239  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , chromium 0.25  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , aluminum 178.26  $\mu\text{g}/\text{kg}$ . Chromium 1.16  $\text{mkg}/\text{kg}$  was found in the soil. In water samples taken from Lake Khojasan, the amount of nitrates, nitrites, phosphates, ammonium ions was found.

Found  $\text{NO}_3^-$  0,04 mg/l,  $\text{NO}_2^-$  0,11 mg/l,  $\text{PO}_4^{3-}$  1,38 mg/l,  $\text{NH}_4^+$  2,65 mg/l, pH-7,88, salinity of water 1747 mg/l, soluble oxygen 3,8 mg/l in water samples taken from Lake Khojasan. Analysis results for soil sample from Lake Khojasan:  $\text{CaCO}_3$ -15, 29%, organic matters 21,40 g/kgdm, total phosphorus 42,88 mg/kgdm, total nitrogen 202 mg/kgdm, total sulphate 13, 85 mg/kgdm, total phosphate 190,6 mg/kgdm. Analysis results for bottom sediments sample from Lake Khojasan:  $\text{CaCO}_3$ -4,72%, organic matters 100,49 g/kgdm, total phosphorus 4,87 mg/kgdm, total nitrogen 191 mg/kgdm, Sulphur 178 mg/kgdm, total Ca 9, 086 mg/kgdm, radiation 18 mkr/h.

## **CHEMICAL TREATMENT OF INDUSTRIAL WASTEWATER**

*N.M. Rakida*

*Baku State University, Baku, Azerbaijan*

According to the developed method for the purification of oil from IWW samples taken from oil extracting facilities (except for the Balakhany oil extracting facilities), a mixture of hydrocarbon solvents from a solution of coagulant  $\text{Me}_x(\text{SO}_4)_y$  - (conditionally labeled K-1) and a fraction of 40-70 °C petroleum ether from a gasoline distillate (conventionally labeled K-2) was used. A special optimal regime for the use of the conditionally indicated K-1 and K-2 reagents has been developed, and at the same time, scientific researches carried out several times with several comparative reagents.

The results of the conducted research and the main parameters of the optimal technological regime are shown in Table 1.

Table 1

Results of the research-method developed for deep ecological effective chemical treatment of IWW samples containing oil formed in the oil production industry

IWW samples									
the name of the source	composition before cleaning			reagents used in the cleaning			composition after cleaning		
	the oil content, mg/l	pH	color	sample amount	5% K-1 ml	K-2, ml	Oil, mg	pH	color
1.Neft daşları	500 - 1000	7.2	with dark turbidity	1 liter	3-5	2-3	0,02	7	Transparent
2.Suraxanı	500 - 1000	2.Suraxanı	Suraxan	1 liter	3-5	2-3	0,01	7	Transparent

Research work is also ongoing on deep ecologically effective cleaning of IWW samples from the Balakhany oil refinery and a tank for storing heavy Balakhany oil (from the tank at the Boyuk-Shor tank farm at the Heydar Aliyev Oil Refinery). At the same time, the results of our research on the processing of IWW, which is formed in the oil refining industry and has a very complex composition and characteristics, are higher than IWW obtained in the oil industry. The purified IWW does not contain up to 100% (0.01-0.02 mg/l) of petroleum hydrocarbons compared to the standards taken for analysis. Thus, after treatment of oil-containing IWW by the new chemical method, despite the large amount salts, mechanical mixtures, etc., the transparency of the water and the purification of crude oil 2-5 times lower up to 100 percent (from sanitary norm), i.e. cleaning to concentration of 0.01-0.02 mg/l was achieved.

As noted elsewhere [1-3], each method developed and used in the oil industry to treat IWW has many shortcomings. Thus, depending

on the composition of the IWW formed in the oil industry, the degree of emulsion, the rate of purification, the degree of ecologically effective purification, the ecological safety class of reagents used, the impact on the quality of oil - OPWM and, and finally, in general, their environmental impact to the biosphere, economic and environmental importance, IWW treatment methods are evaluated. That is why selective components and long-term research to determine the optimal regime are required.

### ***References***

1 Bayakhmetova Z.K., Nurgaliyeva G.O., Dzhusipbekov Purification of oil-containing waste waters using humacite-containing composite materials / Collection of materials of the All-Russian Youth Conference "Innovations in Chemistry: Achievements and Prospects. Kazan: KSTU, 2011. – P. 6.

2 Shapkin N.P. and others. Patent 2440931 Russia. MPC CO2F1 / 465. Wastewater treatment method. / Published 27.01.2012. Bul. No. 3 .

3 Burenin V.V. Protection of water objects from pollution by oil-containing wastewater // J. Production Ecology. – 2015. – No. 2. – P. 54-61.

## **ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ОЦЕНИВАНИЕ ОЗЕРА БЁЮКШОР АБШЕРОНСКОГО ПОЛУОСТРОВА**

*С.Р. Гаджиева<sup>1</sup>, И.И. Мустафаев<sup>2</sup>, Т.И. Алиева<sup>1</sup>*

*<sup>1</sup> – Бакинский Государственный Университет,  
г. Баку, Азербайджан*

*<sup>2</sup> – Институт Радиационных проблем НАНА,  
г.Баку, Азербайджан*

Озеро Бёюкшор – это самое большое озеро в Абшероне и находится в напряженном экологическом состоянии. По мнению международных экспертов, озеро Бёюкшор считалось одним из самых загрязненных озер в мире. Озеро Бёюкшор расположено в центре Абшеронского полуострова. Сточные воды выгружаются из хозяйственных и других объектов и частных

домов, которые строятся вокруг озера и не оборудованными канализационными системами Бинагадинского, Сабунчинского и Наримановского районов города. В настоящее время ежедневно из 49 источников в озеро поступает и 18 000 м<sup>3</sup> промышленной и бытовой воды. части озера. Одним из основных источников загрязнения озера является сброс нефтяных разливов, образующихся при добыче нефти с 30-х годов XX века.

В соответствии с минерализацией воды озеро Бёюкшор относится к группе солоно-водных озер, а минерализация его воды намного выше, чем у других. Режим кислорода озера полностью нарушен. Одной из основных причин, по которой растворимый кислород является слабым в воде озера Бёюкшор является ускорение биологических процессов в результате окисления загрязняющих веществ. Вот почему биохимический расход кислорода в озере Бёюкшор в несколько раз выше. В результате влияния природных факторов и сточных вод в озере концентрации катионов и анионов в воде также резко возрастают с увеличением минерализации озера Бёюкшор. Концентрации нефтепродуктов и фенолов, которые являются основными загрязнителями озера, во много раз выше ПДК. Медь, кадмий, железо, цинк, марганец и другие тяжелые металлы основные загрязнители озера Бёюкшор и превышают ПДК в несколько раз. Синтетические поверхностно-активные вещества в озере превышают ПДК в несколько раз. Вместе со сточными водами СПАВ попадают в воду озера.

Подготовлена государственная программа социально-экономического развития города Баку и его поселений на 2014-2016 годы, утвержденная приказом Президента Азербайджана И.Г.Алиева от 17 января 2014 года, разработан проект экологической реабилитации для улучшения, охраны и использования озера Бёюкшор.

Проект экологической реабилитации озера будет реализован в два этапа. Работы на первом этапе, охватывающие 2014-2015 годы, были успешными. Восстановлено около 300 гектаров озера возле Олимпийского стадиона. На этом этапе планируется разделить северную часть озера от береговой линии, которая

является исторически загрязненной нефтью территорией. Таким образом, будет предотвращен поток нефти, загрязненной сточной воды и плавающих отходов.

В то же время более ста лет осуществляется добыча и нейтрализация загрязненных осадков на дне озера. На начальном этапе проекта было очищено более 100000 кубометров из 2,8 миллиона кубических метров осадков. Организована серьезная работа по обеспечению безопасности, защитной зоны озера и предотвращение загрязнения озера и прибрежных районов от бытовых и строительных отходов.

Таким образом, озеру будет возвращен его естественный вид, уровень воды будет регулироваться, и экосистема будет восстановлена. В результате краткосрочных исследований динамика показателей качества воды изменилась положительно.

## **ИЗУЧЕНИЕ СТАБИЛЬНОСТИ ЛОС, ОТОБРАННЫХ НА СОРБЦИОННЫЕ ТРУБКИ, В ПРОЦЕССЕ ХРАНЕНИЯ ДО ПРОВЕДЕНИЯ АНАЛИЗА**

*А.В. Гордюк, Н.И. Добрева*

*ФБУН «Федеральный научный центр гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора, г. Мытищи, Россия*

Мониторинг и контроль приоритетных химических веществ, присутствующих в воздушной среде предполагает частый отбор проб воздуха, их транспортировку и хранение до проведения анализа. В связи с этим получение корректных количественных результатов возможно только при наличии проверенных данных о долгосрочной стабильности летучих органических соединений (ЛОС), отобранных на сорбционные трубки. Поскольку большинство образцов не анализируются сразу после отбора проб, в связи с удаленностью пунктов отбора проб, частотой и продолжительностью отборов, а также пропускной способностью приборов в лаборатории, то получение актуальных и проверенных данных по стабильности или нестабильности различных ЛОС при хранении в лабораторных условиях являются важной аналитической задачей.

Целью исследования является оценить стабильность приоритетных ЛОС в смеси при хранении сорбционных трубок в лабораторных условиях в течении 5 месяцев до проведения анализа.

С этой целью были выбраны несколько групп ЛОС, являющихся наиболее распространенными загрязнителями воздуха: предельные углеводороды С<sub>6</sub> – С<sub>10</sub> (гексан, гептан, октан, нонан, декан), хлорированные углеводороды (дихлорметан, 1,2-дихлорэтан, трихлорметан, тетрахлорметан, трихлорэтилен, тетрахлорэтилен, хлорбензол), ароматические углеводороды (бензол, этилбензол, ксилолы(м-,п-,о-), толуол, стирол, изопропилбензол, пропилбензол, 1,2,3-триметилбензол) и спирты (1-бутанол, фенол, 3-этилтолуол, 2-бутоксигэтанол), альдегидов (пентаналь, гексаналь), терпенов (альфа-пинен, альфа-метилстирол, 3-карен), эфиров (н-бутилацетат, этилацетат).

При проведении эксперимента использовались стандартные образцы с содержанием основного вещества не менее 95 %.

Испытания стабильности ЛОС при хранении до 5-ти месяцев проводилось на модельных образцах с использованием сорбционных трубок, заполненных сорбентом Tenax TA.

Модельные образцы для хранения были подготовлены путем введения микрошприцом 1 мкл смеси ЛОС в метаноле, содержащим 1 мкг каждого ЛОС в сорбционные трубки при помощи устройства ввода «ХРОМАТЭК».

После отдувки растворителя азотом, трубки герметично закрывали металлическими закручивающимися крышками и уплотнительными прокладками из политетрафторэтилена

Модельные образцы помещали в стеклянный эксикатор и хранили до анализа в лабораторных условиях при температуре (20±5) °С и влажности в диапазоне 30-50 %.

Содержание ЛОС определялось методом термической десорбцией (ТД) и газохроматографическим анализом с использованием масс-спектрометрического детектирования (ГХ-МС).

Таким образом, при хранении до 5-ти месяцев показана стабильность 28 летучих органических соединений:

трихлорметана, тетрахлорметана, трихлорэтилена, бензола, тетрахлорэтилена, о-ксилола, суммы изомеров м-ксилола и п-ксилола, этилбензола, н-октана, толуола, н-бутанола, н-гептана, 1,2-дихлорэтана, н-гексана, дихлорметана, этилацетата, н-бутилацетата, хлорбензола, изопропилбензола, α-пинена, н-пропилбензола, α-метилстирола, 2-бутоксигэтанола, стирила, 3-этилтолуола, 1,2,4-триметилбензола и 3-карена, что позволяет не привязывать дату отбора к датам анализа. Стабильность при хранении фенола, пентанала, гексанала, н-нонана и н-декана составила не более 4-х недель.

## **К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОСТАТОЧНЫХ КОЛИЧЕСТВ ГЛИФОСАТА В ВОДЕ И ПОЧВЕ**

*М.С. Гречина, П.А. Плетенев  
ФБУН «Федеральный научный центр гигиены им. Ф.Ф.  
Эрисмана» Роспотребнадзора, г. Мытищи, Россия*

Положительный эффект от использования в сельскохозяйственной практике химических средств защиты растений очевиден, но наряду с этим, со временем стали проявляться и отрицательные последствия их широкого применения.

Воздействию пестицидов подвергается почва сельскохозяйственных угодий, растительный покров, наземная и подземная биота, водные объекты, в том числе грунтовая вода. Пестициды накапливаются в отдельных объектах и средах, включаются в различные миграционные цепи. При разложении пестицидов многих классов образуются метаболиты, которые также могут представлять опасность для окружающей среды. Глобальная миграция пестицидов является общеэкологической проблемой.

Важным инструментом в предотвращении негативных последствий применения и глобальной миграции пестицидов является мониторинг их токсичных остатков в объектах окружающей среды, растениеводческой продукции, кормах и продуктах питания.

Актуальность проведения мониторинга воды и почвы на определение остаточных количеств такого пестицида как глифосат с его основным метаболитом вызвана сообщениями Международного агентства по изучению рака Всемирной организации здравоохранения о его возможной канцерогенности, что явилось основой для инициирования дополнительных исследований. Использование гербицида мирового уровня, применяемого еще с 70-х годов XX века, и в настоящее время остается актуальным на посевах широкого спектра культур. В нашей стране база аналитических методов определения остаточных количеств глифосата и его метаболита аминометилфосфоновой кислоты (АМФК) представлена утвержденными в период 1985-2009 гг. методическими указаниями, которые не позволяют обеспечить гигиенические нормативы для данного гербицида в воде и почве (ПДК в воде водоемов – 0,02 мг/л, ПДК в почве – 0,5 мг/кг) и имеют нижние пределы количественного определения выше утвержденных значений гигиенических нормативов.

Для совершенствования аналитической базы методов, позволяющих определять данные аналиты в следовых количествах при проведении мониторинговых исследований, была разработана методика определения остаточных количеств глифосата и его метаболита аминометилфосфоновой кислоты в воде и почве, обеспечивающая их обнаружение в воде в диапазоне 0,001 – 0,010 мг/л, в почве - 0,01-0,10 мг/кг.

Нужной чувствительности метода удалось добиться благодаря необходимым преобразованиям глифосата и АМФК в хорошо детектируемые соединения - флуорогенные производные - с помощью дериватизирующего реагента 9-флуоренилметилхлорформата (ФМОС) в среде боратного буфера, а также использованию высокочувствительного и селективного метода высокоэффективной жидкостной хроматографии с масс-спектрометрическим детектированием, настраиваемого на регистрацию ионов с заданными значениями отношений их массы к заряду ( $m/z$ ).

По результатам исследований разработаны методические указания «Определение остаточных количеств глифосата и его

метаболита аминотетрагидропиримидинового фосфата в воде и почве методом высокоэффективной жидкостной хроматографии с масс-спектрометрическим детектированием», которые в настоящее время внесены в Федеральный реестр аттестованных методик.

На практике метод был использован при проведении двухгодичных мониторинговых динамических исследований по изучению возможности загрязнений водоемов хозяйственно-питьевого назначения и почвы (на глубине до 40 см) при применении препарата на основе глифосата в трех почвенно-климатических зонах РФ, что с гигиенических позиций дало возможность обосновать заключение о безопасных условиях применения препарата.

## **АНАЛИТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ФОСФОРОРГАНИЧЕСКОГО ИНСЕКТИЦИДА В ТОМАТАХ**

*О.Е. Егорченкова*

*ФБУН «Федеральный научный центр гигиены им. Ф.Ф.  
Эрисмана» Роспотребнадзора, г. Мытищи, Россия*

Фосфорорганические соединения весьма распространенная группа соединений (около 40 % всех пестицидов), используемых в качестве бытовых и сельскохозяйственных инсектицидов.

В настоящее время томаты являются продуктом массового потребления. Они полезны для здоровья благодаря богатому биохимическому составу и высокой питательной ценности: содержат комплекс витаминов группы В, витамины А, С, К, а также богаты минералами: калием, магнием, марганцем, фосфором и медью.

Фенитротрион (О,О-диметил-О-(4-метил-4-нитрофенил)фосфотиоат) - фосфорорганический инсектицид контактно-кишечного действия для борьбы с широким спектром насекомых вредителей различных сельскохозяйственных культур, в том числе томатов.

Максимально допустимый уровень (МДУ) фенитротиона в томатах в Российской Федерации не установлен. МДУ фенитротиона в томатах, установленный в ЕС – 0,01 мг/кг, что соответствует нижнему пределу количественного определения.

Данные позиции обосновывают значимость создания метода аналитического определения фенитротиона в плодах данной культуры для контроля соответствия сельскохозяйственной продукции при ее обращении на потребительском рынке показателям безопасности.

Для подготовки проб был использован способ экстракции, основанный на технологии QuEChERS: образцы экстрагировали ацетонитрилом с использованием солей с цитратным буфером, что обеспечило удовлетворительное разделение фаз при центрифугировании, а добавление 2 см<sup>3</sup> 8 % - ного раствора гидроксида натрия ощутимо повысило полноту извлечения фенитротиона из матриц. Очистку экстрактов проводили, применяя смесь сорбентов на основе первичного-вторичного амина (PSA), магния сернокислого, графитовой сажи и твердофазного сорбента на основе октадецилсилана.

Томаты относятся к категории продуктов с высоким содержанием воды [1], обработка испытуемых проб в условиях низких температур (не выше минус 18 °С) на стадиях экстракции, до и после очистки с применением дисперсионной ТФЭ, позволила не только избежать конденсации влаги, но и уменьшило количество соэкстрактов в исходных экстрактах.

Для определения остаточных количеств фенитротиона в матрицах плодов и сока томатов был применен метод газожидкостной хроматографии с масс-спектрометрическим детектированием. Хромато-масс-спектрометрию осуществляли в режиме ионизации электронным ударом, идентификацию действующего вещества проводили по временам удерживания, наличию характеристических ионов в масс-спектрах: был применен режим регистрации трех выбранных ионов (SIM), ионы с  $m/z$  (отношение: масса/заряд): 277 (количественный расчет), 109, 125.

Средняя полнота извлечения фенитротиона, установленная по результатам анализа модельных проб с внесением вещества

на пяти уровнях по определяемому диапазону составила: плоды томатов - 94 %, сок томатов 89 %.

Примененные эффективные способы экстракции, концентрирования и очистки вещества, приемы детектирования на основе хромато-масс-спектрометрии с учетом особенностей химической структуры соединения позволили получить надежные результаты на уровне 0,01 мг/кг.

По результатам выполненной работы сформированы методические указания «Определение остаточных количеств фенитротриона в томатах методом капиллярной газожидкостной хроматографии с масс-спектрометрическим детектированием» по разделу 4.1. Методы контроля. Химические факторы.

### *Литература*

1 SANTE/11312/2021. Analytical quality control and method validation procedures for pesticides residues analysis in food and feed - Implemented by 01/01/2022.

## **МОДЕЛЬ ПЕРЕХОДА СВИНЦА ИЗ ПЕРИФЕРИЧЕСКОЙ КРОВИ В ОРГАНЫ И МЫШЕЧНУЮ ТКАНЬ ОВЕЦ**

*В.Г. Епимахов<sup>1</sup>, Н.Н.Исамов<sup>1</sup>, Э.Б. Мирзоев<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup> – ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии», г. Обнинск, Россия*

*<sup>2</sup> – ФГБОУ ВО «Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии - МВА им. К.И. Скрябина» г. Москва, Россия*

Токсическое действие свинца на сельскохозяйственных животных определяется его концентрацией в периферической крови, которая играет важную роль в транспорте и перераспределении металла в органы и ткани [1]. Целью настоящего исследования стала разработка и параметризация математической модели перехода свинца из периферической крови в органы и ткани овец при хроническом поступлении с рационом.

На основе метаболизма свинца в организме сельскохозяйственных животных разработана математическая модель перехода металла из

периферической крови в органы и ткани овец [2]. На рис. 1 продемонстрирована концептуальная схема модели, в которой учтены коммуникации, соответствующие изменению концентрации свинца в органах и тканях овец при хроническом поступлении с рационом. Модель параметризована на основе собственных экспериментальных данных.

Расчёты, выполненные с использованием разработанной модели, позволили проанализировать закономерности распределения, накопления и выведения свинца из организма овец.

В зависимости от уровня свинца в рационе и продолжительности его поступления в организм овец определены константы скорости перехода из периферической крови в органы и мышечную ткань.

Проведен сравнительный анализ экспериментальных данных и расчётов на модели. Степень совпадения результатов показывает, что модель удовлетворительно описывает переход свинца из рациона в органы и мышечную ткань овец.

Разработанная математическая модель может быть использована для оценки и прогноза безопасности продукции овецводства.

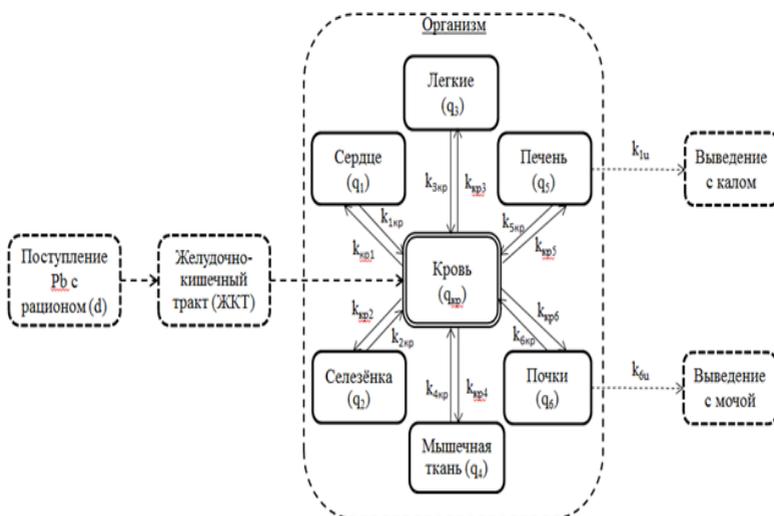


Рис. 1. Концептуальная схема перехода свинца из рациона в органы и ткани овец.

## *Литература*

1 Мирзоев Э.Б., Кобялко В.О., Полякова И.В., Губина О.А. Метаболизм свинца и механизмы его цитотоксического действия в организме млекопитающих (обзор) / Сельскохозяйственная биология. – 2018. – Т. 53, №6. – С. 1131-1141. Doi: 10.15389/agrobiology.2018.6.1131rus

2 Епимахов В.Г., Мирзоев Э.Б. Концептуальная модель метаболизма свинца в организме сельскохозяйственных животных с многокамерным желудком при поступлении с рационом // Российский журнал «Проблемы ветеринарной санитарии, гигиены и экологии». – 2019. – №3 (31). – С. 320 - 327. Doi: 10.25725/vet.san.hyг.ecol.201903013

## **МОНИТОРИНГ СТОЙКИХ ОРГАНИЧЕСКИХ ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ В АТМОСФЕРНОМ ВОЗДУХЕ Г. ОБНИНСКА**

*В.А. Зюбанов<sup>1</sup>, А.И.Кочетков<sup>2</sup>, Е.М. Пасынкова<sup>2</sup>,  
А.Г. Пантюхина<sup>2</sup>, А.С.Шилина<sup>1</sup>.*

*<sup>1</sup> – Обнинский институт атомной энергетики – филиал  
Национального исследовательского ядерного  
университета «МИФИ», г. Обнинск, Россия*

*<sup>2</sup> – ФГБУ «НПО «Тайфун», г. Обнинск, Россия*

Ухудшение состояния окружающей природной среды оказывает влияние на жизненный уровень населения, ограничивает возможности экономического и социального развития регионов и городов, ухудшает инвестиционный климат. К числу приоритетных современных проблем, связанных с угрозой состоянию окружающей природной среды и здоровью населения, является накопление и распространение в природных средах чрезвычайно токсичных химических соединений.

В отличие от известных ядов, которые поражают определенные органы и вызывают специфическую картину отравления, новые для биосферы синтетические органические

вещества разрушают систему внутренней регуляции организма, гормональную или эндокринную. Наиболее опасными среди этих токсикантов являются стойкие органические соединения (СОЗ), которые, обладая высокой токсичностью, проявляют устойчивость к разложению и характеризуются повышенной биоаккумуляцией. СОЗ переносятся через атмосферу на тысячи километров от места их производства и использования, накапливаясь в экосистемах суши и водных экосистемах. К ним относятся хлорорганические пестициды (ХОП), полихлорированные диоксины и фураны (ПХДД/ПХДФ), полихлорированные бифенилы (ПХБ) и полибромированные дифениловые эфиры (ПБДЭ).

Данная работа, по оценке содержания СОЗ в атмосферном воздухе г. Обнинска, проводилась в рамках выполнения бюджетной темы ФГБУ «НПО «Тайфун».

Отбор (ежеквартально) проводили с использованием установки по активному отбору проб атмосферного воздуха Tish TE1123. При этом происходит отдельный отбор аэрозольной и газовой фракций СОЗ: твердые частицы оседают на фильтре из стекловолокна, газовая фракция на полиуретановом сорбенте, расположенном непосредственно за аэрозольным фильтром. Длительность отбора каждой пробы составляла 7 суток, объем одной пробы около 4000 м<sup>3</sup>. Далее образцы экстрагировались в аппарате Сокслета. После процедуры очистки и фракционирования анализировались с применением современных методов анализа (хромато-масс-спектрометрия высокого разрешения) и приборов последнего поколения (DFS HR в Agilent7200 Q-TOF) с изотопным разбавлением.

Проведена оценка динамики содержания СОЗ в атмосферном воздухе г. Обнинска по сезонам. Суммарная концентрация ПХБ за период наблюдений изменялась в диапазоне 125-925 пг/м<sup>3</sup>. Идентифицированные изомеры ПХБ представлены в основном тетра- и пентахлорированными конгенерами. ХОП представлены в основном хлорорганическими соединениями группы ДДТ и ГХЦГ. При этом содержание пестицидов существенно ниже ПДК. Соотношение ДДТ/ДДЕ меньше 1, что свидетельствует о давнем использовании ДДТ и в отсутствие

локальных источников загрязнения. Все анализируемые СОЗ, за исключением ПХДД/ПХДФ в основном находятся в газовой фазе, что, по-видимому, свидетельствует о том, что их поступление в атмосферу г. Обнинска может быть за счет трансграничного переноса.

## **НОВЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГЛИФОСАТА В ВОЗДУШНОЙ СРЕДЕ**

*А.А. Ивченкова, Н.А. Степанова, Д.С. Добрев  
ФБУН ФНЦГ им. Ф.Ф. Эрисмана Роспотребнадзора,  
г. Мытищи, Россия*

Глифосат – неселективный гербицид, обладает широким спектром действия. При такой распространенности необходим контроль его остаточных количеств в различных средах. При этом молекула обладает высокой полярностью и отсутствием хромофорных групп, что затрудняет ее определение. Существует очевидная необходимость в разработке простых и эффективных методологий, способных определять глифосат в различных средах, в частности в воздушной.

В воздухе глифосат находится в виде аэрозоля (при оценке агрегатного состояния ориентировались на данные по летучести, учитывающие давление паров и молекулярную массу).

Показано, что использование в качестве концентрирующего материала фильтров высокой плотности «синяя лента» обеспечивает эффективный отбор вещества из воздушной среды с достаточной полнотой сорбции и приемлемым проскоком.

Учитывая высокую растворимость в воде солей глифосата, в виде которых он используется в пестицидных препаратах, вода была выбрана в качестве экстрагента вещества с фильтров.

Для получения на основе глифосата соединения обладающего флуоресцентными свойствами, что позволяет провести количественный анализ с помощью высокоэффективной хроматографии с флуоресцентным детектором (ВЭЖХ-ФЛД), экстракт подвергали дериватизации с 9-флуоренилметилхлорформиатом (ФМОС-С1) в щелочной среде

при температуре 50 °С. После чего удаляли избыток дериватирующего агента толуолом. Для лучшего разделения фаз применяли центрифугирование.

Для получения четкого, симметричного аналитического сигнала в методе ВЭЖХ необходим тщательный выбор подвижной и неподвижной фаз. ФМОС производное глифосата - полярное соединение, обладающее кислотными свойствами, при этом возможна реализация различных типов сил межмолекулярного взаимодействия с неподвижной фазой колонки. В данном случае оптимальной стала колонка с обращенной фазой С18, являющаяся также одной из наиболее распространенных и доступных в современной ВЭЖХ.

Мобильная фаза должна смешиваться с водой, иметь низкую вязкость, быть инертной. По этим причинам предпочтителен ацетонитрил. Для выбора оптимальных условий хроматографирования были рассмотрены различные составы подвижной фазы: ацетонитрил в сочетании с ортофосфорной кислотой, раствором гидрофосфата калия, дигидрофосфата калия, ацетатом аммония и ацетатом аммония в присутствии уксусной кислоты.

В ходе экспериментов показано, что оптимальной является подвижная фаза, состоящая из 0,005 М ацетата аммония с 0,2 % уксусной кислотой и ацетонитрила. При соотношении компонентов 75/25 и скорости потока 0,8 мл/мин получены четкие симметричные пики производного глифосата.

Значение длины волны возбуждения составило 270 нм, а эмиссии 313 нм. В ходе нашей работы получены спектры эмиссии и возбуждения как ФМОС-С1, так и его производного с глифосатом. Полученные данные подтверждают протекание химической реакции с получением нового соединения (производного глифосата) и позволяют идентифицировать вещества.

Построена калибровочная характеристика в диапазоне концентраций 0,1-1,2 мкг/мл, коэффициент корреляции >0,99.

Средняя полнота извлечения по всему диапазону концентраций 86%.

Достигнут предел обнаружения 0,025 мг/м<sup>3</sup> (при отборе 80

дм<sup>3</sup> воздуха). В соответствии с метрологической оценкой метода суммарная погрешность измерения концентраций глифосата в воздушной среде составляет 25%.

По результатам выполненной работы сформированы методические указания «Измерение концентраций глифосата в воздухе методом высокоэффективной жидкостной хроматографии» по разделу 4.1. Методы контроля. Химические факторы.

## **ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СОЕДИНЕНИЯ ДТ8 НА РАЗВИТИЕ И ТЯЖЕСТЬ ЛУЧЕВЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ МОЧЕВОГО ПУЗЫРЯ ПРИ ЛОКАЛЬНОМ $\beta$ -ОБЛУЧЕНИИ**

*Д.В.Ирхина<sup>1</sup>, Т.А.Чудновец<sup>1</sup>, В.А.Рыбачук<sup>2</sup>, А.О.Косаченко<sup>2</sup>,  
К.А.Николаев<sup>2</sup>, О.В.Солдатова<sup>2</sup>, А.А.Шитова<sup>2</sup>,  
В.О.Сабуров<sup>2</sup>, Г.А.Демяшкин<sup>2</sup>, Филимонова М.В..<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup> – Обнинский институт атомной энергетики – филиал  
Национального исследовательского ядерного  
университета «МИФИ», г. Обнинск, Россия*

*<sup>2</sup> – МРНЦ им. А.Ф.Цыба – филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии»  
Минздрава России, г. Обнинск, Россия*

В настоящее время отмечается тенденция роста заболеваемости злокачественными новообразованиями. Около четверти случаев онкологических заболеваний связаны с поражением органов малого таза. Эффективным методом лечения является лучевая терапия, однако, вероятность развития лучевых реакций здоровых тканей, в частности, радиационно-индуцированного цистита, могут значительно ухудшать качество жизни пациентов и снижать эффективность терапии.

Разработка средств профилактики развития лучевого цистита может стать одним из вариантов решения данной проблемы. В лаборатории радиационной фармакологии МРНЦ им. А.Ф.Цыба одним из направлений работы является изучение соединения ДТ8, потенциально обладающего способностью к защите здоровых тканей при воздействии ионизирующего излучения. В настоящее время проводятся пилотные исследования

эффективности соединения ДТ8 в качестве средства профилактики развития радиационно-индуцированного цистита.

Целью работы является оценка влияния соединения ДТ8 на тяжесть течения лучевого цистита при однократном и фракционированном  $\beta$ -облучении.

Исследование проводилось на 10 крысах-самцах линии Wistar. Оценка влияния соединения ДТ8 проводилась при использовании различных режимов облучения: однократное и фракционированное.

*Однократное облучение.* Животные были разделены на две группы: контроль однократного облучения и экспериментальная группа. Все животные подвергались однократному облучению в дозе 25 Гр на установке «Novac-11» с энергией электронов 10 МэВ. В экспериментальной группе за 30 минут до облучения животные получали соединение ДТ8 *per os* в дозе 220 мг/кг.

*Фракционированное облучение.* Животные были разделены на две группы: контроль фракционированного облучения и экспериментальная группа. Все животные получали 5 фракций по 6 Гр каждая (суммарная очаговая доза 30 Гр) локально на установке «Novac-11» с энергией электронов 10 МэВ в области малого таза. Животные экспериментальной группы получали за 30 минут до каждой фракции соединение ДТ8 *per os* в дозе 220 мг/кг.

На 40 сутки после лучевого воздействия у животных извлекали мочевой пузырь, орган фиксировали в кислой жидкости Буэна. Для оценки эффективности соединения ДТ8 в качестве средства профилактики развития радиационно-индуцированного цистита в настоящее время проводится гистологическое исследование полученных образцов.

На основании результатов исследования будет запланировано дальнейшее изучение соединения ДТ8 в качестве средства профилактики развития осложнений радиотерапии неоплазий, локализованных в области малого таза.

## НЕКОТОРЫЕ СВОЙСТВА ТИОКТОВОЙ ( $\alpha$ -ЛИПОЕВОЙ) КИСЛОТЫ КАК ПОТЕНЦИАЛЬНОГО РАДИОМИТИГАТОРА

Е.Е. Карманова<sup>1,2</sup>, А.М. Усачева<sup>1</sup>, А.В. Черников<sup>1</sup>,  
Е.А. Замятина<sup>1</sup>, В.А. Аникина<sup>1</sup>, В. И. Брусков<sup>1</sup>

<sup>1</sup> – Институт теоретической и экспериментальной биофизики  
РАН, г. Пуццоно, Россия

<sup>2</sup> – Институт биофизики клетки ФИЦ ПНЦБИ РАН,  
г. Пуццоно, Россия

Радиозащитные средства по времени их введения в организм относительно облучения принято подразделять на адаптогены и радиопротекторы, применяемы до облучения, а также радиомитигаторы, как терапевтические средства применяемы после облучения. Поиск новых радиомитигаторов являются наиболее актуальным в рамках проблемы защиты человека от пагубного воздействия ионизирующего излучения. Одним из потенциальных радиомитигаторов является  $\alpha$ -липоевая (тиоктовая) кислота (ЛК), используемая для лечения диабетической и алкогольной невропатии и в комплексной терапии ряда заболеваний [1].

Исследовано влияние ЛК на окислительные повреждения ДНК *in vitro* и *in vivo*. Для оценки генопротекторных свойств ЛК при облучении *in vitro* был использован иммуноферментный анализ для определения образования 8-ОГ – ключевого биомаркера окислительных повреждений ДНК [2]. ЛК в диапазоне концентраций 0,05–0,4 мМ при облучении раствора ДНК в дозе 10 Гр уменьшает образование 8-ОГ в ДНК на 67 %. Это максимально эффективные концентрации ЛК в данной системе. В концентрации 0,005 мМ эффект ЛК отсутствует, а при повышении концентрации до 0,7–1 мМ наблюдается понижение эффективности до 50 % от контрольных значений.

Микроядерный тест (МЯ-тест) красного костного мозга позволяет проводить анализ повреждений ядерной ДНК *in vivo* после облучения животных. При внутрибрюшинном введении аутбредным мышам Kv:SHK ЛК в дозах 5 мг/кг и 40 мг/кг

снижает частоту образования МЯ в полихроматофильных эритроцитах (ПХЭ) красного костного мозга мышей на 70 и 75 % соответственно после облучения в дозе 1,5 Гр. В дозе 100 мг/кг ЛК не оказывает статистически значимого влияния на образование МЯ. Другой МЯ-тест показал наличие зависимости радиозащитного эффекта ЛК от времени введения препарата. При введении мышам 40 мг/кг ЛК за 15 мин до облучения в дозе 1,5 Гр, а также через 15 мин, 6 и 24 ч после облучения количество ПХЭ с МЯ снижалось на 40, 60, 40 и 0 % соответственно.

Таким образом, ЛК *in vitro* и *in vivo* проявляет генопротекторные свойства, хотя в обоих случаях повышение концентрации препарата снижает его эффективность. Радиозащитные свойства ЛК *in vivo*, позволяют уменьшить количество повреждений хромосом клеток красного костного мозга мышей после облучения. Однако данные свойства сильно зависят от времени введения и концентрации ЛК, которая наиболее эффективна как радиомитигатор, а в избыточном количестве способна проявлять радиосенсибилизирующее действие [1].

*Работа выполнена по госзаданию ИТЭБ РАН № 075-01027-22-00.*

### ***Литература***

1 Кураченко Ю.А., Казанский Ю.А., Левченко В.А., Матусевич Е.С. Вывод нейтронных пучков и защита медицинского реактора МАРС // Ядерная энергетика. – 2006. – №4. – С. 36-48.

2 Кураченко Ю.А. Оптимизация блока вывода пучка медицинского реактора «МАРС» // Альманах клинической медицины. – 2008. – Т.18. – №1. – С. 334-337.

3 Кураченко Ю.А. Новый интенсивный источник нейтронов для медицинских приложений // Медицинская физика. – 2012. – №2. – С. 29-38.

# МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ОСТАТОЧНЫХ КОЛИЧЕСТВ ФУНГИЦИДА КЛАССА ТИАДИАЗОЛКАРБОКСАМИДОВ В РАСТИТЕЛЬНОЙ ПРОДУКЦИИ

*К.С. Курпединов, А.В. Сулова*  
*ФБУН «Федеральный научный центр гигиены им. Ф.Ф.*  
*Эрисмана» Роспотребнадзора, г. Мытищи, Россия*

Анализ пестицидов в пищевых продуктах представляет собой сложную задачу из-за их низких концентраций и сложного состава матриц. Преодоление этих трудностей, в первую очередь, связано с предварительной обработкой образца, потому как данная стадия является одной из важнейших при разработке или оптимизации методов.

В настоящее время на территории Российской Федерации планируется применение изотианила - нового фунгицида, вызывающего системную приобретенную устойчивость растений к различным грибковым заболеваниям с пролонгированным эффектом при чрезвычайно низких дозировках, что обосновывает разработку высокоэффективного метода, обеспечивающего определение его низких концентраций в растительных образцах. В данной работе, в качестве исследуемых матриц были использованы плоды и сок яблок, ягоды и сок винограда, картофель, а также овощи с повышенным содержанием пигментов: огурцы, плоды и сок томатов.

Для извлечения, исследуемого аналита из образцов был выбран двухэтапный метод QuEChERS, который состоит из твердо-жидкостной экстракции и дисперсионной твердофазной очистки [1]. Данный метод в большинстве случаев показал положительный результат по эффективности извлечения большого числа органических соединений из растительного сырья с минимальными мешающими эффектами при количественном определении методами газовой и высокоэффективной хроматографии, согласованными с селективным масс-спектрометрическим детектированием.

Экстракция изотианила из анализируемых образцов была выполнена ацетонитрилом, в качестве солей для экстракции применялась смесь, состоящая из сульфата магния, хлорида натрия, цитрата натрия и натрия лимоннокислого двузамещенного. Для дисперсионной твердофазной очистки применялась смесь сорбентов на основе первичных и вторичных аминов, а для образцов с повышенным содержанием пигментов, к смеси сорбентов добавлялась графитизированная сажа.

В процессе газохроматографического анализа целевых образцов с внесением изотианила, был подобран режим, при котором получено достаточное разделение пиков исследуемого аналита и соэкстрактивных компонентов матриц. Несмотря на это, получено многократное увеличение хроматографического сигнала стандарта, приготовленного в экстракте по сравнению с тем, который приготовлен в растворителе, что является результатом конкурентной адсорбции анализируемого вещества и матричных компонентов в инжекторе или в хроматографической колонке [2]. Поэтому, с целью устранения усиливающих сигнал эффектов, количественное определение аналита проводилось методом абсолютной калибровки, согласованной с матрицей. Анализ проводился методом газовой хроматографии с масс-селективным детектором.

Для всех исследуемых образцов был достигнут нижний предел количественного определения равный 0,01 мг/кг, показатель точности определения не превышал 40 %.

### *Литература*

1 Manuel García-Vara, Cristina Postigo, Patricia Palma, María José Bleda, Miren López de Alda. QuEChERS-based analytical methods developed for LC-MS/MS multiresidue determination of pesticides in representative crop fatty matrices: Olives and sunflower seeds // Food Chemistry. –2022.–V. 386. –P. 132558.

2 Flaviane Aparecida de Sousa, Anna Isabel Guido Costa, Marina Eliana Lopez, Ribeiro de Queiroz, Reinaldo Francisco Teófilo, Antônio Augusto Neves, Gevany Paulino de Pinho. Evaluation of matrix effect on the GC response of eleven pesticides by PCA // Food Chemistry. -2012.– V.135. –P. 179-185.

# ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ РАДИАЦИОННОГО РАЗЛОЖЕНИЯ ГАММА-ГХЦГ В СОСТАВЕ ПРЕПАРАТА «ГЕКСАХЛОРАН ДУСТ»

*М.В. Маркова, Т.В. Мельникова*

*Обнинский институт атомной энергетики – филиал  
Национального исследовательского ядерного  
университета «МИФИ», г. Обнинск, Россия*

На протяжении последних лет в лаборатории «Экологический контроль объектов ЯТЦ» на базе ресурсного центра ИАТЭ НИЯУ МИФИ ведутся исследования возможности применения радиационных технологий для утилизации стойких органических загрязнителей (СОЗ) [1]. Согласно Стокгольмской конвенции, в список СОЗ входит хлорорганический пестицид гамма-ГХЦГ. Гамма-ГХЦГ является действующим веществом в различных пестицидных препаратах, в том числе препарата «Гексахлоран Дуст». В состав данного препарата входят и альфа- и бета-ГХЦГ. Все изомеры ГХЦГ под действием радиационного фактора разлагаются. Однако при одновременном присутствии указанных изомеров, альфа-и бета-изомеры не только разлагаются, но и образуются за счет изомеризации гамма-ГХЦГ и альфа- и гамма-ГХЦГ соответственно [1-2].

Целью работы являлось исследование кинетики радиационного разложения  $\gamma$ -изомера ГХЦГ в составе аммиачно-буферной суспензии пестицидного препарата «Гексахлоран дуст».

Образцы проб были облучены в центре обработки продуктов растительного и животного происхождения "Теклеор" на линейном ускорителе электронов УЭЛР 10-15-С. Облучение проводилось в линейке возрастающих доз от 10 до 700 кГр.

Газохроматографический анализ полученных образцов осуществлялся на газохроматографическом комплексе ГХ «Кристалл 5000-2» (Россия).

На рис. 1 представлены графики зависимости изменения концентрации и логарифма концентрации гамма-ГХЦГ от

времени облучения. Согласно полученным данным, при облучении аммиачно-буферной суспензии пестицидного препарата, концентрация  $\gamma$ -изомера ГХЦГ изменяется по экспоненциальной зависимости, а зависимость логарифма концентрации от времени облучения является линейной. Следовательно, радиационное разложение гамма-ГХЦГ протекает по реакции первого порядка.

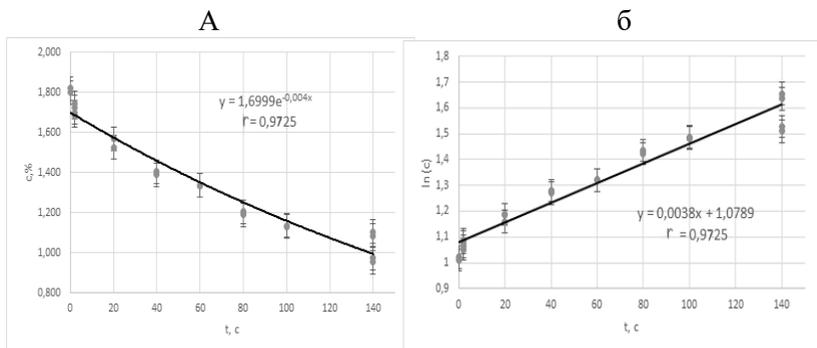


Рис. 1. Зависимость процентной концентрации  $\gamma$ -ГХЦГ (а) и логарифма концентрации (б) от времени облучения.

Используя полученные зависимости, были определены количественные параметры кинетики разложения гамма-ГХЦГ, а именно константа скорости реакции и время полупревращения пестицида, которые составили 0,0038 1/с и 182,41 с соответственно.

Результаты данной работы позволят спрогнозировать дозу облучения необходимую для разложения действующего вещества «Гексахлоран Дуст» на 99% при сохранении исходных условий эксперимента.

### *Литература*

1 Полякова Л.П., Мельникова Т.В., Лукьянова Н.Н. Исследование последствий радиационного воздействия на линдан и действующее вещество препарата «Гексахлоран дуст»// Ядерная энергетика. – 2017. - № 1. – С. 107-115.

2 Мельникова Т.В. Радиационно-химические превращения микропримесей хлорорганических пестицидов в растворах и пищевых продуктах. М., 2005. – 177 с.

## **ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПАТРОНОВ ТФЭ ПРИ ПРОБОПОДГОТОВКЕ ВОДЫ И ПОЧВЫ В ГАЗОХРОМАТОГРАФИЧЕСКОМ АНАЛИЗЕ С МАСС-СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИМ ДЕТЕКТИРОВАНИЕМ**

*М.Д. Молчанов, Н.И. Добрева  
ФБУН «Федеральный научный центр гигиены  
им. Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора, г. Мытищи, Россия*

Увеличение числа загрязняющих окружающую среду факторов вследствие технологического развития требует своевременного и эффективного контроля показателей безопасности, что обуславливает применение специальных современных приемов пробоподготовки и инструментальных методов для анализа воды и почв.

Наиболее перспективным способом очистки и концентрирования остаточных количеств пестицидов из водных и почвенных матриц является твердофазная экстракция на патронах, содержащих полимерные сорбенты. В основном это гидрофобные вещества, используемые в обращенно-фазовой хроматографии. Такие патроны хорошо зарекомендовали себя благодаря высокой эффективности при очистке и концентрировании водных, биологических и почвенных проб для анализа методом высокоэффективной жидкостной хроматографии.

Изучение литературных источников показало, что имеется ограниченное число публикаций, в которых используют патроны ТФЭ с полимерными сорбентами в сочетании с газовой хроматографией. В представленной работе проведена адаптация использования патронов Waters Oasis HLB с инновационным сорбентом, содержащим в своей структуре гидрофильные и липофильные фрагменты, для анализа методом газовой хроматографии с масс-спектрометрическим детектированием.

В качестве анализируемого вещества был выбран пестицид претилахлор, новый гербицид из группы хлорацетамидов, проходящий процедуру регистрации в РФ, с целью использования для обработки риса, что делает необходимым определение его остаточных количеств во всех сопряженных средах.

Пробы воды наносили на патроны без предварительной обработки. Из почвы претилахлор экстрагировали метанолом путем встряхивания в течение 1 часа с последующим упариванием и перерастворением в смеси деионизированная вода – метанол (98:2). Патроны очищали последовательно этилацетатом и метанолом. Кондиционирование сорбента и промывку проб проводили деионизированной водой. Элюирование осуществляли этилацетатом и дихлорметаном. Затем элюат сушили фильтрацией через безводный сульфат натрия.

Содержание претилахлора в образцах определяли методом газовой хроматографии с масс-спектрометрическим детектированием. В ходе работы было обнаружено существенное различие в аналитическом сигнале между стандартными растворами и экстрактами проб с внесением при одинаковом содержании претилахлора. Данный факт указывает на наличие матричного эффекта. Поэтому для определения концентраций действующего вещества были построены индивидуальные для каждой исследуемой среды согласованные с матрицей градуировочные зависимости. Кроме того, было определено, что в образцах воды матричный эффект обусловлен веществами, смываемыми с ТФЭ патронов, в то время как для почв наблюдался суммарный эффект, вызванный влиянием как патронов, так и матрицы.

Полученные результаты войдут в разрабатываемую методику газохроматографического определения остаточных количеств претилахлора в воде, почве и рисе.

## ИССЛЕДОВАНИЕ РАДИОПРОТЕКТОРНЫХ СВОЙСТВ ФУМАРОВОЙ КИСЛОТЫ

*А.Р. Муфтеева<sup>1</sup>, Е.Р. Выпова<sup>1</sup>, Е.А. Федулова<sup>1</sup>, А.А.  
Мельникова<sup>1,2</sup>, Л.Н. Комарова<sup>1</sup>, С.В. Шкавров<sup>1</sup>, Т.В. Уланова<sup>1</sup>*

*<sup>1</sup> – Обнинский институт атомной энергетики – филиал  
Национального исследовательского ядерного  
университета «МИФИ», г. Обнинск, Россия*

*<sup>2</sup> – МРНЦ им. А.Ф. Цыба – филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии»  
Минздрава России, г. Обнинск, Россия*

Ионизирующее излучение используется при лечении множества онкологических заболеваний. В то же время, воздействие радиации на нормальные ткани может привести к острой и хронической токсичности, что делает невозможным проведение намеченной терапии из-за широкого спектра побочных эффектов [1]. Чтобы уменьшить повреждения нормальных тканей, вызванных излучением, часто используют радиопротекторы и в настоящее время поиск новых радиопротекторных препаратов является актуальной задачей радиофармацевтики [2].

В нашей работе проводилось исследование радиопротекторных свойств – фумаровой кислоты. Оценка радиопротекторных свойств препаратов проводилась на культуре фибробластов человека. Клетки облучались гамма-излучением Co-60 (мощность дозы 0,9 Гр/мин) в сочетании с препаратами и инкубировали в течение 14 суток. После инкубации был осуществлен подсчет колоний и оценена выживаемость.

Данные полученные в ходе исследования представлены на рис. 1. Видно, что при облучении клеток в дозе 1 Гр, их выживаемость составила 49%, тогда как при совместном действии фумаровой кислоты в концентрации (0,05 мг/мл) – выживаемость фибробластов составила 68% и при действии в концентрации (0,03 мг/мл) – выживаемость составила 93%, что свидетельствует о радиозащитных свойствах.

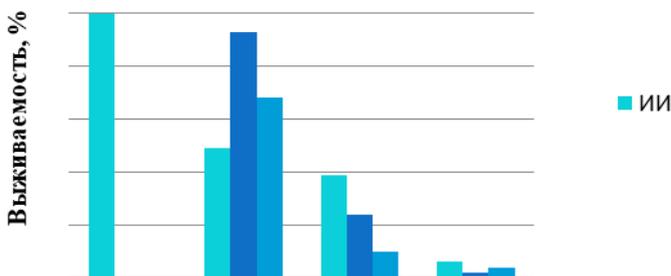


Рис.1. Влияние фумаровой кислоты на выживаемость фибробластов, при воздействии фумаровой кислоты в дозах 0,03 мг/мл и 0,05 мг/мл.

Полученные результаты позволят провести дальнейшие исследования для выявления механизмов действия фумаровой кислоты.

### *Литература*

- Ch. Galeaz, C. Totis, A. Bisio. Radiation resistance: a matter of transcription factors // Front.oncol. 2021. V11. P.1-23.  
 G. Mun., S. Kim., E. Choi., Ch. Kim and Y-S Lee. Pharmacology of natural radioprotectors //Archives of Pharmacal Research. – 2018. – V.41. – P.1033-1050.

## **МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВАЛОВОГО СОДЕРЖАНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВЕ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ**

*Родионов А.С., Егорова М.В.*

*ФБУН «Федеральный научный центр гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора, г. Мытищи, Россия*

Высокая степень влияния антропогенного загрязнения почв на санитарно-эпидемиологическую безопасность населения обуславливает актуальность контроля за содержанием веществ, имеющих выраженный токсический эффект, в первую очередь тяжелых металлов.

Исследования влияния тяжелых металлов на состояние почв проводят на основании двух качеств: состав фракционированных подвижных форм элементов для оценки степени их токсичности и валового содержания для оценки кларков, установления природных и техногенных аномалий и емкости геохимических барьеров.

В основе наиболее популярных методов оценки содержания металлов в почве лежат атомно-абсорбционная спектрометрия с различными техниками атомизации, а также атомно-эмиссионная спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой. При использовании указанных методов элементного анализа особое внимание уделяется стадии пробоподготовки. При этом, если методы определения подвижных форм реализуются довольно просто, то оценка валового содержания представляет собой трудоемкий процесс.

Большинство применяемых на практике методов предполагает определение валового содержания элементов в почве после кипячения образца в тигле на электрической плитке в смеси азотной и фтористоводородной кислот. Очевидным недостатком такого способа является высокая токсичность и летучесть плавиковой кислоты, применяемой при разложении. Кроме того, использование открытых тиглей предполагает возможность загрязнения проб целевыми аналитами из окружающей среды.

Стадия предварительной подготовки образца также требует совершенствования, так как в классическом варианте реализуется путем растирания пробы почвы в фарфоровой ступке с последующим просеиванием через сито. При этом проба должна являться воздушно-сухой, что сказывается на времени, затрачиваемом на анализ.

Целью исследования являлась разработка оптимальной схемы пробоподготовки, позволяющей снизить токсический эффект и временные затраты при определении валового содержания кадмия, свинца, меди, кобальта, никеля в почве методами элементного анализа.

Для рационализации процесса гомогенизации предложено криоизмельчение пробы с сухим льдом. Дальнейшую

пробоподготовку осуществляют методом микроволновой минерализации, предварительно выдержав пробу в ультразвуковой бане в течение 15 минут с концентрированной азотной кислотой. Далее, добавляют соляную кислоту, причем соотношение азотная:соляная кислота составляет (1:1). По окончании процесса сосуд для минерализации охлаждают в закрытом состоянии, устанавливают на орбитальный лабораторный шейкер и выдерживают не менее 10 минут до прекращения видимого выделения окислов азота и обесцвечивания раствора минерализата. Прозрачный минерализат количественно переносят в конические чаши из фторопласта и проводят упаривание пробы при помощи системы инфракрасного нагрева. Сконцентрированную пробу количественно переносят деионизированной водой в пробирку и фильтруют через тefлоновый фильтр с размером пор 1 мкм. Полученный раствор анализируют методом атомно-абсорбционной спектроскопии с электротермической атомизацией.

Достоверность разработанного подхода доказана при валидации метода на 20 модельных образцах почвы бурой легкосуглинистой с внесением аналитов на уровнях 1-10 нижних пределов количественного определения.

Применение данного подхода в практике аналитических лабораторий позволит определять валовое содержание кадмия, кобальта, свинца, никеля, меди в почве, не прибегая к использованию высокотоксичных легколетучих реактивов, снижая токсическую нагрузку на оператора, а также значительно уменьшить временные затраты.

## **СЕКЦИЯ 6. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ДЕЙСТВИЯ НЕИОНИЗИРУЮЩЕГО И ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ**

### **PROTON IRRADIATION OF RATS BRAIN & BEHAVIOUR INDEXES**

*T. B. Mashalaba*<sup>1</sup>, *O.I. Kolganiva*<sup>2</sup>, *V.V. Panfilova*<sup>2</sup>

<sup>1</sup> – *Obninsk Institute for Nuclear Power Engineering, Obninsk, Russia*

<sup>2</sup> – *A. Tsyb Medical Radiological Research Center – branch of the National Medical Research Radiological Center of the Ministry of Health of the Russian Federation, Obninsk. Russia*

Brain tumors are commonly treated with Craniospinal Irradiation, as a result of the irradiation patients show radiation induced cognitive decline which is considered a late effect of radiation treatment [1]. Due to the unique physical properties of protons such as the sharp drop in the bragg peak it reduces dose distribution to normal healthy cells [2] and is a good option for cancer treatment.

The aim of this study is to investigate the effects of proton beam therapy on the cognitive ability of rats after irradiation.

Materials and methods:

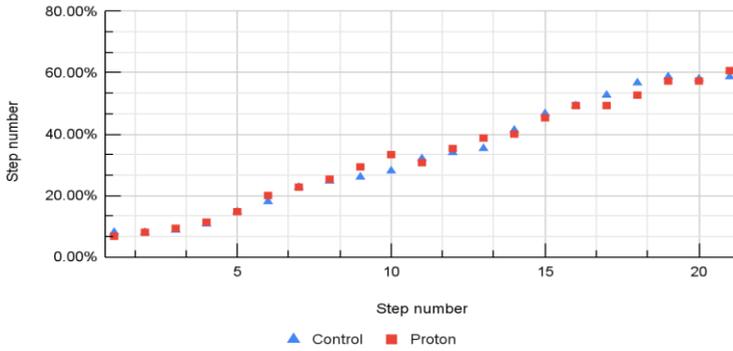
42 sexually mature female Wistar rats at the age of three months received a 3Gy dose delivered with a prometheus proton therapy complex(MRRC, Obninsk) which accelerates the proton between the ranges 70-250 MeV for treatment with intensity of up to 4E09 protons per cycle. Before irradiation and after irradiation, the rats were placed in the shuttle box apparatus for cognitive testing

Results:

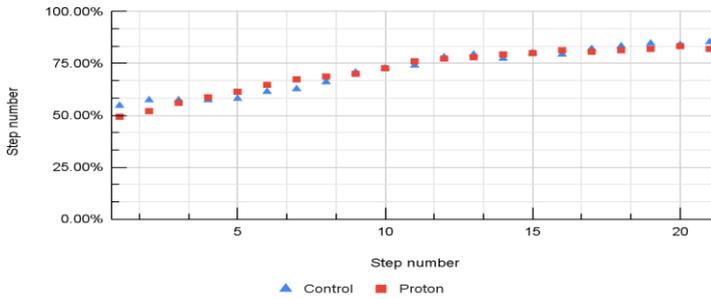
The results of the cognitive test done in the shuttle box are given in figure 1-3.

The criteria for a successful attempt was if the rat responded to the signal in under 4 seconds , each participant was tested 50 times. This was done to see if the rats' memory and learning abilities were not affected by the radiation.

### Success rate 1 day after irradiation



### Success rate 8 days after irradiation



### Success rate 28 days after irradiation

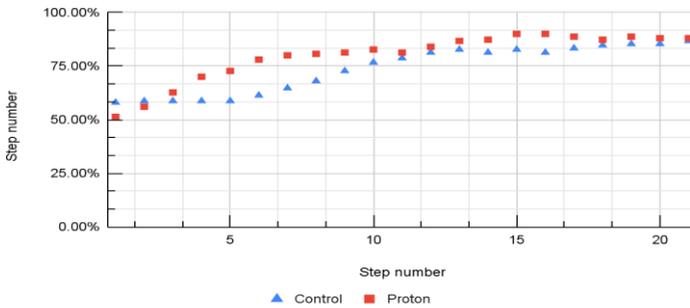


Fig. 1-3. Results of shuttle box experiment.

### Conclusion:

When performing the Mann Whitney test we find that there is insufficient evidence to say there is radiation induced cognitive decline. The test was done for the first month after irradiation but to study the long term effects of proton therapy there needs to be longer studies to be done to analyse if radiation induced cognitive decline becomes more visible.

### References

- 1 Greene-Schloesser D., Robbins M. E., Peiffer A.M., et al. Radiation-induced brain injury: a review// Front Oncol. – 2012. – V.2. – No.73. doi:10.3389/fonc.2012.00073
- 2 Schneider U., Pedroni E. Proton radiography as a tool for quality control in proton therapy//Medical Physics. –1995. – V. 22(4). – P 353–363. doi:10.1118/1.597470

## **ВЛИЯНИЕ ГАММА-ОБЛУЧЕНИЯ НА МИТОТИЧЕСКУЮ АКТИВНОСТЬ В КОРНЕВОЙ МЕРИСТЕМЕ ПРОРОЩЕННЫХ СЕМЯН HORDEUM SATIVUM**

*Г.А. Атамановская, С.О. Астахина, Л.Н. Комарова  
Обнинский институт атомной энергетики – филиал  
Национального исследовательского ядерного  
университета «МИФИ», г. Обнинск, Россия*

Анализ механизмов стрессовых реакций у растительных организмов на воздействие низкими дозами ионизирующего излучения является фундаментальной задачей современной радиобиологии, решение которой позволит продвинуться в понимании адаптивных реакций живого на слабые внешние воздействия. Изменения митотической активности тканей считаются важными этапами формирования ответной реакции растения на действие стрессовых факторов [1].

Целью работы являлась оценка влияния гамма-излучения в диапазоне доз от 2 до 50 Гр на митотическую активность в корневой меристеме пророщенных семян ячменя посевного (*Hordeum sativum*). Для эксперимента было выбрано 2 сорта –

Бадьорий и Ладный. Облучение семян проводили на базе Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии» (ФГБНУ ВНИИРАЭ) на установке «ГУР-120» с источником излучения  $^{60}\text{Co}$  в дозах: 2, 15, 17, 20 и 50 Гр с мощностью дозы 58 Гр/ч. После облучения семена прорастивались в чашках Петри по 30 семян в термостате в темноте при температуре 24°C, по 3 чашки на каждую дозу гамма-излучения. На 2-ой день прорастания корешки фиксировали в смеси 96%-го этилового спирта и ледяной уксусной кислоты (3:1), хранили в холодильнике при 4°C. Для определения митотического индекса использовали стандартный метод давленных препаратов [2]. Препараты изучали с помощью светового микроскопа «Микмед-5». На каждом препарате учитывали общее количество просмотренных клеток и количество делящихся клеток.

В данном исследовании значимых отличий от контроля выявить не удалось, исключением является доза гамма-облучения 50 Гр, которая снижает митотическую активность у двух сортов ячменя (рис.1).

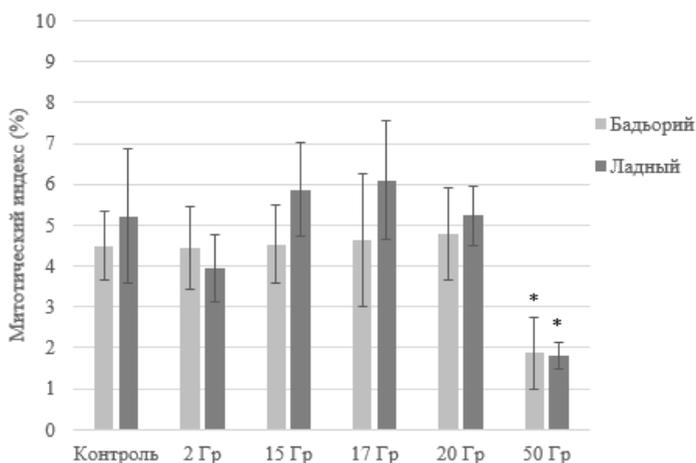


Рис.1. Зависимость МИ от дозы гамма-излучения.

\* – статистически значимое отличие от контроля при  $p < 0.05$

Можно предположить, что стимулирующий эффект, который проявляется в усилении роста и развития растений при облучении в малых дозах, связан с усилением роста клеток растяжением, а не повышением активности деления клеток в корневой меристеме [1].

### *Литература*

1 Волкова П.Ю. Анализ митотической активности в корневой меристеме проростков  $\gamma$ -облучённых семян ячменя / П.Ю. Волкова, Р.С. Чурюкин, Е.А. Казакова и др. // Актуальные вопросы сельскохозяйственной радиобиологии: Труды ФГБНУ ВНИИРАЭ. Выпуск 2. – Обнинск: ФГБНУ ВНИИРАЭ, 2019. – 170 с.

2 Паушева З.П. Практикум по цитологии растений. М.: Агропромиздат, 1988. – 271 с.

## **АНАЛИЗ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ *ARABIDOPSIS THALIANA* ПОСЛЕ ДЕЙСТВИЯ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ И ЗАСОЛЕНИЯ**

*Д.Д. Бабина, М.Ю. Подобед, С.В. Битаршивили,  
М.А. Лыченкова, О.Н. Цурина, Е.В. Бондаренко, П.Ю. Волкова  
ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт  
радиологии и агроэкологии», г. Обнинск, Россия*

Одной из наиболее сложных задач при оценке действия абиотических стрессоров является выявление путей сигнальной трансдукции, вовлечённых в ответ растения на стресс, а также получение информации о том, каким образом данные пути активируются в ответ на разные стрессоры [1]. Для расшифровки роли кальциевого сигналинга в ответе на облучение и засоление была выбрана линия *Arabidopsis thaliana cml39*.

В эксперименте использовались семена *A. thaliana* дикого типа (экотип Col-8) и линии *cml39* с мутацией в гене кальциевого сенсора *CML39*, которые были подвергнуты воздействию  $\gamma$ -излучения и воздействию соли (NaCl). По 60-100

семян каждой линии стратифицировали в течение семи суток в холодильнике (+4 °C) и выращивали на питательной среде Мурасиге-Скугга половинной концентрации. Семена облучали в дозах 25, 50, 100, 150, 200 и 300 Гр ( $^{60}\text{Co}$ , УНУ ГУР-120, ФГБНУ ВНИИРАЭ) перед посевом на питательную среду. Засоление моделировали добавлением в среду NaCl в концентрациях 0, 5, 10, 25 мМ. Флуоресценцию хлорофилла измеряли с помощью пульс-амплитудного флуориметра Junior-PAM (Германия). Переменную флуоресценцию регистрировали с пяти и более растений на дозу воздействия. Все растения были адаптированы к темноте в течение не менее 30 мин.

Анализ фотосинтетических параметров ювенильных растений, выросших из облучённых и необлучённых семян, показал статистически значимые различия максимальной флуоресценции хлорофилла ( $F_M$ ). Для дикого типа статистически значимое снижение относительно контроля было при дозе облучения 300 Гр, для *cml39* статистически значимое снижение было выявлено уже при дозе 50 Гр. Коэффициент фотохимического тушения  $q_P$  значимо увеличивался для обоих генотипов: для дикого типа увеличение проявилось при дозе 50, 200 и 300 Гр; у мутантной линии *cml39* параметр  $q_P$  был значимо выше контроля для всех исследуемых доз, кроме 25 Гр. Снижение значений нефотохимического тушения  $q_N$  обнаружено только для линии с дефектом кальциевого сигналинга при дозе облучения 25 Гр, что может свидетельствовать о закрытии реакционных центров ФС II.

В эксперименте с добавлением NaCl в среду, для линии Col-8 было отмечено значимое снижение начальной флуоресценции при концентрации соли в среде 25 мМ. Максимальный квантовый выход  $F_v/F_M$  при 25 мМ NaCl в среде увеличивался у обеих исследуемых линий. Значимые снижения коэффициента фотохимического тушения ( $q_L$ ) относительно контрольных растений, произраставших в среде без NaCl, отмечены только у мутантной линии *cml39*. Статистически значимые снижения параметра нефотохимического тушения ( $q_N$ ), относительно контрольных растений были зафиксированы для обеих линий. У мутантной линии снижение произошло при меньшей

концентрации стрессора, чем у дикого типа, а именно при концентрации 10 мМ NaCl в среде. Квантовый выход регулируемой энергии диссипации (Y(NPQ)) также показал статистически значимое снижение у растений линии *cml39* при 10 мМ соли в среде. Мутантная линия была более чувствительна и по параметру Y(NO). Сумма нерегулируемых потерь энергии для *cml39* увеличивалась с увеличением концентрации соли от 10 мМ.

Полученные результаты указывают на роль кальмодулин-подобного белка CML39 в регуляции не только развития и прорастания семян арабидопсиса [2], а также фотосинтетических процессов в ответе растений на стресс.

### *Литература*

1 Pereira A. Plant abiotic stress challenges from the changing environment // *Frontiers in Plant Science*. – 2016. – V. 7. – 1123.

2 Midhat U. et al. The calmodulin-like protein, CML39, is involved in regulating seed development, germination, and fruit development in *Arabidopsis* // *Plant Molecular Biology*. – 2018. – V. 96. – P. 375-392.

## **СОЧЕТАННОЕ ДЕЙСТВИЕ $\gamma$ -ИЗЛУЧЕНИЯ И ИОНОВ АЛЮМИНИЯ НА ЦИТОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПРОРОСТКОВ ЯЧМЕНЯ РАЗЛИЧНЫХ СОРТОВ**

*К.В. Бабина, Н.В. Амосова*

*Обнинский институт атомной энергетики – филиал  
Национального исследовательского ядерного  
университета «МИФИ», г. Обнинск, Россия*

В настоящее время ведется значительное количество исследований, посвященных изучению токсического действия тяжелых металлов на сельскохозяйственные растения.

Высокие концентрации подвижного алюминия в сочетании с кислыми почвами не только ингибируют деление клеток, снижая урожайность культурных растений, но и накапливаются в их биомассе, что формирует угрозу здоровью и жизни

человека [1]. Однако, для повышения продуктивности растений с помощью ионизирующих излучений используют явление радиационного гормезиса, которое проявляется в стимулирующем эффекте малых доз облучения. Многими исследователями установлено, что положительный эффект дает предпосевное облучение семян. В этом случае ионизирующее излучение стимулирует прорастание и увеличение процента всхожести семян [2].

Цель данной работы – анализ реакции на раздельное и сочетанное действие облучения и ионов алюминия семян ячменя сортов Грис и Ерема в диапазоне доз 15 и 20 Гр по показателям митотического индекса (МИ) и частоты аберрантных клеток (ЧАК). Данные по МИ индексу представлены в табл. 1.

Таблица 1

Митотический индекс корневой меристемы проростков ячменя при действии соли алюминия и гамма-облучения, %

Сорт	Конт роль	AlCl <sub>3</sub>	15 Гр	20 Гр	AlCl <sub>3</sub> + 15 Гр	AlCl <sub>3</sub> + 20 Гр
Грис	7,81± 0,07	6,14± 0,04*	17,13± 0,08*	14,22± 0,06*	13,48± 0,08*▲	11,53± 0,06*▲
Ерема	4,97± 0,08	4,54± 0,06*	12,62± 0,13*	11,20± 0,06*	9,57± 0,13*▲	7,59± 0,14*▲

\* - различия с контролем значимы при  $p < 0,05$ ;

▲ - различия с вариантом  $Al^{3+}$  значимы при  $p < 0,05$

При подсчете частоты хромосомных aberrаций было установлено, что предварительное облучение семян (мощность - 58 Гр/ч) в дозах 15 Гр и 20 Гр снижало частоту aberrантных клеток по сравнению с семенами, пророщенными в ионах алюминия: для сорта Грис в 1,5 и 1,4 раз соответственно по дозе; для сорта Еремы - в 1,5 и 1,2 раз для 15 Гр и 20 Гр. При сочетанном воздействии  $\gamma$ -излучения и ионов алюминия значения ЧАК были следующими: для сорта Грис 1,89 % и 2,11 % соответственно по дозе; для сорта Еремы – 1,53 % и 1,84 % для 15 Гр и 20 Гр.

Механизмы формирования данного эффекта до сих пор не

изучены. Изучение влияния воздействия  $\gamma$ -облучения семян на развитие растений на ранних этапах онтогенеза имеет важное практическое значение, поскольку является неотъемлемой частью работы по научному обоснованию технологии стимуляции роста и развития сельскохозяйственных культур с помощью предпосевного облучения [3].

### *Литература*

1 Головкин Т. К. Тяжелые металлы в окружающей среде и растительных организмах / Т. К. Головкин, Е. В. Гармаш, С. Г. Скугорева // Вестник института биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН. – 2008. – № 7(129). – С. 2-7.

2 Гродзинский Д.М. Радиобиология растений. – Киев: Издательство «Наукова думка», 1989. –384 с.

3 Гераскин С.А., Чурюкин Р.С., Какзакова Е.А. Модификация развития ячменя на ранних этапах онтогенеза при воздействии  $\gamma$ -излучения//Радиационная биология. Радиоэкология. –2015. –Т.55. –№6. –С.607-615.

### **К ВОПРОСАМ ОБ ОПТИМИЗАЦИИ МТТ-ТЕСТА**

*Д.А. Балдов<sup>1</sup>, Е.Р.Выпова<sup>1</sup>, П.С. Купцова<sup>1,2</sup>, А.А. Мельникова<sup>1,2</sup>,  
Л.Н. Комарова<sup>1</sup>*

*<sup>1</sup> – Обнинский институт атомной энергетики – филиал  
Национального исследовательского ядерного  
университета «МИФИ», г. Обнинск, Россия*

*<sup>2</sup> – МРНЦ им. А.Ф. Цыба – филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии»  
Минздрава России, г. Обнинск, Россия*

Одним из эталонных методов определения цитотоксичности веществ на клетки является МТТ-тест. В настоящий момент эта методика активно применяется в фармакологии и токсикологии при оценке безопасности потенциальных лекарственных препаратов различных фармакологических групп методами *in vitro* [1].

Но в последние годы происходят попытки интеграции данного метода в качестве универсального способа определения

цитотоксичности агентов без привязанности к их происхождению и расширению применяемых для таких экспериментов типов клеток. В связи с этим, специалисты регенеративной медицины и радиобиологии ищут новые возможности по оптимизации и интеграции данного метода под собственные нужды [2].

В рамках данной работы был проведен эксперимент по изменению времени снятия показателей МТТ-теста с 72 часов до 96 часов.

Объектом исследования была выбрана клеточная культура трижды негативный рак молочной железы MSF. Клетки культивировали по стандартной методике. На клетки воздействовали химиопрепаратом - доксорубицин (0,004 мг/мл), ионами  $^{12}\text{C}$  (с энергией 455,8 МэВ/нуклон), а также их комбинацией. Выживаемость клеток оценивалась методом МТТ-теста через 72 и 96 часов. Результаты представлены на рис. 1.

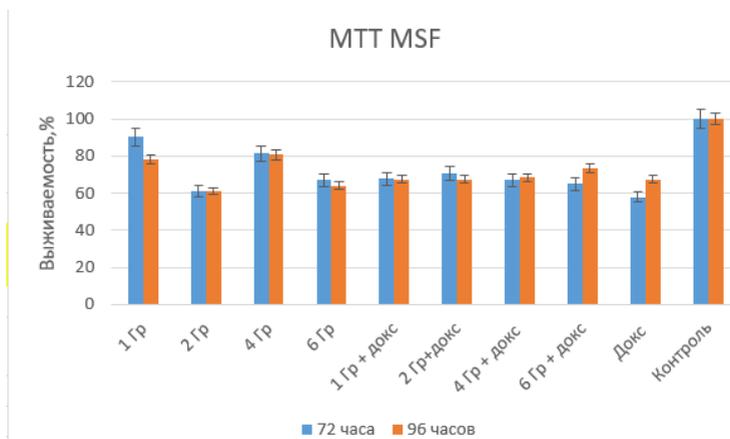


Рис. 1. Выживаемость клеток MSF.

Видно, что значимых отличий при определении выживаемости по методу МТТ-теста через 72 и 96 часов не наблюдается. Но стоит отметить, что при измерении оптической плотности через 96 часов наблюдается снижение стандартного отклонения суммарно на 10,2% и в частности в среднем для

каждого результата на 1%. Полученные результаты имеют практическое значение, т.к. комбинированное действие ИИ и химиопрепарата позволяет снизить дозовую нагрузку, при этом выживаемость опухолевых клеток не уменьшается.

Полученные результаты показывают перспективность и возможность экспериментов по оптимизации МТТ-теста под каждую отдельную культуру клеток.

### *Литература*

1 СТП-14.621.21.0008.12-2015 Методика определения цитотоксичности веществ МТТ-тестом на культуре нормальных клеток человека НЕК293.

2 Яковлев Д.С., Султанова К.Т., Золотова Е.А. Оптимизация МТТ-теста для определения цитотоксичности новых химических соединений на клеточной линии MSF-7 // Волгоградский научно-медицинский журнал. – 2020. – № 1(65) / doi 10.24412/1995-7225-2020-1-58-61

## **ДОЗИМЕТРИЯ В ОЦЕНКЕ БИОЛОГИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ СИСТЕМ СОТОВОЙ СВЯЗИ 2-5G**

*О.В. Белая, С.Ю. Перов*

*ФГБНУ «Научно-исследовательский институт медицины  
труда имени академика Н.Ф. Измерова», г. Москва, Россия*

Экспериментальное изучение биологического действия электромагнитных полей (ЭМП) на лабораторных животных лежит в основе определения безопасных уровней воздействия для человека и разработки гигиенических регламентов фактора. При решении этих задач важное место занимает этап экстраполяции экспериментальных данных, в частности определение условий воздействия ЭМП, эквивалентных с точки зрения биологических эффектов для животных и человека. Дозиметрические критерии, с помощью которых проводится количественная и качественная оценка поглощения электромагнитной энергии внутри биологических тканей и

структур, с одной стороны являются биологически значимыми и отражают первичный физический процесс воздействия ЭМП на биологический объект, а с другой - позволяют сопоставить параметры различных условий внешнего воздействия ЭМП. Поэтому их применение является перспективным при экстраполяции данных с животных на человека.

В работе рассмотрен метод применения численной дозиметрии для определения биологически эквивалентных интенсивностно-временных параметров ЭМП на примере комбинированного воздействия нескольких диапазонов радиочастот, имитирующего условия экспозиции от базовых станций сотовой связи стандартов 2-5G. Модели условий облучения ЭМП животных и человека разрабатывались исходя из соответствия условиям экспозиции лабораторных крыс в эксперименте, в частности по частотному составу, уровням ППЭ в отдельных частотных диапазонах и общему уровню ППЭ.

Для дозиметрической оценки были разработаны математические модели условий облучения биологических объектов в программной среде SEMCAD X v.14.8 («SPEAG AG», Швейцария), которые рассчитывались с помощью метода конечных разностей во временной области. В качестве моделей биологических объектов использовались численные гетерогенные фантомы лабораторных самцов крыс и мужчины («TIS Foundation», Швейцария), которые подвергались воздействию ЭМП в условиях дальней зоны источника. Дозиметрическая оценка проводилась на центральных частотах стандартов GSM1800, UMTS2100, LTE2600 и 5G/IMT-2020, для каждой из которых условия облучения биологических объектов моделировались отдельно.

В результате численного моделирования проведен сравнительный анализ частотной зависимости поглощения электромагнитной энергии радиочастотного диапазона в теле и отдельных органах животных и человека в диапазоне частот 0,3-43,5 ГГц. По результатам моделирования на отдельных частотах были определены средние значения удельной поглощенной мощности (УПМ) во всем теле биологических объектов, суммарные уровни УПМ для комбинированного воздействия с

общим уровнем ППЭ 500 мкВт/см<sup>2</sup>, а также коэффициенты перехода к эквивалентным уровням воздействия на человека.

На основе результатов дозиметрической оценки суммарных уровней УПМ, характеризующих комбинированное воздействие ЭМП на лабораторных животных в эксперименте и на человека, разработана прогностическая модель возможных уровней экспозиции человека, при которых будут отмечаться биологические реакции, схожие с экспериментальными данными у животных. В прогностической модели наряду с дозиметрическими критериями УПМ использован временной критерий, который позволяет учитывать особенности видовой чувствительности животных и человека к действующему фактору. Для определения эквивалентной продолжительности воздействия ЭМП на человека применялось соотношение биологически эквивалентного времени для крыс и человека.

## **ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ГЕЛИОГЕОФИЗИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА МИНУТНЫЙ ОБЪЕМ КРОВИ У ЛИЦ РАЗЛИЧНЫМ ПСИХОСОМАТИЧЕСКИМ СТАТУСОМ**

*Д.В. Васендин<sup>1</sup>, Г.А. Усенко<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup> – ФГБОУ ВО СГУГиТ, г. Новосибирск, Россия*

*<sup>2</sup> – ФГБОУ ВО НГМУ, г. Новосибирск, Россия*

Целью исследования было установить корреляционную связь между среднегодовыми значениями минутного объема кровотока (МОК) у здоровых мужчин с различным психосоматическим статусом и страдающих артериальной гипертензией (АГ), и Солнечной активностью (СА).

Между значениями чисел Вольфа (ЧВ) и потока радиоизлучения на длине волны 10,7 см (РИ) установлена прямая, высокой степени значимости, корреляционная взаимосвязь. Корреляционный анализ, проведенный между ЧВ и РИ, с одной стороны, и мощностью  $\gamma$ -фона на рабочих местах, с другой, показал наличие достоверной, прямой и высокой степени значимости корреляционной связи. Из этого следует, что повышение мощности  $\gamma$ -фона на рабочих местах было в те

же годы, что и повышение СА (ЧВ и РИ). Повышение  $\gamma$ -фона на рабочих местах испытуемых происходило в границах установленной нормы. Установлено, что с повышением СА (ЧВ, РИ) повышение атмосферного давления,  $\gamma$ -фона и  $T$  °С воздуха на рабочих местах сочеталось с повышением МОК у высокотревожных здоровых лиц и пациентов различного темперамента. У низкотревожных здоровых лиц и пациентов соответствующего темперамента функциональные сдвиги были такие же, но МОК статистически значимо ниже по сравнению с ВТ на  $550,3 \pm 27$  мл. У низкотревожных (НТ) больных корреляционная связь была средней, а у здоровых НТ лиц слабой степени значимости. С повышением СА (ЧВ и РИ на длине волны 10,7 см) тесно связано повышение атмосферного давления, температуры воздуха и  $\gamma$ -фона (в границах нормы) на рабочих местах. С повышением СА (ЧВ и поток РИ), сочетающейся с повышением атмосферного давления,  $\gamma$ -фона и температуры воздуха на рабочих местах, тесно связано повышение МОК у здоровых лиц различного темперамента и пациентов АГ, принимающих антигипертензивную терапию. Поскольку между динамикой МОК во всех группах темпераментов и гелиогеофизическими и метеорологическими факторами установлена значимая корреляционная взаимосвязь, то вероятно, что в период повышения СА на организм действовал комплекс факторов, включая, который в совокупности с ионизирующим излучением среды, способствовал снижению коэффициента утилизации кислорода тканями [1, 2], что вызвало развитие адаптивной реакции, частью которой явилось повышение МОК.

Наличие значимой корреляционной взаимосвязи между показателями СА, гелиогеофизическими факторами и МОК выражается в повышении функциональной активности сердечно-сосудистой системы (по показателю МОК).

### *Литература*

1 Усенко Г.А., Усенко А.Г., Васендин Д.В. Особенности утилизации кислорода организмом больных артериальной гипертензией в дни магнитных бурь в зависимости от

психосоматического статуса и лечения // Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова. – 2015. – №4 (101). – С. 123 – 133.

2 Усенко Г.А., Васендин Д.В Потребление и использование кислорода организмом лиц с сердечно-сосудистой патологией при изменениях геомагнитной активности // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2021. – Т.3, №1. – С. 323-330.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ КОМБИНИРОВАННОГО ДЕЙСТВИЯ ИОНОВ УГЛЕРОДА $^{12}\text{C}$ И ПРОТИВООПУХОЛЕВОГО ПРЕПАРАТА «ДОКСОРУБИЦИН» НА КЛЕТКИ КАРЦИНОМЫ ШЕЙКИ МАТКИ ЧЕЛОВЕКА**

*Е.Р.Выпова<sup>1</sup>, П.С. Купцова<sup>1,2</sup>, А.А. Мельникова<sup>1,2</sup>, Д.А. Балдов<sup>1</sup>,  
Л.Н. Комарова<sup>1</sup>, А.А. Берсенева<sup>1</sup>*

*<sup>1</sup> – Обнинский институт атомной энергетики – филиал  
Национального исследовательского ядерного  
университета «МИФИ», г. Обнинск, Россия*

*<sup>2</sup> – МРНЦ им. А.Ф. Цыба – филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии»  
Минздрава России, г. Обнинск, Россия*

Рак шейки матки является одним из наиболее распространенных злокачественных новообразований у женщин. Ежегодно в мире регистрируется 371,2 тысячи больных раком шейки матки, в России – 17,5 тысячи в 2019 году (5% от всех случаев злокачественных новообразований за год) [1]. Перспективным видом лучевой терапии радиорезистентных и глубокорасположенных опухолевых образований является терапия ионами углерода, которая позволяют уничтожить опухолевые клетки на любой глубине тела с минимальным облучением смежных здоровых тканей. Кроме того, актуальным является комбинированное применение лучевой и химиотерапии.

Объектом исследования была выбрана клеточная культура рака шейки матки SiHa. Клетки культивировали по стандартной методике. В первой группе клетки подвергали действию только ионизирующего облучения (ИИ) – ионами  $^{12}\text{C}$  (с энергией 455,8

МэВ/нуклон); во второй группе клетки инкубировали 2 часа с препаратом «Доксорубин» в концентрации 0,004 мг/мл; третья группа клеток подвергалась комбинированному действию ИИ и препарата, контролем служили интактные клетки.

Выживаемость клеток оценивалась методом клоногенной активности. Полученные результаты представлены на рис. 1.

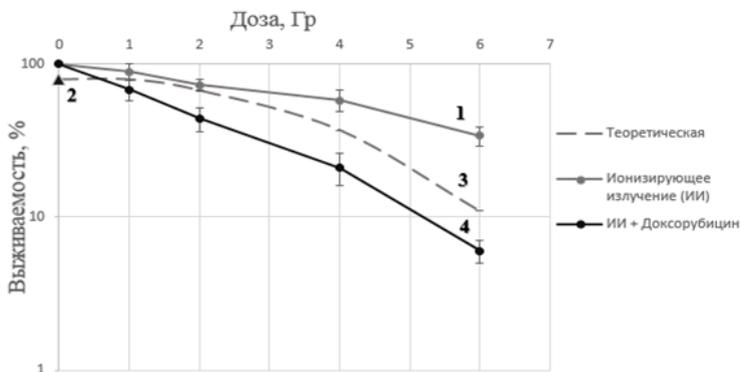


Рис. 1. Зависимость выживаемости клеток SiHa.

На рис. кривая 1 показывает выживаемость после действия ИИ (ионы  $^{12}\text{C}$ ), точка 2 на графике характеризует действие только доксорубина в концентрации 0,004 мг/мл, кривая 3 – теоретическая кривая, ожидаемая при независимом сложении эффектов ИИ (ионы  $^{12}\text{C}$ ) и препарата «Доксорубин», кривая 4 характеризует выживаемость клеток после комбинированного воздействия. Видно, что комбинированное действие ИИ и доксорубина более эффективно поражает опухолевые клетки, чем применение изучаемых агентов по отдельности и носит синергический характер. Минимальный показатель выживаемости наблюдается при комбинированном действии в дозе 6 Гр и составляет  $6,0 \pm 1,0\%$ . Значения коэффициента синергического усиления составляют  $1,2 \pm 0,3$  (1 Гр),  $1,5 \pm 0,2$  (2 Гр),  $1,8 \pm 0,3$  (4 Гр) и  $1,8 \pm 0,4$  (6 Гр).

Полученные результаты имеют практическое значение, т.к. комбинированное действие ИИ и химиопрепарата позволяет снизить дозовую нагрузку, при этом выживаемость опухолевых

клеток не уменьшается.

### *Литература*

1 Каприн А.Д., Старинский В.В., Шахзадова А.О. Злокачественные новообразования в России в 2019 году (заболеваемость и смертность). – М.: МНИОИ им. П.А. Герцена – филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России, 2020. – 252 с.

## **ВЛИЯНИЕ ЦИАНИДИН-3-ГЛЮКОЗИДА НА УСТОЙЧИВОСТЬ *DROSOPHILA MELANOGASTER* К $\gamma$ -ОБЛУЧЕНИЮ**

*Д.А. Голубев, М.В. Шапошников, А.А. Москалев*  
*Институт биологии Коми научного центра Уральского*  
*отделения Российской академии наук, г. Сыктывкар, Россия*

*Drosophila melanogaster* (плодовая муха) является хорошо зарекомендовавшим модельным организмом для генетических исследований развития и старения. Обширное наличие генов гомологов с позвоночными, а также короткая продолжительность жизни делают её ключевым организмом для таких исследований [1].

В течении жизни организма происходит накопление в соматических клетках повреждений макромолекул, способствующих старению и возрастным дисфункциям. Окислительный стресс является одним из источников этих повреждений. Нарушение нормального окислительно-восстановительного баланса клеток может нанести ущерб всем клеточным компонентам, включая белки, липиды и ДНК. Одним из источников активных форм кислорода является ионизирующее излучение (ИИ).

Цианидин-3-глюкозид (ЦЗГ) является природным фитохимическим веществом из классов антоцианов. Известно, что ЦЗГ обладает широким спектром биологической активности, включая антиоксидантное действие [2]. Целью данной работы является изучение влияния ЦЗГ в концентрациях

1, 10, 100 и 1000 мкмоль/л полученного из ягод жимолости Палласа (*Lonicera pallasii* L.) на устойчивость к  $\gamma$ -облучению.

Эксперименты проводили на особях *Drosophila melanogaster* линии дикого типа *Canton-S*, которые содержались в климатических камерах при постоянных условиях (25 °С и 12-часовом режиме освещения). Предварительно в течение 15 сут мух обрабатывали ЦЗГ в составе питательной среды. Далее мух подвергали воздействию  $\gamma$ -излучения в дозе 300 Гр.

Показано, что обработка ЦЗГ увеличивала медианную выживаемость самцов после действия  $\gamma$ -излучения в дозе 300 Гр. (табл.1) на 12 % ( $p < 0.05$ ) во всех исследуемых концентрациях. ЦЗГ также увеличил показатель максимальной выживаемости самцов (табл.1) на 8 % в концентрациях 10, 100 и 1000 мкмоль/л. Однако результаты исследования показали, что ЦЗГ не приводит к статистически значимым извинениям в выживаемости самок.

Генетические и функциональные исследования эффектов геропротекторных интервенций на модели *Drosophila melanogaster*» (№ 122040600022-1).

Таблица 1

Влияние ЦЗГ на выживаемость особей *Drosophila melanogaster* (М, 90% - медианная и максимальная продолжительность жизни, dM, d90% - различия между медианной и максимальной продолжительностью жизни, F- критерий Фишера, WA – критерий Ванг-Аллисона, N – размер выборки, П – пол)

Вещество	П	М	dM	F	90%	d90%	WA	N
Контроль	♂	43			51			230
1 мкмоль/л	♂	48	12	0.003	55	8	0.07	227
10 мкмоль/л	♂	48	12	0.02	55	8	0.001	217
100 мкмоль/л	♂	48	12	0	55	8	0.014	206
1000 мкмоль/л	♂	48	12	0.01	55	8	0.034	227
Контроль	♀	56			69			224
1 мкмоль/л	♀	56	0	0.9	69	0	0.17	205
10 мкмоль/л	♀	59	5	0.14	69	0	0.17	204
100 мкмоль/л	♀	58	3	0.92	69	0	0.28	201
1000 мкмоль/л	♀	59	5	0.12	69	0	0.23	229

## *Литература*

1 Parashar V, Frankel S, Lurie AG, Rogina B: The effects of age on radiation resistance and oxidative stress in adult *Drosophila melanogaster* // *Radiat Res.* – 2008. – V.169(6) – P. 707-711.

2 Tan J, Li Y, Hou D-X, Wu S: The Effects and Mechanisms of Cyanidin-3-Glucoside and Its Phenolic Metabolites in Maintaining Intestinal Integrity // *Antioxidants (Basel).* – 2019. – V. 8(10) – P. 479.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ НА РАДИОЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ РИСОВОГО ДОЛГОНОСИКА**

*Ю.А. Дорн, Н.Н. Лой, А.Н. Павлов, Т.В. Чиж  
ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт  
радиологии и агроэкологии», г. Обнинск, Россия*

Радиационная обработка сельскохозяйственных продуктов является перспективным направлением развития методов борьбы с насекомыми-вредителями сельскохозяйственных продуктов как в России, так и во всем мире. Актуальность исследований основана на экономической эффективности, экологической безопасности при сохранении качества продукции, в отличие от распространенного на сегодняшний день метода обработки продукции – фумигации. Основным поражающим фактором при радиационной обработке является поглощенная доза излучения. Анализ данных литературы и исследования о действии ионизирующего излучения на жизнеспособность насекомых показал, что подавление численности популяции зависит от стадии развития насекомых, поглощенной дозы излучения и мощности дозы [1].

Целью исследований являлась оценка влияния гамма-излучения на жизнеспособность рисового долгоносика.

Объектом исследования был рис, намеренно зараженный рисовым долгоносиком (*Sitophilus oryzae*) в стадии имаго.

Зерно (10 г) помещали в пробирки и подсаживали по 10 особей рисового долгоносика, затем облучали на стационарной промышленно-исследовательской гамма-установке ГУР-120 (ФБГНУ ВНИИРАЭ, Обнинск) с источником  $\gamma$ -излучения – изотопом кобальт 60 по схеме: 1) контроль (без облучения); 2) 100 Гр; 3) 200 Гр; 4) 300 Гр; 5) 400 Гр; 6) 500 Гр; 7) 600 Гр; 8) 700 Гр; 9) 800 Гр; 10) 900 Гр. Мощность дозы гамма-излучения составляла 500 Гр/ч. Для определения распределения поглощенной дозы по объему облучаемой продукции использовались дозиметры-свидетели в виде радиохромных пленок марки GafchromicHD-V2.

Учет количества жизнеспособных насекомых проводили ежедневно. В результате определена жизнеспособность рисового долгоносика в зависимости от дозы облучения (рис. 1).

На данном этапе исследовательской работы было установлено, что гамма-облучение рисового долгоносика дозой 100 Гр приводит к 100% отмиранию популяции на 17 сутки. При поглощенных дозах 200 и 300 Гр наблюдается 100% гибель насекомых на 13 сутки, 400 Гр – 12 сутки, 500, 600 Гр – 7 сутки, 700, 800 Гр – 4 сутки, 900 Гр – 5 сутки (рис. 1).

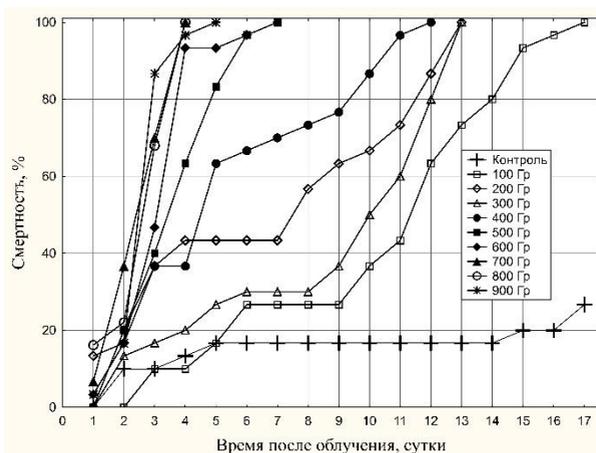


Рис. 1. Изменение жизнеспособности имаго рисового долгоносика.

Таким образом установлено, что наиболее эффективно для борьбы с рисовым долгоносиком гамма-облучение дозами 700-260

800 Гр. Данный диапазон может быть использован для дезинсекции зерна и зернопродуктов зараженных данным видом вредителя.

### *Литература*

1 Лой Н.Н., Санжарова Н.И., Гулина С.Н., Чиж Т.В. Оценка влияния разных видов ионизирующих излучений на жизнеспособность зернового точильщика/ Ядерно-физические исследования и технологии в сельском хозяйстве Сборник докладов Международной научно-практической конференции. – Обнинск. ФГБНУ ВНИИРАЭ, 2020 – С. 166-169.

## **ПРИМЕНЕНИЕ ЛИНЕЙНО-КВАДРАТИЧНОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ РАСЧЁТА ФРАКЦИОНИРОВАНИЯ ДОЗЫ НЕЙТРОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ**

*А.В. Дорохов<sup>1</sup>, Е.В. Корякина<sup>2</sup>, М.В. Трошина<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup> – Обнинский институт атомной энергетики – филиал  
Национального исследовательского ядерного  
университета «МИФИ», г. Обнинск, Россия*

*<sup>2</sup> – МРНЦ им. А.Ф. Цыба – филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии»  
Минздрава России, г. Обнинск, Россия*

В настоящее время при проведении лучевой терапии в режиме фракционирования для расчетов разовой и суммарной доз, подводимых к определенной ткани, используют уравнения, предложенные Фаулером. Их основой являются параметры  $\alpha$  и  $\beta$  линейно-квадратичной модели, описывающей выживаемость облучаемых клеток. Ранее она применялась только для редкоионизирующих излучений. В связи с развитием адронной терапии рассматривается ее применение для нейтронов, протонов, ионов.

В МРНЦ им. А.Ф. Цыба завершается создание нейтронной установки на базе нейтронного генератора НГ-24, и планируется использование нейтронов в лечении онкобольных. Это обуславливает необходимость проведения радиобиологических

и расчётных исследований дозовых зависимостей при действии нейтронов, в том числе при фракционировании дозы.

В данной работе определяли параметры линейно-квадратичной модели опухолевых клеток, которые могут быть использованы для расчёта режимов фракционирования дозы нейтронного излучения. Клетки фибросаркомы китайского хомячка линии В14-150 облучали нейтронами с энергией 14,5 МэВ при мощности дозы 0,26 Гр/мин в диапазоне доз до 6,5 Гр.

Дозовая кривая при действии нейтронов, полученная по выживаемости клеток, удовлетворительно описывалась как линейной, так и линейно-квадратичной моделью. Сравнение полученных результатов с данными работ, выполненных на клетках китайского хомячка и с нейтронами близких энергий, показывает хорошее согласие в пределах ошибок (табл. 1).

Таблица 1

Параметры линейных и линейно-квадратичных уравнений регрессии дозовых кривых при действии нейтронов

Энергия нейтронов (МэВ)	$\alpha$ (1/Гр)	$\beta$ (1/Гр <sup>2</sup> )	Клетки
13,6	$0,353 \pm 0,024$	$0,0431 \pm 0,0092$	V79 [2]
14,1	$0,54 \pm 0,03$	$0,01 \pm 0,007$	V79 [1]
	$0,59 \pm 0,008$	-	
14,5	$0,6 \pm 0,04$	$0,01 \pm 0,009$	В14-150
	$0,67 \pm 0,014$	-	
15	$0,5 \pm 0,1$	$0,03 \pm 0,02$	V79 [3]

Как видно из табл. 1, значения параметров линейно-квадратичной модели во всех случаях сопоставимы. Более низкие значения  $\alpha$  и более высокие значения  $\beta$  по сравнению с литературными данными обусловлены диапазоном доз в нашей работе, недостаточном для более точного определения  $\beta$ . Для расчета режимов фракционирования предпочтительнее использовать значения  $\beta$  с учетом литературных данных и клинического опыта МРНЦ им. А.Ф. Цыба.

## *Литература*

1 Корякина Е.В., Потетня В.И., Ульяненко С.Е. Влияние импульсного характера нейтронного излучения с энергией 14,5 МэВ на реакцию клеток млекопитающих // Медицинская физика. – 2015. – № 4. – С. 69-74.

2 Rini F.J., Hall E.J., Marino S.A. The oxygen enhancement ratio as a function of neutron energy with mammalian cells in culture // Radiat. Res. – 1979. – V. 78. – No 1. – P. 25-37.

3 Zoetelief, J., Barendsen, G.W. Dose-effect relationships for induction of cell inactivation and asymmetrical chromosome exchanges in three cell lines by photons and neutrons of different energy // Int. J. Radiat. Biol. – 1983. – V. 43. – No 2. – P. 349-362.

## **СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ШУНТИРУЮЩИХ ЭКРАНИРУЮЩИХ КОМПЛЕКТОВ**

*А.И. Дремин<sup>1,2</sup>, Е.Н. Макарова-Землянская<sup>1</sup>*

*<sup>1</sup> – Российский университет транспорта, г. Москва, Россия*

*<sup>2</sup> – ФГБНУ «Научно-исследовательский институт медицины труда имени академика Н.Ф. Измерова», г. Москва, Россия*

Эксплуатация электросетевых объектов сопряжена с воздействием на человека ряда вредных и опасных факторов производственной среды, что требует обеспечения безопасных условий труда. Основными неблагоприятными факторами для электротехнического персонала, обслуживающего высоковольтные электроустановки, такие как открытые распределительные устройства (ОРУ) и воздушные линии электропередачи (ВЛ), контактная сеть переменного тока железной дороги являются электрические (ЭП) и магнитные (МП) поля промышленной частоты (ПЧ), а также опасность поражения электрическим током.

В основе обеспечения электромагнитной безопасности на рабочем месте лежит соблюдение требований предельно допустимых уровней (ПДУ), что может быть реализовано путем

защиты временем, защиты расстоянием и/или с помощью средств коллективной или индивидуальной защиты (СИЗ).

Целью работы являлась сравнительная оценка эффективности индивидуальных шунтирующих экранирующих комплектов от ЭП ПЧ на рабочих местах персонала ОРУ напряжением 750 кВ при проведении работ на потенциале земли с использованием российской и зарубежной методиками оценки.

Оценка эффективности экранирующих комплектов проводилась на двух образцах в комплектации куртка и брюки и комбинезон с помощью измерителей электрического и магнитного полей Narda EFA-300, Narda ЕНР-50F по методике, представленной в ГОСТ 12.4.172-2019 (методика №1) и с помощью мультиметра АРРА 97 по зарубежной методике, представленной в IEC 60895:2020 (методика №2). Для исследований использовались диэлектрический и металлизированный манекены с антропометрическими характеристиками взрослого человека.

Фоновые значения напряженности ЭП ПЧ в месте исследований составляли 19,02 кВ/м в голове и 13,73 кВ/м в груди испытательного манекена, то есть превышали ПДУ для всей рабочей смены (5 кВ/м) до 3,8 раз. Результаты оценки коэффициентов экранирования исследуемых образцов защитных комплектов представлены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты оценки эффективности СИЗ от ЭП ПЧ на ОРУ  
напряжением 750 кВ по двум методикам

Комплектация СИЗ	Коэффициент экранирования $K_E$ , дБ (методика №1)		Коэффициент экранирования $K_I$ , дБ (методика №2)	
	С лицевым экраном	Без лицевого экрана	С лицевым экраном	Без лицевого экрана
Куртка и брюки	61,12	41,50	51,60	49,66
Комбинезон	80,17	51,65	73,67	65,25

Оба образца соответствовали требованиям ГОСТ 12.4.172-2019 и ТР ТС 019/2011. Результаты показали, что при

использовании двух методик оценка комплектация в виде комбинезона обладала лучшими защитными характеристиками, чем куртка и брюки.

Коэффициенты экранирования исследуемых образцов, полученные с помощью методики 1, оказались больше по сравнению с методикой 2 при полной сборке комплекта. Однако без лицевого экрана коэффициенты образцов были выше при оценке по методике 2 относительно методики 1.

Полученные результаты указывают на то, что методика, реализованная в международном стандарте, обладает большей чувствительностью при отсутствии элементов комплекта, чем методика ГОСТ 12.4.172-2019. При этом методика №1 позволяет комплексно подходить к оценке влияния ЭП ПЧ, рассматривая не только все тело человека, но и вероятность воздействия на критически важные органы, что лежит в основе действующих в настоящее время гигиенических нормативов.

## **РАДИАЦИОННО-ИНДУЦИРОВАННЫЙ ОКСИДАТИВНЫЙ СТРЕСС ПРИ ОБЛУЧЕНИИ ПРОТОНАМИ В ПУБЕРТАТНЫЙ ПЕРИОД РАЗВИТИЯ МОДЕЛЬНОГО ТЕСТ-ОРГАНИЗМА**

*А.А. Жалнина<sup>1</sup>, Д.В. Ускалова<sup>1</sup>, Л.Л. Куранова<sup>1</sup>, Н.Б. Савина<sup>2</sup>,  
С.Н. Корякин<sup>3</sup>, Е.И. Сарапульцева<sup>1,2,3</sup>*

*<sup>1</sup> – Обнинский институт атомной энергетики – филиал  
Национального исследовательского ядерного университета  
«МИФИ», г. Обнинск, Россия*

*<sup>2</sup> – Национальный исследовательский ядерный университет  
«МИФИ», г. Москва, Россия*

*<sup>3</sup> – МРНЦ имени А.Ф. Цыба – филиал ФГБУ «НМИЦ  
радиологии» Минздрава России, г. Обнинск, Россия*

Для первичного скрининга радиационно-индуцированного оксидативного стресса использована эффективная и доступная тест-система – беспозвоночные многоклеточные животные *Daphnia magna*. Цель работы – анализ оксидативного стресса в

клетках модельных животных при облучении протонами *in vivo* в дозе 10 Гр в пубертатный период онтогенеза.

Животных разделили на 5 возрастных групп (6, 7, 8, 9 и 10 суток). В каждой группе было от 3 до 10 образцов. В каждом образце от 10 до 30 животных соответствующего возраста. Облучение проводили протонами на терапевтической установке «Прометеус» в дозе 10 Гр (энергия – 150 мэВ) «на простреле». Оксидативный стресс оценивали в ед. оптической плотности (ОП) по изменению метаболической активности клеток тест-организма с помощью МТТ-теста по модифицированной методике [1]. Контролем служили необлученные животные соответствующего возраста. Статистическую обработку полученных данных проводили в программе Statistica 8.

На рис. 1 видно, что модельные животные в пубертатный период онтогенеза устойчивы к оксидативному стрессу. В этот временной период у *D. magna* происходит формирование зародыша из партеногенетических яиц в выводковой камере. Зародыш становится похожим на ювенильную особь, происходит согласование движений ротовых частей и туловищных конечностей, устанавливается ритм сердцебиений, появляется подвижность глазной капсулы [2].

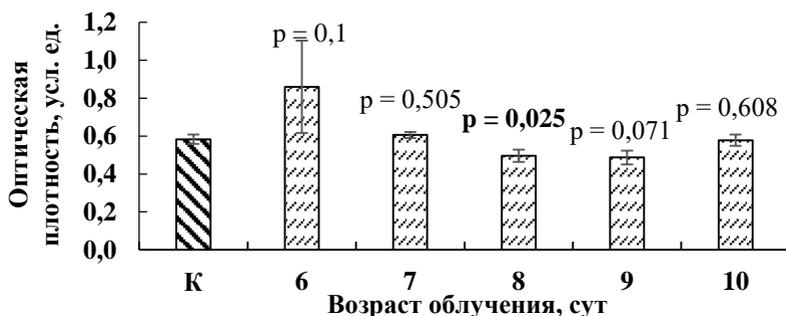


Рис.1. Изменение оптической плотности (МТТ-тест) после облучения *D. magna* протонами в дозе 10 Гр.

Значимое ( $p=0,025$ ) по сравнению с объединенным контролем снижение ОП наблюдается только при облучении 8-суточных животных. Это дает основание предположить, что в целом пубертатный период онтогенеза (6-10 сутки) является

устойчивым к облучению протонами в исследуемой дозе. Поскольку доза 10 Гр входит в диапазон терапевтических доз, приходящихся на здоровые ткани при облучении протонами *in vivo* [3], можно предположить, что здоровые ткани не подвергаются значимому оксидативному стрессу.

### *Литература*

1 Савина Н.Б., Ускалова Д.В., Сарапульцева Е.И. Использование МТТ-теста для изучения отдалённых эффектов острого g-облучения у ракообразных *Daphnia magna* // Радиация и риск (Бюллетень Национального радиационно-эпидемиологического регистра). – 2018. – Т.27. – №1. – С. 86-93.

2 Бойкова О.С. Периодизация эмбриогенеза *Cladocera* (*Crustacea, Branchiopoda*) // Зоологический журнал. – 2012. – Т.91. – №12. – С. 1465-1481.

3 Ульяненко С.Е., Гулидов И.А., Лычагин А.А. и др. Радиобиологические особенности сканирующего пучка протонов отечественного комплекса "Прометеус" // Радиобиологические основы лучевой терапии: Материалы международной конференции. – 2017. – С. 109-110.

## **ВОЗДЕЙСТВИЕ ПРОТОНОВ НА КЛЕТКИ КИТАЙСКОГО ХОМЯЧКА В ПРИСУТСТВИИ БОРСОДЕРЖАЩЕГО ПРЕПАРАТА И БЕЗ НЕГО**

*У.М. Корнеева<sup>1,2</sup>, М.В. Трошина<sup>2</sup>, Е.В. Корякина<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup> – Обнинский институт атомной энергетики – филиал  
Национального исследовательского ядерного  
университета «МИФИ», г. Обнинск*

*<sup>2</sup> – МРНЦ им. А.Ф. Цыба – филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии»  
Минздрава России, г. Обнинск, Россия*

Борпротон-захватная терапия – многообещающий подход к лечению, в котором для увеличения биологической эффективности в сочетании с традиционной протонной терапией используется дополнительный компонент дозы от протон-захватных реакций на <sup>11</sup>B. Для протон-захватной

терапии с бором необходим подбор подходящих агентов доставки  $^{11}\text{B}$  с учетом накопленных знаний о соединениях бора, успешно используемых в борнейтрон-захватной терапии. Наиболее важными требованиями, которым должен соответствовать агент для доставки борсодержащих соединений в опухоль, являются: низкая внутренняя токсичность, высокое поглощение опухолью и низкое поглощение нормальными тканями, в идеале с соотношением концентрации бора опухоль/нормальные ткани и опухоль/кровь  $>3:1$ , относительно быстрое выведение из крови и нормальных тканей и сохранение в опухоли в течение по крайней мере нескольких часов при облучении.

В настоящей работе представлены предварительные сравнительные результаты об эффективности облучения протонами клеток млекопитающих в присутствии борсодержащего препарата и без него. Исследования выполнены на культуре опухолевых клеток китайского хомячка линии В14-150 (фибросаркома). Облучение проводили на комплексе протонной терапии «Прометеус» (АО «ПРОТОМ», Россия) со сканирующим протонным пучком (энергия протонов  $\sim 83$  МэВ). В качестве борсодержащего вещества использовали 4% раствор борной кислоты с  $\text{H}_3\text{BO}_3$  с гидроксипропилцеллюлозой (ГЭЦ, способствует проникновению бора в клетки). Клетки в логарифмической фазе роста инкубировали в присутствии ГЭЦ+ $\text{H}_3\text{BO}_3$  с концентрацией  $^{11}\text{B}$  425,8 ppm в течение 24 ч. После окончания инкубации клетки переводили в суспензию и облучали в пробирках типа Эппендорф попарно с борсодержащим веществом и без него в расширенном пике Брегга  $\sim 1,5$  см в дозах 1, 2, 3, 4, 6 и 8 Гр. После облучения клетки высевали в чашки Петри на свежую питательную среду и инкубировали при  $37^\circ\text{C}$  в присутствии 5%  $\text{CO}_2$ . Подсчет колоний проводили на 8–10 сут.

На рис. 1 представлены отношения выживаемостей клеток, облученных протонами без и с предварительной инкубацией в присутствии  $^{11}\text{B}$ .

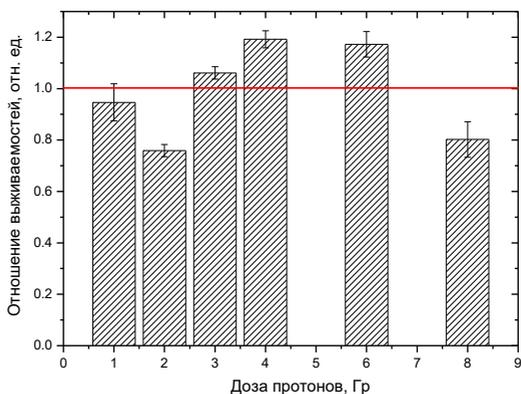


Рис. 1. Отношение выживаемостей клеток В14-150 после облучения протонами без и с предварительной инкубацией в присутствии борсодержащего препарата.

Снижение выживаемости клеток после облучения протонами в присутствии борсодержащего препарата установлено только для трех дозовых точек (1, 2 и 8 Гр), что не позволяет сделать однозначных выводов о дополнительном вкладе бор-захватных событий в биологический эффект протонов. Полученные результаты являются предварительными и требуют продолжения исследований.

## УВЕЛИЧЕНИЕ ВЫЖИВАЕМОСТИ ЖИВОТНЫХ ПОСЛЕ ЛЕТАЛЬНОГО ОБЛУЧЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ АЛЛОТРАНСПЛАНТАЦИИ ТИМУСА

*А.В.Куликов<sup>1</sup>, Л.В.Архипова<sup>1</sup>, В.Б.Гаврилюк<sup>1</sup>, В.И.Брусков<sup>1</sup>,  
А.А.Глазков<sup>2</sup>, П.А.Глазкова<sup>2</sup>, Д.А. Куликов<sup>3</sup>*

*<sup>1</sup> – ФБГУН Институт теоретической и экспериментальной  
биофизики РАН, г. Пущино, Россия*

*<sup>2</sup> – ГБУЗ МО Московским областным научно-  
исследовательским клиническим институтом им. М.Ф.  
Владимирского, г. Москва, Россия*

*<sup>3</sup> – Медицинский факультет Московского государственного  
областного университета г. Москва, Россия*

В современном мире последствия техногенных аварий могут показаться не столь уж трагичными по сравнению с возможностью создания и использования «грязной бомбы» террористическими организациями самого разного толка.

При радиационных воздействиях на организм одним из первых страдает тимус, ответственный за Т-клеточный иммунитет. Поиск методов, позволяющих снизить отрицательные последствия техногенных воздействий на организм, должен стать одним из приоритетов современной биологии.

Известно, что в организме млекопитающих с возрастом происходит необратимая атрофия тимуса [1,2]. Снижение скорости этого процесса может привести к увеличению минимальной, максимальной и средней продолжительности жизни [3]. Облучение животных в разных интенсивностях в геронтологической литературе трактуется как ускоренное старение организма. Мы предположили, что трансплантация тимуса должна способствовать увеличению выживаемости животных даже при летальном облучении.

В опыт брали 3 группы мышей (SHK): 1-я – контроль (облучение в дозе 6 Гр, без трансплантации), 2-я – трансплантация тимуса после облучения в дозе 6 Гр, 3-я – контроль на оперативное вмешательство (трансплантация

легкого после облучения в дозе 6 Гр). Доноры тимуса и легкого - мыши весом 15 гр. 2-й и 3-й группам проводили аллотрансплантацию тимуса и легкого подкожно в предварительно сформированный карман между лопатками.

Облучение проводили на установке (терапевтическая РУТ-250-15-1). Облучали в дозе 1 Гр в мин в течение 6 мин, т.е. суммарная доза облучения составила 6 Гр.

Все 100% из 1-й группы облученных животных погибли на сроках 9-16 дней. В 3-й (контрольной) группе, где в качестве трансплантата выступали не иммунокомпетентные клетки легкого, все мыши пали на сроках 11-13 дней. И только во 2-й группе, где в качестве трансплантируемой ткани выступали иммунокомпетентные клетки тимуса, к 30 дню эксперимента были живы 40% мышей, подвергнутых облучению летальной дозой радиации. В докладе будут представлены данные по нескольким физиологическим показателям.

### *Литература*

1 Анисимов В.Н. Молекулярные и физиологические механизмы старения. – СПб.: Наука, -Т. 1. 2008.- 481 с.

2 Csaba G. The immunoendocrine thymus as a pacemaker of lifespan // Acta Microbiol. Immunol. Hungarica. - 2016.-V. 63.- № 2.- P. 139–158.

3 А.В. Куликов, Л.В. Архипова, П.А. Куликова, А.А. Глазков, Е.Ю. Мндлян, В.Б. Гаврилюк, Д.А. Куликов. Влияние сезона рождения и трансплантации тимуса на продолжительность жизни экспериментальных животных // Известия РАН. Серия биологическая. – 2019 - № 1 - С. 38–42.

## ИЗМЕНЕНИЕ ВЫЖИВАЕМОСТИ И ПЛОДОВИТОСТИ МОДЕЛЬНОГО ТЕСТ-ОРГАНИЗМА ПРИ ОБЛУЧЕНИИ В ЮВЕНИЛЬНЫЙ ПЕРИОД

Л.Л. Куранова<sup>1</sup>, Д.В. Ускалова<sup>1</sup>, А.А. Жалнина<sup>1</sup>, Н.Б. Савина<sup>2</sup>,  
С.Н. Корякин<sup>3</sup>, Е.И. Сарapultьцева<sup>1,2,3</sup>

<sup>1</sup> – Обнинский институт атомной энергетики – филиал  
Национального исследовательского ядерного  
университета «МИФИ», г. Обнинск, Россия

<sup>2</sup> – Национальный исследовательский ядерный университет  
«МИФИ», г. Москва, Россия

<sup>3</sup> – МРНЦ имени А.Ф. Цыба – филиала ФГБУ «НМИЦ  
радиологии» Минздрава России, г. Обнинск, Россия

Изучение эффектов и механизмов воздействия терапевтических доз протонного излучения на организм – важная задача биомедицины и радиобиологии. Особый интерес представляет анализ эффектов на уровень целостного организма и создание надежной и доступной тест-системы первичного скрининга.

В данной работе изучено действие протонного излучения в дозе 10 Гр на выживаемость и плодовитость модельного тест-организма – ракообразных *Daphnia magna*, подвергшихся облучению в ювенильный период, а также проведен поиск критических точек в онтогенезе, наиболее чувствительных к облучению. Животных облучали протонами на установке «Прометеус» – «на простреле» в разных возрастных группах (по 10 особей в каждой группе от 1- до 5-суточного возраста) в дозе 10 Гр (энергия – 150 мэВ). Учет выживаемости и плодовитости проводили согласно международной методике до 21-суточного возраста.

Выявлено, что протонное облучение в исследуемой дозе 10 Гр не снижает выживаемость рачков к 21-суточному возрасту. Эффект облучения протонами проявляется в изменении более чувствительного, как показало облучение гамма-квантами [1], показателя – плодовитости. На рис. 1 показано снижение общей

плодовитости *D. magna* во всех облученных группах по сравнению с контролем.

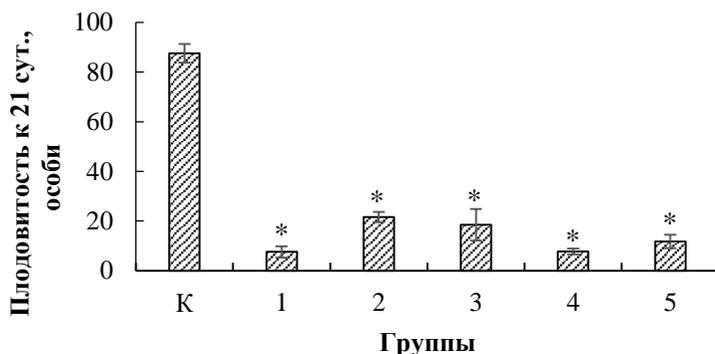


Рис.1. Общая плодовитость *D. magna* после протонного облучения в дозе 10 Гр к 21 суткам эксперимента (\*  $p < 0,05$ ).

Анализ общей плодовитости и ее компонентов – количества и размера пометов – свидетельствует о высокой чувствительности модельного животного к облучению протонами в ювенильный период онтогенеза. Известно, что в ювенильный период у *D. magna* (1 – 5 сутки) половые клетки активно делятся, и происходит закладка яиц и их продвижение в выводковую камеру. Животные в данный период онтогенеза наиболее уязвимы к антропогенным факторам, в том числе к радиации [2].

Можно предположить, что облучение протонами связано с цитотоксическим действием радиации на половые клетки и, возможно, отразится на последующих поколениях, что требует дополнительных экспериментов.

### Литература

1 Михальский А.И., Савина Н.Б., Сарапульцева Е.И., Бычкова И.Б. Аналитическое исследование закономерностей структуры кривых дожития экспериментальных объектов в модельных опытах на *Daphnia magna* //Успехи геронтологии. – 2020. – Т. 33. – №. 3. – С. 459-470.

2 Сарапульцева Е.И. Биологические эффекты радиационного воздействия у низших ракообразных *Daphnia magna*. Аналитический обзор // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2017. – Т. 57. – №4. – С. 414-428.

## ВЛИЯНИЕ НЕТЕРМАЛЬНОЙ ПЛАЗМЫ НА РОСТ И РАЗВИТИЕ ЯЧМЕНЯ

*Д.И. Петрухина, В.И. Шишко, О.В. Тхорик, В.А. Харламов,  
И.М. Меджидов, П. Н. Цыгвинцев*  
ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт  
радиологии и агроэкологии», г. Обнинск, Россия

В работе была использована аргоновая микроволновая нетермальная плазма атмосферного давления. В экспериментах использовали растения ячменя (*Hordeum vulgare* L.) ярового сорта Владимир (Россия) урожая 2018 г.

Растения выращивали в вегетационном домике в сосудах. В каждом сосуде выращивалось по 10 растений. Обработку растений проводили в различные фазы органогенеза: 3-й лист, кущение и выход в трубку [1]. В качестве источника нетермальной плазмы использовали установку (рис. 1), разработанную в нашем институте [2].

Для обеспечения равномерной обработки растений, а также снижения температуры потока на внешнем конце наконечника выполнен газовый концентратор.



Рис. 1. Общий вид источника плазмы.

Длительность обработки составляла 15 и 30 мин. Контролем служили необработанные растения. Действие нетермальной плазмы оценивали в конце вегетации по морфофизиологическим показателям и структуре урожая.

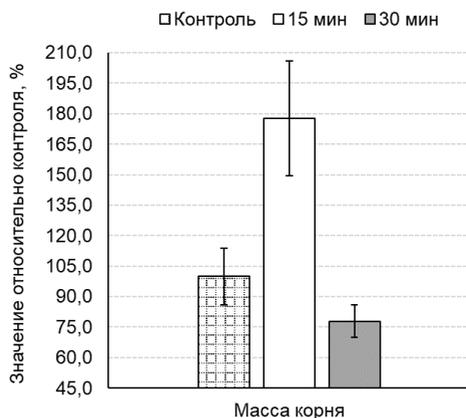


Рис. 2. Влияние нетермальной плазмы на массу корня ячменя.

Анализ структуры урожая показал, что воздействие нетермальной плазмой на растения ячменя во всех вариантах опыта в течение 30 минут, ведёт к угнетению основных элементов продуктивности, ответственных за урожай. Но после 15-минутной обработки увеличилась масса корней в фазе развития 3-й лист. Это в свою очередь способствовало появлению дополнительных боковых стеблей.

Полученные результаты влияния однократного воздействия плазмы на разных этапах органогенеза растения ячменя могут быть полезны с целью повышения урожайности ячменя.

### *Литература*

1. Zadoks, J. C., Chang, T. T., Konzak, C. F. A decimal code for the growth stages of cereals // Weed research. 1974. – V.14(6). – P. 415-421. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-3180.1974.tb01084.x>
2. Petrukhina D.I., I.M. Medzhidov D.I., Kharlamov V.A., Pomyasova M.G., Tkhorik O.V., Gorbatov S.A., Shishko V.I., Shesterikov A.Yu., Tikhonov V.N., Tikhonov A.V., Ivanov I.I. The

## **ЗАКОНОМЕРНОСТИ ДЕЙСТВИЯ ТЯЖЕЛЫХ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ И ХИМИОПРЕПАРАТА НА ОПУХОЛЕВЫЕ КЛЕТКИ ЧЕЛОВЕКА *IN VITRO***

*А.А. Мельникова<sup>1,2</sup>, Д.А. Балдов<sup>1</sup>, Л.Н. Комарова<sup>1</sup>,  
А.Р.Муфтеева<sup>1</sup>, Е.А. Федулова<sup>1</sup>*

*<sup>1</sup> – Обнинский институт атомной энергетики – филиал  
Национального исследовательского ядерного  
университета «МИФИ», г. Обнинск, Россия*

*<sup>2</sup> – МРНЦ им. А.Ф. Цыба – филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии»  
Минздрава России, г. Обнинск, Россия*

Онкологические заболевания печени входят в пятерку лидирующих причин смертности. За 2020 год было зафиксировано 830 000 летальных исходов. Причем метастазы в печени при злокачественных опухолях других органов встречаются примерно в 30 раз чаще, чем первичный рак. В связи с этим в настоящее время возникает тенденция к рассмотрению изолированных метастазов в печень как отдельного заболевания. Хирургическое лечение представляется возможным только в 20-30% случаев [1]. Вследствие этого одним из распространенных методов лечения является химиотерапия, значимым недостатком которой являются тяжелые осложнения: нарушение работы печени, изменения дыхательной системы, инфекционные осложнения, также регистрируется летальный исход [2].

В рамках исследования выявлены закономерности комбинированного действия тяжелых заряженных частиц с доксорубицином на клетки гепатокарциномы линии HUH-7.

Облучение ионами <sup>12</sup>C проводили на ускорителе У-70 Института физики высоких энергий (ИФВЭ) ФГБУ ГНЦ РФ «Курчатовский институт» (г. Протвино). При исследовании комбинированного действия противоопухолевого препарата в

сочетании с ионизирующим излучением доза облучения составила 1, 2, 4 Гр в пике Брэгга. На часть клеток действовало только ионизирующее излучение, часть клеток облучали с препаратом, другую часть инкубировали с препаратом без действия ионизирующего излучения. Контролем служили необлучённые и не обработанные препаратами клетки.

В ходе исследования рассчитывали параметр – время удвоения, который подразумевает тот период времени, в течение которого количество клеток в популяции возрастет вдвое. Для определения цитотоксичности препарата проводили МТТ-тест.

Выявлено, что при инкубации клеток линии HUN-7 с доксорубицином количество клеток уменьшилось на 37%. Кроме снижения выживаемости при исследовании действия химиопрепарата на клеточные линии были выявлены и изменения в структурах клеток.

Наиболее длительный показатель времени удвоения наблюдался при комбинированном действии ионов углерода-12 и доксорубицина. Это может указывать на повышенную радиочувствительность опухолевых клеток к плотноионизирующему излучению после действия противоопухолевого препарата. Полученные результаты свидетельствуют о том, что при действии доз 1 Гр, 2Гр, 4Гр наибольший вклад в повреждение клеток всех исследуемых линий вносит воздействие ионов углерода-12 в комбинации с доксорубицином.

### *Литература*

1 Салим Н., Столбовой А.В., Шонус Д.Х. Стереотаксическая радиохирургия метастазов колоректального рака в печень. Современные тенденции развития методики // Вестник РНЦРР. – 2017. – №3. – С. 1-11.

2 Кулешова А.В., Киселева Е.Е., Чеботкевич В.Н. Инфекционные осложнения у больных гемобластозами при трансплантации гематопоэтических стволовых клеток и высокодозной химиотерапии // Проблемы медицинской микологии. – 2020. – №22. – 94 с.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ  
КОМБИНИРОВАННОГО ДЕЙСТВИЯ  
ИОНОВ УГЛЕРОДА  $^{12}\text{C}$  И ХИМИОПРЕПАРАТА  
ДОКСОРУБИЦИН НА ТРИЖДЫ НЕГАТИВНЫЙ  
РАК МОЛОЧНОЙ ЖЕЛЕЗЫ**

А.А. Мельникова<sup>1,2</sup>, Д.А. Балдов<sup>1</sup>, П.С. Купцова<sup>1,2</sup>, Е.Р. Выпова<sup>1</sup>,  
Л.Н. Комарова<sup>1</sup>

<sup>1</sup> – Обнинский институт атомной энергетики – филиал  
Национального исследовательского ядерного  
университета «МИФИ», г. Обнинск, Россия

<sup>2</sup> – МРНЦ им. А.Ф. Цыба – филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии»  
Минздрава России, г. Обнинск, Россия

МТТ-тест является одним из классических и самых используемых при скрининге цитотоксичности лекарственных средств в условиях *in vitro*.

В рамках настоящего исследования была произведена оценка комбинированного воздействия широко распространенного химиопрепарата доксорубицин и высокоэффективной терапии для сложных злокачественных опухолей - облучение тяжелыми ионами.

Объектом исследования была выбрана клеточная культура трижды негативный рак молочной железы - MSF. Клетки культивировали по стандартной методике. На клетки воздействовали химиопрепаратом - доксорубицин (0,004 мг/мл), ионами  $^{12}\text{C}$  (с энергией 455,8 МэВ/нуклон), а также их комбинацией. Выживаемость клеток оценивалась по рекомендованным МАГАТЭ методикам, в частности методом МТТ-теста [1]. Результаты эксперимента представлены на рис. 1.

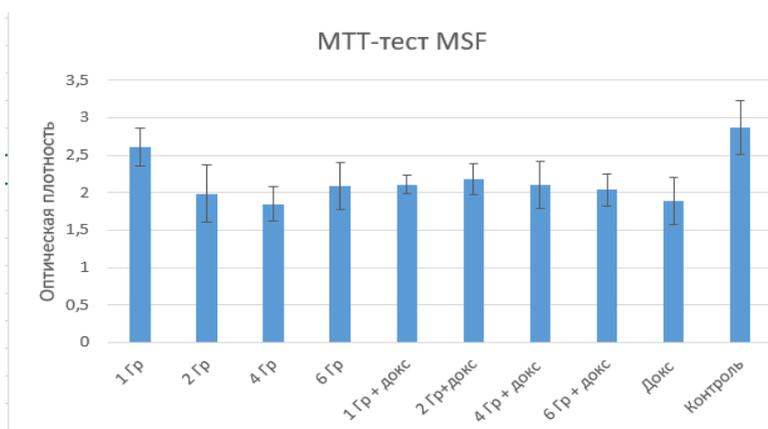


Рис. 1. Зависимость выживаемости клеток SiHa.

Видно, что наименьшее воздействие на трижды негативный рак молочной железы оказывает облучение ионами углерода в дозе 1 Гр. При повышении дозы до 2 Гр наблюдается увеличение гибели клеток. Важно отметить, что при дальнейшем повышении дозы, а также при одновременном использовании химиопрепарата не наблюдается значимых различий в выживаемости клеток линии MSF. Данный факт связан с выбранной культурой клеток, которая, как теперь показано, резистентна не только к гамма-излучению, но и к тяжелым ионам в дозах до 6 Гр.

В результатах эксперимента показано, что облучение ионами углерода в малых дозах не эффективны для лечения трижды негативного рака молочной железы.

### *Литература*

1 СТП-14.621.21.0008.12-2015 Методика определения цитотоксичности веществ МТТ-тестом на культуре нормальных клеток человека НЕК293. – Черноголовка: Институт физиологически активных веществ Российской академии наук, 2015. – 13с.

2 Яковлев Д.С., Султанова К.Т., Золотова Е.А. Оптимизация МТТ-теста для определения цитотоксичности новых химических соединений на клеточной линии MSF-7 // Волгоградский научно-медицинский журнал. – 2020. – № 1(65).

## **ВЫЯВЛЕНИЕ СИНЕРГИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ КОМБИНИРОВАННОГО ДЕЙСТВИЯ АДРОННОЙ ТЕРАПИИ И ДОКСОРУБИЦИНА НА ОПУХОЛЕВЫХ КЛЕТКАХ МОЛОЧНОЙ ЖЕЛЕЗЫ**

*А.А. Мельникова<sup>1,2</sup>, Д.А. Балдов<sup>1</sup>, Л.Н. Комарова<sup>1</sup>,  
А.Р.Муфтеева<sup>1</sup>, Е.А. Федулова<sup>1</sup>*

*<sup>1</sup> – Обнинский институт атомной энергетики – филиал  
Национального исследовательского ядерного  
университета «МИФИ», г. Обнинск, Россия*

*<sup>2</sup> – МРНЦ им. А.Ф. Цыба – филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии»  
Минздрава России, г. Обнинск, Россия*

Рак молочной железы являлся наиболее частым диагностируемым видом онкологических заболеваний в 2020 году (685 000 случаев смерти). В клинической практике возникают случаи, когда использование таргетной терапии и эндокринотерапии невозможно. Такая ситуация складывается при тройном негативном раке молочной железы, когда опухолевые клетки не экспрессируют рецепторы эстрогенов, прогестерона, HER2. Комбинированное действие ионизирующего излучения и химиотерапии часто применяется для повышения радиочувствительности опухолевых клеток. Доксорубин является противоопухолевым антибиотиком антрациклинового ряда и обладает наименьшим повреждающим действием в комбинации с другими препаратами (винкристин, циклофосфамид и др.) особенно при диагностике рака молочной железы во время беременности.

Цель исследования – выявление закономерностей комбинированного действия ионизирующего излучения и доксорубина на опухолевые клетки человека. Объектом исследования являлась клеточная линия MCF-7 (аденокарцинома протоков молочной железы человека).

Для описания выживаемости клеточных культур, а также генетических и канцерогенных эффектов совместного действия ионизирующего излучения и повреждающих факторов существует концепция синергизма [1].

В ходе работы оценивалось влияние химиопрепарата доксорубина на опухолевые клетки, а также дана оценка выживаемости клеток *in vitro* с помощью клоногенного анализа, данные которого представлены на рис. 1. Кривая 1 – выживаемость клеток после действия ионизирующего излучения (ионы  $^{12}\text{C}$ , энергия 450 МэВ/нуклон), точка 2 – действие только доксорубина, кривая 3 – теоретическая кривая, ожидаемая при независимом сложении эффектов от ионизирующего излучения и препарата доксорубина, кривая 4 – выживаемость клеток после комбинированного действия ионизирующего излучения и химиопрепарата.

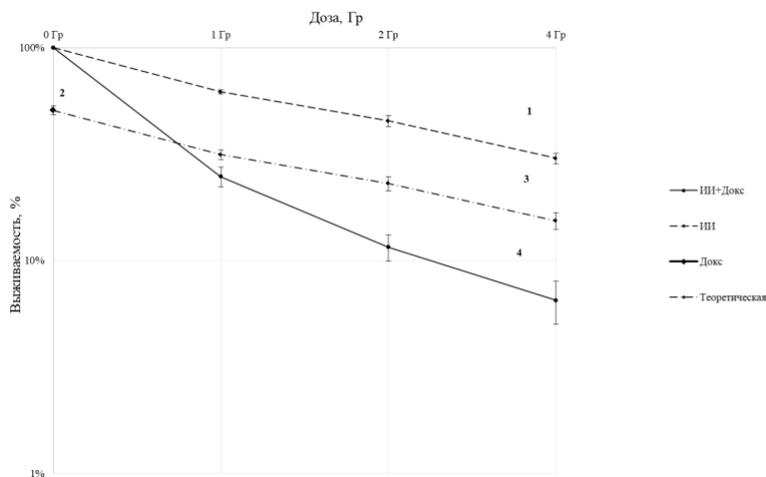


Рис. 1. Зависимость выживаемости клеток MCF-7 от дозы.

В рамках экспериментальной работы выявлены некоторые закономерности синергического взаимодействия высокоионизирующего излучения с доксорубином на культуре опухолевых клеток человека.

## *Литература*

1 Петин В.Г., Жураковская Г.П., Комарова Л.Н. Радиобиологические основы синергических взаимодействий в биосфере. – М.: ГЕОС, 2012. – 219 с.

## **ОСОБЕННОСТИ ДЛИТЕЛЬНОГО РАДИОНУКЛИДНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВ НА УЧАСТКЕ РЕКИ ИПУТЬ**

*Е.В. Морус, И.В. Булгин, И.А. Козарь, М.М. Рассказова,  
С.О. Астахина*

*Обнинский институт атомной энергетики – филиал  
Национального исследовательского ядерного  
университета «МИФИ», г. Обнинск, Россия*

Почва является одним из основных депо для загрязнения радионуклидами окружающей среды. Примером могут послужить такие долгоживущие радионуклиды как  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{131}\text{I}$ , они распространены в зоне следа ЧАЭС – Брянская, Тульская, Орловская и Калужская области [1].  $^{137}\text{Cs}$  — один из главных компонентов радиоактивного загрязнения биосферы. Интенсивно сорбируется почвой и донными отложениями, содержится в растениях и организме животных и человека [2].

Целью данной работы был радиоэкологический мониторинг на участке реки Ипать в Брянской области, расположенный в зоне следа ЧАЭС. На участке реки, протяжённостью более 70 км установлены 6 станций от с. Ущерпья до п. Вышков. Для оценки уровня радиоактивного загрязнения использовались данные разведки (показания дозиметрического прибора МКС-15Д «Снегирь»). Измерения экспозиционной дозы производились на разных расстояниях от берега реки Ипать. На каждой точке отбиралось по 9 проб почв по стандартной методике. На базе лабораторий отделения биотехнологий ИАТЭ НИЯУ МИФИ был проведен анализ агрегатного состояния почвы методом Н.И.Саввинова и определение гранулометрического состава почв [3].

Проведенный анализ показал, что при плохом агрегатном состоянии почвы в селе Ущерпье и неудовлетворительном в с.

Халеевичи и п. Вышкове в среднем значение амбиентного эквивалента дозы упало на 0,035 мкЗв/ч по сравнению с данными 2014-2019 гг., тогда как в селе Старые Бобовичи, где состояние почвы хорошее, амбиентный эквивалент дозы снизился на 0,018 мкЗв/ч.

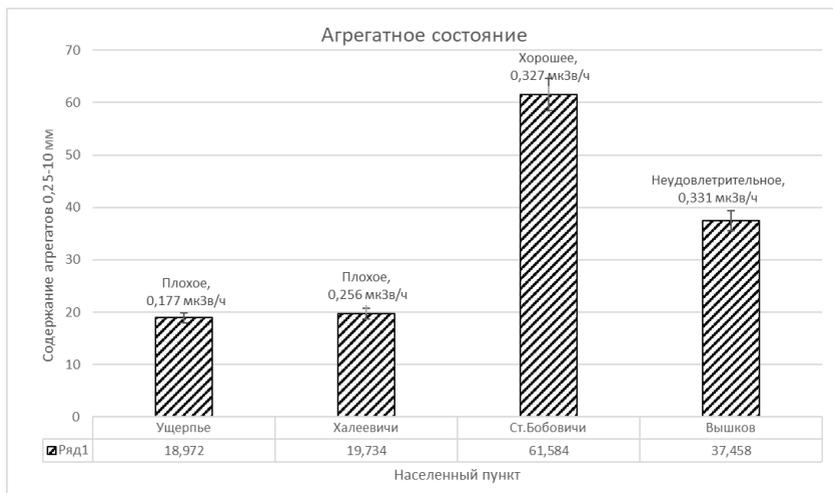


Рис. 1. Состояние почв и мощность экспозиционной дозы  $\gamma$ -излучения в пробах с разных станций вдоль р. Ипать, 2021 г.

Река Ипать, характеризуется слабо разветвлённым, извилистым руслом, круто растекается по многочисленным старицам на заболоченной пойме. Ширина русла в меженный период достигает 30-50 м., глубина 1-4 м., скорость течения не превышает 0,2 м/с. Указанные гидрологические и геологические характеристики свидетельствуют в пользу постепенного снижения амбиентного эквивалента дозы  $^{137}\text{Cs}$  в почвах прилегающих территорий к пойме р. Ипать.

### *Литература*

1 Корт М.Де, Дюбуа Г., Фридман Ш.Д. и др. Атлас загрязнения Европы цезием после Чернобыльской аварии. – Люксембург: Люксембургское бюро для официальных изданий европейских сообществ, 1998. – 71 с.

2 А.Г. Шишкин Радиоэкологические исследования грибов и дикорастущих ягод - Чернобыль, 2003.

3 Белолипецка В.И., Латынова Н.Е., Полякова Л.П., Кривова А.А. Лабораторный и полевой практикумы по почвоведению – Обнинск: ИАТЭ НИЯУ МИФИ, 2010. –56 с.

## **УРОЖАЙНОСТЬ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР ВЗАВИСИМОСТИ ОТ ЭЛЕКТРОННОГО ПРЕДПОСЕВНОГО ОБЛУЧЕНИЯ**

*К.А. Московская, Н.Н. Лой*

*ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии», г. Обнинск, Россия*

Повышение продуктивности сельскохозяйственных культур - одна из главных задач агропромышленного комплекса России. В свою очередь, обработка семян электронным облучением является возможным путём увеличения количества урожая, в результате использования потенциальных возможностей растений.

Цель исследования состояла в оценке влияния предпосевного электронного облучения на урожайность зерновых культур.

В качестве объекта исследований выбраны яровая ячмень (L.) сорта Владимир и яровая пшеница сорта Рима (*Triticum aestivum* L.). Изучаемые культуры представляют собой незаменимое сырьё, широко использующееся в производственных, технических и кормовых целях.

Облучение осуществляли в ИСЭ СО РАН (г. Томск) на широкоапертурном электронном ускорителе «Дуэт» с сетчатым плазменным катодом и выводом генерируемого пучка большого сечения в атмосферу [1]. Эксперименты проводили при единой длительности и амплитуде тока.

Зерно облучали с одной стороны в дозах 1, 2, 3, 4 и 5 кГр. Мощность дозы излучения – 100 Гр/импульс, энергия электронов – 130 кэВ (режим 1) и 160 кэВ (режим 2). При этом глубина поглощения дозы не превышала 300 мкм.

Исследования проводили при выращивании культур до периода полного созревания, в строго контролируемых условиях теплицы. Повторность опытов трехкратная, на одну повторность каждой дозы использовали не менее 10 растений. В исследовании учитывали показатели: высота растений, общая и продуктивная кустистость, количество зерен в одном колосе, масса зерна и соломы на одно растение и масса 1000 семян.

На рис. 1 показаны результаты определения биологической урожайности. Статистически значимых изменений урожайности ячменя по сравнению с контролем отмечено не было. При облучении дозой 5 кГр семян яровой пшеницы в II режиме наблюдается достоверное увеличение урожайности на 64%. Урожайность зерновых культур в остальных исследованных дозах статистически не отличалась от контроля. Количественные изменения урожайности могут происходить разными путями: за счет увеличения числа продуктивных стеблей, за счет увеличения числа зерен в колосе и массы зерна. Математическая обработка данных методом двухфакторного дисперсионного анализа показала, что и для пшеницы, и для ячменя нет влияния факторов в отдельности А (режим), Б (доза, кГр) и их совместного влияния (взаимодействие А и Б).

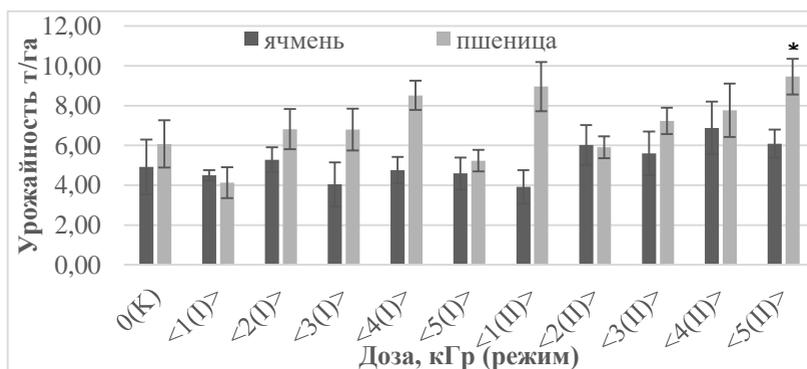


Рис. 1. Результаты определения биологической урожайности (т/га) зерновых культур в зависимости от дозы и режима электронного облучения.

Таким образом, получены новые сведения о влиянии различных режимов и доз предпосевного электронного излучения на формирование урожайности зерновых культур.

### *Литература*

1 Vorobyov M.S., Koval N.N., Sulakshin S.A. An electron source with a multiaperture plasma emitter and beam extraction into the atmosphere // Instrum. Exp. Tech. – 2015. – V.58. – No. 5. – P. 687-695.

## **ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНГИБИТОРА NOS iNOS-A В ПРОФИЛАКТИКЕ ЛУЧЕВЫХ ПАТОЛОГИЙ, ВЫЗВАННЫХ ПРОТОНАМИ С ЭНЕРГИЕЙ 140 МэВ**

*К.А. Николаев<sup>1,2</sup>, В.А. Рыбачук<sup>1</sup>, А.О. Косаченко<sup>1</sup>,  
Л.И. Шевченко<sup>1</sup>, А.А. Шитова<sup>1</sup>, О.В. Солдатова<sup>1</sup>, В.О. Сабуров<sup>1</sup>,  
С.Н. Корякин<sup>1</sup>, А.С. Филимонов<sup>1</sup>, М.В. Филимонова<sup>1</sup>*

*<sup>1</sup> – МРНЦ им. А.Ф. Цыба – филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии»*

*Минздрава России, г. Обнинск, Россия*

*<sup>2</sup> – Обнинский институт атомной энергетики – филиал  
Национального исследовательского ядерного  
университета «МИФИ», г. Обнинск, Россия*

По механизмам энергосвободения и спектру первичных молекулярных повреждений воздействие протонов на биологические ткани отличается от действия электромагнитных излучений. Поэтому предсказать противолучевую эффективность фармакологических средств по отношению к протонам невозможно, если они были разработаны для противодействия редкоизирующим излучениям. Это требует отдельных исследований.

В лаборатории радиационной фармакологии МРНЦ им. А.Ф. Цыба была разработана группа гипоксических радиопротекторов с NOS-ингибирующим механизмом действия, способных к эффективной профилактике острой лучевой болезни (ОЛБ) при воздействии  $\gamma$ -излучения, а также к профилактике осложнений лучевой терапии. Механизм

действия таких противолучевых средств потенциально может быть эффективен при воздействии протонов с энергией выше 70 МэВ.

Целью исследования является изучение эффективности ингибитора NOS iNOS-A в профилактике ОЛБ при воздействии протонов с энергией 140 МэВ.

Исследования проведены на самцах мышей F1 (СВА×С57В1/6j) по тесту 30-суточной выживаемости при тотальном равномерном облучении протонами с энергией 140 МэВ (сканирующий пучок «Прометеус», Обнинск, МРНЦ им. А.Ф. Цыба). Противолучевая эффективность соединения iNOS-A при поражении быстрыми протонами оценивалась при превентивном применении радиопротектора – 150 мг/кг, однократно, внутривенно, за 30 мин до облучения.

Сначала была исследована относительная биологическая эффективность (ОБЭ) быстрых протонов с энергией 140 МэВ пучка «Прометеус» по их способности индуцировать ОЛБ. Установлено, что, по тесту индукции лучевой болезни, ОБЭ таких протонов согласуется с данными исследований *in vitro* на клеточных культурах, и составляет 1,08 (см. [1]). В исследованиях противолучевой активности iNOS-A установлено, что этот гипоксический радиопротектор с NOS-ингибирующим механизмом действия сохраняют достаточно высокую противолучевую активность в отношении быстрых протонов – фактор изменения дозы (ФИД) составляет 1,29-1,32. Соединение также эффективно в профилактике костномозговой формы лучевой болезни.

Полученные результаты показали, что гипоксический радиопротектор iNOS-A эффективен не только при поражении  $\gamma$ -излучением, но и сохраняет высокую эффективность в отношении быстрых протонов. Целесообразно дальнейшее изучение противолучевой активности ингибитора NOS iNOS-A в отношении протонов других энергий.

### *Литература*

1 Filimonova M.V., Makarchuk V.M., Shevchenko L.I. et al. Radioprotective activity of the nitric oxide synthase inhibitor T1023.

toxicological and biochemical properties, cardiovascular and radioprotective effects // *Radiation Research*. – 2020. – V. 194. – № 5. – P. 532-543.

**РОЛЬ ГЕНОВ ARGONAUTE В РЕГУЛЯЦИИ  
ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ЖИЗНИ И  
РАДИОРЕЗИСТЕНТНОСТИ DROSOPHILA  
MELANOGASTER**

*Н.Р. Пакишина<sup>1</sup>, Е.Н. Прошкина<sup>1</sup>, Е.А. Юшкова<sup>1</sup>, Л.А. Коваль<sup>1</sup>,  
Н.В. Земская<sup>1</sup>, И.А. Соловьев<sup>1,2</sup>, М.В. Шапошников<sup>1</sup>,  
А.А. Москалев<sup>1,3</sup>*

*<sup>1</sup> – Институт биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН,  
г. Сыктывкар, Россия*

*<sup>2</sup> – Сыктывкарский государственный университет им.  
Питирима Сорокина, г. Сыктывкар, Россия*

*<sup>3</sup> – Институт молекулярной биологии им. В.А. Энгельгардта  
РАН, г. Москва, Россия*

Малые РНК играют важную регуляторную роль в различных биологических процессах. Основными белками, которые участвуют в регуляции экспрессии генов, управляемой малыми РНК, являются белки семейства Argonaute. Они задействованы во многих клеточных процессах: трансляции, транскрипции, сплайсинге, распаде малых РНК и других [1]. Кроме того, эти белки участвуют в координации ответа на повреждение ДНК. Предполагается, что малые РНК и белки их биогенеза могут играть роль в регуляции продолжительности жизни и радиорезистентности [2-4].

В настоящей работе мы изучили влияние нокдаун генов, кодирующих белки Argonaute, (*AGO1*, *AGO2*, *AGO3*, *piwi*) в нервной системе, кишечнике, мышцах и жировом теле *Drosophila melanogaster* на продолжительность жизни и выживаемость после действия  $\gamma$ -излучения в дозе 700 Гр.

В большинстве случаев тканеспецифический нокдаун генов семейства Argonaute не имел статистически значимого эффекта, либо приводил к снижению продолжительности жизни у самцов

и самок *Drosophila melanogaster*. В то же время нокдаун гена *piwi* в жировом теле и нервной системе увеличивал медианную и максимальную продолжительность жизни на 2.1–12.5% ( $p < 0.05$ ).

Воздействие  $\gamma$ -излучения в дозе 700 Гр снижало выживаемость дрозофил обоего пола во всех вариантах эксперимента. При этом нокдаун генов *Argonaute* вызывал изменение устойчивости к  $\gamma$ -излучению в дозе 700 Гр в зависимости от ткани, где экспрессия была подавлена. РНК-интерференция генов *Argonaute* в нервной системе преимущественно снижала выживаемость облученных мух по сравнению с облученным контролем без РНК-интерференции. Нокдаун этих генов в жировом теле, напротив, повышал радиорезистентность самок и, в некоторых случаях, самцов. Исключением является нокдаун *AGO1*, отвечающего за биогенез микро РНК. При его индукции в обеих тканях наблюдали повышение устойчивости к  $\gamma$ -излучению.

Проведенный анализ ПЦР показал, что тканеспецифический нокдаун гена *AGO1* и, в меньшей степени, *piwi* вызывал повышение экспрессии генов антиоксидантной защиты (*Sod1*, *Prx5*), ответа на повреждение ДНК (*Gadd45*, *spn-B*) и протеостаза (*Hsp27*, *Hsp68*) до 14.3 раз ( $p < 0.05$ ). Нокдаун генов *AGO2* и *AGO3*, напротив, подавлял активность генов стресс-ответа.

Таким образом, подавление некоторых генов *Argonaute* может продлевать жизнь или повышать радиорезистентность организма, что указывает на возможность их использования в качестве мишеней для геропротекторных или радиопротекторных вмешательств.

*Исследования выполнены в рамках государственного задания по теме «Генетические и функциональные исследования эффектов геропротекторных интервенций на модели Drosophila melanogaster» № 122040600022-1.*

### ***Литература***

1 Meister G. Argonaute proteins: Functional insights and emerging roles // Nat. Rev. Genet. – 2013. – V. 14. – P. 447-459.

2 Kraemer A., Anastasov N., Angermeier M., Winkler K., Atkinson M.J., Moertl S. MicroRNA-mediated processes are essential for the cellular radiation response // Radiat. Res. – 2011. – V. 176. – № 5. – P. 575-586.

3 Inukai S., Pincus Z., de Lencastre A., Slack F.J. A microRNA feedback loop regulates global microRNA abundance during aging // RNA. – 2018. – V. 24. – P. 159-172.

4 Proshkina E.N., Solovev I.A., Koval L.A., Moskalev A.A. The critical impacts of small RNA biogenesis proteins on aging, longevity and age-related diseases // Ageing Res Rev. – 2020. – V. 62. – P.101087.

## **ОЦЕНКА ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНЫХ УСЛОВИЙ ТРУДА РАБОТНИКОВ ЭЛЕКТРОСЕТЕВЫХ ОБЪЕКТОВ**

*С.Ю. Перов, Т.А. Коньшина*

*ФГБНУ «Научно-исследовательский институт медицины труда имени академика Н.Ф. Измерова», г. Москва, Россия*

Основным неблагоприятным фактором производственной среды для электротехнического персонала, связанного с обслуживанием и эксплуатацией высоковольтных электроустановок, таких как открытые распределительные устройства (ОРУ) и воздушные линии электропередачи (ВЛ), являются электрические (ЭП) и магнитные поля (МП) промышленной частоты (ПЧ).

В основе обеспечения электромагнитной безопасности на рабочих местах лежит соблюдение предельно допустимых уровней (ПДУ) ЭП и МП ПЧ, регламентированных санитарно-гигиеническими нормативами, что на практике реализуется путем защиты временем, расстоянием или с помощью средств защиты (коллективных или индивидуальных) [1].

Целью работы являлась оценка обеспечения безопасных условий труда персонала на рабочих местах ОРУ подстанции и ВЛ напряжением 330, 500 и 750 кВ.

Гигиеническая оценка ЭП и МП ПЧ на ОРУ напряжением 330, 500 и 750 кВ осуществлялась в соответствии с МУК

4.3.2491-09 [2]. Гигиеническая оценка ЭП и МП ПЧ проводилась в пределах границ санитарных разрывов по разработанной ФГБНУ «НИИ МТ» методике [3].

Оценка напряженности ЭП и МП ПЧ проводилась измерителем напряженности поля ПЧ ПЗ-50 (ЗАО «ТАНО», Россия) и измерителем ЭП и МП EFA-300 (Narda Safety Test Solutions GmbH, Германия). На ОРУ было проведено 5238 измерений, в зонах прохождения ВЛ – 1080 измерений.

В исследуемых точках измерений на высоте 1,7 м от поверхности земли на ОРУ напряжением 330 кВ уровни ЭП ПЧ составляли до 14,4 кВ/м, 500 кВ – до 18,7 кВ/м и 750 кВ – до 30,8 кВ/м. Результаты измерений в зонах прохождения ВЛ напряжением 330 кВ показали, что максимальные уровни ЭП ПЧ соответствовали 8,5 кВ/м, 500 кВ – 11,3 кВ/м и 750 кВ – 10,2 кВ/м.

При гигиенической оценке на ОРУ напряжением 330 кВ при нагрузке, приравненной к номинальной, уровни МП ПЧ не превышали 54,15 мкТл, на ОРУ 500 кВ – 17,79 мкТл и ОРУ 750 кВ – 9,17 мкТл. В зонах прохождения ВЛ напряжением 330 кВ уровни МП ПЧ достигали 12,1 мкТл, ВЛ 500 кВ – 14,6 мкТл и ВЛ 750 кВ – 16,2 мкТл.

По результатам гигиенической оценки на электросетевых объектах сверхвысокого напряжения наблюдалось превышение максимального ПДУ ЭП ПЧ [1], а уровни МП ПЧ были ниже ПДУ за всю рабочую смену. Допустимое время пребывания электротехнического персонала на ОРУ 330 кВ без средств индивидуальной защиты (СИЗ) от ЭП ПЧ составляет не более 1,5ч, 500 кВ – не более 42 мин, тогда как выполнение работ на ОРУ напряжением 750 кВ без СИЗ запрещается [1].

Допустимое время проведения работ в зонах прохождения ВЛ для различных классов напряжения составляет от 2,4ч до 4ч. В то же время использование СИЗ позволяет персоналу находиться на рабочих местах без ограничений по времени за рабочую смену и снижает негативное влияние ЭП ПЧ на здоровье человека за счет обеспечения уровней ниже ПДУ.

## *Литература*

1 СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. – М.: Центрмг, 2021. – 736 с.

2 МУК 4.3.2491-09 Гигиеническая оценка электрических и магнитных полей промышленной частоты (50 Гц) в производственных условиях. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. – 24 с.

3 Рубцова Н.Б., Токарский А.Ю., Лазаренко Н.В., Самусенко Т.Г. Методические принципы гигиенической оценки электромагнитных полей промышленной частоты на рабочих местах персонала электросетевых объектов и их реализация // Бюллетень Восточно-Сибирского научного центра Сибирского отделения РАМН. – 2006. – №3. – С.7-12.

## **ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ БАЗОВЫХ СТАНЦИЙ СИСТЕМ СОТОВОЙ СВЯЗИ СТАНДАРТА 5G NR/IMT-2020 НА ПОКАЗАТЕЛИ БЕЛОЙ КРОВИ КРЫС**

*С.Ю. Перов<sup>1</sup>, Р.З. Лифанова<sup>1,2</sup>*

*<sup>1</sup> – ФГБНУ «Научно-исследовательский институт медицины труда имени академика Н.Ф. Измерова», г. Москва, Россия*

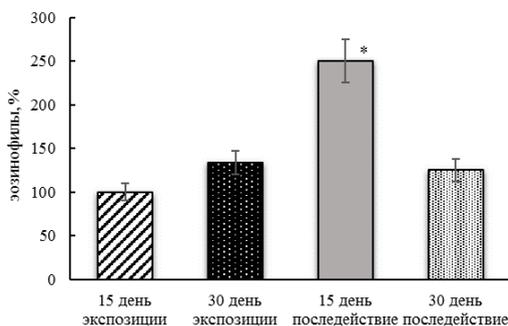
*<sup>2</sup> – ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов», г. Москва, Россия*

В связи с широким распространением беспроводных технологий связи, являющихся потенциальными источниками электромагнитных полей (ЭМП), наблюдается увеличение экспозиции населения, что может вызывать биологические эффекты ЭМП.

Целью данного исследования являлась изучение эффектов ЭМП, создаваемых базовыми станциями систем сотовой связи стандарта 5G NR/IMT-2020, на показатели белой крови крыс линии Wistar в количестве 48 животных. Экспериментальных животных подвергали круглосуточному мультиспектральному воздействию ЭМП с плотностью потока энергии (ППЭ) 500  
292

мкВт/см<sup>2</sup> на частотах 3,5; 28; 37 ГГц в течение месяца с параллельным контролем, а затем животные находились еще месяц в тех же условиях, но без экспозиции. Лейкоцитарную формулу определяли путем подсчета клеток белой крови по методу Филиппченко в окрашенных по Паппенгейму мазках [1] с использованием микроскопа Levenhuk MED 10 (Levenhuk, Inc., США). Статистическая обработка данных проводилась по критерию Данна.

На 30 день экспозиции отмечалась тенденция к увеличению процентного содержания эозинофилов в крови животных, подвергнутых воздействию ЭМП, а на 30 день последействия – тенденция к восстановлению до уровня контроля. Установлено статистически достоверное повышение процентного содержания эозинофилов на 15 день после прекращения воздействия в крови животных, подвергнутых воздействию ЭМП (рис. 1). Статистически достоверных изменений относительно контроля со стороны остальных показателей лейкоцитарной формулы не выявлено.



\* –  $p < 0,05$

Рис. 1. Процентное содержание эозинофилов в крови экспериментальных животных (нормирование на контрольную группу).

Увеличение процентного содержания эозинофилов в крови крыс, подвергнутых воздействию ЭМП с ППЭ 500 мкВт/см<sup>2</sup> на частотах 3,5; 28; 37 ГГц может свидетельствовать об изменении иммунного статуса организма, что подтверждается

исследованиями [2]. Стремление к восстановлению до процентного содержания форменных элементов крови группы мнимой экспозиции указывает на отсутствие устойчивого эффекта рассматриваемого фактора, а также возможное восстановление иммунного статуса после прекращения воздействия ЭМП изучаемых характеристик.

### *Литература*

1 Методы ветеринарной клинической лабораторной диагностики: Справочник / Под. ред. проф. И.П. Кондрахина. – М.: КолосС, 2004. – 520 с.

2 Johansson O. Disturbance of the immune system by electromagnetic fields-A potentially underlying cause for cellular damage and tissue repair reduction which could lead to disease and impairment // Pathophysiology: the official journal of the International Society for Pathophysiology. – 2009. – V. 16. – P. 157-77.

## **ОТВЕТНАЯ РЕАКЦИЯ ДОЖДЕВЫХ ЧЕРВЕЙ *E. FETIDA* НА ВОЗДЕЙСТВИЕ РЕДКО- И ПЛОТНОИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ: ВЫЖИВАЕМОСТЬ, РЕПРОДУКТИВНАЯ СПОСОБНОСТЬ, ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ ЦЕЛОМОЦИТОВ**

*А.В. Рыбак, Т.А. Майстренко*  
*Институт биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН,*  
*г. Сыктывкар, Россия*

Одними из потенциально опасных загрязняющих веществ в почве могут быть естественные радионуклиды, являющиеся источником редко- и плотноионизирующих излучений ( $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ ) [1], а значит способных индуцировать спектр биологических реакций у почвенных организмов.

Используемых в качестве объекта исследования дождевых червей *Eisenia fetida* культивировали в почвенном субстрате (универсальный грунт: речной песок = 5: 1), нейтрализованном до pH 6.2, T = 25 °C. Почвенных беспозвоночных подвергали

хроническому воздействию искусственной среды (62 дня), содержащего в составе природную радиоактивную почву (пос. Водный, Республика Коми) с повышенными концентрациями естественных радионуклидов семейства  $^{238}\text{U}$  на 30, 70 и 100% (варианты РП30, РП70, РП100 соответственно).

Биологические эффекты хронического радиационного воздействия оценивали по изменению автофлуоресценции целомоцитов, являющихся частью иммунной системы и реагирующих на загрязнение окружающей среды [2], *E. fetida* с применением проточно-цитометрического анализа: 10000 событий, автофлуоресценция FITC (лазер – 488 нм, канал флуоресценции – 525/40 ВР). Изучение адаптивного ответа половозрелых и ювенильных особей *E. fetida*, ранее в течение двух месяцев экспонированных в загрязненной почве, осуществляли после дополнительного  $\gamma$ -облучения в дозе 20 Гр (установка «Исследователь»,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $P_\gamma = 0.75$  Гр/мин) по выживаемости и репродуктивной способности через 28 и 56 дней после острого воздействия [3]. Также определяли морфометрические параметры коконов и выводимость из коконов червей F1.

По результатам проточно-цитометрического анализа выявлена тенденция к дифференциации целомоцитов после хронического радиационного воздействия, особенно для варианта РП100 с наибольшей активностью радионуклидов в почве. Анализ выживаемости половозрелых дождевых червей *E. fetida* после провокационного облучения в дозе 20 Гр выявил большую радиочувствительность особей в вариантах РП30 ( $p = 0.0092$ ) и РП70 ( $p = 0.0077$ ) относительно контрольных особей, облученных в той же дозе. Выживаемость облученных ювенилов *E. fetida* также оказалась достоверно ниже в вариантах РП30 ( $p < 0.0001$ ) и РП70 ( $p = 0.0014$ ), однако в случае РП100 различия в ответной реакции недостоверны ( $p = 0.0656$ ). В ходе эксперимента после дополнительного облучения в дозе 20 Гр отмечены изменения репродуктивной способности дождевых червей *E. fetida*, длительно обитавших в загрязнённой радионуклидами почве.

Таким образом, хроническое воздействие тяжёлых естественных радионуклидов, – главным образом,  $\alpha$ -эмиттеров, – индуцирует выраженные ответные реакции у дождевых червей *E. fetida*, а также формирует повышенную чувствительность к острому  $\gamma$ -излучению.

### *Литература*

1 Алексахин Р.М. Радиоактивное загрязнение почвы как тип их деградации // Почвоведение. – 2009. – № 12. – С. 1487-1498.

2 Du L., Wu A., Liu G., Li. H., Yu B., Zhen H., Wang X. Green autofluorescence eleocytes from earthworm as a tool for detecting environmental iron pollution // Ecological Indicators. – 2020. – N. 108. – P. 1-7. Article number: 105695.

3 Suzuki J., Egami N. Mortality of the earthworms, *Eisenia foetida*, after  $\gamma$ -irradiation at different stages of their life history // J. Radiat. Res. – 1983. – N. 24. – P. 209-220

## **БАЗА ДАННЫХ ДЛЯ УЧАСТКА РЕКИ ИПУТЬ В ЗОНЕ РАДИОНУКЛИДНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ**

*С.Ю. Суворова, А.К. Лапенко, М.М. Рассказова  
Обнинский институт атомной энергетики – филиал  
Национального исследовательского ядерного  
университета «МИФИ», г. Обнинск, Россия*

Преимущественно радиоактивное загрязнение после аварии на Чернобыльской АЭС сформировалось на западном, северо-западном и северо-восточном направлениях от станции, захватив бассейны Днепра [1], поэтому проведение экологического мониторинга дает возможность оценить состояние речной биоты, находящейся под воздействием хронического радионуклидного загрязнения, и в перспективе предугадать изменения среды на основе динамики изменения изучаемых показателей за несколько лет. Материалы исследования были отобраны в ходе водной экспедиции на участке реки Ипуть Брянской области. В исследуемый участок

вошли: с. Ущерпье, д. Халеевичи, с. Катичи, с. Старые Бобовичи, с. Перевоз, п. Вышков.

Наряду с проведением мероприятий по биомониторингу и биотестированию необходимо применение методов систематизации информации о загрязнении территорий и его влиянии на окружающую среду. Создание базы данных (БД) обеспечивает возможность структурированно и компактно хранить данные, полученные в ходе экспедиций, установленных с 2012 года на данном участке реки, анализировать состояние водной биоты в зависимости от доз излучения и удельной активности радионуклидов.

В состав БД входят материалы для хранения и накопления данных экспедиционных и лабораторных исследований по видовому разнообразию зообентоса исследуемого участка реки, показателей удельной активности  $^{137}\text{Cs}$  в почве и тканях растений, фертильности прибрежных сосудистых растений и зарегистрированные мощности амбиентного эквивалента дозы в точках исследования. БД является реляционной: структурированная информация хранится в таблицах, которые связаны между собой ключевыми полями. В таблицах заключена информация, отражающая систематическую классификацию: приведен список русских и латинских названий изученных видов растений и макрозообентоса. Возможность пополнять данные базы при выполнении дальнейших исследований и сравнивать их с имеющимися данными отражает мобильность БД.

В БД зафиксированы 36 таксономических групп макрозообентоса, определенных в ходе мониторинга. Анализ видового разнообразия показал, что большинство представителей доминирующих групп относятся к типу моллюски, поскольку они приурочены к растительному субстрату. Сравнение материалов биомониторинга 2021 года с данными прошлых лет указывает на тенденцию к смене доминирующих таксономических групп. За последние 5 лет такие виды как водяной скорпион (личинка) (*Nepa cinerea*), водяной ослик (*Asellus aquaticus*) сохраняются в биоценозах, но их встречаемость и обилие снизилось. *Herpobdella octoculata*

заменила *Haemopsis sanguisuga* L., в качестве доминирующего вида. Наиболее уязвимыми являются малочисленные виды, подтверждением этого служит отсутствие в пробах последней экспедиции личинок и имаго крупного жука-плавунца *Cybister lateralimarginalis*. Данный вид характерен для южных территорий, занесён в Красные книги нескольких регионов нашей страны.

Созданная база данных позволяет наглядно оценить количество видов, их распространённость в соответствующих точках пробоотбора, смену видового состава на протяжении нескольких лет. Дальнейшие исследования видового разнообразия реки Ипуть позволят расширить базу данных и отследить смену доминант в водной биоте.

### *Литература*

1 Хвалец О.Д., Применение методов радиоэкологических исследований в процессе преподавания дисциплин экологического профиля на основе базы данных по радиоэкологическому состоянию водных систем бассейна р. Припять в пределах Брестской области Республики Беларусь // Весці БДПУ. Серыя 3. Фізіка. Матэматыка. Інфарматыка. Біялогія. Геаграфія. – 2007. – № 2(52). – С. 63-66.

## **КУПОЛООБРАЗНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ СИНЕРГИЗМА ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ ПРИ СОВМЕСТНОМ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ С СОЛЯМИ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ**

*М.С. Толкаева, В.Г. Петин*

*МРНЦ им. А.Ф. Цыба – филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии»  
Минздрава России, г. Обнинск, Россия*

Синергическое взаимодействие означает, что суммарный эффект действия двух агентов превышает независимую сумму действия каждого агента в отдельности. Этот эффект позволяет снизить дозы и концентрации физических и химических агентов при одновременном действии лучевой терапии и

противоопухолевых препаратов, содержащих тяжёлые металлы. С другой стороны, для экологии синергический эффект приводит к более тяжёлым последствиям при многофакторных взаимодействиях

Стоит отметить, что, из многих радиобиологических исследований, посвященных изучению влияния мощности дозы ионизирующего излучения, интенсивности УФ света, температуры или концентрации химических соединений на различные биологические объекты, следует, что с уменьшением интенсивности этих агентов снижается биологическая эффективность главным образом за счет процессов восстановления, протекающих во время самого облучения. Однако такая зависимость не свойственная для синергических взаимодействий [1].

Целью проведённого исследования является выявление зависимости синергического взаимодействия солей тяжёлых металлов и гипертермии от воздействующей температуры.

Объектом экспериментальных исследований являлись диплоидные дрожжевые клетки *Saccharomyces cerevisiae* (штамм XS800), на которых в стационарной стадии роста воздействовали растворами йодида свинца и дихромата калия различных концентраций в комбинации с гипертермией (43–56 °С). Суспензию клеток помещали в растворы солей металлов непосредственно перед облучением ионизирующим излучением или воздействием гипертермии. Также клетки подвергали раздельному действию солей тяжёлых металлов, ионизирующего излучения и гипертермии. После чего строили кривые выживаемости и кривые зависимости синергизма от температуры или концентрации растворов солей тяжёлых металлов, после подсчёта коэффициента синергического взаимодействия (k).

Все полученные кривые зависимости коэффициента синергического взаимодействия от температуры носят куполообразный характер. Синергизм сначала плавно увеличивается с увеличением температуры, достигая максимума, после чего снижается.

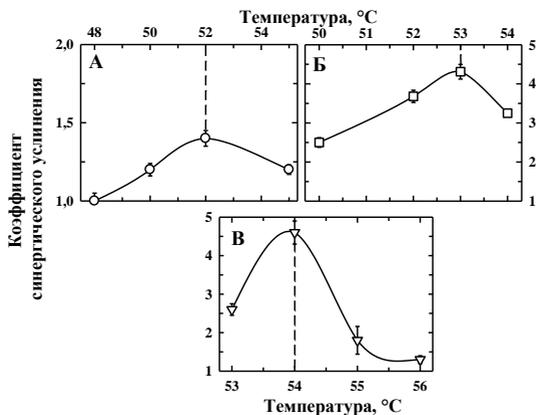


Рис. 1. Зависимость коэффициента синергического усиления от температуры при её одновременном действии с PbI<sub>2</sub> (А–1 мг/мл; Б–2,5 мг/мл; В–5 мг/мл) на выживаемость диплоидных дрожжевых клеток *Saccharomyces cerevisiae* (штамм XS800).

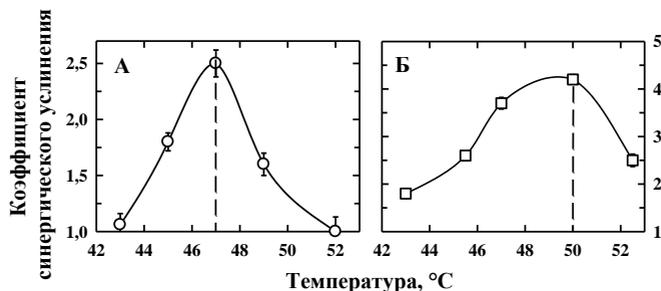


Рис.2. Зависимость коэффициента синергического усиления от температуры при её одновременном действии с K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> (А–0,5 мг/мл; Б–5 мг/мл) на выживаемость диплоидных дрожжевых клеток *Saccharomyces cerevisiae* (штамм XS800).

Теоретическая модель синергизма позволяет произвести интерпретацию полученных результатов. При постоянном значении концентрации раствора, происходит постепенное увеличение субповреждений от гипертермии в связи с ростом температуры. Постепенно достигается равенство субповреждений от каждого агента и максимум синергизма. Дальнейшее увеличение температуры приводит к снижению

синергизма из-за уменьшения количества субповреждений, продуцируемых солями тяжёлых металлов, в связи с недостаточным временем воздействия. Полученный результаты свидетельствует о существовании оптимального соотношения агентов, при котором наблюдается максимальный синергический эффект, любое отклонение от которого приводит к уменьшению синергического эффекта.

### *Литература*

1 Петин В.Г., Жураковская Г.П., Комарова Л.Н. Радиобиологические основы синергического взаимодействия в биосфере. – М.: ГЕОС, 2012. – 219 с.

## **ВЛИЯНИЯ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ АНТИМУТАГЕННЫХ СОЕДИНЕНИЙ НА УСТОЙЧИВОСТЬ *DROSOPHILA MELANOGASTER* К ГАММА-ОБЛУЧЕНИЮ**

*Н.С. Уляшева<sup>1</sup>, М.В. Шапошников<sup>1</sup>, Е.Н. Прошкина<sup>1</sup>,  
А.А. Москалев<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup> – *Институт биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН,  
г. Сыктывкар, Россия*

<sup>2</sup> – *Институт молекулярной биологии им. В.А.  
Энгельгардта РАН, г. Москва, Россия*

Ионизирующие излучения (ИИ) приводит к нестабильности генома и эпигенетическим изменениям. В результате действия ИИ возникают повреждения ДНК, образование промежуточных продуктов репарации и мутации [1]. На организменном уровне накапливающиеся повреждения и нарушения структуры генома приводят к резкому ухудшению состояния здоровья, истощению физиологических функций и преждевременной гибели организма. Поэтому повышение радиорезистентности организма связано с усилением работы систем защиты, восстановления и устранения повреждений на разных биологических уровнях [2].

Целью данной работы является изучение влияния эноксацина, ретиноевой кислоты (РК), KN-93 и UNC-0646 на устойчивость *Drosophila melanogaster* к  $\gamma$ -облучению. Данные

соединения действуют на компоненты сигнального пути, участвующего в ответе на повреждение ДНК и репарацию ДНК преимущественно через эпигенетические механизмы.

В настоящей работе мы оценивали выживаемость особей *Drosophila melanogaster* после острого  $\gamma$ -облучения (120 Гр и 800 Гр) и предварительного нанесения изучаемых веществ на питательную среду в течение 15 сут. Установлено, что РК и эноксацин не приводили к статистически значимым изменениям в выживаемости самцов и самок после  $\gamma$ -облучения в дозе 120 Гр. Обработка соединениями KN-93 и UNC-0646 в сочетании с такой же дозой облучения снизила медианную и максимальную выживаемость особей до 5.1 % ( $p < 0.001$ ). Сочетание изучаемых веществ и  $\gamma$ -облучения в дозе 800 Гр приводило к снижению медианной и максимальной выживаемости самцов и самок на 15.4-26.9 % ( $p < 0.0001$ ). Наибольший отрицательный эффект отмечался у самцов при обработке UNC-0646. Ранее было показано повышение устойчивости мух к окислительному стрессу [3]. Но в нашей работе все изучаемые вещества, напротив, обладали радиосенсибилизирующим действием.

Для выяснения эффектов исследуемых соединений на экспрессию генов ответа на повреждение ДНК (*D-Gadd45*, *Rrp1*, *mei-9*, *mus210*, *BrcA2*, *spn-B*, *okr*, *Ku80*) и других генов стресс-ответа (*Sod1*, *Prx5*, *Hsp27*, *Hsp68*, *Atg1*, *Atg5*, *Irel*) мы провели ОТ-ПЦР в реальном времени. У самцов исследуемые соединения в основном приводили к снижению экспрессии генов, вовлеченных в контроль репарации ДНК и ответа на стресс в 1.2-5.7 раза ( $p < 0.05$ ). У самок они в ряде случаев повышали активность генов контроля ДНК *mus210*, *mei-9*, *spn-B*, *okr*, а также генов протеостаза *Hsp27*, *Hsp68*, *Atg5* в 1.3-4.0 раза ( $p < 0.05$ ). То есть, эффект от веществ зависел от пола животных.

Таким образом, требуется проведение дополнительных исследований, чтобы выяснить механизмы, лежащие в основе радиосенсибилизирующего действия эноксацина, РК, KN-93 и UNC-0646.

*Исследования выполнены в рамках государственного задания по теме «Генетические и функциональные исследования*

*эффектов геронпротекторных интервенций на модели Drosophila melanogaster» № 122040600022-1.*

### ***Литература***

1 Poetsch A.R. The genomics of oxidative DNA damage, repair, and resulting mutagenesis // *Comput Struct Biotechnol J.* – 2020. – V. 18. – P. 207–219.

2 Cortese F. et al. Vive la radioresistance: converging research in radiobiology and biogerontology to enhance human radioresistance for deep space exploration and colonization // *Oncotarget.* – 2018. – V. 9. – №. 18. – P. 14692–14722.

3 Gioia U. et al. Pharmacological boost of DNA damage response and repair by enhanced biogenesis of DNA damage response RNAs // *Scientific reports.* – 2019. – V. 9 – №. 1. – P. 6460.

## **ГАММА-ФОН СРЕДЫ В ПЕРИОД МАГНИТНЫХ БУРЬ И СКЛОННОСТЬ КРОВИ К ГЕМОСТАЗУ У БОЛЬНЫХ АРТЕРИАЛЬНОЙ ГИПЕРТЕНЗИЕЙ С РАЗЛИЧНЫМ ПСИХОСОМАТИЧЕСКИМ СТАТУСОМ**

*Г.А. Усенко<sup>1</sup>, Д.В. Васендин<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup> – ФГБОУ ВО НГМУ, г. Новосибирск, Россия*

*<sup>2</sup> – ФГБОУ ВО СГУГиТ, г. Новосибирск, Россия*

Результаты исследования продемонстрировали значительное повышение  $\gamma$ -фона внешней среды за сутки (-1) до начала магнитной бури (МБ), а возвращение к начальным значениям было отмечено на (+4) сутки от начала МБ. Во время МБ у здоровых обследованных и у пациентов установлено достоверное уменьшение времени свёртывания крови и сокращение времени в тесте на активное парциальное тромбопластиновое время (АПТВ). Разделение по темпераменту показало, что в группах здоровых и больных высоко (ВТ) и низкотрвожных (НТ) холериков (Х) сокращение времени свертывания крови (ВСК) и АПТВ регистрировались за сутки (-1), в группах ВТ(НТ) Ст в первые (0) сутки, а в группах ВТ(НТ) Фл и Мх на вторые сутки от начала МБ (+1).

Повышение скорости свёртывания крови и сокращение времени в АПТВ у ВТ и НТ здоровых лиц в период МБ отмечен нами в более раннем исследовании, но без разделения групп по темпераменту. Если исходить из полученных данных и наших работ, то повышение скорости свёртывания крови и сокращение времени формирования её сгустка в АПТВ-тесте могло свидетельствовать о повышении готовности крови к гемостазу в период МБ и у здоровых ВТ(НТ) лиц, и у больных АГ соответствующего темперамента. У обследованных пациентов с АГ и здоровых ВТ(НТ) лиц на фоне проведения антигипертензивной терапии выявлено увеличение готовности крови к свёртыванию (по времени свёртывания крови и формированию ее сгустка в тесте АПТВ) в последовательном темпераментальном ряду от меланхоликов к холерикам: ВТ и НТ М – Ф – С – Х. С повышением значений мощности  $\gamma$ -фона (в границах установленной нормы) у пациентов и здоровых обследованных скорость свертывания крови (по ВСК) и формирования кровяного сгустка в тесте возрастала: на 2-й день от начала магнитной бури у ВТ(НТ) Ф и М, в 1-й день МБ у ВТ(НТ) С и за сутки до МБ у ВТ(НТ) Х, что сочеталось с различиями в превалировании реакции симпатического отдела ВНС и ГГНС (по кортизолу) у С и Х лиц, и превалированием РААС (по альдостерону) и парасимпатического отдела ВНС у М и Ф. Это, а также отсутствие статистически значимых отличий в значениях АПТВ, ВСК по данным проведенного корреляционного анализа с таковыми у здоровых обследованных соответствующих темпераментов, свидетельствуют в пользу преимущественной целесообразности использования целенаправленного на купирование психосоматических особенностей пациентов с АГ лечения, что согласуется с другими исследованиями [1, 2].

### *Литература*

1 Усенко Г.А., Усенко А.Г., Васендин Д.В. Особенности утилизации кислорода организмом больных артериальной гипертензией в дни магнитных бурь в зависимости от психосоматического статуса и лечения // Российский

физиологический журнал им. И.М. Сеченова. – 2015. – №4 (101). – С. 123 – 133.

2 Усенко Г.А., Усков А.В., Макарова Л.И., Величко Н.П. и др. Магнитные бури, гамма-фон среды и скорость сенсомоторной реакции у больных артериальной гипертензией в зависимости от темперамента и терапии // Кардиоваскулярная терапия и профилактика. – 2019. – №18 (S1). – С. 158.

## **УТИЛИЗАЦИЯ КИСЛОРОДА ОРГАНИЗМОМ БОЛЬНЫХ АРТЕРИАЛЬНОЙ ГИПЕРТЕНЗИЕЙ В ПЕРИОДЫ ГЕОМАГНИТНЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ**

*Г.А. Усенко<sup>1</sup>, Д.В. Васендин<sup>2</sup>, К.В. Удилова<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup> – ФГБОУ ВО НГМУ, г. Новосибирск, Россия*

*<sup>2</sup> – ФГБОУ ВО СГУГиТ, г. Новосибирск, Россия*

Цель работы: изучить особенности утилизации кислорода тканями мужчин, страдающих АГ-II, 2 степени, риск 3 с различным психосоматическим статусом в период геомагнитных возмущений.

В период геомагнитных возмущений у больных гипертонической болезнью мужчин отмечается увеличение минутного объема кровотока, минутного объема дыхания, минутного объема потребления кислорода, что сочетается со снижением утилизации кислорода тканями (по коэффициенту использования кислорода тканями и коэффициенту утилизации кислорода). По изученным показателям дебют реакции организма у холериков отмечается за сутки и в 1-й день магнитной бури, у сангвиников в 1 и 2 день, у флегматиков на 3-4, а у меланхоликов и 4-5 день магнитной бури, что обусловлено различиями в психосоматическом статусе. В период магнитной бури происходило снижение утилизации кислорода тканями, которое сочеталось с повышением мощности  $\gamma$ -фона среды за сутки и в 1-е сутки геомагнитных возмущений, а также на 3-4 от начала бури. Выраженность негативных изменений по коэффициенту утилизации кислорода тканями возрастает в последовательном ряду: X>C>Ф>M. У высокотревожных лиц

величина коэффициента утилизации кислорода тканями во все дни исследования ниже, чем у низкотревожных лиц соответствующего темперамента.

«Задолженность» тканей (в т.ч. мозга и миокарда) по кислороду в период геомагнитных возмущений приводит к переходу организма на более напряженный (по увеличению минутных объемов крови и дыхания и потребления  $O_2$ ), но энергетически менее выгодный (по снижению коэффициента утилизации и коэффициента использования кислорода тканями) уровень функционирования. Известно, что в период магнитных бурь возрастает свободно-радикальное перекисное окисление липидов мембран клеток [1]. В нашем исследовании фактором, активирующим процессы перекисного окисления липидов, могло быть повышение мощности гамма-фона среды. Вероятно, повышение перекисного окисления липидов в эти дни сказалось на снижении функции мембран эндотелия капилляров и эритроцитов, которое, в свою очередь, снизило транспорт кислорода в системе «эритроцит–эндотелий–клетка». И это тем более убедительно, если учесть, что снижение гамма-фона среды сочеталось с ростом коэффициента утилизации кислорода тканями. Это тем более вероятно, если принять во внимание, что вторая «волна» подъема мощности  $\gamma$ -фона среды развивалась уже при снижении напряженности магнитного поля Земли, на что в эти дни в меньшей степени реагируют симпатотоники холерики и сангвиники, а в большей степени парасимпатотоники пациенты флегматики и меланхолики. В основе различий ответной реакции в период геомагнитных возмущений также лежат особенности психосоматического статуса.

### *Литература*

1 Усенко Г.А., Васендин Д.В., Усенко А.Г., Величко Н.П. и др. Взаимосвязь между активностью липопротеинассоциированной фосфолипазы А2 и содержанием липидов в крови у больных артериальной гипертензией // Профилактическая и клиническая медицина. – 2015. - №1 (54). – С. 62-68.

## ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИНДУКЦИИ АБЕРРАЦИЙ ХРОМОСОМ В КЛЕТКАХ СНО-К1 ПОСЛЕ РАЗДЕЛЬНОГО И СОЧЕТАННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРОТОНОВ И ИОНОВ УГЛЕРОДА

*П.А. Усольцева<sup>1,2</sup>, М.В. Трошина<sup>2</sup>, Е.В. Корякина<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup> – Обнинский институт атомной энергетики – филиал  
Национального исследовательского ядерного  
университета «МИФИ», г. Обнинск, Россия*

*<sup>2</sup> – МРНЦ им. А.Ф. Цыба – филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии»  
Минздрава России, г. Обнинск, Россия*

В последнее время использование протонов и ионов является ведущим методом в радиотерапии. Большой интерес представляют исследования биологических эффектов, возникающих в клетках при раздельном и сочетанном воздействии ионизирующих частиц, что обусловлено возможностью появления синергического, антагонистического, аддитивного и независимого эффектов.

В настоящей работе исследовали закономерности индукции aberrаций хромосом клеток китайского хомячка линии СНО-К1 после раздельного и сочетанного воздействия протонов и ионов углерода с низкой линейной передачей энергии (ЛПЭ). Облучение клеток осуществляли в стационарной фазе роста культуры (7–10 сутки после пересева). Монослои клеток облучали ионами углерода (ЛПЭ ~10–12 кэВ/мкм) и протонами (ЛПЭ ~0,8–1 кэВ/мкм) на плато кривой Брэгга (где при радиотерапии опухолей располагаются здоровые ткани). Диапазоны доз, в которых проводили облучение протонами и ионами углерода, составили 0,5–3 Гр и 0,5–2,5 Гр соответственно. Эффективность сочетанного ионно-протонного воздействия исследовали в суммарной дозе 0,5 Гр-ОБЭ (0,27 Гр ионов и 0,13 Гр протонов).

После облучения флаконы транспортировали в лабораторию (при температуре тающего льда ~0–4 °С), переносили во флаконы со свежей питательной средой и выдерживали в СО<sub>2</sub>-инкубаторе (37°С, 5% СО<sub>2</sub>) в течение 24–25 часов. Препараты

метафазных хромосом первого митоза готовили стандартными методами согласно международным принятым протоколам. При анализе учитывали весь спектр aberrаций хромосом (АХ), видимых при окрашивании по Гимза. На каждую дозовую точку анализировали по 400–500 метафаз. Проверку статистической гипотезы о различиях между сочетанным и независимым действием проводили с использованием t-критерия Стьюдента и критерия Крамера-Уэлча (при уровне значимости 0,05).

Дозовые кривые суммарной частоты АХ в клетках СНО-К1 после раздельного облучения протонами и ионами углерода характеризовались линейно-квадратичными зависимостями, при этом более эффективными в индукции АХ были ионы углерода. Из полученных дозовых кривых определяли уровни частоты АХ, соответствующие таким дозам протонов и ионов, которые использовали при их сочетанном воздействии.

Эффективность сочетанного воздействия ионов углерода и протонов сравнивали с эффектом, ожидаемым из их независимого действия (рис. 1). Ожидаемая частота АХ из независимого действия ионов и протонов составила 13,6 АХ/100 клеток, наблюдаемая при сочетанном воздействии – 16,6 АХ/100 клеток, при этом различия значимы ( $p=0,05$ ). Коэффициент эффективности сочетанного воздействия составил 1,22, то есть проявляется синергизм.

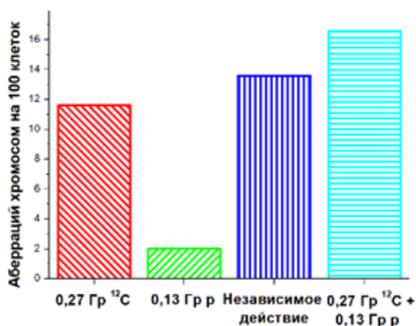


Рис. 1. Частота aberrаций хромосом в клетках китайского хомячка СНО-К1 при независимом и сочетанном действии ионов углерода и протонов.

Полученные результаты позволяют предположить, что синергический эффект по индукции АХ в клетках СНО-К1 будет проявляться и при более высоких уровнях доз сочетанного воздействия ионов углерода и протонов. Это необходимо учитывать при проведении радиотерапии опухолей, так как за счет эффекта синергизма повреждение здоровых тканей пациента может возрастать.

## **ВЫЯВЛЕНИЕ ЭФФЕКТОВ КОМБИНИРОВАННОГО ДЕЙСТВИЯ ОБЛУЧЕНИЯ И ФУМАРАТА НА КЛЕТКАХ НЕЙРОБЛАСТОМЫ**

*Е.А. Федулова, А.Р. Муфтеева, Е.Р. Выпова, А.А. Мельникова,  
Д.А. Балдов, Л.Н. Комарова, Т.В. Уланова, С.В. Шкавров  
Обнинский институт атомной энергетики – филиал  
Национального исследовательского ядерного  
университета «МИФИ», г. Обнинск, Россия*

Нейробластома – недифференцированная злокачественная опухоль, происходящая из эмбриональных нейробластов симпатической нервной системы. Нейробластома является самой распространенной формой рака экстракраниальной локализации у детей раннего возраста. Составляет 14% от общего количества злокачественных новообразований у детей. Лечение нейробластомы может проводиться с использованием химиотерапии, лучевой терапии и оперативных вмешательств. Тактику лечения определяют с учетом стадии болезни.

Фумарат является интермедиатом в цикле Кребса. Он образуется при окислении сукцината ферментом сукцинатдегидрогеназой и далее превращается в малат ферментом фумаразой.

Цель исследования – оценить комбинированное действие фумарата и гамма-облучения на клетки нейробластомы. Объектом исследования являлась клеточная линия нейробластомы. Культивирование клеток осуществлялось стандартным методом.

В ходе работы оценивалось токсическое влияние фумарата на

опухолевые клетки МТТ-методом, а также оценена выживаемость клеток *in vitro* с помощью клоногенного анализа [1], данные которого представлены на рис.1. Действие фумарата оценивалось в двух концентрациях: 0,05М и 0,03М. Гамма-облучение проводили на установке ГУР во ВНИИРАЭ в дозах 1 Гр, 4 Гр, 6 Гр и 10 Гр.

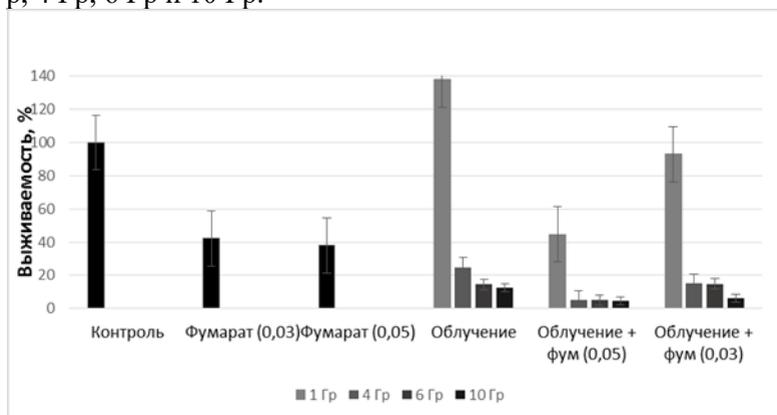


Рис. 1 Выживаемость клеток при действии препарата, облучения и комбинированном действии препарата и облучения

В ходе эксперимента было выявлено, что действие фумарата в обеих исследуемых концентрациях снижает выживаемость клеток нейробластомы до 40%. Выживаемость клеток нейробластомы при облучении их гамма-квантами в дозе 1 Гр значительно не отличается от контрольной группы. Облучение же клеток в дозах 4 Гр, 6 Гр и 10 Гр снижает выживаемость клеток до 20% и ниже. При комбинированном действии фумарата в концентрации 0,03М и облучении в дозе 1 Гр выживаемость клеток снижается до 93%. При повышении дозы одновременного облучения до 4, 6 и 10 Гр выживаемость клеток становится менее 20%, что свидетельствует о синергическом действии. При увеличении концентрации фумарата до 0,05М и облучении в дозе 1 Гр выживаемость клеток снижается 40%.

Данные исследования имеют практическое значение при разработке новых схем комбинированного действия ионизирующего излучения и химических препаратов на

опухолевые клетки.

### *Литература*

1 Иксанова А.Г., Бондарь О.В., Балакин К.В. Методы исследования цитотоксичности при скрининге лекарственных препаратов. – Казань: Казанский университет, 2016 – 40 с.

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДОЗИМЕТРА ФРИККЕ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ОКИСЛИТЕЛЬНЫХ СВОЙСТВ НЕТЕРМАЛЬНОЙ ПЛАЗМЫ**

*В.А. Харламов, И.В. Полякова, С.А. Горбатов, И.М. Меджидов,  
Д.В. Басырова, В.Н. Глущенко*  
*ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт  
радиологии и агроэкологии», г. Обнинск, Россия*

Нетермальная плазма представляет собой ионизированный газ, который генерирует короткоживущие химически активные вещества и вызывает окислительные эффекты. В данной работе рассматриваются окислительные свойства аргоновой нетермальной плазмы атмосферного давления. Цель исследования – изучить применимость дозиметра Фрикке для измерения окислительных свойств нетермальной плазмы.

Источник аргоновой нетермальной СВЧ плазмы атмосферного давления разработан в ФГБНУ ВНИИРАЭ (Обнинск) [1].

В качестве объекта использовали дозиметр Фрикке: водный раствор соли Мора 0,392 г/л (0,001 М), в который добавляли 26,8 мл/л концентрированной серной кислоты (0,4 М) и 0,06 г/л NaCl. Аликвоту объемом 30 мл наливали в полистероловые чашки Петри диаметром 85 мм и высотой 13 мм, высота столба жидкости составляла 5 мм. Обработку пробы нетермальной плазмой проводили на расстоянии 160 мм от источника до поверхности жидкости в диапазоне времени от 1 до 10 мин с шагом 1 мин. Расход плазмообразующего газа аргона составлял 4,5 л/мин. Пробу дозиметра Фрикке обрабатывали нетермальной плазмой с помощью конусовидной насадки.

Для сохранения концентрации ионизации на внешнюю сторону разрядника плазменного источника устанавливается газовый концентратор толщина 0,4 мм. Концентратор образует кольцевую расширительную камеру в виде усеченного конуса, при этом площадь кольцевого сечения входа в расширительную камеру больше площади выходного сечения сопла. Соотношение примерно 1:2. Диаметр оснований конуса: 60 и 110 мм, высота – 170 мм.

Определение концентрации  $Fe^{3+}$  проводили после обработки, измеряя оптическую плотность при длине волны 304 нм на спектрофотометре СФ-2000 (ЗАО «ОКБ СПЕКТР», Санкт-Петербург, Россия). Контролем служил необработанный раствор.

Результаты эксперимента по определению концентрации ионов  $Fe^{3+}$  представлены на рис. 1.

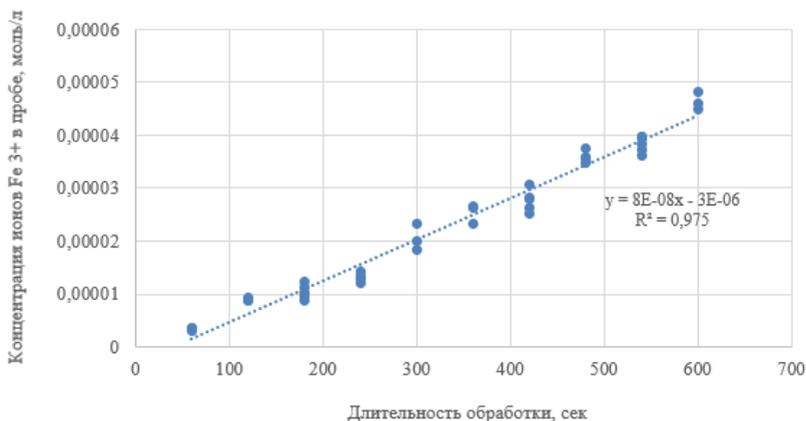


Рис. 1. Концентрация трехвалентного железа, образовавшегося в результате окисления двухвалентного железа, в пробе дозиметра Фрикке, обработанной нетермальной плазмой

Установлено, что в пробах дозиметра Фрикке, обработанных излучением нетермальной плазмы возрастает концентрация окислителей, определяемая по изменению концентрации ионов  $Fe^{3+}$ . Зависимость имеет характер, близкий линейному при длительности обработки от 30 сек до 600 сек. Для измерения

окислительных свойств нетермальной плазмы может быть применен дозиметр Фрикке.

### *Литература*

1 V. Tikhonov et al. The Low-Cost Microwave Source of Non-Thermal Plasma // 7th International Congress on Energy Fluxes and Radiation Effects (EFRE). –Tomsk, 2020. – P. 596-599.

## **ВЛИЯНИЕ ГАММА ОБЛУЧЕНИЯ НА МАССУ НАЗЕМНОГО МОЛЛЮСКА *FRUTICICOLA FRUTICUM* ТРЕТЬЕЙ ВОЗРАСТНОЙ ГРУППЫ**

*Е.Е. Черкасова<sup>1</sup>, Г.В. Лаврентьева<sup>1,2</sup>, Б.И. Сынзыныс<sup>1</sup>*

*<sup>1</sup> – Обнинский институт атомной энергетики – филиал  
Национального исследовательского ядерного  
университета «МИФИ», г. Обнинск, Россия*

*<sup>2</sup> – Калужский филиал Московского государственного  
технического университета им. Н.Э. Баумана,  
г. Калуга, Россия*

Экоцентрическая концепция радиационной защиты направлена на создание баз экспериментальных данных о наличии радиационно-индуцированных эффектов у представителей биоты [1,2]. При этом МКРЗ рекомендует расширять существующий перечень референтных видов.

В данной работе представлены данные лабораторного эксперимента о влиянии гамма-облучения на массу моллюсков *F. fruticum*. Следует отметить, что моллюски давно применяются в качестве тест-объекта загрязнений окружающей среды.

Объектом исследования является наземный моллюск *F. Fruticum*. Пробоотбор моллюсков осуществлялся на территории с фоновым содержанием техногенных радионуклидов. Для эксперимента было отобрано 465 особей третьей возрастной группы (4,25–5,0 оборотов раковины) [3, 4]. Моллюски содержались в пластиковых контейнерах с кокосовым

субстратом. Облучение проводили на  $\gamma$  - установке ГУР – 120 с поглощенными дозами от 10 до 300 Гр с шагом в 10 Гр.

Массу определяли путем взвешивания группы на аналитических весах и определяли среднюю индивидуальную массу. Длительность эксперимента – 210 суток после облучения. Показатель определялся каждые 30 суток.

Данные по изменению массы моллюсков анализировались с учетом абсолютной смертности. 100%-ная смертность при облучении дозами 140, 170, 190, 220, 250, 260 Гр регистрируется через 180 суток после облучения, 200, 270 Гр - через 150 суток, 160, 180, 230, 290 Гр - через 120 суток, 210, 240 Гр - через 90 суток 280, 300 Гр - через 60 суток.

На основании полученных экспериментальных данных можно сделать следующие выводы:

1. На протяжении 210 суток после облучения моллюсков дозами в диапазонах 10 - 20 Гр, 80 – 130 Гр, 140 -240 Гр наблюдается снижение массы животных относительно контроля на 14 %, 17% и 35% соответственно. Самый низкий процент снижения массы моллюсков отмечается при облучении дозами 30 – 70 Гр (4%) и 250 – 300 Гр (6%).

2. За 30 суток до абсолютной смертности происходит снижение массы моллюсков, облученных дозами 140 -200 Гр и 210 – 300 Гр, на 30% и 10 %, соответственно.

### *Литература*

1 ICRP Publication 108. Environmental Protection: the Concept and Use of Reference Animals and Plants // Annals of the ICRP – 2008. – P. 251.

2 ICRP Publication 114. Environmental Protection: Transfer Parameters for Reference Animals and Plants //Annals of the ICRP. – 2009. – P. 111.

3 Гребенников М.Е., Хохуткин И.М. Содержание тяжелых металлов в наземных моллюсках в районе Среднеуральского медеплавильного завода / Материалы научно-практической конференции «Экологические основы стабильного развития Прикамья». – Пермь, 2000. – С. 43.

4 Сычев А.А., Снегин Э.А. Микропространственная изменчивость демографических и конхиологических параметров в популяциях *Helicopsis striata* (Mollusca; Pulmonata; Hygromiidae) в условиях юга Среднерусской возвышенности // Вестник Томского государственного университета. Биология. – 2016. – Т 36. – № 4. – С. 127-146.

## ИЗМЕНЕНИЕ МАССЫ НАЗЕМНОГО МОЛЛЮСКА *FRUTICICOLA FRUTICUM* ВТОРОЙ ВОЗРАСТНОЙ ГРУППЫ ПОСЛЕ ГАММА-ОБЛУЧЕНИЯ

*Е.Е. Черкасова<sup>1</sup>, Г.В. Лаврентьева<sup>1,2</sup>, Б.И. Сынзыныс<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> – Обнинский институт атомной энергетики – филиал  
Национального исследовательского ядерного  
университета «МИФИ», г. Обнинск, Россия

<sup>2</sup> – Калужский филиал Московского государственного  
технического университета им. Н.Э. Баумана,  
г. Калуга, Россия

Развитие эоцентрического принципа нормирования радиационного фактора предполагает наличие экспериментальных баз радиационно-индуцированных эффектов у представителей биоты [1, 2]. В данной работе представлены данные лабораторного эксперимента о влиянии гамма-облучения на массу моллюсков *F. fruticum*.

Следует отметить, что моллюски давно применяются в качестве тест-объекта загрязнений окружающей среды.

Объектом исследования является наземный моллюск *F. Fruticum*. Пробоотбор моллюсков осуществлялся на территории с фоновым содержанием техногенных радионуклидов. Для эксперимента было отобрано 465 особей второй возрастной группы (3,25–4,0 оборотов раковины) [3, 4]. Моллюски содержались в пластиковых контейнерах с кокосовым субстратом. Облучение проводили на  $\gamma$ -установке ГУР – 120 с поглощенными дозами от 10 до 300 Гр с шагом в 10 Гр.

Массу определяли путем взвешивания группы на аналитических весах и определяли среднюю индивидуальную

массу. Длительность эксперимента – 210 суток после облучения. Показатель определялся каждые 30 суток.

Данные по изменению массы моллюсков анализировались с учетом абсолютной (100%-ой) смертности. Абсолютная смертность регистрируется после облучения моллюсков дозами 110, 130-160, 180 Гр через 180 суток после облучения, 170 Гр - через 150 суток, 190, 210, 230, 260 Гр - через 120 суток, 220, 240, 250, 270-300 Гр - 90 суток, 200 Гр - через 60 суток.

На основании полученных экспериментальных данных можно сделать следующие выводы:

1. Через 30 суток после облучения дозами 10-300 Гр масса моллюсков увеличивается на 0,2-44,6% относительно первоначальной массы. При этом относительно массы контрольной группы значения ниже на 1,6-15 %.

2. Через 210 суток после облучения дозами 10-120 Гр отмечается снижение массы моллюсков относительно контроля относительно первоначальной массы на 5,3-19 %, но выше значений в контрольной группе в 1,2-6 раз.

3. При облучении дозами 60-290 Гр масса моллюсков ниже контрольных значений на протяжении 60-150 суток после облучения.

4. Облучение в диапазоне 110 – 180 Гр и 220 -300 Гр приводит к снижению массы моллюсков за 30 суток до абсолютной смертности в 1,5 и 2,3 раза, соответственно. При этом облучение дозами 190-210 Гр вызывает увеличение массы на 6-20% на фоне снижения массы в контроле.

### *Литература*

1 ICRP Publication 108. Environmental Protection: the Concept and Use of Reference Animals and Plants // Annals of the ICRP – 2008. – P. 251.

2 ICRP Publication 114. Environmental Protection: Transfer Parameters for Reference Animals and Plants // Annals of the ICRP. – 2009. – P. 111.

3 Гребенников М.Е., Хохуткин И.М. Содержание тяжелых металлов в наземных моллюсках в районе Среднеуральского медеплавильного завода / Материалы научно-практической

конференции «Экологические основы стабильного развития Прикамья». – Пермь, 2000. – С. 43.

4 Сычев А.А., Снегин Э.А. Микропространственная изменчивость демографических и конхиологических параметров в популяциях *Helicopsis striata* (Mollusca; Pulmonata; Nugromiidae) в условиях юга Среднерусской возвышенности // Вестник Томского государственного университета. Биология. – 2016. – Т 36. – № 4. – С. 127-146.

### **ФЛУОРЕСЦЕНТНАЯ МЕТОДИКА ВИЗУАЛИЗАЦИИ ВОЗДЕЙСТВИЯ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ НА ТКАНЕВЫЕ КУЛЬТУРЫ**

*В.А. Шестакова<sup>1,2</sup>, А.Н. Смирнова<sup>1</sup>, А.О. Якимова<sup>1</sup>,  
Д.С. Барановский<sup>1</sup>, И.Д. Клабуков<sup>1,2</sup>*

*<sup>1</sup> – МРНЦ им. А.Ф. Цыба – филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии»  
Минздрава России, г. Обнинск, Россия*

*<sup>2</sup> – Обнинский институт атомной энергетики – филиал  
Национального исследовательского ядерного  
университета «МИФИ», г. Обнинск, Россия*

Исследование влияния ионизирующего излучения при воздействии на переживающие тканевые культуры, в частности, на опухолевые срезы (фланники), требует оценки эффектов на регуляцию многих клеточных процессов, в числе которых клеточная пролиферация и гибель, включая соотношение апоптоза и некроза. Основным методом исследований биологических макрообъектов в настоящее время является классическая гистология, предусматривающая предварительную фиксацию образца. Однако современная конфокальная микроскопия позволяет провести исследование в нативных биологических образцах толщиной до 200 мкм, предварительно окрашенных флуоресцентными красителями и/или иммунофлуоресцентными конъюгатами антител.

В ходе выполнения проекта разработана методика изготовления фланников с их последующей флуоресцентной окраской для анализа различных аспектов жизнедеятельности

клеток при помощи флуоресцентной конфокальной микроскопии. Сформулированы требования к физическим размерам образцов, обусловленных необходимостью диффузии кислорода и метаболитов в глубину среза в условиях статической культуры тканей (не более 200 мкм), глубиной стека конфокального микроскопа (не более 500 мкм для современных моделей), и минимальной толщиной образца для возможности работы с ионизированными излучениями низкой мощности (не менее 100 мкм). Таким образом, установлено, что оптимальный диапазон толщин фланников/трехмерных тканевых культур, подходящих для флуоресцентной конфокальной микроскопии, лежит в пределах 100-200 мкм.

Глубина естественной диффузии (при экспозиции в течение ~1 часа) различных красителей может различаться от 100 мкм (низкомолекулярные) до 40 мкм (иммунные конъюгаты). В ряде случаев для прокрашивания тканевых срезов толщиной 200 мкм может требоваться существенное увеличение времени экспозиции, центрифугирование или окрашивание под избыточным давлением. Нами показана возможность оценки жизнеспособности тканевых срезов (фланников) толщиной 200 мкм при помощи конфокальной микроскопии после инкубирования образцов в течение 20-50 минут в растворах этидия гомодимера-1, кальцеина АМ и DAPI по стандартной методике, рекомендованной для окраски клеток. Данные фланники были использованы для визуализации воздействия ионизирующего излучения с дозовой нагрузкой 8 Гр и 42 Гр. Результаты конфокальной микроскопии после окрашивания позволили успешно дифференцировать живые и погибшие клетки по всей толщине фланников.

Использование флуоресцентных красителей для оценки эффектов ионизирующих излучений и химических агентов может применяться в перспективных аналитических тест-системах на основе тканевых культур.

## СЕКЦИЯ 7. ШКОЛЬНАЯ ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ СЕКЦИЯ

### ВЛИЯНИЕ ОСВЕЩЕНИЯ НА РОСТ ЛИСТЬЕВ *ALIUM CERA*

*А.В.Баранова, Е.С.Андреева*  
*МОУ СОШ № 2 г.Малоярославца, Россия*

Поскольку в нашей стране холодное время года преобладает и световой день короткий, особенно актуальным становится разработка и внедрение новых эффективных методов быстрого выращивания растений, чтобы в первую очередь оптимально удовлетворять потребности населения [1-3].

Цель работы изучить влияние света на скорость роста вегетативных органов репчатого лука (*Alium cepa*).

В процессе исследования выдвигались следующие задачи: изучить литературу и интернет-источники по данной теме; заложить опыт по изучению влиянию освещенности. Методы: эксперимент, наблюдение, анализ, статистическая обработка данных.

Исследование проводилось в октябре – ноябре 2021 года. Для закладки опыты были взяты 30 штук луковиц репчатого лука (*Alium cepa*). На этажерку для выращивания рассады закрепили лампы [4]. На каждую полку поместили 10 стаканчиков с водой, на них положили картон предварительно вырезав отверстие для донца луковицы. Полка № 1 контроль естественное освещение. Полка № 2 растения освещались фитолампой. Полка № 3 светодиодная лампа. Каждый день происходил замер длины листьев с помощью линейки.

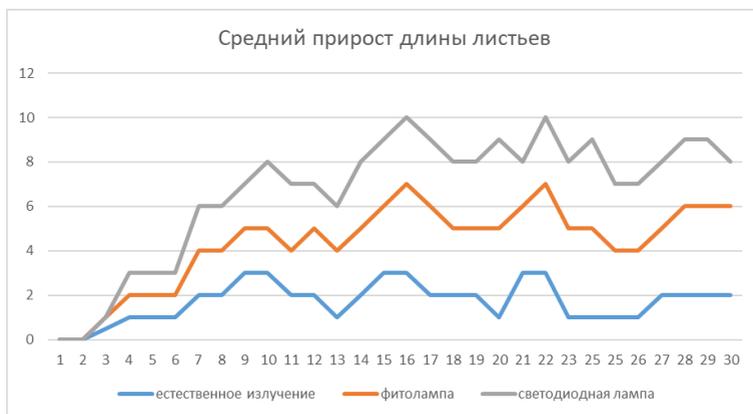


Рис.1. Средний прирост длины листьев.

В результате выяснили, что выше всего прирост листьев репчатого лука под светодиодной лампой [5]. Колебания средней величины так же зависит и от других факторов, например, температуры воздуха, которые мы не учитывали. Но под светодиодной лампой листья имеют более темную окраску, значит процесс фотосинтеза идет интенсивнее.

### *Литература*

1 Курьянова И.В., Олонина С.И. Оценка влияния различных спектров светодиодного светильника на рост и развитие овощных культур //Вестник НГИЭИ. – 2017. – №. 7 (74). – С. 35-44.

2 Медведев С.С. Физиология растений. – СПб.: СПбГУ, 2004. – 512 с.

3 Холл Д., Рао К. «Фотосинтез»: Пер. с англ. -- М.: Мир, 1983. -134 с.

4 Абсолютно все о фитолампах: как выбрать и использовать. Топ-10 моделей фитоламп // Сайт «Зелень на подоконнике» [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://zelen-na-podokonnike.ru/inventar/absolyutno-vse-o-fitolampah-kak-vybrat-i-ispolzovat-top-10-modelej-fitolamp> (дата обращения 20.11.2021)

5 Какое освещение лучше. Сравнение ламп // [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://gardenaddict.ru/instrument/lampy-dlya-rassady.html> (дата обращения 25.11.2021).

## ИЗУЧЕНИЕ ДЕЙСТВИЯ СТИМУЛЯТОРОВ РОСТА НА ПРОРОСТКИ ЯЧМЕНЯ ПОСЕВНОГО

*В.С. Беднякова, Г.Н. Верушкина  
МБОУ «Гимназия» г. Обнинск, Россия*

В настоящее время аграрная промышленность страны и садоводы, выращивающие сельскохозяйственные культуры для собственного потребления сталкиваются с задачей увеличения урожайности и повышения качества урожая. Стимуляторы роста ускоряют прорастание и укоренение растений, улучшают устойчивость к неблагоприятным факторам. [1]

**Цель работы:** изучить действие стимуляторов на проростки ячменя посевного (*Hordeum sativum*).

### **Задачи:**

1. Изучить особенности морфологических показателей;
2. Оценить воздействие стимуляторов роста на содержание пигментов (хлорофилла а, б) в проростках;
3. Сравнить воздействие стимуляторов на проростки.

Объект исследования - ячмень посевной сорта Федос.

Среди стимуляторов, имеющих в продаже, были выбраны предназначенные для замачивания семян с одинаковой продолжительностью замачивания – от 4 часов. «Энерген Аква» - природный стимулятор роста растений на основе гумуса. Стимулятор «НВ – 101» - препарат, содержащий вытяжки японского кедра, кипариса, сосны, платана. Раствор фруктозы 1% – стимулятор, оказывающий положительное воздействие на величину и массу проростка [2]. Раствор перманганата калия 1% – препарат, удаляющий патогены с поверхности семян и стимулирующий рост корней [4]. Зерновки контрольной группы замачивались в дистиллированной воде.

Замачивание зерновок проводилось в течение 6 часов. Было исследовано 5 проб в трёх повторностях. Закладка зерновок

ячменя происходила методом рулонных культур. Дальнейшее проращивание осуществлялось в лабораторных стаканах с дистиллированной водой на подоконнике с западной стороны при температуре 22 °С - 24 °С. Дополнительное освещение проростков обеспечивалось фитолампой. На седьмые сутки измеряли морфологические показатели: длина корней и проростков. На десятые сутки измеряли концентрацию хлорофилла-а и b с помощью спектрофотометра по методике Шубиной А. Г. [3] на базе лаборатории «Кванториума» в г. Обнинск.

**Выводы:** 1. Длина корней *Hordeum sativum* максимальна в контрольной группе, а длина проростков в растворах фруктозы, КМnO<sub>4</sub> и дистиллированной воде.

2. Содержание хлорофилла- а максимально у ячменя, замоченного в растворе фруктозы, минимально в растворе КМnO<sub>4</sub>. Проростки, обработанные стимуляторами «Энерген Аква» и «НВ-101» имеют средние показатели содержания хлорофилла-а.

3. Лучшие показатели по морфологическим признакам у контрольных образцов. Биохимические показатели достоверно низкие у зерновок, обработанных, раствором КМnO<sub>4</sub> (хлорофилл – а) и раствором стимулятора «НВ-101» (хлорофилл - b).

Ни один из стимуляторов однозначно положительного действия на проростки не показал. Замачивание на 4–6 часов недостаточно для получения стимулирующего эффекта.

### *Литература*

1 Гамбург К.З., Кулаева О.Н., Муромцев Г.С., Прусакова Л.Д., Чкаников Д.И. Регуляторы роста растений. – М.: Колос, 1979. – 246 с.

2 Гордеева И.В. Влияние фруктозы на прорастание семян и развитие проростков *Fagorugum esculentum* // Международный научно-исследовательский журнал. – 2016. – №. 11 (53) Часть 2. – С. 119–122.

3 Шубина А.Г. Содержание хлорофилла и каротиноидов в листьях одуванчика лекарственного (*Taraxacum Officinale*) и

березы повислой (*Betula Pendula* Roth), растущих в г. Тамбове // Державинские чтения: мат. Всерос. науч. конф. преподавателей и аспирантов / Тамб. гос. ун-т им. Г.Р. Державина. – Тамбов, 2011. – Т. 16. – Вып. 1. – С. 353-355.

4 Марганцовка для здоровья растений // Сайт «Ботаничка» [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://www.botanichka.ru/article/margantsovka-dlya-zdorovya-rasteniy-nadyozhnaya-i-nezamenimaya/> (дата посещения 11.04.2022).

## **РАСПРОСТРАНЕНИЕ И ХАРАКТЕР ПРОИЗРАСТАНИЯ ВИДОВ ЧЕРНОЙ КНИГИ КАЛУЖСКОЙ ОБЛАСТИ НА ОТДЕЛЬНЫХ УЧАСТКАХ ГОРОДА ОБНИНСКА**

*Е.Д. Белоусова<sup>1</sup>, М.М. Рассказова<sup>2</sup>,*

*<sup>1</sup> – МБОУ СОШ №11, г. Обнинск, Россия*

*<sup>2</sup> – Обнинский институт атомной энергетики – филиал  
Национального исследовательского ядерного  
университета «МИФИ», г. Обнинск, Россия*

На данный момент в Черной книге Калужской области выделены 39 наиболее активных заносных растений, представляющих экономическую и экологическую угрозу [1]. В г. Обнинске школьниками проводится мониторинг видов высших сосудистых растений в фитоценозах, где присутствует повышенная антропогенная нагрузка, которая влияет на распространение тех или иных видов адвентивной флоры.

Целью работы было выявить характер прорастания и распространения видов Черной Книги Калужской области на отдельно взятых участках г. Обнинска.

В ходе исследований проводились геоботанические описания участков лесных фитоценозов в черте города и его окрестностей, отличающихся по типу ассоциаций. Отдельно выделялись виды адвентивной флоры [2], а среди них выделялись группы чернокнижных растений Калужской области. Местоположение популяций видов адвентивной флоры определялось методом трансект.

При сравнении данных выявлено, что природные комплексы Кончаловского и Гурьяновского леса схожи по составу адвентивной флоры. В целом на территории двух лесных массивов выявлено 6 видов Черной книги *Ácer negundo*, *Córnus álba*, *Impátians parviflora*, *Córnus álba*, *Solidago canadensis L*, *Solidago gigantea*. Показано, что их распространение связано с участками нарушенных территорий, а также местами повышенной влажности. Однако распределение их по экосистемам города отличается у разных видов. В ходе исследования выявлено, что виды адвентивной флоры используют принципиально разные стратегии захвата территории. Большие заросли *Córnus álba* были обнаружены в Гурьяновском лесу, площадь каждого участка, занятого кустами свидины, составляет примерно 500м<sup>2</sup>. Участки находятся в основном в низинах, местах повышенной влажности, распространение вида происходит за счет вегетативного размножения. Большие площади произрастания золотарника гигантского были обнаружены на берегу реки Протвы возле городского пляжа. Золотарник гигантский и золотарник канадский были зафиксированы в фитоценозах Кончаловского леса (ООПТ регионального значения «Дача Бугры»), однако только на окраинах леса, имеющих большую рекреационную нагрузку. В целом, в пределах городской территории произрастание чернокнижных видов приурочено к местам с повышенной рекреационной нагрузкой и отсутствием ухода и мониторинга за растущей площадью, занимаемой видом. Показано, что при систематической борьбе с чернокнижными видами, площадь их популяции заметно сокращается.

Для сравнения энергии прорастания, всхожести и начальных темпов роста производилось проращивание семян растений адвентивной флоры методом рулонных культур. Проращивались семена борщевика Сосновского, золотарника гигантского, которые были собраны с произрастающих растений в точках проведения исследований. Для сравнения темпов роста использовалась газонная смесь. Показано, энергия прорастания семян газонной смеси выше, чем у семян золотарника гигантского на 2,3 %. Всхожесть семян борщевика Сосновского

составила 11,7 %. только на 15 сутки проращивания. Таким образом, на ранних этапах развития виды *Heracleum Sosnowskyi* и *Solidago gigantea* уступают в темпах прироста корней и побегов типичным луговым растениям.

### **Литература**

1 Решетникова Н.М., Майоров С.Р., Крылов А.В. Черная книга Калужской области. Сосудистые растения. Министерство природных ресурсов и экологии Калужской области. – Калуга : Ваш домъ, 2019. – 341 с.

2 Крылов А.В., Решетникова Н.М. Адвентивный компонент флоры Калужской области: натурализация видов //Ботанический журнал. – 2009. – Т. 94. – №. 8. – С. 1126-1148.

## **РАЗНООБРАЗИЕ КОМПЛЕКСОВ ЖУЖЕЛИЦ (CARABIDAE) КАЛУЖСКОГО ГОРОДСКОГО БОРА**

*В.В. Бешир<sup>1</sup> Я.М. Кусков<sup>2</sup> В.В. Алексанов<sup>3</sup> С.К. Алексеев<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> – МБОУ "СОШ №26" г. Калуга, Россия

<sup>2</sup> – МБОУ "Лицей 36" г. Калуга, Россия

<sup>3</sup> – ГБУ КО «Дирекция парков» г. Калуга, Россия

Калужский городской бор – памятник природы федерального значения, уникальный природный комплекс [1], излюбленное место отдыха калужан. Животный мир изучен недостаточно. Одна из заметных и многочисленных групп животных – жуки жужелицы (Carabidae). Ранее жужелицы в городском бору изучались только в сосняках [2]. Растительность бора разнообразна. Поэтому чтобы понять особенности животного населения, надо обследовать разные типы местообитаний.

Цель работы: выявить и сравнить комплексы жужелиц в разных типах биотопов Калужского городского бора.

Для изучения были выбраны контрастные биотопы: 1) широколиственный лес на склоне долины р. Оки: а) «восток» - дубо-липняк неморальный, координаты 54.5232 36.1716; б) «центр» - дуб-липняк неморальный, 54.5236 36.1694; в) «запад»

- дубо-липняк пролесниковый, 54.5238 36.1673; 2) осинник неморальный, местами с хвощом зимующим, 54.5435 36.1742; 3) ельник с сосной и березой неморальноотравно-кисличный, 54.5436 36.1955; 4) олиготрофное пушицевое сфагновое болото, 54.5367 36.1916; 5) черноольшаник таволговый, 54.5331 36.2359.

Материал собирали с помощью почвенных ловушек с 16 апреля (в первом биотопе – с 5 апреля) по 1 октября 2021 г. В качестве почвенных ловушек применяли пластиковые стаканы объёмом 500 мл с навесами из прозрачной плёнки, с 2% раствором формалина в качестве фиксатора. На каждой линии в первом биотопе было 10 ловушек, в остальных – по 15. Выборка материала производилась вручную, каждые две недели.

Всего обнаружен 71 вид жужелиц. Общими для всех биотопов оказались 8 видов: Доминантом во всех биотопах был только один вид - *Pterostichus niger* (Schaller), составлявший от 6 до 26% жужелиц.

С помощью индекса сходства Жаккара установлено, что наиболее близки между собой комплексы жужелиц в широколиственном лесу на площадках «запад» и «восток» (0.83). Осинник наиболее близок к ельнику (0.64). Верховое болото и черноольшаник обособлены, их сходство с другими биотопами менее 0.5. По индексу Брея – Кёртиса, который учитывает обилие видов, верховое болото и черноольшаник резко противопоставлены другим биотопам.

Наибольшее число видов отмечено в осиннике (41) и черноольшанике (40). В широколиственном лесу всего учтено 38 видов, а на каждой линии – от 26 до 31. Наименьшее число видов (25) – на верховом болоте.

Уловистость жужелиц была наиболее велика в осиннике и ельнике. В широколиственном лесу она была вдвое выше на площадке «запад», чем «центр». На верховом болоте уловистость была почти в 5 раз ниже, чем в широколиственном лесу.

В широколиственном лесу на всех линиях доминировал *Carabus nemoralis* Müll. Для линий «восток» и «запад» доминантом был также *Pterostichus melanarius* (Ill.), «восток» и «центр» - *C. coriaceus* L., «запад» и «центр» - *C. cancellatus* Illr.

В ельнике наиболее многочисленными видами были *P. oblongopunctatus* (F.), *C. granulatus* L. и *P. aethiops* (Panz.). В осиннике сочетались доминирующие виды широколиственного леса и ельника. В черноольшанике доминировали *P. nigrita* (Payk.), *Elaphrus cupreus* Duft., *P. minor* (Gyll.), *Oodes helopioides* (F.) и *P. strenuus* (Panz.). На верховом болоте был общий доминант с ельником *P. oblongopunctatus*, а специфическими доминантами были *P. diligens* (Sturm) и *P. rhaeticus* Heer.

Полученные результаты говорят о значительной неоднородности Калужского городского бора как местообитания жужелиц.

### **Литература**

1 Решетникова Н.М., Майоров С.Р., Телеганова В.В. Растения Калужского городского бора. — Тамбов: Индивидуальный предприниматель Матвеева Т.М., 2021. — 172 с.

2 Алексанов В.В., Алексеев С.К. Кадастр жуков жужелиц (Coleoptera, Carabidae) городского округа «Город Калуга» / Серия «Кадастровые и мониторинговые исследования биологического разнообразия в Калужской области». Вып. 2. — Ижевск: ООО «Принт», 2019. — 276 с.

## **РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ КРАСНОЙ ЯПОНСКОЙ СОСНЫ ИЗ ЗОНЫ АЭС ФУКУСИМА И СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ ИЗ ЗОНЫ ОТЧУЖДЕНИЯ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС ПРИ ПОМОЩИ ПОЛИМОРФИЗМА IRAP-МАРКЕРОВ**

С.В. Бондаренко<sup>1</sup>, В.С. Бондаренко<sup>2</sup>, С.А. Гераськин<sup>2</sup>

<sup>1</sup> – СОШ № 12, г. Обнинск, Россия

<sup>2</sup> – ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии», г. Обнинск, Россия

Характерным признаком крупных радиационных аварий является наличие двух периодов: интенсивного краткосрочного облучения (в первые месяцы после аварии) и последующего

длительного этапа с медленным падением мощности дозы [1]. Известно, что наиболее серьезные экологические последствия обусловлены радиационным воздействием на этапе острого облучения, который и для чернобыльской аварии, и для аварии на АЭС Фукусима выпал на весенний период. Влияние хронического облучения на биоту, хоть и не столь ярко выражено, как острое радиационное воздействие, но не менее значимо с экологической точки зрения [1]. Красная японская сосна и сосна обыкновенная являются радиочувствительными видами и хорошими объектами для изучения радиационных эффектов на молекулярно-генетическом уровне.

Образцы хвои отбирали с 4 импактных и одного контрольного участков вблизи АЭС Фукусима и 3 импактных и 2 контрольных в зоне Чернобыльской АЭС. ДНК выделяли набором Сорб-ГМО-Б (Синтол) и оценивали концентрацию и качество на спектрофотометре NanoDrop. Для молекулярной характеристики популяций использовали IRAP (interretrotransposon amplified polymorphism) праймеры, разработанные к длинным концевым повторам дифференциально экспрессируемых ретротранспозоноподобных фрагментов, выделенных из сосны обыкновенной после воздействия теплового стресса и повреждений насекомыми [2]. При проведении ПЦР отжиг праймеров осуществлялся по методу «touch down» (68 °C 1-ый цикл с понижением температуры на 0,5 °C/цикл до температуры 60 °C, всего 60 циклов). Ампликоны разделяли с помощью электрофореза в 2% агарозном геле и визуализировали при помощи SYBR Green и GelDoc Go Imaging System (BioRad). На основе электрофореграмм составляли бинарные матрицы, которые использовали для расчета генетического расстояния (по методике Nei & Li, 1979) с применением программы GenAlEx v.6.5.

При использовании двух IRAP маркеров на образцах красной японской сосны получено 23 ампликона длиной от 180 до 1500 п.н., и 51 фрагмент (130-1500 п.н.) у сосны обыкновенной. Выявлено, что наиболее радиоактивно загрязненная популяция красной сосны ( $6,4 \pm 0,4$  мкЗв·ч<sup>-1</sup>) выделяется наибольшим

количеством ампликонов (12), в том числе 4 уникальными. Показатель средней гетерозиготности, который положительно коррелирует с уровнем приспособленности организмов, также выше в этой популяции. В популяциях сосны обыкновенной наибольшее количество фрагментов (32, из них 63% полиморфных), в том числе 7 уникальных, выявлено на участке Масаны (6,1 мГр/год).

Полиморфизм IRAP маркеров может свидетельствовать об активации ретротранспозонов в условиях хронического облучения. Используемые IRAP маркеры представляются перспективными для оценки генетического разнообразия природных популяций красной японской сосны и сосны обыкновенной, произрастающих в зонах хронического радиационного воздействия.

### *Литература*

1 Гераськин С.А., Фесенко С. В., Волкова П. Ю., Исамов Н.Н. Что мы узнали о биологических эффектах облучения в ходе 35-летнего анализа последствий аварии на черновыльской АЭС? // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2021. – Т.61. – №3. – С. 234–260.

2 Voronova A., Ruņģis D. Development and characterisation of IRAP markers from expressed retrotransposon-like sequences. // Proceedings of the Latvian Academy of Sciences. – Section B. – Natural, Exact, and Applied Sciences. – V.67. – №6. – 2014. – P.485-492.

## БИОРАЗНООБРАЗИЕ И РАСПРОСТРАНЕНИЕ ВИДОВ МАКРОЗООБЕНТОСА РАДИОАКТИВНО ЗАГРЯЗНЁННЫХ ТЕРРИТОРИЙ БРЯНСКОЙ ОБЛАСТИ

*Д. В. Исаев<sup>1</sup>, М. М. Рассказова<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup> – МБОУ «СОШ №11», г. Обнинск, Россия*

*<sup>2</sup> – Обнинский институт атомной энергетики – филиал  
Национального исследовательского ядерного  
университета «МИФИ», г. Обнинск, Россия*

В юго-западных районах Брянской области отмечены довольно высокие уровни загрязнения радионуклидами. Ионизирующая радиация является постоянно действующим фактором внешней среды, что требует изучения процессов взаимодействия живых организмов друг с другом и со средой их обитания в условиях радиоактивного загрязнения [1]. Для понимания процессов, протекающих в биоценозах, наиболее эффективным является длительный биомониторинг, в течение которого можно проследить процессы динамики биоразнообразия макрозообентоса. В результате загрязнения рек происходит снижение биологического разнообразия, и меняется структура зооценозов [2].

**Целью работы** было изучение биоразнообразия и особенностей распространения видов макрозообентоса на участке реки Ипуть, подвергнувшейся радиационному загрязнению.

Данное исследование является частью мониторинговых работ, которые проводятся с 2012 г. на участке р.Ипуть, расположенном на территории Брянской области, пострадавшей в результате аварии на ЧАЭС. Материал отбирался в ходе водных экспедиций 2019-2021 гг., на протяжении маршрута, общей длиной около 70 км, где установлены 5 станций пробоотбора.

При анализе удельной активности <sup>137</sup>Cs в образцах грунта и донных отложений выявлено, что загрязнение носит неравномерный, остаточный характер и снижается с годами, при этом вода на исследуемых точках умеренно-загрязнённая. В

пяти точках пробоотбора на реке Ипуть было зафиксировано 36 видов водных беспозвоночных. За 10 лет исследований была составлена база данных, которая отражает доминантные, редко встречаемые виды и приуроченность видов к точкам.

Анализ видового разнообразия по данным экспедиции 2021 года показал, что большинство представителей доминирующих групп относятся к типу моллюски, поскольку они приурочены к растительному субстрату и они могут участвовать в миграции радионуклидов. Сравнение данных с материалами прошлогодних экспедиций выявило тенденцию к смене доминирующих групп в точках с повышенным радиационным фоном. По данным мониторинга установлено, что *Herpobdella octoculata* заменила *Haemopis sanguisuga* L. в качестве доминирующего вида. Наиболее уязвимыми являются малочисленные виды, подтверждением этого служит отсутствие в пробах последней экспедиции крупного жука-плавунца *Cybister lateralimarginalis*.

Согласно Публикации 91 МКРЗ важным показателем радиационной безопасности является состояние референтной биоты, при анализе проб установлено, что отдельные виды (*Viviparus contectus*) могут выступать в этом качестве.

Таким образом, проведенный мониторинг, созданные базы данных по обнаруженным таксонам и реакции выявленных референтных видов позволят создать необходимые предпосылки для восстановления хозяйственной деятельности данной местности и развития экологического туризма.

### ***Литература***

1 Публикация 91 МКРЗ. Основные принципы оценки воздействия ионизирующих излучений на живые организмы, за исключением человека. – М.: Комтехпринт, 2004. –74 с.

2 Кириллов А. Ф., Салова Т. А., Ходулов В.В. Гидробионты среднего течения реки Лены в системе мониторинга. // Гидробиологический журнал. — 2008. — № 6. — С. 49–53.

## **ФРАГМЕНТ ПОЙМЕННОГО ЛЕСА В ОКРУЖЕНИИ ЛУГОВ КАК МЕСТООБИТАНИЕ НАПОЧВЕННЫХ БЕСПОЗВОНОЧНЫХ (НА ПРИМЕРЕ ПАМЯТНИКА ПРИРОДЫ “ТАРУССКИЙ ЛУГ”)**

*Е.С. Криворотова<sup>1</sup>. В.В.Александров<sup>2</sup> М.М. Рассказова<sup>3</sup>*

*<sup>1</sup> – МБОУ "СОШ № 11" г. Обнинск, Россия*

*<sup>2</sup> – ГБУ КО «Дирекция парков» г. Калуга, Россия*

*<sup>3</sup> – Обнинский институт атомной энергетики – филиал  
Национального исследовательского ядерного  
университета «МИФИ», г. Обнинск, Россия*

Оценка достаточности местообитаний разного размера для существования тех или иных видов организмов – одна из важных прикладных задач экологии. Памятник природы “Тарусский луг” – одна из самых молодых ООПТ Калужской области, созданная 10 июня 2021 года, находится на крайнем востоке Калужской области, на границе с Тульской областью, на правом берегу р. Оки. Эта территория отличается флористической уникальностью. Большая часть занята луговыми сообществами, но есть и небольшой пойменный лес вдоль реки. Животный мир памятника природы до 2021 г. не изучался.

Соотношение классов членистоногих по уловистости типично для экосистем региона: почти половину особей составляют насекомые, на втором месте находятся паукообразные [1]. Повышенная доля двупарноногих многоножек, по-видимому, представляет собой особенность животного населения долины Оки. Среди насекомых большинство составляли жесткокрылые, на втором месте – перепончатокрылые, представленные семейством муравьи, незначительная доля приходится на полужесткокрылых и тараканов. Среди паукообразных пауки резко преобладали (89%) над сенокосцами, что, видимо, связано с прибрежным положением леса и его луговым окружением.

Среди жесткокрылых преобладают жуличицы, на втором месте находятся стафилиниды. Это типично для разных

экосистем региона. На уровне вида были изучены жужелицы (Carabidae) и мертвоеды (Silphidae).

Жужелицы были представлены 48 видами. Это число находится в пределах нормы для лесов Калужской области [2]. Самым многочисленным видом оказался *Carabus granulatus*. На втором месте *C. nemoralis*. Все эти виды типичны как для пойменных, так и для плакорных лиственных лесов Калужской области.

Жуки мертвоеды представлены 9 видами, также типичными для лиственных лесов. Наиболее многочисленны среди них *Silpha carinata* – многоядный вид, активный на поверхности почвы, - и *Dendroxena quadrimaculata* – хищник, личинки которого охотятся на поверхности почвы, а имаго – в кронах деревьев.

Пойменный лес характеризуется резкими сезонными изменениями животного населения. Обилие жужелиц за исследуемый период меняется в 16 раз. Все виды, не обнаруженные в этот период, были единичными и, по-видимому, случайными мигрантами из других биотопов (за исключением *Trechus secalis*, который появляется во второй половине июля и встречается до конца сезона). На тот же период приходится максимум активности пауков, двупарноногих многоножек, мокриц.

В обследованном лесу найден только один вид животных, занесенный в Красную книгу Калужской области - *Calosoma inquisitor*. Однако состав животного населения типичен для лесных экосистем, отражает использование различных ярусов биоценоза. Закономерная сезонная динамика большинства изученных таксонов свидетельствует о полной реализации жизненного цикла в данном биотопе. Поэтому пойменный лес заслуживает сохранения. Он может использоваться для мониторинга животного населения, при этом учеты следует проводить во второй половине мая.

### *Литература*

1 Баканов М.Ю. «Пространственное распределение мезофауны по элементам лесной катены малонарушенных лесов

юго-востока Калужской области» // Известия Калужского общества изучения природы местного края. – Калуга: Изд-во КГПУ, 2006. - кн. 7. – С. 173-193.

2 Алексанов В.В., Алексеев С.К. Кадастр жуков жужелиц (Coleoptera, Carabidae) городского округа «Город Калуга» / Серия «Кадастровые и мониторинговые исследования биологического разнообразия в Калужской области». Вып. 2. – Ижевск: ООО «Принт», 2019. – 276 с.

## **РАСПРОСТРАНЕНИЕ РЕЧНОГО БОБРА НА ТЕРРИТОРИИ БОРОВСКОГО РАЙОНА КАЛУЖСКОЙ ОБЛАСТИ**

*Д.С.Матвеев, И.Г.Харитонова*  
*МОУ «Средняя общеобразовательная ноосферная школа»,*  
*г. Боровск, Россия*

Бобр (*Castor fiber* L.) является одним из главных ценообразующих видов долин малых рек лесного пояса [2]. Благодаря его деятельности в долинах рек происходит периодическое территориальное перераспределение участков растительных формаций и связанных с ними комплексами различных организмов [1]. Учёт распространения речного бобра важен и с точки зрения сохранения его как вида.

Работа выполнена летом-осенью 2019-21 гг. Был использован косвенный метод маршрутных учетов поселений бобров по следам их жизнедеятельности: норы, хатки, погрызы, поваленные деревья. Мы определяли протяженность и тип поселений бобра. Расчет количества бобров проводили, используя формулу Хлебовича [3]. Нами также учитывались: тип водоема, мощность поселения, количество пригодных для поселения мест (с учетом кормности угодий, состояния и режима водотоков), покинутые места обитания.

На исследуемой территории (43 км Протвы и ее притоков) в течение 4-х лет исследований зафиксировано 23 поселения бобров, из них 22 поселения на реках, 1 – на озерах. Среди них 8 поселений являются крупными, 10 – средними, 6 – малыми. Все

крупные поселения обнаружены на малых реках (притоках Протвы). Эти поселения отнесены нами к прудово-русовым, в то время как поселения на Протве – к русловым без плотин. Практически все жилища представлены норами. Средняя протяженность одного бобрового поселения составила примерно 0,29 км. Общая протяженность – 6,3 км. Общая численность речного бобра на исследованной территории составила 101 особь, Плотность бобров к 2021 году составила – 3,06 особей/км. Самая высокая плотность зафиксирована на малых реках: Истерьма (5,9 особ./км) и Исьма (5,36 особ./км). Плотность особей на реке Межиха составила 3 особ./км. Самая низкая плотность зафиксирована на реке Боринка – 0,75 особ./км. С учетом мест, пригодных для обитания, заселено только 19% исследуемой территории.

Сравнивая исследования 2011-2016 гг с данными 2018-2021 года, необходимо отметить, что численность поселений на реках увеличилась с 7 в 2016 году до 22 в 2021 году [4] При этом количество поселений на озерах и болотах- уменьшилось. Плотность особей на территории малых рек увеличилась с 0,67 особей/км в 2016 году до 3,06 особей/км в 2021 году. На Протве плотность особей снизилась до 0,66 особей/км. В период с 2019 до 2021 года был полностью заселен бобрами участок реки Истерьмы от моста до деревни Редькино, а также обнаружены два поселения на реке Межиха. Таким образом, можно сделать вывод о постепенном расселении бобров по территории Боровского района, причем, активнее заселяются малые реки (и чаще труднодоступные места).

### *Литература*

1 Алексеев С.К., Антимонова А.В., Костюхина О.С. Млекопитающие. Флора и фауна заповедников. Позвоночные животные заповедника «Калужские засеки». – М., 2001. – Вып. 98. С. 27-36.

2 Воронин А.А. Средообразующая деятельность бобров на водоёмах Калужской области / Материалы Всесоюзного совещания по средообразующей деятельности животных. – М.: МГУ. 1970.

3 Емельянов А.В., Чернова Н.А., Киреев А.А. Анализ методов изучения динамики численности популяции бобра // Вестник ТГУ. – 2009. – Т. 4. – Вып.2. – С.153

4 Игнатенко А. Мониторинг бобровых поселений на территории Боровского района Калужской области. Научно-исследовательская работа. Экоclub «Росток».- 2017 г.

## **ИЗУЧЕНИЕ ВИДОВОГО СОСТАВА ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ДЛЯ ОЗЕЛЕНЕНИЯ ЦЕНТРАЛЬНЫХ УЛИЦ И ПАРКОВ ГОРОДА МАЛОЯРОСЛАВЦА**

*И.Е.Никуличева, Е.С.Андреева  
МОУ СОШ №2 г.Малоярославца, Россия*

Местообитания растений в городах, где имеет место значительное техногенное воздействие, отличаются от естественных условий произрастания. Поэтому в городе формируются растительные сообщества, которые отличаются видовым составом от естественной растительности. Растительный покров в городе формируется из местных (аборигенных) и заносных видов, включая интродуценты и адвентивные растения.

Цель: изучение видового состава древесной растительности, используемой для озеленения центральных улиц и парков города Малоярославца.

Исследования проведены на территории города Малоярославца в сентябре-октябре 2021 года. Кроме, того, в работу включены данные, которые были получены нами ранее (2014-20 16 гг.) при изучении растительности на территории ООПТ Парка Дубки школьным научным обществом «Поиск». Фактический материал собирался в осенний период до опадания листьев [1-3].

Обычно при изучении дендрофлоры и жизненного состояния древесных растений города внимание обращают на деревья и кустарники, встречающиеся в пределах жилой застройки [4-5]. Для анализа дендрофлоры мы выделили в пределах этой

территории следующие функциональные элементы города: Сквер 1812 года, городской сквер на площади имени Ленина и ООПТ Парк Дубки. А также центральные улица города Радищева и Московскую.

Сбор фактического материала проводился в результате маршрутных обследований территории.

В результате работы выяснили, что на исследуемых территориях произрастает 11658 деревьев, которые относятся к 37 видам. Доминантными видами являются дуб черешчатый, берёза повислая, липа сердцевидная и сосна обыкновенная. Менее всего встречаются вяз шершавый, яблоня домашняя, и ольха чёрная, бузина красная (обыкновенная), пузыреплодник калинолистный, сирень обыкновенная, слива домашняя.

К отряду голосеменные относятся 17% растений и к отряду покрытосеменные 83%. Из 14 семейств доминантным является семейство Розоцветные (Rosaceae) 19,4%, Ивовые (Salicales) 14%, Сосновые 11,1%. Наименее встречаемые Адоксовые (Adoxaceae), Лоховые (Elaeagnales) и Мальвовые (Malvaceae) по 2,7 %.

В ходе исследования выявлено 56% чужеродных растений и аборигенных 44%.

### *Литература*

1 Ашихмина Т.Я. Школьный экологический мониторинг. – М.: Агар, 2000. – 286 с.

2 Валягина-Малютина Е.Т. Деревья и кустарники Средней полосы европейской части России: Определитель. – СПб: «Специальная Литература», 1998.

3 Воронков Н.А. Основы общей экологии. – М.: Агар, 1997. – 87 с.

4 Губернский Ю.Д. Гигиеническая оценка состояния окружающей среды и здоровья населения. М.: Медицина, 2007. – С. 114-127.

5 Дмитриева В.А., Дмитриева А.О. Зеленые насаждения как органическая часть планировочной структуры современного города //Журнал Педагогика online. [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://aneks.spb.ru/raznoe/zelenye-nasazhdeniia>

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ШТАММА  
*BACILLUS SUBTILIS* 168 pNKdinC ДЛЯ ДЕТЕКЦИИ  
ГЕНОТОКСИЧНЫХ ВЕЩЕСТВ В ПОЧВЕ  
(НА ПРИМЕРЕ ПОЧВ О.ОЛЕНЕВСКИЙ)**

*Е.А. Степанова<sup>1</sup>, М.М. Рассказова<sup>2</sup>, И.В. Манухов<sup>3</sup>,  
У.С. Новоятлова<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> – МБОУ «СОШ №11», г. Обнинск, Россия

<sup>2</sup> – Обнинский институт атомной энергетики – филиал  
Национального исследовательского ядерного  
университета «МИФИ», г. Обнинск, Россия

<sup>3</sup> – Научно-исследовательский центр молекулярных механизмов  
старения и возрастных болезней Московского физического  
института и технологии, г. Долгопрудный, Россия

Преимущество биосенсоров перед другими методами определения наличия загрязняющих веществ в том, что они проще и быстрее в эксплуатации, экономически выгоднее. Подобные lux-биосенсоры применяются в областях генетической инженерии и биотехнологии, пищевой промышленности, а также в качестве детектора токсических агентов [1].

Цель работы: проверка эффективности биосенсорного штамма *Bacillus subtilis* 168 pNKdinC при измерении токсикантов в почве в полевых условиях и мониторинг почвенных субстратов о. Оленевский на выявление генотоксичных веществ.

В работе использовался цельноклеточный lux-биосенсор на основе почвенной типовой грамположительной бактерии *B. subtilis* 168. Штамм содержит плазмиду с генами люминесценции luxABCDE под контролем промотора к гену dinC, который индуцируется при повреждениях ДНК.

В качестве контрольного генотоксичного вещества использовался Mitomycin C (MitC). Измерения люминесценции проводились на люминометре БИОТОКС-7.

Отбор проб и исследования проводились на базе научно-исследовательской экспедиции «Полярный круг 2021» на о. Оленевский (Чернореченская губа, Кандалакшский залив, Белое море) в рамках проекта «Молодёжные образовательные экспедиции» в июле 2021 года [2].

Исследование работы биосенсора с почвами, внесёнными напрямую в образец (рис. 1) показало, что индукцию вызвали все образцы с добавлением MitC. Однако, самые высокие показатели наблюдались у образца с добавлением MitC без почвенного образца (MitC-6) и составили 2200 о. е.

Максимальная амплитуда ответа наблюдалась у биосенсорных клеток с добавлением MitC (MitC-6). Минимальная амплитуда ответа наблюдалась у образца с добавлением MitC и гумусной почвы из леса с более тёмными и крупными почвенными частицами (№4+MitC-6).

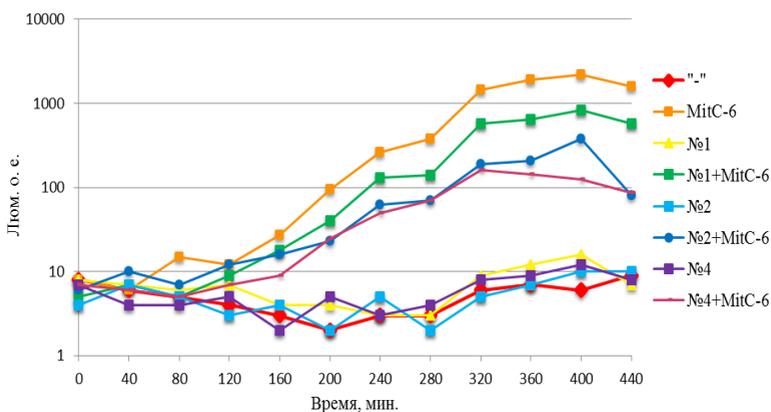


Рис. 1. Графики зависимости люминесценции от времени.

«-» - биосенсорные клетки. Фоновая люминесценция: 1-3 о. е.

Таким образом, биосенсорный штамм *Bacillus subtilis* 168 pNKdinC можно потенциально использовать для детекции генотоксичных веществ в почве с поправкой на экранирование

люминесценции более темными почвенными частицами. По результатам применения исследуемого штамма генотоксичных веществ в почве на о. Оленевский не обнаружено.

### *Литература*

1 Jouanneau S., Durand M.J., Thouand G. Online detection of metals in environmental samples: Comparing two concepts of bioluminescent bacterial biosensors // Environ. Sci. Technol. – 2012. – V.6 (21). – P.11979–11987.

2 Проект «Молодёжные образовательные экспедиции» // Сайт Молодежные образовательные экспедиции [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://www.expeditions.ru> (дата посещения 05.04.2022).

## **ПРОВЕРКА ДОСТОВЕРНОСТИ ТЕСТ-СИСТЕМ ДЛЯ ХИМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ВОДЫ**

*Е. А. Сысоева, В.С. Копылова*

*ЧОУ СОШ «Обнинская свободная школа», г. Обнинск, Россия*

Значение воды в жизни человека огромно, поэтому важно следить за ее качеством. Питьевая вода должна соответствовать норме по множеству показателей [1,2], и сейчас их проверка стала доступной: появились портативные тесты для оценки качества воды, но их точность остается под вопросом.

**Цель работы:** проверка достоверности экспресс-тестов тестов для химического анализа воды лабораторными методами.

### **Задачи работы:**

1) Провести химический анализ проб воды с помощью тестовых наборов «Гейзер» (Россия) и Drink Water (Китай).

2) Провести химический анализ проб воды лабораторными методами.

3) Сравнить точность двух методов и оценить достоверность результатов, полученных тестовыми наборами.

**Методика.** В исследовании использовались следующие пробы воды: дистиллированная вода в качестве контроля, питьевая вода из автомата на улице, водопроводная вода (г.

Обнинск, ул. Маршала Жукова), родниковая вода из г. Жуков. Тест-системы для определения качества воды: Гейзер (Россия) и Drink Water (Китай). Лабораторные методы химического анализа: рН-метрия с помощью рН-метра, титриметрическое определение жесткости воды, аргентометрия для определения концентрации хлорид-ионов, фотометрическое определение концентрации нитрат- и нитрит-анионов, определение перманганатной окисляемости, определение содержания железа атомно-адсорбционным методом. Все измерения проводились в двух повторностях, в результатах учитывались средние значения полученных показателей.

**Результаты.** Результаты исследования показали, что с помощью данных тест-систем можно получить только приблизительные данные о рН и общей жесткости воды (если она повышена). Содержание хлоридов и нитратов занижено в несколько десятков раз (например, 0,5 мг/л по тесту и 25,2 мг/л по результатам титрования), содержание железа и перманганатная окисляемость, наоборот, сильно завышены по сравнению с данными лабораторного анализа.

Также стоит отметить, что относительная характеристика проб воды, полученная по тест-системам, не соответствует данным лабораторного анализа (например, по тесту самая высокая перманганатная окисляемость у питьевой воды, а по лабораторному исследованию – у проточной). При этом ни один из показателей не превысил ПДК, зафиксированные в нормативах [1,2].

**Выводы.** Тесты для быстрого анализа качества воды позволяют приблизительно определить кислотность среды. Некоторые тесты могут позволить приблизительно определить жесткость воды, если она повышена. Концентрации различных ионов в пробах воды, измеренные разными тестами, значительно отличаются друг от друга и от лабораторных результатов. С помощью изученных тестов невозможно получить достоверные количественные и полуколичественные данные о качестве питьевой и водопроводной воды.

### *Литература*

1 ГН 2.1.5.1315-03 Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования (от 15 июня 2003 года).

2 СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания" (от 28 января 2021 года).

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Программный комитет V Международной (XVIII Региональной) научной конференции «Техногенные системы и экологический риск»</b>	3
<b>Секция 1. Ядерная и тепловая энергетика</b>	6
Ахцигер В.В., Ахцигер И.А., Зевякин А.С., Иванов Д.В., Шпилько М.А. Расчет прочности и сейсмостойкости линейно-спектральным методом Мерника ионообменных смол на программном комплексе «АРМ»	6
Ахцигер В.В., Ахцигер И.А., Зевякин А.С., Иванов Д.В., Шпилько М.А. Расчет прочности и сейсмостойкости Мерника ионообменных смол на программном комплексе «ANSYS»	8
Ахцигер И.А., Жакова Ю.Е., Зевякин А.С., Иванов Д.В., Шпилько М.А. Расчетные программные комплексы в современных реалиях	11
Гердт Э.А., Внуков Р.А., Колесов В.В. Исследование влияния аксиального профилирования ТВЭГОВ на выгорание долгоживущих радиоактивных отходов на примере модели Z49A2 реактора ВВЭР-1200	13
Глухов С.М., Ширманов И.А., Стругов Е.Д., Тарасов А.Д., Шумков Д.Е., Ташлыков О.Л., Климова В.А. Расчетная оценка пассивной системы теплоотвода на основе принципа работы термосифонов	15
Горбач А.С., Левон М.А., Фомин Р.В. Разработка наиболее эффективной мишени для наработки 14С на реакторе ВВР-Ц	17
Дворецкий С.В., Распопов Д.А., Белоусов П.А. Разработка предиктивных моделей для диагностики технического состояния электрооборудования АЭС	19
Делов М.И., Кузьменков Д.М., Куценко К.В., Лаврухин А.А. Влияние темпа увеличения тепловыделения в нагревателе на нестационарный критический тепловой поток	21
Джан Д.В., Егоров М.Ю. Организации передачи энергии нейтринным потоком	24

Дзугкоева Э.М., Стогов В.Ю. Расчетное сопровождение экспериментов, проводимых на быстрых реакторах типа БН	26
Дикова Т.С., Цветкова Д.Д., Терехова А.М. Анализ реактиметров, используемых для ядерных реакторов	28
Иваницкая Е.С., Терехова А.М., Шлапак Н.П. Возможное топливо реакторов ВВЭР-1200	29
Иваницкая Е.С., Лескин С.Т., Шлапак Н.П. Анализ состояния активной зоны реактора ВВЭР-1000 по показаниям СВРК с использованием нейросетевых алгоритмов	31
Исанов К.А., Закирова К.Р., Егоров М.Ю. Влияние плотности потока нейтронов на воспроизводства урана-233 в торий-урановом бридере	33
Кошелев М.М., Ульянов В.В., Кремлёва В.С. О возможности исключения избыточного шлакования циркуляционных контуров с теплоносителями на основе свинца	35
Кремлёва В.С., Ульянов В.В., Кошелев М.М. Влияние примеси кислорода на концентрацию оксидов в эвтектическом сплаве калия с натрием	37
Ляхнов М.В., Егоров М.Ю. Последствия проведения киберфизических атак на ядерную энергетику	40
Плуталов З.Е., Распопов Д.А. Разработка математических моделей прогнозирования мощности энергопотребления оборудования АЭС	41
Ракитянская Е.С., Третьякова Н.В., Самохин Д.С. Реализация структурного метода расчёта надёжности радиоэлектронной аппаратуры при простом соединении элементов	43
Самохин Д.С., Вострилова А.Д. Методика анализа надёжности электрорадиоизделий, подверженных воздействию протонного излучения	44
Скородумов Д.Г., Чивилев Я.В., Яуров С.В. Численный анализ режимов работы вставок ограничителей течи при нормальной эксплуатации и разрывах трубопроводов системы подпитки-продувки первого контура и разработка новых моделей с усовершенствованными характеристиками	46

Сутягина Р.О., Алексеев В.В., Сутягин И.А. Существующие системы очистки натриевого теплоносителя	48
Сутягина Р.О., Пахомов И.А. Расчет нестационарного температурного режима элементов ТВС реактора типа БН, находящейся в газовой среде	50
Ульянов В.В., Кошелев М.М., Кремлёва В.С. Влияние содержания растворенного оксида свинца на интенсивность разложения водяного пара в свинцово-висмутовой эвтектике	52
Фирсов Е.И., Буркеев М.З., Внуков Р.А. Исследование изменения концентрации радиоактивных изотопов в топливе с добавлением тория на примере элементарной ячейки ВВЭР-1000	54
Цветкова Д.Д., Дикова Т.С., Терехова А.М. Методы измерения реактивности ядерного реактора	56
Чивилев Я.В., Скородумов Д.Г., Яуров С.В. Расчетное моделирование влияния конкурирующих процессов движения среды на эффективность теплообменного оборудования со спирально навитыми трубками.	57
Ширманов И.А., Глухов С.М., Стругов Е.Д., Щеклеин С.Е. Расчет тепловой схемы перспективной АЭС с реактором Брест-ОД-300 со сверхкритическими параметрами пара	60
Шпилько М.А., Милютин Н.А., Ахцигер И.А., Иванов Д.В. Кросс-верификация расчетных комплексов Сапфир_95&гс_ВВЭР и Сапфир_рф&гс_ВВЭР по эксплуатационным данным блока №1 Ленинградской АЭС	63

**Секция 2. Ядерный топливный цикл. Проблемы обращения с отходами** 65

Волуца А.В., Егоров М.Ю. Технология остекловывания ЖРО при помощи индукционной печи с холодным тиглем 65

Мамчиц Е.Г., Дорогов В.И. О расширении представления экологических сведений в национальном докладе России по объединенной конвенции обращения с ОЯТ и РАО 67

Шагинян Р.А. Потенциал использования гидридов металлов в быстрых реакторах 70

**Секция 3. Техногенный и экологический риски. радиационная безопасность** 73

Adonle S.A., Solovlev A.N. Method for numerical estimation of absorbed dose in computational phantom 73

Mungwalubilo M., Synzynys B.I. Determination of radon doses for students and personnel at Obninsk institute for nuclear power engineering 75

Nkausu A.K., Melnikova T.V., Momot O.A. Chemical element migration assessment in water bodies near JSC "Karpov research and development institute for physical chemistry" (Obninsk) 77

Sadhukhan R.K., Synzynys B.I. Comprehensive assessment of radiation impact from natural radioactivity and tritium around rooppur npp before commissioning and predicted exposures of NPP operation 79

Yeboah K.A., Synzynyz B.I., Roshchenko V.A., Romantsova I.V. Environmental impact assessment of radon in spring water around the city of Obninsk 82

Бондарева Л.Г., Тананаев И.Г. Роль фитопланктона в самоочищении водоемов с радионуклидным загрязнением 84

Гаджиева С.Р., Алиева Т.И., Шахназарова Н.М. Локбатанский грязевой вулкан 86

Гаджиева С.Р., Алиева Т.И., Шахназарова Н.М. Грязевые вулканы Азербайджана-чрезвычайные природные явления 88

Гончарова Т.А., Стрельцов А.Б. Применение Гис-технологий при экологической оценке территорий Калужской области	90
Горбачев А.В., Кудымов В.А., Бубликова И.А. Влияние АЭС на содержание радионуклидов в донных отложениях водоемов территории размещения	92
Грибанова С.А., Ахметшина Г.А., Галяутдинова Г.Р. К вопросу о шумовом загрязнении Уфы	94
Ефимова Е.С., Полякова И.В., Фролова Н.А., Губина О.А., Лауринавичюс К.С. Оценка влияния величины дозы радиационной обработки мясного фарша на изменение состава микробного сообщества	96
Карл Л.Э., Микляев П.С., Петрова Т.Б., Лашенцова Т.Н., Маренный А.М., Кайгородов Е.И. Оценка потенциальной радоноопасности территории вблизи объекта по добыче и переработке урановых руд	99
Картошкина А.В., Кочнов О.Ю., Кузнецов Н.В., Пахолик Д.А., Фомичев В.В. Воздействие ИЯУ малой мощности на окружающую среду	101
Киселёв С.М., Шлыгин В.В., Зозуль Ю.Н., Ахромеев С.В., Болотник Н.Ф., Шашкова О.Б. Совершенствование подходов к мониторингу загрязнения окружающей среды на предприятиях, задействованных в реабилитации ядерного наследия	103
Коновалов М.А., Ульянов В.В., Кошелев М.М., Кремлёва В.С. Об эффективности замены воды на свинцово-висмутовую эвтектику в щелевых каналах кристаллизаторов	105
«RISKAgro» – приложение для оценки риска производства продукции, не соответствующей нормативным требованиям по содержанию $^{137}\text{Cs}$ и $^{90}\text{Sr}$ Копыльцова Е.В., Куриленко Р.С.	107
Краснопеев С.А., Лукашенко С.Н., Эдомская М.А., Томсон А.В. Исследование миграции трития по механизму «воздух-растение»	110

- Лаврикова Р.Г., Тлеуканова Ж.Е., Айдарханова А.К., Мамырбаева А.С. Исследование характера вертикального распределения  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{241}\text{Am}$  и  $^3\text{H}$  в донных отложениях природных озер территории семипалатинского испытательного полигона 112
- Маджидов А.И., Дмитренко В.В., Улин С.Е., Власик К.Ф., Грачев В.М., Егоров Р.Р., Кривова К.В., Утешев З.М., Чернышева И.В., Шустов А.Е. Автоматизированный и роботизированный гамма-спектрометрический комплекс для исследования ядерно-физических установок при выводе их из эксплуатации и контроля за радиационной обстановки 114
- Меджидов И.М., Харламов В.А., Полякова И.В. ЭПР-сигнал черного молотого перца, радиационно-обработанного в дозе 6 кГр 116
- Микаилова Р.А., Спиридонов С.И., Фесенко С.В. Оценка уровней вмешательства для защиты населения при авариях на АЭС 118
- Микляев П.С., Петрова Т.Б., Лашенова Т.Н., Карл Л.Э., Маренный А.М., Губанова Ю.К., Мнацаканян М.Р. Характеризация водных объектов в районе расположения объекта ЛПО «Алмаз» и г. Лермонтов 121
- Непогодина Я.В., Удалова А.А. Содержание радионуклидов в почве в зоне влияния НИФХИ им. Л.Я. Карпова в 2018-2021 г. 123
- Нилова Е.К., Войтенко К.Ю., Егоров В.С. Применение программных средств для оценки и прогнозирования показателей радиационной обстановки в рамках проведения противоаварийных тренировок в республике Беларусь 125
- А.В. Панов, В.К. Кузнецов, Н.Н. Исамов Эффективность коренного улучшения лугопастбищных угодий после аварии на чернобыльской аэс 127
- Панов А.В., Трапезников А.В., Коржавин А.В., Гешель И.В., Коровин С.В., Эдомская М.А. Радиационная безопасность питьевой воды в районе расположения Белоярской АЭС 130
- Полякова И.В., Фролова Н.А., Губина О.А. Влияние ионизирующего излучения на содержание кверцетина в растворе с разным значением Ph 132

Раимканова А.М., Айдарханова А.К., Мамырбаева А.С. Изучение распределения радиоуглерода в компонентах природной среды испытательной площадки «Опытное поле»	134
Рафиева Х.Л., Абдуллаева Л.А., Агаева З.Р. Экологические аспекты выявления степени радиоактивности глинистых минералов районов Азербайджана	136
Родионов И.А., Елохин А.П. Сценарий оценки радиоактивного загрязнения подстилающей поверхности при использовании беспилотного дозиметрического комплекса	138
Росновская Н.А., Крышев А.И. Оценка коэффициентов накопления и распределения техногенных радионуклидов для биоты и донных отложений Баренцева моря	141
Рустамова У.Н., Кадырова Э.М., Халилов А.И. Анализ причин создавшейся экологической ситуации на трансграничной реке Аракс	143
Сынзыныс Б.И., Агредо Камарго Д. К., Рощенко В.А., Романцова И.В. Суммарная альфа- и бета-активности в воде из родника в Обнинске: определение эффективной дозы облучения и оценка радиационного риска для здоровья	144
Фролова Н.А., Полякова И.В., Губина О.А. Воздействие гамма-излучения на <i>Staphylococcus</i> в присутствии кварцетина и этилового спирта	147
Шарипбаев С.С., Белоусов П.А., Легконогих С.В. Промышленная компьютерная томография для неразрушающего контроля композитных материалов	149
Шилов С.В. Размеры опасных аварийных зон при использовании наземных бытовых газгольдеров малого объема	151
Шлыгин В.В., Киселёв С.М., Зозуль Ю.Н., Ахромеев С.В. Исследование загрязнения подземных вод на предприятии по обращению с радиоактивными отходами СЗЦ «СевРАО» (отделение Сайда-Губа)	152
Шпилько М.А, Мельникова Т.В, Удалова А.А. Содержание 226Ra и 137Cs в водных объектах вблизи АО «НИФХИ им. Л.Я. Карпова» за период 2019- 2021 гг.»	154

<b>Секция 4. Биотестирование и биоиндикация объектов окружающей среды</b>	157
Gahramanova K.R., Osmanova S.F. Isolation of active strains- destructors of oil and oil products from oil-contaminated sea water	157
Авалян Р.Э., Атоянц А.Л., Агаджанян Э.А, Арутюнян Р.М. Применение системы почва-растение для биотестирования радионуклидного загрязнения природных территорий	158
Афонин А.А., Ляпунова Е.Р., Комарова Л.Н. Анализ метаболической активности клеток <i>Poecilia reticulata</i> под действием ионов ртути	160
Батраченко Е.А. Использование биоиндикационных методов для оценки комфортности городской среды	162
Гаджиева С.Р, Мустафаев И.И., Алиева Т.И. Биомониторинг атмосферного воздуха озера Зых с использованием мхов-трансплантов	164
Заросликов К.Н. Использование грибов в биотестировании радиационного заражения объектов окружающей среды	166
Карманова А.Н., Рябова Н.А., Лу И., Зимин А.А. Выделение и характеристика морфологии новых бактериофагов <i>Streptomyces</i> из проб почвы Приокско-терассного заповедника	167
Кузина А.А., Мощенко Д.И, Колесников С.И. Оценка устойчивости каталазы в темно-серой лесной почве при химическом загрязнении	169
Минкина Ю.В. Флавонолы и ИУК в прорастающем <i>in vitro</i> мужском гаметофите петунии ( <i>Petunia hybrida</i> l.)	171
Миценък А.С., Николаева А.Ю., Подобед М.Ю., Бабина Д.Д., Горбатова И.В., Блинова Я.А., Празян А.А., Бондаренко Е.В., Бондаренко В.С., Волкова П.Ю. Изменение морфометрических параметров проростков люпина узколистного в ответ на разные дозы гамма-облучения семян	173
Морус Е.В., Шарин Д.О., Суворова С.Ю., Игнатенко Г.К., Рассказова М.М. Исследование влияния биоты на эксплуатацию Смоленской АЭС	176

Мощенко Д.И., Колесников С.И. Биодиагностика устойчивости чернозема обыкновенного центрального Предкавказья при химическом загрязнении	178
Наумова А.А., Стрельцов А.Б. Оценка качества среды по флуктуирующей асимметрии березы повислой ( <i>Betula pendula roth.</i> ) на территориях Жиздринского района	180
Нижельский М.С., Казеев К.Ш., Вилкова В.В. Биоиндикация воздействия дыма при пожарах на почвенную биоту	182
Николаева А.Ю., Миценых А.С., Шестерикова Е.М., Подлущий М.С., Битаршвили С.В., Макаренко Е.С., Лыченкова М.А. Бондаренко Е.В., Бондаренко В.С., Волкова П.Ю. Оценка влияния гамма-облучения на прорастание семян и морфометрические параметры проростков люпина желтого	184
Позняк С.С. Аналитические методы для судебной экологической экспертизы объектов почвенно-геологического происхождения	186
Рыжова Е.М., Рассказова М.М. Диагностическая роль моховидных овражных комплексов различных фитоценозов	189
Хох А.Н. Изменчивость размерных характеристик трахеид сосны обыкновенной в условиях автотранспортного загрязнения	191
Хуснуллин Р.Р., Минакова Е.А. Исследование ценопопуляции <i>Betula pendula</i> в условиях трассы А-295 республики Татарстан по методике флуктуирующей асимметрии	193
Шарин Д.О., Морус Е.В., Суворова С.Ю., Игнатенко Г.К., Белоусов П.А. Индикатор контроля биомассы для водоема-охладителя тепловых электростанций	195

<b>Секция 5. Экологическая и фармацевтическая химия</b>	<b>198</b>
Afum E.T., Nepogodina Y.V., Udalova A.A. Determination of sodium content in the soils at the Karpov institute of physical chemistry	198
Gadirova E.M. Level of toxic organic compounds in refinery wastewaters	200
Golo D.-D. E., Melnikova T.V., Udalova A.A. Determination of Ph and electrical conductivity of bottom sediments (summer and autumn, 2021)	201
Hajiyeva S.R., Gadirova E.M. Heavy metals in refinery wastewaters	203
Mbesi M., Nepogodina Y.V., Afum E., Udalova A.A. Determination of the concentration of potassium and specific activity of K-40 in soils around the Karpov institute	205
Mugisa G.G., Melnikova T.V. Gas chromatographic analysis of irradiated HCH isomers in the composition of "Hexachlorane dust"	207
Mustafayev I.I., Hajiyeva S.R., Aliyeva T.I. Research of ecological-chemical indicators of Khojasan lakes of the Absheron peninsula	209
Rakida N.M. Chemical treatment of industrial wastewater	211
Гаджиева С.Р., Мустафаев И.И., Алиева Т.И. Экологическое оценивание озера Бёюкшор Абшеронского полуострова	213
Гордиук А.В., Добрева Н.И. Изучение стабильности ЛОС, отобранных на сорбционные трубки, в процессе хранения до проведения анализа	215
Гречина М.С., Плетенев П.А. К вопросу определения остаточных количеств глифосата в воде и почве	217
Егорченкова О.Е. Аналитический контроль фосфорорганического инсектицида в томатах	219
Епимахов В.Г., Исамов Н.Н., Мирзоев Э.Б. Модель перехода свинца из периферической крови в органы и мышечную ткань овец	221

Зюбанов В.А., Кочетков А.И., Пасынкова Е.М., Пантюхина А.Г., Шилина А.С. Мониторинг стойких органических загрязнителей в атмосферном воздухе г. Обнинска	223
Ивченкова А.А., Степанова Н.А., Добрев Д.С. Новый метод определения глифосата в воздушной среде	225
Ирхина Д.В., Чудновец Т.А., Рыбачук В.А., Косаченко А.О., Николаев К.А., Солдатова О.В., Шитова А.А., Сабуров В.О., Демяшкин Г.А., Филимонова М.В. Оценка влияния соединения ДТ8 на развитие и тяжесть лучевых повреждений мочевого пузыря при локальном $\beta$ -облучении	227
Карманова Е.Е., Усачева А.М., Черников А.В., Замятина Е.А., Аникина В.А., Брусков В.И. Некоторые свойства тиюктовой ( $\alpha$ -липоевой) кислоты как потенциального радиомитигатора	229
Курпединов К.С., Сулова А.В. Методические подходы к определению остаточных количеств фунгицида класса триадиазолкарбоксамидов в растительной продукции	231
Маркова М.В., Мельникова Т.В. Исследование кинетики радиационного разложения гамма-ГХЦГ в составе препарата «Гексахлоран дуст»	233
Молчанов М.Д., Добрева Н.И. Особенности применения патронов ТФЭ при пробоподготовке воды и почвы в газохроматографическом анализе с масс-спектрометрическим детектированием	235
Муфтеева А.Р., Выпова Е.Р., Федулова Е.А., Мельникова А.А., Комарова Л.Н., Шкавров С.В., Уланова Т.В. Исследование радиопротекторных свойств фумаровой кислоты	237
Родионов А.С., Егорова М.В. Метод определения валового содержания тяжелых металлов в почве для целей экологического контроля	238

<b>Секция 6. Экологические аспекты действия неионизирующего и ионизирующего излучения</b>	241
Mashalaba T. B. , Kolganiva O.I. , Panfilova V.V. Proton irradiation of rats brain & behaviour indexes	241
Атамановская Г.А., Астахина С.О., Комарова Л.Н. Влияние гамма-облучения на митотическую активность в корневой меристеме пророщенных семян <i>hordeum sativum</i>	243
Бабина Д.Д., Подобед М.Ю., Битаршвили С.В., Лыченкова М.А., Цурина О.Н., Бондаренко Е.В., Волкова П.Ю. Анализ фотосинтетических параметров <i>arabidopsis</i> <i>thaliana</i> после действия ионизирующего излучения и засоления	245
Бабина К.В., Амосова Н.В. Сочетанное действие $\gamma$ -излучения и ионов алюминия на цитологические показатели проростков ячменя различных сортов	247
Балдов Д.А., Выпова Е.Р., Купцова П.С., Мельникова А.А., Комарова Л.Н. К вопросам об оптимизации МТТ-теста	249
Белая О.В., Перов С.Ю. Дозиметрия в оценке биологического действия электромагнитных полей систем сотовой связи 2-5G	251
Васендин Д.В., Усенко Г.А. Изучение влияния гелиогеофизических факторов на минутный объем крови у лиц различным психосоматическим статусом	253
Выпова Е.Р., Купцова П.С., Мельникова А.А., Балдов Д.А., Комарова Л.Н., Берсенева А.А. Исследование комбинированного действия ионов углерода $^{12}\text{C}$ и противоопухолевого препарата «Доксорубин» на клетки карциномы шейки матки человека	255
Голубев Д.А, Шапошников М.В., Москалев А.А. Влияние цианидин-3-глюкозида на устойчивость <i>Drosophila</i> <i>melanogaster</i> к $\gamma$ -облучению	257
Дорн Ю.А., Лой, Н.Н. Павлов А.Н., Чиж Т.В. Исследование влияния гамма-излучения на радиочувствительность рисового долгоносика	259

Дорохов А.В., Корякина Е.В., Трошина М.В. Применение линейно-квадратичной модели для расчёта фракционирования дозы нейтронного излучения	261
Дремин А.И., Макарова-Землянская Е.Н. Сравнение методов оценки эффективности индивидуальных шунтирующих экранирующих комплектов	263
Жалнина А.А., Ускалова Д.В., Куранова Л.Л., Савина Н.Б., Корякин С.Н., Сарапульцева Е.И. Радиационно-индуцированный оксидативный стресс при облучении протонами в пубертатный период развития модельного тест-организма	265
Корнеева У.М., Трошина М.В., Корякина Е.В. Воздействие протонов на клетки китайского хомячка в присутствии борсодержащего препарата и без него	267
Куликов А.В., Архипова Л.В., Гаврилюк В.Б., Брусков В.И., Глазков А.А., Глазкова П.А., Куликов Д.А. Увеличение выживаемости животных после летального облучения с помощью аллотрансплантации тимуса	270
Куранова Л.Л., Ускалова Д.В., Жалнина А.А., Савина Н.Б., Корякин С.Н., Сарапульцева Е.И. Изменение выживаемости и плодовитости модельного тест-организма при облучении в ювенильный период	272
Петрухина Д.И., Шишко В.И., Тхорик О.В., Харламов В.А., Меджидов И.М., Цыгвинцев П.Н. Влияние нетермальной плазмы на рост и развитие ячменя	274
Мельникова А.А., Балдов Д.А., Комарова Л.Н. Муфтева А.Р., Федулова Е.А. Закономерности действия тяжелых заряженных частиц и химиопрепарата на опухолевые клетки человека <i>in vitro</i>	276
Мельникова А.А., Балдов Д.А., Купцова П.С., Выпова Е.Р., Комарова Л.Н. Исследование воздействия комбинированного действия ионов углерода $^{12}\text{C}$ и химиопрепарата доксорубин на трижды негативный рак молочной железы	278

- Мельникова А.А., Балдов Д.А., Комарова Л.Н. Муфтеева А.Р., Федулова Е.А. Выявление синергических эффектов комбинированного действия адронной терапии и доксорубина на опухолевых клетках молочной железы 280
- Морус Е.В., Булгин И.В., Козарь И.А., Рассказова М.М., Астахина С.О. Особенности длительного радионуклидного загрязнения почв на участке реки Ипуть 282
- Московская К.А., Лой Н.Н. Урожайность зерновых культур в зависимости от электронного предпосевного облучения 284
- Николаев К.А., Рыбачук В.А., Косаченко А.О., Шевченко Л.И., Шитова А.А., Солдатова О.В, Сабуров В.О., Корякин С.Н., Филимонов А.С., Филимонова М.В. Оценка эффективности ингибитора NOS iNOS-A в профилактике лучевых патологий, вызванных протонами с энергией 140 МэВ 286
- Пакшина Н.Р., Прошкина Е.Н., Юшкова Е.А., Коваль Л.А., Земская Н.В., Соловьев И.А., Шапошников М.В., Москалев А.А. Роль генов *argonaute* в регуляции продолжительности жизни и радиорезистентности *Drosophila melanogaster* 288
- Перов С.Ю., Коньшина Т.А. Оценка обеспечения безопасных условий труда работников электросетевых объектов 290
- Перов С.Ю., Лифанова Р.З. Влияние электромагнитных полей базовых станций систем сотовой связи стандарта 5G NR/IMT-2020 на показатели белой крови крыс 292
- Рыбак А.В., Майстренко Т.А. Ответная реакция дождевых червей *e. Fetida* на воздействие редко- и плотноионизирующих излучений: выживаемость, репродуктивная способность, дифференциация целомоцитов 294
- Суворова С.Ю., Лапенко А.К., Рассказова М.М. База данных для участка реки Ипуть в зоне радионуклидного загрязнения 296
- Толкаева М.С., Петин В.Г. Куполообразная зависимость синергизма от температуры при совместном взаимодействии с солями тяжелых металлов 298

Уляшева Н.С., Шапошников М.В., Прошкина Е.Н., Москалев А.А. Влияния потенциальных антимуtagenных соединений на устойчивость <i>Drosophila melanogaster</i> к гамма-облучению	301
Усенко Г.А., Васендин Д.В. Гамма-фон среды в период магнитных бурь и склонность крови к гемостазу у больных артериальной гипертензией с различным психосоматическим статусом	303
Усенко Г.А., Васендин Д.В., Удилова К.В. Утилизация кислорода организмом больных артериальной гипертензией в периоды геомагнитных возмущений	305
Усольцева П.А., Трошина М.В., Корякина Е.В. Закономерности индукции aberrаций хромосом в клетках СНО-К1 после раздельного и сочетанного воздействия протонов и ионов углерода	307
Федулова Е.А., Муфтеева А.Р., Выпова Е.Р., Мельникова А.А., Балдов Д.А., Комарова Л.Н., Уланова Т.В., Шкавров С.В. Выявление эффектов комбинированного действия облучения и фумарата на клетках нейробластомы	309
Харламов В.А., Полякова И.В., Горбатов С.А., Меджидов И.М., Басырова Д.В., Глуценко В.Н. Использование дозиметра Фрикке для измерения окислительных свойств нетермальной плазмы	311
Черкасова Е.Е., Лаврентьева Г.В., Сынзыныс Б.И. Влияние гамма облучения на массу наземного моллюска <i>Fruticicola fruticum</i> третьей возрастной группы	313
Черкасова Е.Е., Лаврентьева Г.В., Сынзыныс Б.И. Изменение массы наземного моллюска <i>Fruticicola fruticum</i> второй возрастной группы после гамма-облучения	315
Шестакова В.А., Смирнова А.Н., Якимова А.О., Барановский Д.С., Клабуков И.Д. Флуоресцентная методика визуализации воздействия ионизирующих излучений на тканевые культуры	317

<b>Секция 7. Школьная экологическая секция</b>	319
Баранова А.В., Андреева Е.С. Влияние освещения на рост листьев <i>Alium Cera</i>	319
Беднякова В.С., Верушкина Г.Н. Изучение действия стимуляторов роста на проростки ячменя посевного	321
Белоусова Е.Д., Рассказова М.М. Распространение и характер произрастания видов черной книги калужской области на отдельных участках города обнинска	323
Бешир В.В., Кусков Я.М., Алексанов В.В., Алексеев С.К. Разнообразии комплексов жужелиц (Carabidae) Калужского городского бора	325
Бондаренко С.В., Бондаренко В.С., Гераськин С.А. Радиоэкологическое исследование красной японской сосны из зоны АЭС фукусима и сосны обыкновенной из зоны отчуждения чернобыльской АЭС при помощи полиморфизма IRAP-маркеров	327
Исаев Д.В., Рассказова М.М. Биоразнообразии и распространение видов макрозообентоса радиоактивно загрязнённых территорий Брянской области	330
Криворотова Е.С., Алексанов В.В., Рассказова М.М. Фрагмент пойменного леса в окружении лугов как местообитание напочвенных беспозвоночных (на примере памятника природы “Тарусский луг”)	332
Матвеев Д.С., Харитоновна И.Г. Распространение речного бобра на территории Боровского района Калужской области	334
Никulichева И.Е., Андреева Е.С. Изучение видового состава древесных растений, используемых для озеленения центральных улиц и парков города Малоярославца	336
Степанова Е.А., Рассказова М.М., Манухов И.В., Новоятлова У.С. Исследование эффективности штамма <i>Bacillus subtilis</i> 168 pNKdinC для детекции генотоксичных веществ в почве (на примере почв о.Оленевский)	338
Сысоева Е.А., Копылова В.С. Проверка достоверности тест-систем для химического анализа воды	340

Подготовка оригинала-макета А.А. Удалова, Л.А.Киселева

---

ЛР № 020713 от 27.04.1998

---

Подписано к печати

Формат бум. 60x84/16

Печать ризограф.

Бумага МВ

Печ.л. 29,125

Заказ №

Тираж 100 экз.

Цена договорная

---

Типография НИЯУ МИФИ

115409, г. Москва, Каширское шоссе,31

