**РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК**
**Отделение биологических наук**
**Радиобиологическое общество**
**Научный совет по радиобиологии**
**МЕЖДУНАРОДНАЯ АССОЦИАЦИЯ АКАДЕМИЙ НАУК**
**МЕЖДУНАРОДНЫЙ СОЮЗ РАДИОЭКОЛОГИИ**

# VII СЪЕЗД ПО РАДИАЦИОННЫМ ИССЛЕДОВАНИЯМ (радиобиология, радиоэкология, радиационная безопасность)

***Москва, 21–24 октября 2014 г.***

## ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

**Москва**
**2014**

УДК 621.039.58:504.75:577.1(063)
ББК 28.07+28.080.1
С28

О р г а н и з а т о р ы  С ъ е з д а :

Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН
Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН
Институт теоретической и экспериментальной биофизики РАН
Институт химической физики им. Н.Н. Семенова РАН
Медицинский радиологический научный центр Минздрава РФ
Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии ФАНО

О р г а н и з а ц и я - с п о н с о р –
Российский фонд фундаментальных исследований

С28 **VII Съезд по радиационным исследованиям (радиобиология, радиоэкология, радиационная безопасность)** : тезисы докладов. Москва, 21–24 октября 2014 г. – Москва : РУДН, 2014. – 456 с.

ISBN 978-5-209-06089-5

В сборнике представлены тезисы докладов на VII Съезде по радиационным исследованиям, в программу которого включены различные аспекты действия ионизирующей и неионизирующей радиации на живые организмы. Рассматриваются итоги фундаментальных и прикладных исследований и новые результаты в области радиобиологии, радиоэкологии и радиационной безопасности. Представлены все основные направления исследований в этой области: молекулярные и клеточные механизмы действия радиации на живые организмы, особенности действия малых доз радиации, теоретические исследования в области радиобиологии, работы в области радиационной генетики, медико-биологические последствия действия радиации и разработка методов их минимизации. Остаются актуальными вопросы противолучевой защиты и создания новых радиопротекторных препаратов, радиобиологии опухолей, проблемы оптимизации лучевой терапии. Исследования в области радиобиологии тяжелых ионов рассмотрены как основа лучевой терапии опухолей, а также в связи с проблемами безопасности космических полетов. Практически важным направлением является радиобиология неионизирующих излучений. В области радиоэкологии, помимо радиационного мониторинга окружающей среды, обсуждаются методы реабилитации и ведения хозяйства на загрязненных радионуклидами территориях. Отдельное заседание посвящено проблемам радиобиологического и радиоэкологического образования в России.

Тезисы публикуются в авторской редакции.

ISBN 978-5-209-06089-5

© Коллектив авторов, 2014
© Российский университет дружбы народов,
Издательство, 2014

# ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

# ХРОНИЧЕСКИЙ ЛУЧЕВОЙ СИНДРОМ У НАСЕЛЕНИЯ БАССЕЙНА РЕКИ ТЕЧА

*Аклеев А. В.*
Уральский научно-практический центр радиационной медицины, Челябинск, Россия,
akleyev@urcrm.ru

Интерес к проблеме хронического лучевого синдрома (ХЛС) возобновился не только вследствие пересмотра подходов к оценке детерминированных эффектов облучения, которые в настоящее время получили название тканевых реакций, но и в связи с реальной возможностью хронического облучения человека в результате радиационных аварий, террористических актов и профессиональной деятельности. Анализ результатов многолетних наблюдений за аварийно облученными жителями прибрежных сел реки Теча, подвергшимися внешнему гамма- и внутреннему облучению (преимущественно за счет $^{90}Sr$ и $^{137}Cs$), позволил не только изучить условия формирования ХЛС, динамику его клинических проявлений и отдаленные последствия, но и лучше понять патогенез синдрома. ХЛС необходимо рассматривать в качестве ответа организма как единого целого на общее хроническое облучение человека. На начальных стадиях ХЛС является типичной «дизрегуляторной» патологией, в основе которой первично лежат радиационно-индуцированные нарушения в регуляторных системах человека (иммуно-гемопоэзе, нервной и эндокринной), что позволяет квалифицировать неспецифические проявления данного патологического состояния как синдром, а не как самостоятельное заболевание. Изменения в сердечно-сосудистой, пищеварительной, репродуктивной и других висцеральных системах на начальной стадии имеют вторичный функциональный характер. Функция висцеральных органов после прекращения облучения восстанавливается. В случае продолжения облучения и достижения кумулятивных органных доз, превышающих пороговые для тканевых реакций, имеет место прогрессирование ХЛС. На этой стадии в тканях и органах развиваются органические изменения (сосудистые нарушения, дистрофия, фиброз, гипоплазия костного мозга и др.), а течение ХЛС приобретает необратимый характер. Особенностями ХЛС у населения прибрежных сел реки Теча являлись не только более длительный характер ее формирования, но и большая стойкость изменений гемопоэза во времени, которые в ряде случаев сохранялись до 20 и более лет, что было также обусловлено инкорпорацией в костной ткани долгоживущего $^{90}Sr$ длительно облучающего КМ. Необходимо отметить, что диагностика случаев ХЛС на ранних стадиях вызывает наибольшие сложности вследствие наличия нестойких и неспецифичных изменений со стороны критических систем. Важно отметить, что в подавляющем большинстве (95,5%) у жителей прибрежных сел реки Теча выявлялись случаи ХЛС легкой и средней степени тяжести (4,5%). Наиболее часто возникала необходимость в проведении дифференциального диагноза с анемиями различной этиологии и инфекционными заболеваниями. Как показали, результаты длительного наблюдения за пациентами с ХЛС в большинстве случаев имела место гипердиагностика, основными причинами которой являлись: недостаточность информации об исходном состоянии здоровья людей, недоучет сопутствующих заболеваний, имеющих сходные клинические симптомы (бруцеллез, туберкулез и др.) и нерадиационных факторов (травмы, переселение, беременность, профессиональная вредность и др.), а также отсутствие каких-либо дозиметрических данных на период постановки диагноза ХЛС. Нередко диагноз ХЛС устанавливался по результатам краткосрочного наблюдения за пациентами. Ретроспективный анализ показал, что хотя симптомы ХЛС не являются специфичными, время развития отдельных симптомов и динамика из развития (или регресса) четко зависели от мощности дозы на критические органы, динамики накопления дозы и распределения ее по организму. В этой связи обязательным условием для верификации диагноза ХЛС является длительное (многолетнее) регулярное медицинское наблюдение и анализ выявленных изменений в зависимости от динамики органных доз.

# АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОЙ РАДИОЭКОЛОГИИ

*Р.М. Алексахин*[1], *С.А. Гераськин*[1], *А.А. Удалова*[1,2]

[1]Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии ФАНО, Обнинск, Россия,

alexakhin@yandex.ru

[2]Обнинский институт атомной энергетики НИЯУ «МИФИ», Обнинск, Россия.

Неотъемлемой составляющей научно-технического прогресса стало применение ионизирующих излучений и радионуклидов в самых разных областях: энергетике, промышленности, медицине, науке, сельском хозяйстве. Важнейшее значение среди факторов, определяющих внедрение радиационных и ядерных технологий, имеет их экологическая безопасность. Поступление радионуклидов в окружающую среду в результате деятельности человека – эволюционно новый фактор, создающий риск дополнительного радиационного воздействия на все живые организмы, включая человека. Пристальное внимание к вопросам радиационной безопасности в современном обществе обусловлено многими причинами, не последнюю роль среди которых сыграли аварии на объектах атомной промышленности и энергетики. Образование радиоактивных отходов – неизбежный атрибут производственных процессов на всех этапах ЯТЦ. Таким образом, современная радиоэкология сталкивается с множеством задач, важнейшие из которых связаны с оценкой последствий крупных радиационных аварий и проблемой обращения с радиоактивными отходами.

Одним из перспективных подходов к решению проблемы радиоактивных отходов и тесно связанной с ней проблемой выведения из эксплуатации объектов ЯТЦ является принцип радиационной эквивалентности, суть которого состоит в необходимости достижения равенства экологической опасности захораниваемых отходов и изъятых из земных недр естественных радионуклидов. Использование этого принципа позволяет с экологических позиций рассмотреть вопросы обращения с ядерными материалами в топливном цикле, в первую очередь с долгоживущими радиоактивными отходами.

Анализ причин радиационных аварий на ПО «Маяк» (1957), Три Майл Айленд (США, 1979), Чернобыльской АЭС (1986) и Фукушиме (2011) показал, что исключить возможность возникновения новых аварийных ситуаций на объектах ЯТЦ с выбросом значительных количеств радионуклидов в окружающую среду нельзя. Поэтому радиоэкология радиационных аварий является неотъемлемым компонентом стратегии развития ядерной энергетики на средне- и долговременную перспективу.

В российском законодательстве отсутствуют основополагающие документы, регламентирующие принципы защиты окружающей среды от воздействия ионизирующих излучений. Развитие ядерной энергетики требует разработки такого документа, который бы гармонизировал принципы ограничения радиационного воздействия на человека и биоту.

В связи с изложенным, актуальными задачами современной радиоэкологии являются:

- анализ и формализация в виде математических моделей ключевых процессов, определяющих миграцию радионуклидов в основных природных средах;
- разработка дозиметрических моделей для референтных видов биоты;
- анализ механизмов, определяющих формирование радиобиологических эффектов на разных уровнях биологической организации – от молекулярно-клеточного до экосистемного, в том числе в условиях хронического радиационного воздействия;
- разработка единой системы радиационной защиты человека и окружающей среды, совместимой с системой оценки риска химических поллютантов.

# MOLECULAR MARKERS OF DSB REPAIR AND THEIR APPLICATION FOR ASSESMENT OF INDIVIDUAL RADIOSESNITIVITY

*I. Belyaev*[1,2]
[1]Cancer Research Institute, Bratislava, Slovak Republic,
[2]General Physics Institute, Russian Academy of Science, Moscow, Russia,
Igor.Beliaev@savba.sk

DSBs are the most deleterious DNA lesions. Within minutes and even seconds following ionizing radiation (IR), repair and checkpoint proteins are recruited to DSB sites, leading to the formation of so-called ionizing radiation induced foci (IRIF). IRIF are dynamic structures containing thousands of copies of proteins involved in various aspects of DSB repair and signaling. These proteins include phosphorylated H2AX (γ-H2AX), 53BP1, phosphorylated ATM, MDC1, RAD51, MRN complex (MRE11/RAD50/NBS1), RNF8/KIAA0646, RNF168, BRCA1-A complex (BRCA1, BARD1, UIMC1/RAP80, FAM175A/Abraxas, BRCC3/BRCC36, BRE/BRCC45 and MERIT40/NBA1. The number of IRIF is routinely used to assess the number of radiation-induced DSB.

IRIF are usually disassembled with time post-irradiation. However, IRIF disassembling does not follow the actual fate of DSB repair and can not be directly used for assessment of DSB repair. *In vivo* and *in vitro* studies suggested complex spatio-temporal behavior of IRIF. In some cases, the slight movement was observed that occasionally resulted in clustering of 53BP1-GFP and NBS1-GFP foci occurring in mutual proximity.

Fast formation of IRIF and their dynamical behavior suggested that directed active transport may underline re-localization of repair proteins. We proposed a mechanism for re-localization that is based on DSB-induced distortion of natural dynamical processes in DNA. According to this mechanism, the whole genome including uncoding DNA supports a spectrum of oscillations in the DNA domains resulting in specific topological dynamic organization and biophysical regulation of genome in a living cell. Radiation-induced DSB completely blocks oscillations in correspondent DNA-domain, which constitutes approximately 2 Mb in human cells. Thus, dynamic oscillations are replaced by a temporal local decrease of the net negative charge. Therefore, the DSB-containing DNA-domains became positively charged in respect to their neighborhood. This may create temporary local gradients (charge, H+/ions), which, in turn, may facilitate phosphorylation of H2AX and direct re-localization of the DSB repair proteins to restore the local chromatin charge and DNA dynamics.

Recent studies have revealed that some residual IRIF remain in cells for a relatively long time after irradiation, and have indicated a possible correlation between radiosensitivity of cells and residual IRIF. While precise functions of residual foci are presently unknown, our and literature data indicate their possible link to remaining chromatin alternations, nuclear matrix, apoptosis, delayed repair and misrejoining of DSB. Accumulating data indicate also that residual IRIF may be an useful tool for estimation of individual radiosensitivity of cancer patients. Along with residual foci, IRIF dose responses and time kinetics were used for assessment of individual radiosensitivity. The available data and correspondent techniques will be overviewed in this presentation. Albeit so far controversial, these data suggested that the grade of individual adverse reaction in response to radiotherapy may correlate DNA repair foci and apoptotic/necrotic cells in *in vitro* and *in vivo* tests under specific conditions.

**Acknowledgements.** This work was supported by the Structural Funds of EU (Protonbeam, ITMS: 26220220129), the Slovak Research and Development Agency (APVV 0669-10) and the VEGA Grant Agency (2/0150/11) of the Slovak Republic.

# ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАДИОТЕРАПИИ ОПУХОЛЕЙ ПОСРЕДСТВОМ БЛОКИРОВКИ СИСТЕМ РЕПАРАЦИИ ДНК

*А.И. Газиев*
Институт теоретической и экспериментальной биофизики РАН, Пущино, Россия,
gaziev.iteb@gmail.com

Исследования, направленные на повышение эффективности радиотерапии опухолей, остаются важнейшей задачей радиационной биологии. Как известно, ионизирующее излучение (ИИ) - одно из самых успешных средств, применяемых более чем в 50% случаев терапии опухолей. Однако клеточные системы репарации ДНК, направленные на сохранение и стабилизацию целостности генома, противодействуют гибели клеток неоплазии и, тем самым, снижают эффективность радио-химиотерапии опухолей. В клетках некоторых видов опухолей репарация повреждений ДНК, индуцируемых ИИ и соединениями химиотерапии, протекает более активно, чем в клетках гомологичных нормальных тканей. Установлено, что ряд ключевых ферментов системы эксцизионной репарации оснований ДНК (АП-эндонуклеаза, ДНК-лигаза III, поли (АДФ-рибозил) полимераза I и другие) имеют повышенную активность в опухолевых клетках по сравнению с клетками нормальных тканей. В клетках различных видов опухолей более активно происходит репарация двунитевых разрывов (ДНР) ДНК, а протеин киназы (ДНК-ПК, ATM и ATR), участвующие в этом процессе, имеют повышенную экспрессию. Так, облучение клеток рака молочной железы ИИ приводит к индукции активности ДНК-РК в 10-16 раз, а активности ATM и ПАРП-1в 2-3 раза. Эти исследования указывают, что повышенная активность ферментов репарации ДНК в клетках опухолей будет способствовать их резистентности к воздействию ИИ и генотоксичных препаратов химиотерапии. Исследования ингибиторов, способных подавлять ферменты различных систем репарации ДНК, прежде всего репарации повреждений ДНК, наиболее критических для клеточной гибели, является важнейшей задачей в повышении эффективности лучевой терапии и химиотерапии рака. В последнее время были разработаны и исследованы специфические химические ингибиторы активности ферментов, участвующие в сигнализации повреждений ДНК и их репарации. Так, ингибирование активности ATM-киназы специфическими ингибиторами было достаточно для значительной радиосенсибилизации опухолевых клеток. Подавление активности ATM-киназы может затормозить репарацию ДНР ДНК. В ряде исследований показана способность различных соединений ингибировать активности APE-1, ДНК-полимераз, ДНК-лигаз, участвующих в репарации ДНК в экспериментах с опухолевыми клетками. Вместе с тем, использование ингибиторов ферментов поли (АДФ-рибозо) полимераз (ПАРП) оказалось более успешным в радиосенсиблизации опухолей. В настоящее время ряд ингибиторов ПАРП, способных усиливать эффективность радиотерапии рака различных видов, прошел клинические испытания. Ингибиторы ПАРП эффективно подавляют рост клеток, имеющих дефекты по гомологичной рекомбинации, которые несут мутации в BRCA1/BRCA2 (прежде всего, рак молочной железы). В данном случае происходит полное переключение репарации ДНР ДНК на механизмы, приводящие к возникновению еще больших нарушений в геноме и гибели клеток. В этом направлении можно ожидать серьезного прорыва с получением новых нетоксичных ингибиторов ключевых ферментов систем клеточного ответа на повреждение ДНК и ее репарацию. Развитие исследований по разработке и испытанию ингибиторов ключевых ферментов систем репарации ДНК в клетках опухолей открывают многообещающие перспективы по повышению эффективности радиотерапии опухолей.

# ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ СОВРЕМЕННОЙ РАДИАЦИОННОЙ ФАРМАКОЛОГИИ

*А.Н. Гребенюк*
Всероссийский центр экстренной и радиационной медицины
им. А.М. Никифорова МЧС России,
Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова МО РФ,
Санкт-Петербург, Россия,
grebenyuk_an@mail.ru

Становление отечественной радиационной фармакологии началось в 50-х годах XX века в научных центрах, расположенных в Ленинграде и Москве. В дальнейшем, усилиями ученых Военно-медицинской академии, Института биофизики МЗ СССР, Медицинского радиологического научного центра, Института военной медицины, Уральского научно-практического центра радиационной медицины, Научно-производственного центра «Фармзащита» и других научно-исследовательских учреждений были созданы высокоэффективные противолучевые средства, составившие основу отечественной системы медицинской противорадиационной защиты.

В последние годы отечественная радиационная фармакология переживает не лучшие времена. Изменилась парадигма создания радиозащитных препаратов: если раньше требовалось защитить облученный организм от лучевой гибели и сохранить его работоспособность на ближайший постлучевой период, то теперь все чаще акценты делаются на профилактику стохастических последствий облучения, эффектов низкомощностного радиационного воздействия в диапазоне малых доз. Изменились условия деятельности научных центров, работавших в этой области: если раньше они выполняли важную государственную задачу по обеспечению обороноспособности страны, то теперь финансирование большинства проектов по разработке и испытанию новых радиозащитных препаратов идет по остаточному принципу. Старение, а иногда и полная ликвидация облучательских установок привели к тому, что существенно снизились возможности по моделированию лучевых поражений, а отсутствие единых методик проведения подобных исследований не позволяет оценить реальную защитную или лечебную эффективность периодически создаваемых препаратов. Существующая законодательная база резко усложнила испытание радиозащитных препаратов и сделала практически невозможным их внедрение в практику. Студенты медицинских, фармацевтических и биологических вузов в ходе додипломной подготовки практически не получают информации по радиационной фармакологии, что, наряду со снижением привлекательности участия в подобных исследованиях, приводит к резкому сокращению притока молодых ученых в профильные научные центры.

Тем не менее, отечественная радиационная фармакология продолжает жить и развиваться. Существуют базовые лаборатории, которые до настоящего времени осуществляют поиск, изучение и внедрение радиозащитных препаратов. Формируются новые научные направления, связанные с изучением радиозащитной эффективности эндогенных регуляторов кроветворения, антиоксидантов, гормональных препаратов и др. Проводятся совещания и научные конференции, на которых обсуждаются различные аспекты радиационной фармакологии.

В докладе будут представлены сведения о разработанных отечественными учеными радиозащитных препаратах и возможных перспективах дальнейших исследований в области радиационной фармакологии в нашей стране.

## 30 ЛЕТ СОТОВОЙ СВЯЗИ И ЗДОРОВЬЕ НАСЕЛЕНИЯ (СУЩЕСТВУЮЩИЕ РЕАЛИИ, ПРОГНОЗ ОПАСНОСТИ, РЕКОМЕНДАЦИИ)

*Григорьев Ю.Г.*
ГНЦ РФ - Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна ФМБА России, Москва, Россия,
Консультативный Комитет ВОЗ по Международной программе «ЭМП и здоровье населения»,
Российский национальный комитет по защите от неионизирующего излучения,
profgrig@gmail.com

В настоящее время техногенное электромагнитное загрязнение внешней среды возросло на несколько порядков. В качестве основного источника резкого повышения электромагнитного фона являются базовые станции сотовой связи.

Наибольшую опасность для всех групп населения представляют сотовые телефоны (СТ). Это открытый источник электромагнитного излучения, не имеющий защиты, доступный для всех групп населения, не имеет каких-либо ограничений и при его использовании осуществляется локальное облучение головного мозга пользователя.

Представлены отечественные и зарубежные результаты, позволяющие сделать вывод о возможном неблагоприятном влиянии ЭМП РЧ на здоровье пользователя СТ. Рассмотрено решение Международного агентства по исследованию рака (IARC) ВОЗ о выделении ЭМП СТ в группу 2В, как промотора рака мозга.

Дети выделяются в особую группу риска, т.к. при использовании СТ в мозге ребенка в два раза увеличивается как поглощенная доза, так и объем облучаемого мозга. Мозг детей находится в стадии формирования. Дети относятся к группе риска.

Существующие нормативы устарели, не соответствуют реальной обстановки и требуют пересмотра.

Имеется уже достаточно данных, позволяющих информировать население об опасности для здоровья пользователей СТ и ввести понятие «добровольного риска», т.е. принципа самостоятельного выбора типа связи самим населением с учетом максимального снижений электромагнитной нагрузки на мозг пользователя СТ.

# ОПУХОЛЕВЫЕ СТВОЛОВЫЕ КЛЕТКИ - РАДИОБИОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И НОВЫЕ ПОДХОДЫ К ОПТИМИЗАЦИИ ЛУЧЕВОЙ И КОМБИНИРОВАННОЙ ТЕРАПИИ

*А.Г.Коноплянников*[1], *М.А.Коноплянников*[2]

[1]Медицинский радиологический научный центр Минздрава РФ, Обнинск, Россия, konopl@mrrc.obninsk.ru

[2]Федеральный научно-клинический центр специализированных видов медицинской помощи и медицинских технологий ФМБА России, Москва, Россия, mkonopl@mail.ru

Концепция «опухолевых стволовых клеток «ОСК» значительно изменила представления о возникновении и росте злокачественных новообразований и требует разработки новых подходов к проведению противоопухолевой терапии, в том числе и лучевой терапии. Уже показано, что ОСК характеризуются большей резистентностью к воздействию ионизирующей радиации и химиопрепаратов, чем их потомки, потерявшие способность к «бесконечному размножению», которая является одной из имманентных характеристик стволовых клеток. Многие радиобиологические характеристики ОСК остаются мало изученными, это касается характеристик дозовых кривых их инактивации, особенно при действии плотноионизирующей радиации, закономерностей пострадиационного восстановления этого типа клеток, влияния на пострадиационную выживаемость ОСК при их облучении в условиях применения различных радиосенсибилизаторов (химиопрепараты, гипертермия, электроно-акцепторные соединения, кислород под давлением и др.). Изучение этих вопросов в опытах с использованием ОСК ин витро и ин виво остается актуальной радиобиологической проблемой.

Вместе с тем уже появились некоторые новые данные, которые позволяют надеяться на оптимизацию лучевой и комбинированной терапии резистентных форм злокачественных новообразований с позиций учета характеристик ОСК. В опытах на моделях ОСК ин виво, полученных воздействием канцерогена 1,2-диметилгидразина на стволовые клетки в системах клеточного обновления лабораторных животных, было показано, что на фоне повышенной радиорезистентности трансформированных стволовых клеток у них значительно ослаблена способность к восстановлению, так называемых, «сублетальных радиационных клеточных повреждений», выявляемая методом фракционированного облучения. Это позволяет рекомендовать оптимизировать классические схемы лучевой терапии опухолей на пути использования больших доз суточного облучения разделенных на 2-3 фракции, с интервалом между ними в 3-4 часа. Этот подход близок к схемам, так называемого, «суперфракционирования», которые разрабатывались 20-30 лет тому назад и в ряде случаев позволяли повысить эффективность лучевой терапии. Важно будет только обеспечить во вновь разрабатываемых схемах то, чтобы суммарная доза на строму опухоли и окружающие ее нормальные ткани не превышала 1800-2000 RET (рентгенэквивалентов терапевтических). Другой перспективный подход связан с дополнительным применением в качестве специфического ингибитора ОСК препарата «салиномицин». В нашем Центре уже запланировано завершение предклинических исследований и проведение клинических исследований по применению комплекса детонационных наноалмазов и салиномицина в качестве радиосенсибилизатора при проведении лучевой терапии резистентных форм новообразований.

# НОВЫЕ ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ ОПАСНОСТИ ГАЛАКТИЧЕСКИХ ТЯЖЁЛЫХ ИОНОВ ПРИ ПИЛОТИРУЕМЫХ МЕЖПЛАНЕТНЫХ ПОЛЁТАХ

*Е.А. Красавин*
Объединённый институт ядерных исследований, Дубна, Россия.

На долю тяжёлых заряженных частиц (ТЗЧ), входящих в состав галактических космических лучей (ГКЛ), приходится менее 2% интегрального потока галактического излучения. Однако многозарядные ионы высоких энергий могут представлять серьёзную опасность для экипажей кораблей в условиях длительного полёта вне магнитосферы Земли. Диапазон энергий частиц, приходящих из глубин галактики, крайне широк и простирается до сверхвысоких энергий порядка $10^{20}$ эВ. Обеспечить защиту организма от их повреждающего действия методами физической защиты в ближайшей перспективе не представляется возможным. При прохождении тяжёлых ионов через вещество распределение передаваемой энергии биологическим структурам принципиально отличается от электромагнитных видов ионизирующих излучений (рентгеновского излучения, гамма-квантов). Специфический характер передачи энергии тяжёлыми ионами при прохождении через ткани обусловливает совершенно иной тип радиационного воздействия ГКЛ на организм в условиях полёта в дальнем космосе. Это обстоятельство может определять развитие радиационных синдромов, принципиально отличных от наблюдаемых при действии редкоионизирующих космических излучений (например, протонов высоких энергий), что необходимо учитывать при оценке радиационного риска для космонавтов в условиях полёта вне магнитосферы Земли.

Используемая в настоящее время концепция риска, основана, как известно, на введении обобщённого дозиметрического функционала в качестве критерия и количественной меры радиационной опасности. Обобщённая доза слагается из доз облучения, вызывающих *непосредственные* и *отдалённые* эффекты. Ближайшие радиационно-индуцированные эффекты возникают в ходе полёта, а отдалённые нарушения формируются в течение последующей жизни. При расчёте дозы для ближайших и отдалённых эффектов облучения вводятся коэффициенты, учитывающие влияние на радиобиологический эффект качества излучения (куда входят и тяжёлые заряженные частицы различных энергий), коэффициенты, учитывающие распределение дозы во времени, распределение дозы по телу человека и коэффициенты модификации лучевой реакции организма за счёт других факторов космического полёта. В качестве ближайших эффектов облучения рассматриваются нарушения костномозгового кроветворения, кожных покровов, других органов и тканей организма. Отдалённые эффекты облучения для космонавтов в нормативных документах различных стран обычно связываются с развитием *опухолевых* процессов в организме. Однако при оценке риска радиационного воздействия тяжёлых ядер ГКЛ в ходе межпланетной миссии необходимо иметь в виду возможное формирование нарушений со стороны центральной нервной системы космонавтов. В экспериментах по облучению лабораторных животных высокоэнергетичными ионами железа в дозах, соответствующих реальным потокам галактических ядер железа при полёте к Марсу, выявляются различные нарушения со стороны центральной нервной системы (ЦНС) [*Rabin et al., 2004; Britten et al., 2012*]. Через 3 месяца после облучения они проявляются в выраженных нарушениях пространственной ориентации, угнетении когнитивных функций. Авторы связывают эти нарушения не только с гибелью нейронов (прежде всего, гиппокампа, как наиболее уязвимой в этом случае структуры ЦНС), но и с повреждением механизмов синаптической передачи. Свидетельства о развитии радиационных синдромов при действии тяжёлых заряженных частиц на структуры головного мозга, и приводящих к нарушениям его интегративной целостности, дают основания рассматривать ЦНС как «критическую» систему при оценке риска радиационного воздействия на организм космонавтов при осуществлении межпланетных полётов.

**АДАПТИВНЫЙ ОТВЕТ, ВОЗМОЖНЫЕ МЕХАНИЗМЫ И ЗАКОНОМЕРНОСТИ**

*И.И. Пелевина*[1], *А.В. Алещенко*[2], *М.М. Антощина*[3], *А.М. Серебряный*[2]

[1]Институт химической физики им. Н.Н. Семенова РАН, Москва, Россия,

[2]Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН, Москва, Россия,

[3]Медицинский радиологический научный центр Минздрава РФ, Обнинск, Россия,

pele@chph.ras.ru

Адаптивный ответ, открытый в 1977 г на бактериях с химическим мутагеном показал, что обработка мутагеном в малых дозах, а затем в высоких снижает частоту мутаций.

С тех пор этим феноменом занимались много и активно, он был обнаружен также при воздействии ионизирующего излучения и самых разных других агентов, на самых разных объектах.

В докладе будут рассмотрены предполагаемые механизмы адаптивного ответа, зависимости от доз облучения и времени между воздействиями, критерии оценки адаптивного ответа, факторы, влияющие на его индукцию и формирование, распространенность, индивидуальная вариабельность, генетическая предрасположенность, зависимость от исходной радиочувствительности.

Будут приведены результаты собственных многолетних экспериментов по изучению адаптивного ответа в разных экологических условиях. Обсуждается вопрос об универсальности адаптивного ответа и вопрос о противоположном эффекте – не радиозащитном, а радиосенсибилизирующем действии облучения в малых дозах.

# РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ МОНИТОРИНГА И АВАРИЙНОГО РЕАГИРОВАНИЯ ПРИ ТЯЖЕЛЫХ АВАРИЯХ

*Б.С. Пристер*
Институт проблем безопасности АЭС НАН Украины, Киев, Украина,
bprister@mail.ru

Семь десятилетий работы атомной промышленности и энергетики сопровождались тяжелыми авариями различной природы с выбросом в окружающую среду больших количеств радионуклидов: Уиндскейл (Великобритания); Чернобыльская АЭС (СССР); ПО «Маяк» (Челябинская область, СССР); АЭС Фукусима - Даичи (Япония). Загрязнению выбросами при этих авариях подверглись территории с интенсивным ведением сельского хозяйства, на которой проживали большие контингенты населения – от десятков тысяч до 10 млн. человек, что позволяет считать эти крупнейшие радиационные катастрофы коммунальными сельскохозяйственными. Наибольшее радиационно-гигиеническое значение имело загрязнение молока коров и овец $^{131}$I. Например, при аварии в Уиндскейле концентрация $^{131}$I в молоке выше 3,7 кБк·л$^{-1}$ (иногда до 50 кБк·л$^{-1}$) обнаруживалась в молоке коров на территории площадью 500 км$^2$. При аварии на ПО «Маяк» (Восточно-Уральский радиоактивный след - ВУРС) подножный корм и сено определяли 95 – 98 % суточного поступления нуклидов в организм пастбищных животных, которое в самые первые дни после аварии превышало у коров 0,5 ГБк в сутки и вызвало симптомы лучевого поражения кишечника. Земли сельскохозяйственного использования занимали около 63 % ВУРС, в числе которых 21 % представляли сенокосы и пастбища, что в значительной мере определило высокое загрязнение молока коров и сделало его одним из важных вкладчиков в формирование дозы внутреннего облучения. В зоне аварийных выпадений в течение вегетационного периода концентрация нуклида в молоке определяется уровнем загрязнения кормовых трав, поэтому они представляют особый приоритет аварийного мониторинга радиационной обстановки в агросфере. Аварии показали особую значимость пастбищных угодий и луговых ландшафтов в формировании радиационной обстановки и приоритетность их при организации мониторинга окружающей среды и проведении контрмер. Радиоактивное загрязнение трав при аварии на ПО «Маяк» многократно превышало загрязнение других продуктов: зерна – в 360 раз, картофеля – до 1500 раз. Роль поймы, представленной торфяно-болотными и торфянистыми перегнойно-глеевыми почвами, в формировании радиационно-гигиенической обстановки была подтверждена исследованиями на р. Теча (Урал), на территории Белорусско-Украинского Полесья на следе аварии на ЧАЭС. Загрязнение всех культур при возделывании на пойме, особенно затопляемой, выше по сравнению с участками с нормальным увлажнением. Оптимизация землепользования и максимальное исключение использования естественных сенокосных угодий после аварий позволили во всех хозяйствах производить продукцию, соответствующую нормативам.

После аварии на АЭС Фукусима роль молока в формировании дозы облучения оказалась второстепенной по сравнению с дозой от внешнего облучения. Собственное кормопроизводство обеспечивает животных кормами только на 30 %. В результате при равной плотности загрязнения территории содержание $^{137}$Cs в молоке коров в Японии было в несколько раз ниже по сравнению с Чернобылем. Опыт аварии в Уиндскейле впервые практически подтвердил высокую эффективность своевременного реагирования на аварию. Считаем необходимым включение в превентивную подготовку к реагированию на аварии разработку методологии и регламента долгосрочного комплексного радиоэкологического мониторинга.

# РОЛЬ РАДИОНУКЛИДНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В МЕДИЦИНЕ

*Черняев А.П.*[1,2], *Белоусов А.В*[1]., *Варзарь С.М.*[1], *Николаева А.А.*[1], *Колыванова М.А.*[2]
[1] Московский государственный университет
им. М.В. Ломоносова, Физический факультет, Москва, Россия,
[2] НИИ ядерной физики им. Д.В. Скобельцына, Московский государственный
университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия,
varzar@physics.msu.ru

К началу двадцать первого века достижения ядерных технологий в медицине привели к широкому распространению установок, действующих с использованием радионуклидов - кобальтовых установок, комплексов радиохирургии типа гамма-нож, диагностической и исследовательской техники (гамма-камер, однофотонной эмиссионной компьютерной томографии (ОФЭКТ), позитрон-эмиссионной томографии (ПЭТ)). В медицине для производства изотопов используется большое количество ядерных реакторов и ускорителей протонов.

На сегодняшний день в России в медицинских учреждениях и центрах работает примерно 2300 единиц высокотехнологичной медицинской техники, что составляет всего 30% от требуемого количества при сравнении с уровнем обеспечения аналогичным оборудованием медицинских учреждений стран Европы.

Общее число установок в мире, использующих радионуклиды, составляет примерно 27 тысяч единиц или около 24.5% от общего числа высокотехнологичной медицинской техники. Из них основная доля установок работает в радионуклидной диагностике - 23 тысячи единиц (85%), а в дистанционной и контактной лучевой терапии немного менее 15%.

Медицинских приборов, работающих с использованием радиоактивных изотопов, у нас в стране около 700, то есть около 30% от общего числа высокотехнологичной медицинской техники, причем около 12% - в дистанционной лучевой терапии, 7% – в контактной лучевой терапии, 11% - в диагностике.

У нас в стране в медицине работает 270 источников γ-излучения $Co^{60}$ и 5 гамма – ножей. К диагностическим установкам с использованием радионуклидов в России относятся: 240 гамма-камер, (в том числе ОФЭКТ-сканеров -140), 22 ПЭТ-сканеров (включая 7 полных ПЭТ-центров). Действует 4 центра радионуклидной терапии (46 коек) и 5 – радионуклидной диагностики.

Всего в мире более 800 центров брахитерапии, в которых работает как минимум 2200 аппаратов контактной лучевой терапии. Для того, чтобы выйти на среднеевропейский уровень необходимо ~100 ПЭТ-центров и 1000 КТ – сканеров (в том числе ПЭТ/КТ-сканеров – 100), 300 установок ОФЭКТ, более 100 гамма-ножей, ~ 300 установок для брахитерапии.

В ядерной медицине используется 45 видов изотопов, из них производится 25. Порядка десяти реакторов и двадцати ускорителей протонов готовят изотопы для медицинского использования, в том числе для ядерной медицины.

В мире производится более 200 наименований радифармпрепаратов. В России в медицине используется 22 радиофармацевтических препарата для компьютерной диагностики, 20 импортных наборов для радиоимунного анализа, и три - для ПЭТ томографии. В настоящее время у нас в стране действует не менее 150 кобальтовых установок в 19 центрах брахитерапии и онкологических больницах, хотя часть из них устарела. В настоящее время рядом фирм ведутся разработки отечественных приборов для брахитерапии, соответствующих уровню самых современных аппаратов импортного производства.

# СЕКЦИЯ 1.

# МОЛЕКУЛЯРНЫЕ И КЛЕТОЧНЫЕ МЕХАНИЗМЫ ДЕЙСТВИЯ РАДИАЦИИ НА ЖИВЫЕ ОРГАНИЗМЫ. МЕХАНИЗМЫ ДЕЙСТВИЯ РАДИАЦИИ МАЛЫХ ДОЗ И НИЗКОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ.

**ВСТРАИВАНИЕ МИТОХОНДРИАЛЬНОЙ ДНК В ЯДЕРНЫЙ ГЕНОМ: НОВАЯ РАДИАЦИОННО-ИНДУЦИРОВАННАЯ МУТАЦИЯ**

*С.А. Абдуллаев*
Институт теоретической и экспериментальной биофизики РАН, Пущино, Россия,
abdullaev.iteb@rambler.ru

Фрагменты мтДНК в ядерном геноме обнаруживаются как некодируемые последовательности, которые получили название ядерно-митохондриальных псевдогенов (numt-псевдогенов) или numt-вставок. (NUMT – nuclear mitochondrial). В настоящее время локализация numt-псевдогенов в ядерном геноме показана у многих эукариот. Их можно рассматривать не только как нейтральный полиморфизм; они могут быть сопряжены с онкогенезом, со старением и с генетическими заболеваниями. Для встраивания фрагментов мтДНК в ядерный геном необходим их выход из митохондрий. Это может происходить в результате повреждения мтДНК, деструкции митохондрий, в процессе деления и митофагии этих органелл. Экспериментальное выявление numt-вставок, возникающих de novo, ограничивается из-за наличия многочисленных гомологий мтДНК, конститутивно существующих в ядерных геномах эукариот. Возникновение de novo numt-вставок в ядерную ДНК (яДНК) выявляли у эмбрионов кур (*Gallus gallus*), изъятых из яиц, облученных рентгеновскими лучами. Выбор объекта был обусловлен тем, что куриный геном исходно содержит всего 12 numt-вставок (0.0001% от размера генома), тогда как в геномах мыши и человека их 190 и 871 соответственно. Это дает возможность экспериментально выявлять появление *de novo* numt-псевдогенов в ядерном геноме курицы путем их ПЦР-амплификации, с подбором праймеров, не затрагивающих гомологии мтДНК, исходно существующих в ядерном геноме. Образцы яДНК печени эмбрионов были очищены от свободной мтДНК двукратным гель-электрофорезом. Для выявления numt-вставок в яДНК контрольных и выживших эмбрионов (из облученных яиц) были проведены ПЦР анализы с использованием 11 пар праймеров мтДНК. ПЦР с яДНК контрольной группы не выявило наличие в них гомологий мтДНК, амплифицируемые с подобранными праймерами. ПЦР с яДНК восьми эмбрионов из облученных яиц показали, что в яДНК двух эмбрионов появились амплифицируемые сайты мтДНК. Стабильно выявляются ПЦР-амплификации 3-х локусов мтДНК в яДНК от одного эмбриона и 4-х локусов в яДНК от другого эмбриона. Полученные данные указывают, что из восьми выживших эмбрионов из облученных яиц только у двух произошла интеграция крупных фрагментов мтДНК в ядерный геном. Нуклеотидный анализ секвенирования ПЦР-ампликонов синтезированных на матрицах этих яДНК показал, что их последовательности идентичны мтДНК и точно охватывают сайты указанных генов и участок D-loop. Анализ нуклеотидной последовательности ПЦР-ампликонов, интегрированных в яДНК печени эмбрионов, показал также, что они, по сравнению с исходными последовательностями указанных сайтов мтДНК, содержат повреждения в виде одиночных нуклеотидных полиморфизмов. В основном они обусловлены двумя-тремя заменами одиночных оснований или делеций на анализируемом локусе мтДНК. Таким образом, полученные экспериментальные данные указывают, что ионизирующая радиация, которая вызывает деструкцию мтДНК и двунитевые разрывы яДНК и активацию систем их репарации, может рассматриваться как важнейший агент способный индуцировать формирование *de novo* numt-псевдогенов. (Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 08-04-00163).

# НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ РЕАЛИЗАЦИИ РАДИАЦИОННО-ИНДУЦИРОВАННОГО АПОПТОЗА

*Андрийчук Т.Р., Ракша Н.Г., Остапченко Л.И., Цудзевич Б.А.*
Киевский национальный университет им. Тараса Шевченко, Киев, Украина,
tatosha62@mail.ru

Детализация молекулярных механизмов генетически-детерминированной клеточной гибели (апоптоза) остается на сегодня одним из приоритетных направлений исследований не только в области биологии, но и современной медицины, поскольку нарушение путей контроля ключевых этапов апоптоза приводит к патологическим изменениям на уровне отдельных органов и систем и, соответственно, является основой для развития ряда заболеваний (онкологических, аутоиммунных, нейродегенеративных и др.). Исследование биохимических путей апоптоза в ответ на действие лучевого фактора проводили на модели лимфоцитов тимуса крыс, облученных в дозе 1.0 и 7.78 Гр.

Согласно современным концепциям действие ионизирующей радиации активирует как рецептор-опосредованный (внешний), так и связанный с митохондриями и ядром (внутренний) путь апоптотической гибели клеток, при котором в результате нарушения проницаемости мембран митохондрий наблюдается выход в цитозоль проапоптотических факторов - AIF (Apoptosis-inducing factor), эндонуклеазы G и др., что сопровождается их дальнейшей транслокацией в ядро с последующей индукцией конденсации хроматина и крупноблочной деградацией ДНК. В результате наших исследований с использованием вестерн-блот анализа было продемонстрировано дозо-зависимое снижение содержания AIF (67кДа) через 30 мин и 3 ч после действия ионизирующей радиации, что коррелирует с установленным нами повышением активности кальций-зависимых цистеиновых протеиназ – кальпаинов, субстратом для которых является AIF. Прямое и AIF–опосредованное генотоксическое влияние ионизирующих излучений приводит к модификации репарационного потенциала клетки, сопровождаемого изменением активности ДНК-зависимой поли(ADP-рибозо)полимеразы (PARP) в параметрах нашего эксперимента. Таким образом, комплексный анализ представленных данных свидетельствует об индукции каспазо – независимого, опосредованного PARP и AIF пути реализации радиационно-индуцированной гибели клеток, которая согласно последней Classification of cell death получила название Parthanatos. В тоже время фрагментация молекулы PARP, катализируемая рядом эффекторных каспаз (каспаза-3), продемонстрированная в условиях нашей экпериментальной модели, является неоспоримым доказательством вовлечения каспазо-опосредованного пути в комплекс молекулярных событий, связанных с активацией разнообразных апоптотических сигнальных каскадов.

# ЗНАЧЕНИЕ АПОПТОЗА И ИЗМЕНЕНИЯ АКТИВНОСТИ РЕПАРАЦИИ ГЕНОМНОЙ ДНК В ФОРМИРОВАНИИ РАДИАЦИОННО-ИНДУЦИРОВАННЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ У ДЕТЕЙ 1 – 2 ПОКОЛЕНИЙ ПОСЛЕ АВАРИИ НА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС

*Л.С. Балева, А.Е. Сипягина, Н.М. Карахан, Ю.М. Каган*
Детский научно-практический центр противорадиационной защиты
«Научно-исследовательский клинический институт педиатрии»
ГБОУ ВПО РНИМУ им. Н.И. Пирогова Минздрава РФ, Москва, Россия,
lbaleva@pedklin.ru

Феномен радиационно-индуцированной геномной нестабильности оказывает существенное влияние на состояние здоровья не только самих облученных лиц, но и их потомков, приводя к повышению канцерогенного риска и эффекта дизэмбриогенеза. Спорадические случаи таких заболеваний относят к генетическим болезням соматических клеток, на формирование которых оказывает и мутагенное воздействие малых доз ионизирующего излучения.

Целью работы было изучение роли готовности к апоптозу и снижения репарации геномной ДНК в формировании радиационно-индуцированных заболеваний у детей первого – второго поколений после аварии на Чернобыльской АЭС

Результаты проведенного авторами цитогенетического обследования свидетельствуют о повышении средних уровней радиационно-индуцированных аберраций хромосом в группах детей 1-го и 2-го поколений, проживающих в радиационно загрязненных регионах. В ответ на повреждение генетического аппарата под действием ионизирующего излучения на первом этапе активизируются репарационные процессы, что в дальнейшем провоцирует снижение репарации ядерной ДНК. У большинства детей 1 поколения - носителей радиационно-индуцированных хромосомных аберраций снижена репарационная активность ДНК, причем более выражена гамма-индуцированная. У детей 2-го поколения отклонения от нормы выражены в меньшей степени, что может свидетельствовать о включении в пострадиационные компенсаторно-восстановительные процессы других механизмов.

У детей, проживающих в радиационно-загрязненных регионах, отмечается высокий уровень готовности к апоптозу, причем, у детей 2-го поколения выше, чем у детей 1-го поколения. Этим, вероятно, в большей степени можно объяснить восстановительные способности организма детей 2-го поколения, однако, показано, что у облученных детей повышение показателя готовности к апоптозу отмечено в 40-70% случаев, в то время как у детей контрольной группы этот показатель составлял 10-30%.

Выявлены закономерности нарушения иммуногенеза, проявляющиеся увеличением выхода в циркуляцию клеток с готовностью к апоптозу (CD95+), что следует рассматривать также как феномен «раннего старения клеток». Однако не исключено, что имеет место защитный компенсаторный механизм, позволяющий ускорить выведение из циркуляции клеток с цитогенетическими и/или функциональными нарушениями.

Таким образом, можно предположить, что вслед за повреждением ДНК происходит включение защитного механизма, предусматривающего активацию белка P53, контролирующего целостность геномной ДНК, с последующей индукцией апоптоза, что позволяет сохранить клеточный гомеостаз и избежать формирования клона клеток с опухолевой трансформацией и развитие онкогенного эффекта как у населения, подвергшегося хроническому облучению в малых дозах, так и у потомков облученных.

# ОЦЕНКА ДИНАМИКИ СОСТОЯНИЯ ЩИТОВИДНОЙ ЖЕЛЕЗЫ У ДЕТЕЙ, ПОДВЕРГШИХСЯ ДЕЙСТВИЮ РАДИОНУКЛИДОВ В РЕЗУЛЬТАТЕ АВАРИИ НА ЧАЭС

*Л.С. Балева, Л.И. Данилычева, Н.М. Карахан*
Детский научно-практический центр противорадиационной защиты
«Научно-исследовательский клинический институт педиатрии»
ГБОУ ВПО РНИМУ им. Н.И. Пирогова Минздрава РФ, Москва, Россия,
lbaleva@pedklin.ru

Целью работы явилось изучение сочетанного влияния йодного дефицита и ионизирующей радиации на тиреоидный гомеостаз облученных детей и их потомков.

Методами клинического и параклинического исследования были обследованы дети, родившихся в 1968-1986 гг., которые подверглись хроническому комбинированному облучению радиоизотопами $^{137}Cs$ и $^{131}I$ и дети, родившиеся в 2003-2006 гг. от облученных родителей - жителей радиоактивно-загрязненных территорий.

В первый пятилетний период после аварии на ЧАЭС (1986-1990) произошло статистически значимое увеличение доли детей с зобно-измененной щитовидной железой, проживающих на загрязненных радионуклидами эндемичных территориях по сравнению с контролем. Во втором пятилетнем периоде после аварии (1993) было отмечено снижение доли детей с зобно-измененной щитовидной железой (с 38,% до 25,2%, $p<0,05$) и статистически значимое увеличение доли детей с АИТ (с 6,1% до 18,7%, $p<0,01$) и гипоплазией (с 1,1% до 2,9%, $p<0,05$).Спустя 24 года после аварии на ЧАЭС (2006-2008) количество детей с увеличением размеров щитовидной железы среди потомков облученных в детском возрасте жителей радиационно-загрязненных районов хотя и снизилось по сравнению с предыдущим периодом, все же достоверно превышает этот показатель в контрольной группе (16,3% и 8,6% соответственно $p<0,05$). По данным сонографических исследований частота встречаемости неоднородности структуры щитовидной железы (12,5% и 7,8% соответственно $p<0,05$), а кист и узлов - 13,5% и 7,0% (соответственно $p<0,05$) у этих детей достоверно превышают таковые в контроле.

Таким образом, спустя 24 года после аварии на ЧАЭС у детей, рожденных от облученных в детском возрасте родителей и проживающих в радиационно загрязненных регионах долгоживущими радионуклидами (цезия и стронция), функционирование щитовидной железы осуществляется в условиях значительной напряженности. Было установлено, что в первые годы после аварии у облученных детей среднее значение ТТГ было обратно пропорционально поглощенной дозе радиойода щитовидной железой: чем меньше была доза, тем более высоким был уровень ТТГ (в группах контроля уровень ТТГ сохранялся стабильным). Уровень антителообразования у облученных детей статистически достоверно ($p<0,001$) превышал таковой в контрольных группах (дети с поглощенной дозой радиойода щитовидной железой более 200 сГр АТ ТГ 31,0±5,5, контроль - 14,1±4,1; дети с поглощенной дозой радиойода щитовидной железой 76-200 сГр АТ ТГ - 35,4±4,8, контроль - 13,6±3,5). У детей – потомков облученных родителей средние значения показателей тиреоидного статуса (ТТГ, общий $T_3$ и свободный $T_4$) не отличаются от контрольных значений, а показатели антителообразования (АТ ТГ; АТ ТПО) превышают таковые. Радиация оказывает негативное влияние на состояние здоровья детей, утяжеляет течение йододефецитной патологии. В условиях йодной эндемии дополнительная антропогенная нагрузка радионуклидами усиливает проявление дефицита йода, особенно в растущем, развивающемся организме.

# ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ К ХИМИЧЕСКОМУ МУТАГЕНУ ЖИВОТНЫХ, ОБИТАЮЩИХ В УСЛОВИЯХ ПОВЫШЕННОГО РАДИАЦИОННОГО ФОНА, И МЫШЕЙ ЛИНИИ Af ПОСЛЕ ХРОНИЧЕСКОГО ОБЛУЧЕНИЯ

*Л.А. Башлыкова*
Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, Россия,
labashlykova@ib.komisc.ru

Исследования спонтанного и химически индуцированного уровня повреждений генома клеток костного мозга полевок-экономок, длительно (более 50 лет) обитающих в условиях антропогенно повышенного в 10-100 раз уровня естественной радиоактивности и их потомков ($F_1$-$F_3$) виварного разведения выявило следующее. Для полевок, обитавших на радиевом участке, характерна повышенная частота клеток костного мозга с микроядрами, более низкий митотический индекс и увеличение апоптоза по сравнению с контролем. У $F_1$-$F_3$ полевок контрольного участка в условиях вивария уровень клеток с микроядрами постепенно увеличивается и стабилизируется на уровне 20‰. У $F_1$ полевок радиевого участка доля клеток с МЯ снижается до контрольных значений, а к $F_3$ вновь повышается и их величина становится достоверно выше, чем у $F_3$ контроля, что может свидетельствовать о наследовании нестабильности генома. Динамика уровня апоптоза в поколениях контрольных и облученных животных повторяет характер изменения частоты микроядер – при низкой частоте МЯ апоптоз снижается ($F_1$), при высокой – повышается ($F_2$). Оценку чувствительности к химическому мутагену проводили с использованием инъекциии уретана (внутрибрюшинно, 10%-ный раствор уретана 1 мг/г массы тела, за два дня до окончания эксперимента). Провоцирующее действие уретана выявило неодинаковый ответ клеток костного мозга животных, обитавших в различных радиоэкологических условиях, а также у их потомков. Введение уретана контрольным животным достоверно увеличивает частоту аберрантных клеток, снижает митотическую активность, резко уменьшает апоптозную гибель. При воздействии уретана на полевок радиевого участка и их потомков наблюдается снижение количества клеток с микроядрами, митотической активности, уровень апоптоза снижается, но остается выше, чем у контрольных животных. Подобная реакция на химическое воздействие свидетельствует о повышении устойчивости животных, которые в течение многих поколений испытывали воздействие ионизирующего излучения (ИИ).

Эксперимент с использованием хронического (3 мес.) низкодозового облучения (150 мкГ/ч, накопленная доза – 30 сГр) мышей линии Af показал, что частота клеток костного мозга с МЯ через 4 месяца после прекращения облучения у контрольных и опытных мышей не отличалась. Дополнительное воздействие уретаном не оказало мутагенного эффекта на контрольных мышей. При этом резко снизилась пролиферативная активность клеток, уровень апоптоза остался высоким. У облученных животных (Р) и их потомков $F_2$ уретановая интоксикация вызвала значительное увеличение клеток с МЯ и двунитевых разрывов ДНК, (оцененных ДНК-кометным тестом). Увеличение повреждений ДНК под воздействием мутагена может свидетельствовать о повышенной чувствительности и нестабильности генома обученных животных. Т.о., чувствительность к мутагену природной популяции полевок, длительное время испытывавших воздействие ИИ, понижена, а линейных мышей Af, подвергавшихся облучению в течение 3 месяцев – повышена. Эти особенности передаются последующим поколениям ($F_2$-$F_3$). Исследования поддержаны грантами РФФИ № 13-04-01750а и РФФИ № 13-04-90351-РБУа.

# СТЕПЕНЬ ВЕСОМОСТИ РАДИОБИОЛОГИЧЕСКИХ ОБОСНОВАНИЙ ДЛЯ ВЫВОДА О РАДИАЦИОННОЙ ОБУСЛОВЛЕННОСТИ РАКОВ ЩИТОВИДНОЙ ЖЕЛЕЗЫ ПОСЛЕ ОБЛУЧЕНИЯ В МАЛЫХ ДОЗАХ

*А.П. Бирюков, Л.Н. Ушенкова, А.Н. Котеров*
ГНЦ РФ - Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна ФМБА России, Москва, Россия,
mereg81@mail.ru

Существует ряд данных, согласно которым папиллярные раки щитовидной железы (ЩЖ) могут индуцироваться после воздействия в малых дозах (до 0,1 Гр) радиации с низкой ЛПЭ (NCRP-80; Ron E. et al., 1989; 1995; Jacob P. et al., 1998; 1999; НКДАР-1988; НКДАР-2000; Sadetzki S. et al., 2006), но конечный эффект находится под влиянием высокой степени неопределенности. Эпидемиология не способна дать строгие доказательства стохастических эффектов в области малых доз в связи с априори недостаточной выборкой для любых реальных исследований (НКДАР-2000; НКДАР-2006 и др.). Поэтому для поверки статистически выявленных эпидемиологических закономерностей существуют девять критериев Бредфорда-Хилла (Austin Bradford Hill, 1965) о причинной обусловленности эффекта от воздействия. Три из них касаются биологического правдоподобия и согласованности с данными экспериментальных работ.

Представленное мета-исследование посвящено поиску радиобиологических обоснований для эпидемиологических выводов о лучевой атрибутивности раков ЩЖ после воздействия в малых дозах. Был проанализирован массив радиобиологических работ по эффектам радиации с низкой ЛПЭ на ЩЖ *in vivo* и *in vitro* за порядка 60 лет вплоть до 2013 г. (более 2000 рефератов и оригиналов мировых публикаций из Pubmed). Для тироидных (гормонально-функциональных), а также морфологических и структурных изменений в ЩЖ после облучения практически не было выявлено эффектов малых доз. Минимальные дозы, индуцирующие какие-либо дисфункции и структурные изменения в ЩЖ у животных, составили 0,23 и 0,25 Гр (публикации из Сыктывкара и Гомеля), но в большинстве мировых работ превышали 1 Гр.

Равным образом, не было обнаружено публикаций, в которых малые дозы учащали бы выход опухолей у лабораторных животных; минимальные значения применительно к опухолям ЩЖ составили 0,5 Гр, но чаще также превышали 1 Гр.

Далее анализ расширяли на поиск условно «предраковых» состояний, когда любые повреждающие изменения на молекулярно-клеточном уровне и на уровне организма трактовались как предраковые. Были проанализированы минимальные дозы облучения ЩЖ и/или тироцитов в доступных радиобиологических работах. Ранжирование их по диапазонам доз продемонстрировало 14 эффектов в области очень малых (до 0,01 Гр) и малых (до 0,1 Гр) доз (пять стран) и порядка ста для более высоких диапазонов доз. Свыше половины эффектов малых и очень малых доз относились к адаптирующим, стимулирующим или защитным, две работы — к повреждениям ДНК (ныне продемонстрированы для самых малых доз облучения, но эпидемиологические выводы из этого совсем неоднозначны — BEIR-VII), и только в работах из Сыктывкара и Томска действие радиации могло быть полностью отнесено к повреждающему.

Таким образом, проанализированная совокупность мировых радиобиологических исследований оказалась неспособной однозначно -+доказать биологическое правдоподобие канцерогенных эффектов малых доз радиации применительно к ЩЖ.

**ЭФФЕКТИВНОСТЬ РЕПАРАТИВНЫХ СИСТЕМ ДНК В ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ПРАЙМИРОВАНИЯ СЕМЯН САХАРНОЙ СВЕКЛЫ**

*И.И. Бубряк[1], А.П. Дмитриев[1], О.А. Бубряк[2], Д.М. Гродзинский[1], Т. В. Акимкина[2]*

[1]Институт клеточной биологии и генетической инженерии НАН Украины, Киев, Украина, dmyt@voliacable.com

[2]Оксфордский университет, Оксфорд, Великобритания, olga.boubriak@dpag.ox.ac.uk

Стимулирующие обработки семян осмотиками (праймирование) приводят к активации в них биохимических процессов, дают возможность клеткам зародышей восстановиться от повреждений и завершить необходимые этапы подготовки семян к прорастанию, что повышает качество посевного материала. Вопрос оптимизации процесса праймирования для разного генетического материала до сих пор не решен. Поэтому поиск молекулярного маркера, который указывал бы на оптимальный уровень праймирования, является очень актуальным.

Цель работы – изучение молекулярных и клеточных процессов, которые происходят во время праймирования в зародышах семян свеклы.

Проанализированы эффекты различных режимов праймирования сахарной и кормовой свеклы на состояние ДНК в зародышах семян. Установлено, что стимулирующие обработки приводят к повышению содержания высокомолекулярной ДНК в клетках за счет репарации ДНК. Однако во время высушивания праймированных семян происходит накопление деградированной (низкомолекулярной) ДНК, содержание которой пропорционально интенсивности праймирования. По соотношению высокомолекулярной и низкомолекулярной ДНК в зародышах обработанных семян можно оценивать качество праймирования.

Оказалось, что репаративный синтез ДНК в первые часы прорастания семян свеклы отражает интенсивность репарации повреждений ДНК, накопленных во время праймирования. Эффективность репарации обработанных семян можно тестировать внесением дополнительных повреждений в ДНК клеток зародышей гамма-облучением. Потенциальная способность репарационных систем к восстановлению от таких дополнительных повреждений ДНК вместе с уровнем индукции фермента ДНК-лигазы I может служить достаточно надежным маркером оптимальности праймирования.

Проведен анализ влияния различных режимов праймирования на фрагментацию ДНК в зародышах семян. У перепраймированных семян происходит накопление упорядоченной по размерам нуклеосомной ДНК, что указывает на процесс апоптоза у некоторых клеток зародышей. Однако, такое накопление происходит только у существенно перепраймованных семян и не может быть показателем оптимальности процесса праймирования.

Полученные результаты свидетельствуют, что апоптозная гибель некоторого числа клеток зародышей и, как результат, накопление нуклеосом в образцах, происходит у перепраймированных семян даже до этапа их высушивания и, следовательно, может быть использована для анализа процесса праймирования.

Обнаружена положительная корреляция между уровнем накопления нуклеосом в образцах зародышей сахарной свеклы и их жизнеспособностью при длительном хранении семян. Это позволяет разработать тест, который оценивал бы качество праймированных семян при хранении по содержанию в них нуклеосом.

Дальнейшие исследования накопления нуклеосом непосредственно в процессе праймировании позволят разработать надежный (и простой для использования в производстве) маркер оптимальности праймирования семян и минимизировать риски, связанные с их перепраймированием.

# ВЛИЯНИЕ ОБЛУЧЕНИЯ И ИММОБИЛИЗАЦИОННОГО СТРЕССА НА СОСТОЯНИЕ КРОВИ И РЕПРОДУКТИВНОЙ СИСТЕМЫ КРЫС-САМЦОВ

*Г.Г. Верещако, Г.А. Горох, Н.В. Чуешова, Д.В.Сухарева, А.Д. Наумов*
Институт радиобиологии НАН Беларуси, Гомель, Беларусь,
irb@mail.gomel.by

Изучение действия на организм таких факторов как радиация и иммобилизационный стресс отдельно и в сочетании представляется актуальным, так как современные условия обитания человека, характеризуются высокой урбанизацией, гиподинамией и сложной радиоэкологической обстановкой в ряде регионов.

Цель настоящей работы - исследование влияния облучения в дозе 0,5 Гр, иммобилизационного стресса и их комбинированного действия на показатели крови, морфофункциональное состояние репродуктивной системы и уровень некоторых гормонов у крыс-самцов в различные сроки после воздействия.

Опыты ставили на крысах-самцах стадного разведения (возраст 3,5 мес). Все животные были разделены на 4 группы: 1. Контроль (интактные животные); 2. Крысы, облученные в дозе 0,5 Гр (ИГУР, $^{137}$Cs, мощность дозы 43 сГр/мин); 3. Животные, подвергнутые иммобилизационному стрессу; 4. Крысы-самцы, облученные в дозе 0,5 Гр, у которых вызывали иммобилизационный стресс. На следующие сутки после радиационного воздействия животных подвергали иммобилизационному стрессу, который вызывали путем помещения животных в индивидуальные пластиковые пеналы (фиксаторы) ежедневно на 3 часа в день на протяжении 7 дней. Эксперименты выполняли на 1-е и 30-е сутки после иммобилизационного стресса и комбинированного (облучение+стресс) воздействия, или на 8-е и 37-е сут после облучения в дозе 0,5 Гр. Перед опытами крыс взвешивали, после декапитации собирали кровь и выделяли семенники с придатками. В крови определяли ряд показателей, проводили расчет индекса гранулоциты/агранулоциты, подсчитывали количество апоптотических лимфоцитов. В клеточной суспензии ткани семенников анализировали количество различных типов сперматогенных клеток методом ДНК-проточной цитометрии. Из эпидидимиса выделяли сперматозоиды, число которых подсчитывали в камере Горяева и определяли их жизнеспособность.

Установлено, что реакция лейкоцитарных элементов крови на облучение и иммобилизационный стресс была ярко выраженной и носила специфический характер в зависимости от действующего фактора. Особое значение имеет реакция отдельных элементов лейкоцитарной системы, в которой особую роль играют моноциты, количество которых при иммобилизационном стрессе и в сочетании с облучением достигает высоких значений. Индекс гранулоциты/агранулоциты может быть использован в качестве дополнительного критерия для оценки состояния организма при стрессе. Уровень гормонов в сыворотке крови при всех видах стресса характеризуется значительными отклонениями. Изучая последствия облучения (доза 0,5 Гр), иммобилизационного стресса и их сочетанного действия на репродуктивную систему крыс-самцов можно сделать вывод о значительных нарушениях ее функционального состояния. Наиболее чувствительным звеном в этой системе является процесс сперматогенеза, где отмечены значительные диспропорции клеточного состава, а так же резкое падение жизнеспособности эпидидимальных сперматозоидов, особенно в начальный период после воздействия, что отразится на их оплодотворяющей способности. Исследуемые показатели крови и репродуктивной системы крыс-самцов обладают высокой информативностью и могут быть использованы для оценки глубины нарушений в организме при различных видах стрессорных нагрузок.

# МЕХАНИЗМ ПОСЛЕДЕЙСТВИЯ МАЛЫХ ДОЗ γ-ОБЛУЧЕНИЯ НА СУХИЕ СЕМЕНА

*Т.В.Веселова*, *В.А.Веселовский*
Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, Москва, Россия,
taveselova@ yandex.ru

После малых доз γ-радиации, как и при действии других повреждающих факторов, у жизнедеятельных организмов происходит накопление повреждений, и почти одновременно включаются системы их репарации. В отличие от них у семян, находящихся в покое, эти два процесса разделены во времени. В семенах происходит однонаправленное накопление повреждений, поскольку в отсутствие свободной воды репарация проводимая ферментами маловероятна. Только во время проращивания, при увлажнении семян включаются системы репарации. Поэтому семена могут служить удобной моделью для изучения накопления повреждений. Проращивание показало, что облучение выборки семян гороха 82% всхожести в малой дозе – 190 мГр не изменяло всхожесть семян в первые двое суток после облучения. Спустя неделю всхожесть уменьшилась до 59%, через 2 недели – до 48%, а через 9 недель до 20%. Количество мертвых семян не увеличилось. Уменьшение всхожести партии было обусловлено увеличением доли ненормальных проростков. Появление при проращивании ненормальных проростков является признаком снижения качества семян. Повреждения возникают в сухих семенах, поэтому необходим аналитический метод оценки качества индивидуальных семян без их проращивания. Лот воздушно-сухих семян пониженной всхожести может быть разделен на три фракции разного качества: сильные, слабые и мертвые в зависимости от уровня фосфоресценции при комнатной температуре (ФКТ) индивидуальных семян. Из сильных семян гороха фракции I (низкий уровень ФКТ) вырастают нормальные проростки. У слабых семян фракции II, уровень ФКТ которых вдвое выше или вырастают проростки с морфологическими дефектами, или живые семена не прорастают. Семена фракции III, уровень ФКТ которых в три более раз выше, - мертвые. Для выявления механизмов повреждения необходимо сопоставить воздушно-сухие сильные и слабые семена. Повреждения воздушно-сухих семян (когда отсутствует свободная вода) могут быть вызваны только неферментативными процессами. Их три: перекисное окисление липидов, гидролиз углеводов и амино-карбонильные реакции. Чтобы оценить, от какого из этих процессов возникают повреждения в семенах, был разработан метод, также исключающий использование воды - регистрации термохемилюминесценции (**ТХЛ**) порошка семян. По уровню ТХЛ порошка семян в области 60-110$^{o}$C можно судить о присутствии в порошке продуктов перекисного окисления липидов (ПОЛ). Интенсивность ТХЛ в этой области низкая (в 2-3 раза превышает фон камеры) и практически одинаковая у необлученных и облученных в дозе 190 мГр семян. Можно сделать вывод, что участие продуктов перекисного окисления липидов в переходе сильных семян в ослабленные, маловероятно. Интенсивность ТХЛ при температуре 150$^{o}$C ранее была использована как показатель количество продукта неферментативного гидролиза углеводов – глюкозы. Интенсивность ТХЛ при 150$^{o}$C у порошка облученных семян вдвое выше, чем у необлученных. Это свидетельствует о возрастании содержания глюкозы в облученных семенах.

Таким образом, можно сделать вывод, что за повреждения семян, развивающиеся в период после их облучения, которые приводят к увеличению количества слабых семян, из которых вырастают проростки с морфологическими дефектами, в основном ответственен процесс неферментативного гидролиза олигосахаридов и сахарозы (и, по-видимому, не только их), а не перекисное окисление липидов.

**ОТДАЛЕННЫЕ ПОСЛЕДСТВИЯ γ-ОБЛУЧЕНИЯ МАЛЫХ ДОЗ В РЕАКЦИЯХ ЛИМФОИДНОЙ ТКАНИ КИШЕЧНО-АССОЦИИРОВАННОЙ**

*Воронцова З.А., Шишкина В.В.*
Воронежская государственная медицинская академия им. Н.Н. Бурденко,
Воронеж, Россия,
z.vorontsova@mail.ru

В настоящее время проблема воздействия радиации в малых дозах нашла отражение в документах ведущих международных организаций в области исследования лучевых эффектов и радиационной защиты. Необходимость обобщения накопившихся за последние 1,5-2 десятка лет экспериментальных и эпидемиологических данных в области малых доз совершенно очевидно стала объективной в связи с развитием атомной энергетики. Хотя имеются серьезные достижения по обеспечению радиационной безопасности, сохраняется потенциальная возможность облучения большой когорты населения при случайных радиационных инцидентах или преднамеренной враждебной инициации таких ситуаций, определяющих профессиональное вмешательство при ликвидации последствий. В настоящее время интерес к восстановительным процессам возрастает в связи с попыткой усилить их с помощью клеточной терапии. С этих позиций важны закономерности ее проявления как в норме, так и в экспериментальных условиях. С использованием гистохимических, гистологических и морфометрических методов проведен анализ состояния лимфоидной ткани ассоциированной с тощей кишкой как одного из ведущих органов иммунного ответа в разные по отдаленности сроки после однократного и фракционированного γ-облучения в диапазоне возрастающих малых доз 0,1;0,2;0,5; и 1 Зв с мощностью 50 г/ч. В эксперименте представлено 44 группы, составляющих 288 белых лабораторных крыс-самцов. Отдаленные пострадиационные биоэффекты γ-облучения характеризовались активизацией лимфоидного аппарата, информирующего о неблагополучии гомеостаза на фоне энзимопатии энтероцитов. Индекс миграции лимфоцитов определял их чувствительность в диапазоне малых доз и эффективность каждой из них. Между мигрировавшими и стромальными лимфоцитами был обнаружен весь спектр связей. Лимфоциты способны усиливать цитокинез и воспроизводить все особенности морфогенеза, если для органа характерен высокий уровень пролиферации. Анализ дозо-временной зависимости индекса миграции пострадиационного периода показал гетерогенность топографической динамики ($p<0,05$). Митотический индекс проявлял разнонаправленный характер ($p<0,05$). Анализ воздействия γ-излучения с поглощенной дозой 0,1 Зв показал повышение индекса миграции на фоне снижения митотического индекса и лишь к последнему сроку, спустя 730 суток был резко снижен, констатируя истощение иммунных потенций. Спустя 180 суток после γ-излучения в дозе 0,2 Зв, индекс миграции был снижен ($p<0,05$), через 365 и 546 суток его показатели были выше контрольных, а через 730 – в три раза ниже ($p<0,05$). Остальные дозы плавно снижали индекс миграции в обратной зависимости от сроков наблюдения синхронно отзываясь, но к последнему сроку он был ниже значений контроля.

Таким образом, кратность применения доз γ-облучения не изменяла судьбу гомеостаза на фоне динамичности пролиферации и активности лимфоцитов, видимо, вызванную воздействием сопутствующих факторов на уровне организма.

# НАРУШЕНИЕ ФУНКЦИЙ ЦЕНТРАЛЬНОЙ НЕРВНОЙ СИСТЕМЫ ПРИ ИНКОРПОРАЦИИ СМЕШАННОГО ОКСИДА ОБЕДНЕННОГО УРАНА В ЭКСПЕРИМЕНТЕ

*Герасимов Д.В., Афанасьев Р.В.**
Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова, Москва, Россия,
degerasimov@ya.ru
*ГосНИИИ военной медицины Министерства обороны РФ, Москва, Россия.

Уже более 20 лет бронебойные средства поражения с ударниками из обеднённого урана (ОУ) используются вооружёнными силами развитых стран. Применение этого нового вида вооружения для решения боевых задач в современных локальных конфликтах (Ирак, 1991, 2003 гг.; Босния и Герцеговина, 1994 - 1995 гг.; Косово и Метохия, 1999 г.; Афганистан, 2001 - 2003 гг.; Ливия, 2011 г.) привело к накоплению соединений урана в объектах окружающей среды, а сравнительно быстрое их перемещение по пищевым цепям существенно повышает риск радиотоксических эффектов в организме человека.

В эксперименте половозрелым крысам-самцам однократно вводили водный раствор смешанного оксида ОУ ($U_3O_8 + UO_2$) в дозе 1 мг/кг per os, что согласуется с представленными в литературе величинами возможного его перорального поступления в организм при боевых действиях в Кувейте и Югославии. Учитывая, возможность накопления соединений урана в различных структурах головного мозга (стриатуме, гиппокампе, коре больших полушарий ГМ, таламусе, среднем мозге, мозжечке и др.), можно предположить, что комплекс радиотоксических эффектов смешанного оксида обеднённого урана существенно изменяет психоневрологический статус биообъекта, поэтому было целесообразно оценить поведенческие реакции экспериментальных животных, как маркер функционального состояния ЦНС.

Проведенные экспериментальные исследования поведенческих реакций свидетельствовали о выраженном временном расстройстве интегративных функций головного мозга (ГМ) лабораторных животных опытных групп через 30 суток после введения ОУ ($p < 0,05$), возвращение же к исходным показателям отмечалось к 180 суткам эксперимента. Повышение двигательной активности на 40,9% и ориентировочно-исследовательской реакции на 22,7% выявленные в тесте «открытое поле», свидетельствуют о воздействии ОУ на структуры ЦНС ответственные за реализацию афферентной регуляции экстрапирамидной системы, обеспечивающей координацию немотивированных двигательных функций и осуществление автоматических двигательных актов (мозжечок и др.). При исследовании уровня тревожно-фобического и эмоционального состояния в тесте «приподнятый крестообразный лабиринт», отмечалось повышение эмоциональной тревожности крыс на 32%. В то же время было выявлено снижение мнестических функций ГМ грызунов на 27,3% посредством методики «условный рефлекс пассивного избегания», что свидетельствует о нарушении процессов запоминания и воспроизведения навыка и позволяет сделать вывод о воздействия ОУ на высшие интегративные функции ЦНС, которые требуют участия памяти.

Таким образом, расстройства интегративных функций ЦНС грызунов выявленные в эксперименте могут являться следствием оксидантной активности ОУ в отношении наиболее чувствительных структур ГМ, а также следствием изменения метаболизма медиаторов ЦНС с последующим нарушением нейротрансмиссии. Регистрируемые изменения поведения следует расценивать как проявление нейротоксичности ОУ, при его однократном введении.

# БИОЛОГИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ МАЛЫХ ДОЗ ИОНИЗИРУЮЩЕЙ РАДИАЦИИ

*Р.И.Гончарова*
Институт генетики и цитологии НАН Беларуси, Минск, Республика Беларусь,
R.Goncharova@igc.bas-net.by

Оценка биологических эффектов малых доз (<100 mGy) и очень малых доз (<10 mGy) ионизирующей радиации (ИР) привлекает пристальное внимание в последние годы. С этой целью была сформирована Multidisciplinary European Low Dose Initiative (MELODI). Имеющиеся сейчас данные позволяют по новому взглянуть на эффективность и механизмы низкодозового облучения малой интенсивности.

Биологическая эффективность малых и очень малых доз ИР на клеточном и организменном уровнях убедительно продемонстрирована результатами европейского RISC-RAD проекта (2004-2008 гг.). Установлены генетические эффекты хронического воздействия очень малых доз ИР (в диапазоне от близких к фоновым и до 10 cGy), обусловленных воздействием Чернобыльских радионуклидов, в соматических и половых клетках европейской рыжей полевки, природные популяции которой населяли радиационно загрязненные районы Беларуси (Ryabokon et al., 2005, Ryabokon, Goncharova, 2006, 2007). Генетическая радиочувствительность соматических клеток рыжей полевки и периферических лимфоцитов человека, а также половых клеток лабораторных мышей близки друг другу (Смолич, Гончарова, 2002), что позволяет использовать рыжую полевку в качестве модельного объекта для оценки радиационного риска у человека. С использованием этого модельного вида нами впервые обнаружено трансгенерационное накопление радиационных повреждений и наличие геномной нестабильности на протяжении многих поколений в природных популяциях животных под воздействием хронического облучения с очень низкой мощностью дозы (Ryabokon, Goncharova, 2006, 2007).

Феномен прямого эффекта мощности дозы хорошо известен. Принципиально важным феноменом является наличие обратной зависимости радиационного эффекта от мощности дозы (inverse dose rate effect), которая выявлена у млекопитающих и человека в низком диапазоне мощностей доз. Так показано, что генетическая эффективность хронического облучения рыжей полевки при очень низкой мощности доз, рассчитанная на единицу дозы, гораздо выше по сравнению с генетической эффективностью острого облучения при высокой мощности дозы (Смолич, Гончарова, 2002). Наши данные находятся в хорошем соответствии с результатами эпидемиологических исследований радиационных когорт. Канцерогенные риски хронического облучения с низкой мощностью дозы у объединенной когорты рабочих ядерной индустрии 15 стран (Cardis et al., 2007) и у когорты жителей реки Теча (Krestinina et al., 2005, 2007) оказались выше, чем канцерогенные риски у японской когорты, получившей острое облучение с высокой мощностью дозы.

Накапливается все больше данных о том, что биологические ответы на воздействие малых и высоких доз ИР могут различаться. Так установлено, что транскрипционный ответ индуцируется под воздействием малых и очень малых доз и различается при облучении малыми и высокими дозами ИР относительно числа и типа по-разному экспрессируемых генов, в том числе у хронически облучаемых людей (RISC-RAD, 2008, Albanese et al., 2007, Fachin et al., 2009). Показано, что ИР вызывает кластерные повреждения ДНК, однако типы кластерных повреждений различаются при действии высоких и малых доз (RISC-RAD, 2008).

**ВЛИЯНИЕ ОКИСЛИТЕЛЬНОГО СТРЕСС НА СОСТОЯНИЕ ЦИТОСКЕЛЕТА И ПОТРЕБЛЕНИЕ КИСЛОРОДА ТИМОЦИТАМИ КРЫС РАЗНОГО ВОЗРАСТА**

*А.И. Грицук, И.А. Никитина*
Гомельский государственный медицинский университет, Гомель, Республика Беларусь,
Gritsuk@inbox.ru, nikkitina@gmail.com

Облучение, так называемое ускоренное радиационное старение, а также естественное старение ассоциированы с образованием активных форм кислорода и азота (АФК и АФА). Ионизирующая радиация повышает в тканях экспрессию индуцибельной NO-синтазы, увеличивающей продукцию $NO^{\bullet}$ и пероксинитрита ($ONOO^-$), рост концентрации которых, вызывает быстрое, сильное, но обратимое торможение клеточного дыхания, а также стимуляцию продукции в митохондриях (Мх) АФК и АФА. Биохимические процессы, протекающие в клетке при этом, сопровождаются пространственно-временными изменениями механических свойств клетки и особенно ее поверхности и объема. Цитоскелет не только формирует топологию поверхности клетки, но и регулирует интенсивность клеточного дыхания, распределяя Мх внутри клетки в места наиболее высокого потребления энергии. Связь между активностью аэробных энергетических процессов и особенностями структуры клеточной поверхности в возрастном аспекте и в условиях окислительного стресса (ОС) недостаточно изучена. Цель исследования: оценить сопряженность изменения потребления кислорода и особенностей топологии поверхности и объема изолированных тимоцитов крыс разных возрастов в условиях ОС, индуцированного действием 30 и 120 μмоль $ONOO^-$. Тимоциты выделяли из тимуса белых крыс 3-х и 8-ми месячного возраста. $ONOO^-$синтезировали в реакции пероксида водорода с нитритом натрия. Потребление кислорода тимоцитов оценивали полярографическим методом при 18° С в растворе Хэнкса электродом Кларка на установке «Record 4» (ИТЭБ РАН, Пущино, РФ). Площадь поверхности и объем клетки измеряли с помощью атомно-силового микроскопа «НТ-206» в контактном режиме сканирования иглами типа CSC38. Установлено, что общая дыхательная активность тимоцитов 3-х и 8-ми месячных животных незначительно разнится и составляет соответственно 8,9 и 9,3 наномоль $мин^{-1}$ $кл^{-1}$, что пропорционально отражается на средних удельных потоках кислорода в клетке –дыхательной активности в пересчете на единицу её поверхности и объема. Методом ингибиторного анализа установлено, что обработка тимоцитов обоих групп животных 30 и 120 μмоль $ONOO^-$ значительно изменяет не только их общую дыхательную активность, но перераспределяет в них потоки кислорода между митохондриальным и пероксидным (немитохондриальным) потреблением. В тимоцитах 3-х месячных животных 30 и 120 μмоль $ONOO^-$ вызывают снижение митохондриального потока, но стимулируют пероксидный путь, что коррелирует с дыхательной активностью изолированных тимоцитов в расчете на клетку. В этих же условиях наблюдается дозозависимая тенденция к уменьшению площади поверхности и объема клетки и активация цитоскелета в виде образования ламелоподий. Удельный митохондриальный поток кислорода в тимоцитах 8-месячных животных при действии $ONOO^-$ носит немонотонный характер. 30 μмоль $ONOO^-$ резко стимулирует митохондриальное дыхание тимоцитов, тогда как 120 μмоль $ONOO^-$ заметно снижает их дыхательную активность, увеличивая при этом её пероксидную часть. Указанные изменения сопровождаются значительными нарушениями в структуре цитоскелета тимоцитов в виде резкого снижения их площади и объема. В работе обсуждается возрастные аспекты влияния ОС на возможные механизмы взаимосвязи между стационарным состоянием цитоскелета тимоцитов и их дыхательной активностью.

**КАРИОМЕТРИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА РЕАКЦИИ НЕЙРОНОВ МОЗЖЕЧКА НА ИОНИЗИРУЮЩЕЕ ИЗЛУЧЕНИЕ**

*О.П. Гундарова*
Воронежская государственная медицинская академия им. Н.Н. Бурденко,
Воронеж, Россия,
episheva65@mail.ru

В радиобиологии нейроны мозжечка (особенно клетки Пуркинье) считаются своеобразным индикатором чувствительности к ионизирующему излучению. Одним из функциональных показателей их активности является объем ядер. Однако, несмотря на достаточную информативность, кариометрические методики еще мало используются в определении реакции нервной системы на малые радиационные воздействия как это принято для летальных доз. В эксперименте на белых беспородных крысах, подвергнутых облучению на установке «Хизатрон» (Чехословакия) γ-квантами $^{60}$Co в дозах 10, 20 50 и 100 сГр с мощностью дозы 50 сГр/ч прослежены изменения ядер нейронов коры мозжечка в сравнении с возрастным контролем. Исследование на полную продолжительность жизни показало высокую чувствительность ядер нейронов мозжечка и к малым дозам ионизирующего излучения. При одноразовом и при фракционированном облучении объём ядер меняется однонаправленно, но более выражено при фракционированном облучении. Через сутки после одноразового облучения размер ядер нейронов имеет тенденцию к снижению, а при дозе 100 сГр это снижение по отношению к контролю достоверно. Через 6 месяцев пострадиационного периода размер ядер во всех экспериментальных группах был достоверно снижен и оставался на этом уровне и через 12 месяцев наблюдения, после чего имеет тенденцию к нормализации. Исключение составила только группа животных, облучённых в дозе 10 сГр в которой объём ядер нормализовался через 12, а через 18 мес. вновь снижается и повышается к 24 мес. пострадиационного периода. Размер ядер нейронов при всех дозах фракционированного облучения снижается до 6 мес наблюдения, к году нормализуется, а затем ядра вновь сморщиваются. К концу пострадиационного периода у выживших животных (облучение 20 и 50 сГр) ядра имеют тенденцию к набуханию, причём при облучении 50 сЗв увеличение размеров ядер достоверно как по отношению к контролю, так по сравнению с облучением в дозе 20 сГр. Таким образом, после однократного облучения функциональная активность ядер, а следовательно и нейрона, до 18 мес пострадиационного периода снижена. При фракционированном облучении (в этих же дозах) функциональная активность ядер снижена только до 6 мес пострадиационного периода, а затем повышается. Следовательно, по кариометрическим показателям фракционированное облучение оказывает меньшее влияние на нейроны мозжечка.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ СЕЗОННО – ЗАВИСИМОГО НАКОПЛЕНИЯ КАРОТИНОИДОВ В ОТДЕЛЬНЫХ ОРГАНАХ *ALHAGI PSEUDALHAGI*, ПРОИЗРАСТАЮЩЕГО В ЗАГРЯЗНЕННОМ РАЗНЫМИ РАДИОНУКЛИДАМИ УЧАСТКЕ

*Э.С.Джафаров, Г.А.Годжаева, М.З.Гусейнова, Г.Г.Бабаев*
Институт радиационных проблем НАНА, Баку, Азербайджан,
e_dzhafarov@rambler.ru

В результате глобального обострения экологической ситуации растения подвергаются более интенсивному воздействию разных стрессовых факторов окружающей среды. Среди этих факторов определенная роль принадлежит повешенному радиационному фону. Одной из общих ответных реакций растений на стрессовые факторы такого рода является усиленное образование активных форм кислорода.

Известно, что фотосинтетические пигменты, такие как каротиноиды, играют немаловажную роль в адаптации растений к неблагоприятным факторам окружающей среды. Исследования, проведенные в разные годы показали, что эти пигменты участвуют в регуляции устойчивости растений к температурному стрессу и выполняют светособирающую, фотозащитную и структурную функцию. Кроме того, есть данные, согласно которым каротиноиды, играя роль тушителей или фильтра, могут участвовать в процессах обезвреживания как активных форм кислорода, так и синглетных и треплетных состояний хлорофилла. Отметим, что вклад каротиноидов в защиту растений от ионизирующего излучения в малых дозах изучен не достаточно и не имеются данные относительно стресс - зависимого их накопления.

Выбор в качестве объекта исследования *Alhagi Pseudalhagi* обусловлен тем, что это растение является наиболее распространенным в выбранном нами загрязненном различными радионуклидами участке и характеризуется более высоким содержанием биологических активных веществ.

Целью наших исследований было выяснение влияния низкоинтенсивного хронического γ - излучения на динамику накопления каротиноидов по фенофазам развития *Alhagi Pseudalhagi* и на их стресс-зависимую аккумуляцию в разных органах этого растения.

Результаты исследования показали, что концентрации каротиноидов в разных органах растения заметно отличаются. Корни и семена характеризуются наименьшим содержанием каротиноидов, а в стеблях, листьях и в цветках содержание желтых пигментов~35% больше чем в корнях и семенах (стебель, листья и цветки имеют почти одинаковое содержание каротиноидов). В накоплении каротиноидов радиационный фактор играл существенную роль только в стеблях и листьях. При этом содержание этих пигментов в опытном образце растения было примерно в 1,33 раз больше, чем в контрольном. Предполагаем, что ионизирующее излучение вызывало стимулирование каротиноидов в этих органах. Исследование накопления каротиноидов в листьях *Alhagi Pseudalhagi* по фенофазам развития растения показали, что эти пигменты в большем количестве присутствуют в фазе вегетации. С переходом от фазы вегетации к фазе бутонизации их содержание уменьшается и в фазе цветения становится минимальным. Дальнейшее развитие не приводит к уменьшению содержания желтых пигментов. Наоборот, в фазе плодоношения их содержание слегка увеличивается. Что касается роли ионизирующей радиации в этом процессе, то следует заметить, что она не вызывала существенное изменение в содержании каротиноидов.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ АКТИВНОСТИ СУПЕРОКСИДДИСМУТАЗЫ ОТ ПЕРИОДА ВЕГЕТАЦИИ В РАЗНЫХ ОРГАНАХ ХРОНИЧЕСКИ ОБЛУЧАЕМОЙ ПОПУЛЯЦИИ *ALHAGI PSEUDALHAGI*

*Э.С.Джафаров, А.К.Джафарлы, Л.М. Гулиева, Г.Г.Бабаев*
Институт радиационных проблем НАНА, Баку, Азербайджан,
e_dzhafarov@rambler.ru

Известно, что одной из приспособительных реакций растений на воздействие ионизирующего излучения является изменение активности и/или синтез *de novo* ряда антиоксидантных ферментов. Учитывая, что вопросы, связанные с выяснением механизма радиационной устойчивости и стимуляции к воздействию радиационного излучения, остаются до конца не изученными, мы попытались выяснить реакции *Alhagi Pseudalhagi,* дикорастущего на почве с повышенным уровнем природных радионуклидов (мощность экспозиционной дозы на опытном участке составляла ~750 мкР/час) на хроническое воздействие низкоинтенсивного ионизирующего излучения. При этом биологические эффекты, которые могут формироваться при хроническом низкоинтенсивном облучении растений, нами были изучены на основе изменения активности фермента супероксиддистутазы (СОД). Отметим, что СОД является ключевым ферментом системы антиоксидантной защиты растений, которая противостоит усиленному образованию активных форм кислорода при разного рода стрессовых (в том числе, радиационных) воздействий. Активность СОД определяли спектрофотометрически по изменению поглощения при 560 нм. За единицу активности СОД принимали 50% -ное ингибирование образования формазана.

Результаты показали, что активность антиоксидантного СОД была более или менее постоянной в листьях и имела более низкое значение, чем в корнях. Кроме того, в ответ на хроническое действие γ – облучения в листьях *Alhagi Pseudalhagi* не наблюдалось существенных изменений в активности этого фермента. Отсутствие выраженной радиационно-зависимой стимуляции активности СОД в листьях растения могло объясняться тем, что основную защитную роль при этом выполняют другие элементы антиоксидантной защиты, а не антиоксидантный СОД. В корнях наблюдалось стресс – зависимое повышение активности фермента. Активность этого фермента в корнях растения была значительно выше (~ 2 раза), чем в листьях. В отличие от корней, в стеблях *Alhagi Pseudalhagi* наблюдалось снижение активности СОД. По сравнению с контролем активность фермента для стеблей опытных растений снижалась на (30 - 40)%. Однако хроническое радиационное воздействие в семенах способствовало повышению активности СОД на ~ 50%.

Наши исследования показали, что активность СОД в листьях растения, подвергнутого воздействию радиации, в фазах всходов и развития значительно снижается. В противоположность этому ее активность в фазе плодоношения не отличается от активности контрольного варианта растения. Причины снижения активности СОД в фазах всходов и развития растения могут быть разнообразными. По всей вероятности, истощение пула фермента связано с усиленным расходованием на гашение супероксид радикалов. Не исключено, что снижение активности СОД может быть следствием снижения синтеза или повышением деградации молекул СОД.

Можно предположить, что хроническое действие радиационного излучения приводит к стимуляции активности СОД, в результате которого снижается интенсивность окислительного стресса и повышается устойчивость растения к воздействию стресса.

# СОДЕРЖАНИЕ ДНК В ЯДРАХ КОРЕШКОВ ЗАРОДЫШЕЙ СЕМЯН КАК МОЛЕКУЛЯРНЫЙ МАРКЕР ПРАЙМИРОВАНИЯ

*А.П. Дмитриев*[1], *И.И. Бубряк*[1], *О.А. Бубряк*[2], *Д.М. Гродзинский*[1], *Т. В. Акимкина*[2]
[1]Институт клеточной биологии и генетической инженерии НАН Украины, Киев
dmyt@voliacable.com
[2]Оксфордский университет, Оксфорд, Великобритания
olga.boubriak@dpag.ox.ac.uk

Стимулирующие обработки семян осмотиками (праймирование) широко используют во мировой практике для повышения качества посевного материала. Такие обработки приводят к активации биохимических процессов, дают возможность клеткам зародышей восстановиться от повреждений и завершить необходимые этапы подготовки семян к прорастанию.

Целью работы было увязать различные режимы праймирования со скоростью вхождения зародышевых клеток в первый клеточный цикл, изучить динамику репарации ДНК и предложить молекулярный маркер для оптимального праймирования семян.

Объектом исследований были семена сахарной свеклы (гибриды “Мадисон” и “Дюк”). Праймирование проводили выдерживанием семян в герметичной камере с вращением при температуре 20$^{o}$C в течении 2-4 дней. Степень обработки варьировала таким образом, что недопраймированные семена имели в конце обработки самую низкую влажность зародышей (22%), оптимально праймированные - промежуточную (25%) и перепраймированные - самую высокую влажность (29%).

Изучали скорость прохождения ядер клеток зародышей по клеточному циклу у праймированных семян, анализируя изменения содержания ДНК в ядрах корешков зародышей с помощью микроденситометрии. Последняя дает не только возможность измерять содержание ДНК в ядрах зародышей, но, в отличие от цитофлюориметрии, указывает - в каких именно клетках возрастает количество ДНК. Репарацию ДНК изучали путем регистрации внепланового синтеза ДНК в первые часы прорастания семян и контролировали в присутствии афидиколина, ингибитора репликации.

Полученные результаты свидетельствуют, что репарация ДНК индуцируется еще в процессе праймирования семян и ее уровень коррелирует с интенсивностью режимов праймирования. Процесс репарации ДНК у праймированных семян практически завершается после 6 ч прорастания, за исключением перепраймированных, у которых в это время уже регистрируется репликация.

Оказалось, что в результате праймирования в клетках корешков зародышей инициируется репликация ДНК и они движутся по клеточному циклу с накоплением их части в G2 фазе клеточного цикла. Выявлены значительные различия в количестве клеток, достигших G2 фазы в конце обработки, что ведет к значительному варьированию жизнеспособности праймированных семян при хранении. Установлено, что при оптимальных уровнях праймирования семян сахарной свеклы часть клеток в G2 фазе с содержанием ДНК 4C не должна превышать 15%.

Таким образом, содержание клеток в G2 фазе клеточного цикла прямо коррелирует с уровнем праймирования и может быть использовано в качестве молекулярного маркера праймирования семян.

Показана существенная разница в воздействии одинаковых режимов праймирования на семена различных гибридов сахарной свеклы. Установлено, что обработка, которая используется обычно в семенной промышленности как «оптимальное праймирование», может быть неоптимально завышенной и опасной для качества семян некоторых гибридов или партий семян.

# ГЕТЕРОГЕННОСТЬ ОПУХОЛЕВЫХ КЛЕТОК ПО ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ К РАДИАЦИОННЫМ И ХИМИЧЕСКИМ ВОЗДЕЙСТВИЯМ: РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ И КЛИНИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ С ПОЗИЦИИ ГИПОТЕЗЫ ОПУХОЛЕВЫХ СТВОЛОВЫХ КЛЕТОК

*Замулаева И.А., Матчук О.Н., Макаренко С.А., Селиванова Е.И., Липунов Н.М., Ульяненко С.Е., Каплан М.А., Ткаченко Н.П., Андреев В.Г.*
Медицинский радиологический научный центр Минздрава РФ, Обнинск, Россия, zamulaeva@mail.ru

Гетерогенность опухолевых клеток по морфологическим и функциональным признакам (в том числе по чувствительности к радиационным и химическим воздействиям) является фундаментальным свойством злокачественных опухолей. Поскольку такая гетерогенность во многом определяет эффективность лечения онкологических больных, выяснение разнообразных механизмов её формирования не теряет своей актуальности уже многие годы. В последнее время активно развивается представление о том, что в злокачественных новообразованиях имеются особые клетки, которые являются родоначальниками гетерогенных клонов, составляющих опухоль. Они отличаются от остальных опухолевых клеток по туморогенной активности и сходны со стволовыми клетками нормальных тканей по ряду молекулярно-биологических и структурно-функциональных особенностей (профиль генной экспрессии, набор белковых маркеров на поверхности клеток, интенсивное удаление лекарственных препаратов и липофильных красителей и т.д.). Эти клетки получили название опухолевых стволовых клеток (ОСК); в различных литературных источниках их называют также стволовоподобными (stem-like) или опухоль-инициирующими клетками (tumor initiating cells). ОСК, существование которых продемонстрировано в злокачественных новообразованиях разной локализации и стабильных линиях опухолевых клеток, характеризуются более высокой резистентностью к радиационным и химическим воздействиям по сравнению с остальными клетками опухоли, поэтому предполагают, что именно ОСК определяют неблагоприятные отдалённые результаты радио-, химиотерапии или их комбинации. В связи с этим значительный интерес представляет выяснение закономерностей и механизмов радиационного воздействия на ОСК для дальнейшего совершенствования противоопухолевой терапии, в том числе радиотерапии онкологических больных. В докладе представлены результаты выполненных в МРНЦ исследований, которые свидетельствуют о резистентности ОСК к действию редкоионизирующего излучения и ряда химиопрепаратов in vitro (в стабильных линиях опухолевых клеток) и in vivo (в биопсийном материале части онкологических больных). Обсуждаются механизмы резистентности ОСК к указанным воздействиям и возможность дедифференцировки не стволовых клеток под влиянием редкоионизирующего излучения. Приводятся данные об одинаковой чувствительности опухолевых стволовых и не стволовых клеток к действию плотноионизирующего излучения, фотодинамическому воздействию и салиномицину и, таким образом, обосновывается перспективность использования этих воздействий с точки зрения элиминации ОСК. В целом, полученные результаты свидетельствуют о необходимости учета молекулярных особенностей и чувствительности ОСК при разработке новых противоопухолевых средств и совершенствовании существующих методов лучевой и комбинированной терапии.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке гранта РФФИ №13-04-01721.

# ЧАСТОТА И СПЕКТР ЦИТОГЕНЕТИЧЕСКИХ АНОМАЛИЙ У РАБОТНИКОВ СИБИРСКОГО ХИМИЧЕСКОГО КОМБИНАТА

*Д.С.Исубакова*[1], *Н.В.Литвяков*[1,2], *М.В.Халюзова*[1,2],
*Е.Н.Альбах*[1], *А.Э.Сазонов*[1], *Р.М.Тахауов*[1]
[1]Северский биофизический научный центр ФМБА России, Северск, Россия, mail@sbrc.ru
[2]НИ Томский государственный университет, Томск, Россия, rector@tsu.ru

Работники крупнейшего в мире предприятия атомной индустрии – Сибирского химического комбината (СХК) в процессе профессиональной деятельности, подвергаются внешнему, внутреннему и сочетанному (внешнему и внутреннему) хроническому радиационному воздействию. Было проведено исследование частоты и спектра цитогенетических аномалий у 657 здоровых работников СХК в зависимости от возраста, пола, вида облучения и дозы внешнего облучения. Гендерных и возрастных различий в частоте хромосомных аберраций (ХА) не установлено. Для индукции ХА определяющим фактором является хроническое внешнее облучение. При дополнительной радиационной нагрузке за счёт инкорпорированного $^{239}$Pu в крови работников с сочетанным радиационным воздействием (по сравнению с работниками, подвергавшимися только внешнему облучению, при равных дозовых нагрузках по внешнему облучению) уменьшается частота аберрантных клеток, аберраций хромосомного типа, парных фрагментов и кольцевых хромосом.

Дозовая зависимость для частоты аберрантных клеток, хроматидных фрагментов, аберраций хромосомного типа и частоты дицентрических хромосом у работников СХК имеет нелинейный характер, что подтверждают данные аппроксимации. При облучении в дозе > 0–10 мЗв наблюдается достоверное (или на уровне тенденции – $p = 0{,}066$) уменьшение частоты аберрантных клеток, аберраций хроматидного и хромосомного типов по сравнению с контролем, что соответствует известному явлению радиационного гормезиса. Одним из механизмов уменьшения частоты ХА при дозах > 0–10 мЗв может быть стимуляция у работников СХК активности апоптоза, обеспечивающего высокий уровень элиминации повреждённых клеток. При дозах менее 40 мЗв не наблюдается значимого повышения частоты ХА. Статистически значимое увеличение выхода аберрантных метафаз и аберраций хроматидного и хромосомного типов отмечается, начиная с диапазона доз > 40–100 мЗв (для дицентриков – с диапазона > 100–200 мЗв). Эти данные свидетельствуют в пользу известной линейно-пороговой модели. В диапазоне доз > 100–300 мЗв на дозовой кривой имеется плато, уровень цитогенетических аномалий не увеличивается и только возрастает статистическая значимость различий с контролем. В работе Поздышкиной О.В. и Севанькаева А.В (1992) показано, что при определённой дозе индуцируется активность ферментов репарации, которые до определённого уровня репарируют возникающие под действием радиации повреждения, следствием чего и является наблюдаемое плато на дозовой кривой. После 500 мЗв частота ХА линейно возрастает с дозой внешнего облучения. В отношении редких цитогенетических аномалий (хроматидные обмены, транслокации, полиплоиды) установлено, что у носителей, имеющих в лимфоцитах крови транслокации и хроматидные обмены, наблюдается статистически значимо более высокий уровень дозы внешнего облучения.

# ОЦЕНКА РЕПАРАТИВНОГО СТАТУСА У СПЕЦИАЛИСТОВ, РАБОТАВШИХ С РАЗЛИЧНЫМИ ВИДАМИ ИЗЛУЧЕНИЙ, В ОТДАЛЕННЫЕ СРОКИ

*О.В. Калиновская, В.И. Нагиба, К.Ю. Иванов, Я.И. Медведев, Е.А. Никанорова*
ФГУП «Российский Федеральный ядерный центр - Всероссийский НИИ экспериментальной физики», Саров, Россия,
gane@orb2.vniief.ru

В работе представлены результаты оценки активности работы системы репарации ДНК клеток крови сотрудников РФЯЦ-ВНИИЭФ, ветеранов отрасли, работавших с бета-излучением трития и с гамма - нейтронным излучением 40-50 лет тому назад.

Первая группа включала 31 человека (средний возраст 65±2 лет), работавших с бета-излучением трития (средний стаж работы во вредных условиях 32года), накопленные дозы составляли от 0 до 25 сЗв.

Вторая группа состояла из профессионалов-атомщиков - 19 человек (средний возраст 74±2 года, средний стаж работы во вредных условиях 38,5 лет), работавших с гамма-нейтронным излучением и имевших накопленные дозы от 7 до 76 сГр.

Для каждой группы профессионалов была сформирована соответствующая по возрасту контрольная группа из жителей г. Саров, которые в течение всей своей профессиональной деятельности не имели контакта с ионизирующими излучениями.

Активность работы системы репарации ДНК определяли с помощью щелочной версии метода «комет» по динамике уровня остаточных повреждений ДНК после действия гамма-излучения $^{60}$Co (аттестованный источник ГУБЭ-3000) в дозе 3 Гр при мощности дозы 1 Гр/мин на образцы цельной крови. Результаты «комет-теста» для каждой группы профессионалов, работавших в радиационно-опасных условиях труда, сравнивали с данными цитогенетического анализа, характеризующими уровень повреждения генома после радиационного воздействия.

В результате проведенного анализа данных не выявлено статистически значимых отличий от контроля по уровню спонтанных, первичных и остаточных повреждений ДНК, а также по индексу репарации в обеих группах профессионалов-атомщиков. Обнаружены статистически значимые корреляционные зависимости между уровнем первичных и остаточных повреждений ДНК (метод «комет») и суммарной частотой хромосомных аберраций, а также частотой дицентриков и колец в группе профессионалов, работавших с гамма-нейтронным излучением.

# ОЦЕНКА РАДИАЦИОННЫХ РИСКОВ ПРИ МАЛЫХ И СРЕДНИХ ДОЗАХ ОБЛУЧЕНИЯ: УРОКИ ЧЕРНОБЫЛЯ И ПРОГНОЗ ФУКУСИМЫ

*Кащеев В.В., Чекин С.Ю., Максютов М.А., Меняйло А.Н. Иванов В.К.*
Медицинский радиологический научный центр Минздрава РФ, Обнинск, Россия,
kashcheev@nrer.ru

В представленной работе рассматриваются три основных вопроса. В первом разделе приводятся результаты крупномасштабных исследований Национального радиационно-эпидемиологического регистра за 25 лет после аварии на Чернобыльской АЭС. Даны итоговые оценки радиационных рисков заболеваемости среди ликвидаторов и населения наиболее загрязнённых территорий России:

Анализ динамики стандартизованного отношения заболеваемости (Standardized Incidence Ratio – SIR) по лейкозам среди ликвидаторов показал рост частоты этой патологии в 2,5-3 раза через 5-7 лет после аварии. В последние 10 лет частота заболеваемости лейкозами у ликвидаторов не превышает ожидаемого спонтанного уровня. Оценка величины избыточного относительного риска (Excess Relative Risk) на 1 Гр (ERR/Гр) показала, что величина ERR/Гр была статистически значима на временном интервале первых 10 лет после аварии на Чернобыльской АЭС (1986-1996 гг.).

Эпидемиологический анализ радиационных рисков выявления солидных раков у ликвидаторов показал, что в диапазоне доз до 100 мЗв не выявлено повышения частоты заболеваемости солидными раками. Это заключение находится в хорошем согласии с выводами НКДАР ООН об отсутствии радиационных рисков при дозах облучения до 100 мЗв и имеет большое значение для обеспечения радиационной защиты персонала АЭС «Фукусима-1».

В когорте населения приживающего на загрязненных после Чернобыля территориях в настоящее время выявлено 993 случая заболеваний раком щитовидной железы (РЩЖ). Значимый радиационный риск РЩЖ обнаружен только в когорте детей и подростков (0-17 лет) на момент аварии на Чернобыльской АЭС. Выявлен высокий уровень скрининга; так, частота случаев рака щитовидной железы у взрослого населения выросла в 3,7 раза, однако влияния излучения $^{131}$I не обнаружено. В диапазоне доз облучения щитовидной железы до 100 мЗв не получен статистически значимый относительный риск заболеваемости раком щитовидной железы. Эти дозовые пределы крайне важны для оптимизации радиационной защиты детского населения после аварии на АЭС «Фукусима-1».

Анализ заболеваемости солидными раками населения Брянской области, включенного в Национальный регистр, показал, что статистически значимый радиационный риск не наблюдается (ERR/Зв=0,1; 95 % ДИ (-0,63; 0,94)).

Второй раздел посвящён верификации моделей прогноза радиационного риска МКРЗ (103 Публикация) с учётом данных Чернобыля. Показано, что основные результаты оценки радиационного риска после Чернобыля находятся в хорошем согласии с моделями МКРЗ.

Третий раздел – прогнозные оценки возможных отдалённых радиологических последствий аварии на АЭС «Фукусима-1» на основе моделей прогноза МКРЗ. Полученные прогнозные оценки радиологических последствий аварии на АЭС «Фукусима-1» на основе моделей МКРЗ носят предварительный характер ввиду неполноты основных дозиметрических и демографических данных.

# МОЛЕКУЛЯРНЫЕ АСПЕКТЫ ДЛИТЕЛЬНОГО ДЕЙСТВИЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБЛУЧЕНИЯ В МАЛЫХ ДОЗАХ

*Е.Н. Кириллова, М.Л. Захарова, Т.В. Лукьянова*
Южно-Уральский институт биофизики, Озерск, Россия,
kirillova @subi.su

Новейшие достижения исследовательских технологий и успехи современной молекулярной биологии позволяют регистрировать ранее недоступные исследователям изменения в организме на радиационное воздействие как источник биологической сигнализации на разных уровнях его интеграции, приводящие к нарушениям, регистрируемым на системном или органном уровне. Одной из основных причин формирования тяжелой соматической патологии, в т.ч. злокачественных новообразований, при длительном радиационном воздействии является снижение эффективности механизмов иммунной и противоопухолевой защиты. Цель исследования – оценить протеиновый статус (концентрация в крови регуляторных белков разного механизма действия, участвующих в процессах иммунного контроля) у работников атомного производства, подвергшихся длительному сочетанному (α- и γ-) или только внешнему профессиональному γ-облучению (накопленные поглощенные дозы внешнего облучения не превышали 1 Гр, а содержание плутония в организме было ниже 0,74 кБк.). В контрольную группу были включены жители г. Озерска соответствующего возраста и пола, профессионально не контактирующие с облучением. Количественную оценку уровня белков и ростовых факторов в сыворотке крови осуществляли методом твёрдофазного иммуноферментного анализа (ИФА). Были изучены в крови уровни белков разного механизма действия – ростовых факторов – EGF, TGF-α,TGF-β1, Ang-1A, PDGF, VEGF A, интерлейкины – IFN-γ, IL-12+p70, IL-15, IL-17A, TNF-α, провоспалительные цитокины IL-1β, IL-2, IL-6, IL-8; противовоспалительные цитокины IL-4, IL-10 и их рецепторы. На момент получения образцов периферической крови у доноров не было зарегистрировано острых инфекционных заболеваний, обострения хронических болезней и онкопатологии. При обработке результатов исследований был использован программный пакет “STATISTICA 6.0”. Наиболее выраженные и статистически значимые изменения концентрации в крови работников предприятия, подвергшихся длительному сочетанному (внешнему и внутреннему) облучению с разной дозовой нагрузкой по сравнению с контрольными лицами, обнаружены при исследовании уровня ростовых факторов – эпидермального (EGF), трансформирующего (TGF-β1), тромбоцитарного (PDGF), ангиопоэтина-1A, мультифункциональных интерлейкинов IL-15, IL-17, IL-18 и цитокинов широкого спектра действия – интерферон-γ – IFN-γ, IL-1β. Изменение содержания в крови (повышение или понижение уровня) отмеченных регуляторных белков зависело от вида радиационного воздействия, накопленной дозы внешнего облучения и содержания $^{239}$Pu в организме, что свидетельствует о связи этого показателя (уровень в крови) с радиационным воздействием: выявлена прямая или обратная связь уровня регуляторных белков с накопленными дозами внешнего облучения и/или содержанием Pu в организме. При персонализированной оценке протеинового статуса обнаружены субъекты с отклонением концентрации белков от нормальных значений в 2-5 и более раз. При медицинском обследовании лиц, включенных в группу риска, получены предварительные данные о связи нарушения протеиновой регуляции с развитием злокачественных новообразований, что создает возможность раннего выявления тяжелой соматической патологии.

**ВЛИЯНИЕ СОСТАВА И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛИПИДОВ ЛИПОСОМ НА ЗАВИСИМОСТЬ «ЭФФЕКТ-ДОЗА ОБЛУЧЕНИЯ»**

*М.А. Климович[1], М.В. Козлов[1], Д.В. Парамонов[2], В.И. Трофимов[2], Л.Н. Шишкина[1]*
[1]Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН, Москва, Россия,
KLIMOVICH-007@yandex.ru
[2]НТЦ «Лекбиотех», Москва, Россия.

Водные дисперсии липосом являются одной из удобных модельных систем липидной компоненты клеточной мембраны. Тот факт, что в условиях максимальной гидратации полярные головки фосфолипидов (ФЛ) липосом и клеток испытывают аналогичные деформации, дает основание использовать водные дисперсии липосом как достаточно адекватную модель для выяснения участия липидной компоненты клеточных мембран в формировании радиобиологических эффектов. Ранее было показано, что условия формирования (pH среды, состав и физико-химические свойства липидов, степень их окисленности, наличие антиоксидантов, продолжительность центрифугирования) оказывают существенное влияние на характеристики липосом.

Целью работы явилось определение роли состава и физико-химических свойств природных липидов на формирование радиационно-химических эффектов в липосомах. Липосомы формировали из лецитин-стандарта (ЛС) разной степени окисленности, липидов печени и головного мозга нелинейных белах мышей (половозрелые самки), забитых в сентябре и мае, что обусловливает модификацию антиоксидантного статуса и характеристик липидов органов. Диапазон дозы γ-излучения от 0 до 7 кГр, мощность дозы 26,4 – 29,9 Гр/мин. Обнаружены достоверные прямые корреляции между содержанием кетодиенов и диеновых конъюгатов в липидах контрольных липосом во всех вариантах экспериментов. После воздействия γ-излучения данные корреляционные взаимосвязей имеют разный масштаб в зависимости от дозы излучения для липосом, сформированных из ЛС или липидов органов мышей. Воздействие γ-излучения вызывает снижение pH среды во всех вариантах экспериментов, что сопровождается ростом доли лизоформ в составе ФЛ и, возможно, жирных кислот в связи с радиолизом ФЛ в процессе облучения. Об окислении жирнокислотных цепей ФЛ свидетельствует и рост содержания в водной суспензии липосом продуктов, реагирующих с 2-тиобарбитуровой кислотой (ТБК-АП). Прямая корреляционная взаимосвязь между размером липосом и долей лизоформ в составе их ФЛ обнаружена только в контрольных липосомах, в то время как после радиационного воздействия данная взаимосвязь отсутствует. В целом, γ-излучение вызывает сложный нелинейный характер зависимостей «эффект-доза» в липосомах, сформированных из любых природных липидов. Однако, в то время как стадийный изменения в зависимости от дозы радиации выявлены для всех исследованных параметров липосом, сформированных из ЛС, в липосомах из липидов органов мышей стадийные изменения были обнаружены только при анализе содержания доли ФЛ в составе общих липидов, соотношения фракций ФЛ и способности липидов разлагать пероксиды. Облучения приводит и к изменению взаимосвязи между мольным отношением [стерины]/[ФЛ] и содержанием ТБК-АП в липосомах, сформированных из липидов органов мышей.

Совокупность полученных данных и анализ литературы позволяют заключить, что степень ненасыщенности липидов и присутствие стеринов играют важную роль в формировании последствий радиационного воздействия, а конкуренция процессов окисления и радиолиза ФЛ обусловливает появление нелинейных зависимостей «эффект-доза» между различными параметрами физико-химической системы регуляции перекисного окисления липидов.

# НАРУШЕНИЕ $Ca^{2+}$-ГОМЕОСТАЗА В КЛЕТКАХ ПЕРИФЕРИЧЕСКОЙ КРОВИ ЧЕЛОВЕКА И ЖИВОТНЫХ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ В МАЛЫХ ДОЗАХ

*В.О. Кобялко, Э.Б. Мирзоев*
Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии ФАНО, Обнинск, Россия,
kobyalko@yandex. ru

Радиоактивное загрязнение ряда территорий Российской Федерации представляет актуальную экологическую и медико-биологическую проблему, так как хроническое облучение человека и животных, главным образом, в небольших дозах, может приводить к формированию негативных биологических эффектов. В качестве одного из важнейших механизмов воздействия радиации на организм млекопитающих рассматривают изменения в клеточных мембранах, которые регистрируются в клетках при облучении in vitro уже в дозах до 0,5 Гр. В то же время, структурно-функциональное состояние мембраны играет важную роль в обеспечении $Ca^{2+}$-гомеостаза в клетках и тем самым определяет функционирование регуляторных механизмов внутриклеточного метаболизма. Тем не менее, практически отсутствуют данные по оценке проницаемости мембраны для $Ca^{2+}$ и внутриклеточной концентрации свободного кальция ($[Ca^{2+}]_i$) в клетках периферической крови животных и человека, облученных в малых дозах.

В модельных и натурных экспериментах с использованием разных сценариев облучения в малых дозах и оригинальных (радиоизотопных) методов была выполнена оценка состояния системы $Ca^{2+}$-обмена в различных по радиочувствительности клетках периферической крови. Продемонстрировано, что изменения внутриклеточного $Ca^{2+}$-гомеостаза в эритроцитах и нейтрофилах регистрируются в течение небольшого периода времени после однократного облучения овец в дозах до 1 Гр. В то же время при хроническом облучении КРС в условиях радиоактивного загрязнения территории после аварии на ЧАЭС устойчивые изменения проницаемости мембраны эритроцитов для $Ca^{2+}$ отмечались в течение 12-месячного периода. Кроме того, при обследовании животных, а особенно населения юго-западных районов Алтайского края, родители которых подверглись воздействию ионизирующего излучения в 1949-1962 г. при проведении испытаний на Семипалатинском полигоне было обнаружено, что достаточно большие дозы облучения организма приводят к устойчивому снижению проницаемости мембран для $Ca^{2+}$ в эритроцитах и нейтрофилах. При этом использование метода дополнительной мембранной нагрузки (инкубация клеток в гипертонической среде) выявило аномально высокое увеличение скорости входа $^{45}Ca$. Наибольшее возрастание отмечали у жителей получивших суммарную дозу 243 сЗв, а так же их потомков, что может свидетельствовать о наличии скрытых мембранных дефектов в клетках организма. Возможной причиной наличия мембранного дефекта в клетках крови в отдаленный период после облучения в малых дозах могут быть определенные изменения в структуре мембран клеток-предшественников костномозгового кроветворения. Во многих исследованиях показана ключевая роль нарушения концентрации внутриклеточного $[Ca^{2+}]_i$ в патогенезе различных болезней, включая сердечно-сосудистые патологии, нарушение гормонального статуса, а также дегенеративные изменения в иммунной системе. Поэтому нарушение проницаемости клеточных мембран для $Ca^{2+}$ можно рассматривать в качестве дополнительного фактора риска развития патологических изменений в организме человека и животных при облучении в малых дозах.

# ИНДУКЦИЯ ПОВРЕЖДЕНИЙ ДНК В КЛЕТКАХ СИСТЕМЫ КРОВИ У МЫШЕЙ, ПОДВЕРГНУТЫХ ВОЗДЕЙСТВИЮ РЕДКО- И ПЛОТНОИОНИЗИРУЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ, И У ИХ ПОТОМКОВ

*Е.А. Кузнецова*[1], *С.И. Заичкина*[1], *Н.П. Сирота*[1], *С.А. Абдуллаев*[1], *О.М. Розанова*[1], *С.С. Сорокина*[1], *С.П. Романченко*[1], *Е.Н. Смирнова*[1], *О.А. Вахрушева*[1], *В.Н. Пелешко*[2]

[1]Институт теоретической и экспериментальной биофизики РАН, Пущино, Россия, kuzglu@rambler.ru

[2]ГНЦ РФ Институт физики высоких энергий НИЦ «Курчатовский институт», Протвино, Россия, rozanova.iteb@gmail.com

Целью настоящей работы было исследование реакции клеток системы крови в разные сроки после воздействия редко- и плотноионизирующих излучений у мышей и их потомков на молекулярном и клеточном уровнях. Повреждение генома на молекулярном уровне оценивали методом «комета тест» в лейкоцитах крови, на клеточном уровне - микроядерным тестом в костном мозге, после воздействия на мышей рентгеновским излучением в дозах 1, 3 и 5 Гр и низкоинтенсивным плотноионизирующим излучением (НПИ) в дозах 0.14 и 0.35 Гр, а также комбинированным воздействием этих излучений. Облучение на рентгеновской установке «РУТ-250-15-1» проводилось при мощности дозы 1.12 Гр/мин. Воздействие НПИ осуществлялось круглосуточно за верхней бетонной защитой Серпуховского ускорителя протонов с энергией 70 ГэВ (У-70 ИФВЭ, Протвино). По компонентному составу доза нейтронов с энергией до 20 МэВ в точке измерения составляла половину полной дозы нейтронов с энергией от тепловой и до 500 МэВ; нейтронные спектры похожи на таковые, формируемые космическими лучами на высоте от 3 до 12 км. Многозарядных ионов за бетонной защитой практически нет. Оцениваемый методом «комета тест» процент ДНК в хвосте «кометы», представляет собой среднюю величину и напрямую не отражает изменения соотношения клеток с разным уровнем повреждений ДНК, поэтому существует задача найти дополнительные критерии для оценки состояния клеточной популяции на одних и тех же препаратах. Для дополнительной характеристики были выбраны такие параметры как доли лейкоцитов с неповрежденной и высокофрагментированной ДНК. Долю лейкоцитов с неповрежденной ДНК, по-видимому, можно рассматривать как характеристику обновляющегося пула, поскольку процесс кроветворения в норме интенсивен, а подавляющее большинство нуклеоидов клеток костного мозга мыши не содержит повреждений ДНК. Доля клеток с высокофрагментированной ДНК, вероятно, включает в себя не только лейкоциты в состоянии апоптоза, но и часть клеток, способных к выживанию, поскольку в щелочной версии метода регистрируются как разрывы, так и реализованные в разрывы щелоче-лабильные сайты ДНК. Нами обнаружены изменения, характеризующие динамику популяции лейкоцитов в крови мышей в разные сроки после воздействия рентгеновского и плотноионизирующего излучений: (1) увеличение уровня повреждений ДНК в зависимости от дозы НПИ, (2) отсутствие различий в уровнях повреждений ДНК у потомков облученных и не облученных НПИ животных, как на молекулярном, так и на цитогенетическом уровнях; (3) уменьшение радиочувствительности потомков мышей, облученных НПИ в дозе 0.35 Гр, выявлено только на молекулярном уровне, что может свидетельствовать о возможности трансгенерационной передачи повреждений генома.

# ПОСТРАДИАЦИОННАЯ АКТИВАЦИЯ ПРОТЕАЗ, АССОЦИИРОВАННЫХ С ГИСТОНАМИ ЯДЕР СЕЛЕЗЕНКИ И ГОЛОВНОГО МОЗГА МОЛОДЫХ И СТАРЫХ КРЫС

*М.П.Куцый*
Институт теоретической и экспериментальной биофизики РАН, Пущино, Россия,
m_kutsyi@rambler.ru

Протеолиз является важным звеном в регуляции многих биохимических процессов. В последние годы в ряде исследований показано наличие протеолитической активности в хроматине различных клеток животных. Ранее было показано, что протеазы могут быть непосредственно ассоциированы с гистонами. Однако функции протеаз, связанных с гистонами, не полностью выяснены. В проведенных исследованиях обнаружено, что с гистонами из ядер клеток селезенки и головного мозга 4- и 26- месячных крыс ассоциированы протеазы, специфически расщепляющие гистоны. Гамма-облучение животных в дозе 10 Гр приводит к увеличению активности протеаз, ассоциированых с гистонами. Степень активации данных протеаз зависит от возраста животных и длительности пострадиационного периода. При инкубации суммарных гистонов, выделенных из ядер клеток селезенки через 2, 4 и 24 часа после облучения молодых крыс, расщепление протеазами гистонов H1, H2A, H2B и H3 постепенно возрастает. Наибольшая активация протеаз, ассоциированных с гистонами из ядер селезенки молодых крыс, наблюдается через 24 ч после облучения. В то же время при инкубации гистонов, выделенных из ядер селезенки старых крыс, наибольшая активация связанных с гистонами протеаз наблюдается через 2 часа после облучения животных. Увеличение расщепления гистона H1 в пострадиационный период в присутствии в инкубационной среде ДНК свидетельствует об ассоциации с гистонами активируемой ионизирующей радиацией ДНК-зависимой протеазы, специфичной к гистону H1. Активность протеаз, ассоциированных с гистонами из ядер головного мозга крыс значительно ниже, чем в суммарных гистонах из ядер селезенки. Облучение молодых и старых крыс в дозе 10 Гр существенно не влияло на активность протеаз из ядер мозга, расщепляющих коровые гистоны. В то же время при инкубации гистонов, выделенных из ядер головного мозга, обнаружена активация γ-радиацией ДНК-зависимых протеаз, расщепляющих гистон H1. Параллельно с увеличением активности протеаз, ассоциированных с гистонами, происходит понижение содержания суммарных гистонов в ядрах клеток селезенки и головного мозга через 4 и 24 часа после облучения животных. Обнаруженная в экспериментах активация протеаз, ассоциированных с гистонами, выделенных из ядер селезенки и мозга, облученных в дозе 10 Гр крыс и одновременное снижение в пострадиационный период содержания гистонов в ядрах подтверждают предположение, что протеазы, ассоциированные с гистонами, принимают участие в регуляции начальных этапов деградации ДНК после действия ионизирующей радиации. По-видимому, индуцированный ионизирующей радиацией протеолиз гистонов, участвующих в компактизации хроматина, может приводить к его деконденсации, что обеспечивает большую доступность ДНК для расщепления ее эндонуклеазами. Поскольку активность ассоциированных с гистонами протеаз, выделенных из ядер интенсивно пролиферирующих клеток селезенки, значительно выше, чем активность таких же протеаз, полученных из ядер головного мозга, можно предположить, что протеазы, ассоциированные с гистонами, принимают участие в регуляции транскрипции и репликации ДНК.

**ВНЕКЛЕТОЧНАЯ МИТОХОНДРИАЛЬНАЯ И ЯДЕРНАЯ ДНК В МОЧЕ КРЫС, ОБЛУЧЕННЫХ ИОНИЗИРУЮЩЕЙ РАДИАЦИЕЙ**

*Г.М. Минкабирова, С.А. Абдуллаев*
Институт теоретической и экспериментальной биофизики РАН, Пущино, Россия,
gulchachak.mink@gmail.com

Исследования циркулирующей внеклеточной ДНК (вк-ДНК) в биологических жидкостях, для рассмотрения в качестве потенциального биомаркера оценки лучевой реакции животных и человека представляет значительный интерес. Методом ПЦР в режиме реального времени было исследовано изменение общего количества копий трансренальной (преодолевшей почечный барьер) внеклеточной митохондриальной ДНК (вк-мтДНК) наряду с ядерной ДНК (вк-яДНК) в моче крыс, после их рентгеновского облучения в дозах 3 и 5 Гр, и в зависимости от пострадиационного времени (от 6 часов до 30 дней). У этих же животных в моче анализировали уровень мутантных копий вк-мтДНК. Мутации определяли по расщеплению CEL-I эндонуклеазой (фермент, расщепляющий неспаренные основания) гетеродуплексов, получаемых путем гибридизации ПЦР-ампликонов вк-мтДНК (Cyt-B - регион) облученных и контрольных образцов. Результаты показали, что уровень общего количества мтДНК и яДНК в моче облученных крыс зависит как от пострадиационного времени, так и от дозы облучения. Так, максимальное количество копий мтДНК и яДНК регистрировалось на 12-24-е часы после их облучения. Количество продуктов ПЦР-амплификации вк-мтДНК в 2-3 раза выше, по сравнению таковым вк-яДНК. Анализ уровня мутантных копий вк-мтДНК показал, что гетеродуплексы, полученные гибридизацией продуктов ПЦР мтДНК до облучения (контроль) и в разные сроки после облучения, расщепляются CEL I эндонуклеазой в большей степени, чем гетеродуплексы, полученные путем смешивания продуктов ПЦР мтДНК контрольного образца. Это указывает на наличие радиационно-индуцированных мутаций в участках вк-мтДНК. Показано, что мутагенез мтДНК имеет линейную зависимость от дозы рентгеновского излучения. Максимальный уровень мутантных копий мтДНК (гена Cyt-B) приходится на 3-е сутки после облучения. Полученная динамика изменений количества копий общей мтДНК и мутантных копий мтДНК в моче указывает на то, что из тканей облученных животных в пострадиационный период в мочу элиминируются мутантные копии мтДНК. Наблюдаемая элиминация может рассматриваться как результат избирательной деградации митохондрий, несущих мутантные копии ДНК, так и продолжающейся клеточной гибели в тканях облученных животных. Повышенное содержание циркулирующей внеклеточной мтДНК с мутациями в моче можно рассматривать как потенциальный маркер для оценки результативности радиотерапии опухолей, уровня генотоксического груза при радиационном поражении организма и воздействия других генотоксических агентов. (Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 12-04-31070).

# СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К ИЗУЧЕНИЮ РАДИОГОРМЕЗИСНЫХ ЭФФЕКТОВ У РАСТЕНИЙ

*А.Н. Михеев*[1], *Л.Г. Овсянникова*[1], *Л.В. Войтенко, Д.М. Гродзинский*[1].
[1]Институт клеточной биологии и генетической инженерии НАН Украины, Киев, Украина,
mikhalex7@yahoo.com
[2]Институт ботаники им. Н.Г. Холодного НАН Украины, Киев, Украина,
phytohormonology@ukr.net

Сейчас уже не приходится сомневаться в существования радиогормезисных эффектов (РГЭ), наблюдаемых для представителей практически всех систематических групп организмов и на всех уровнях биологической интеграции. Фактически, РГЭ является одной из разновидностей стресс-реакций (эустресс по Г. Селье), которые наблюдаются в определенном временном и дозовом интервале действующего фактора. Поскольку речь идет именно о гормезисе радиогенной природы, то, очевидно, что какими бы малыми ни были гормезисные дозы, в физико-химической основе их действия лежат деструктивные процессы, а именно, ионизация атомов и молекул облучаемого объекта. Таким образом, РГЭ представляет собой парадоксальное явление – первично деструктивно действующий фактор, в конечном итоге, оказывает благотворное действие на организм. С системологической точки зрения для раскрытия механизма РГЭ следует последовательно изучить реакцию всех подуровней (подсистем) системы, для которой он описан.

Объектом исследования были проростки гороха, полученные из предварительно гамма-облученных сухих семян. Изучали: дозовую зависимость ростовых параметров проростков, обращая, прежде всего, внимание на реакцию их главного корня (органный уровень); уровень пролиферативной активности и параметры клеток апикальной меристемы корня (критическая система корня) по общепринятым цито-гистологическим методам; интенсивность синтеза цитокининов с использованием жидкостного хроматографа Agilent 1200 LC. Идея эксперимента состояла в том, чтобы по динамике значений параметров, характеризующих ответные реакции разных уровней структурно-функциональной организации проростков, выросших из облученных семян, построить цепочку причинно-следственных связей, отражающих последовательность событий, приводящих к РГЭ. Прежде всего, был установлен диапазон доз (1-10 Гр), оказывающих гормезисное действие на ростовую активность главного корня проростков гороха. Этот эффект проявлялся лишь в первые несколько дней роста проростков, что указывало на транзитивный (преходящий) характер РГЭ. Гистологический анализ апикальной меристемы (обмеры размеров клеток), которая является его критической в радиобиологическом отношении тканью, показал, что размер клеток достоверно не изменился по сравнению с контролем. Одновременно пролиферативная активность этих клеток была стимулирована, что, в совокупности с предыдущим фактом, указывало на увеличение объема меристемы за счет увеличения числа слагающих ее элементов, т.е. меристематических клеток. Следует отметить, что наличие РГЭ по параметру пролиферативной активности меристематических клеток означает потенциальное повышение надежности (в данном случае, радиоустойчивости) такой системы, что может найти свое выражение в радиоадаптивном ответе. В образцах корней, испытавших радиогормезисное действие облучения, наблюдали повышенный уровень синтеза цитокининов, что косвенно подтверждает нашу гипотезу о возможном использовании клеткой продуктов ферментативной деградации ДНК в качестве дополнительного субстрата для синтеза цитокининов, с чего уже на биохимическом уровне начинаются все последующие «гормезисные» события.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕЙСТВИЯ ИМПУЛЬСНОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА УРОВЕНЬ ПОВРЕЖДЕНИЙ ДНК КЛЕТОК КРОВИ ЧЕЛОВЕКА

*В.И. Нагиба, С.Л. Эльяш, Е.А. Никанорова*
ФГУП «Российский Федеральный ядерный центр - Всероссийский НИИ экспериментальной физики», Саров, Россия,
gane@orb2.vniief.ru

Проведено сравнительное исследование действия импульсного рентгеновского излучения со средней энергией квантов 1 Мэв и стандартного γ-излучения $^{60}$Co на клетки периферической крови человека. Выполнено две серии облучений образцов крови трех доноров в дозе 1, 3 и 5 Гр при мощности дозы 0,5 Гр/мин на импульсном ускорителе АРСА, разработанном в РФЯЦ-ВНИИЭФ, а также на аттестованном источнике $^{60}$Co.

При облучении на импульсном ускорителе АРСА необходимая доза набиралась серией импульсов длительностью 4 нс с интервалом 15 с. Эффект радиационного воздействия оценивали по уровню инициированных повреждений ДНК клеток крови посредством щелочной версии метода «комет» (поклеточный электрофорез). Степень поражения ДНК определяли сразу после воздействия ионизирующим излучением по длине «хвоста кометы», содержанию ДНК в «хвосте» и по хвостовому моменту. Поклеточные данные от каждого донора были объединены в общий массив. Статистическая обработка данных проводилась непараметрическими методами.

Установлено, что после воздействия импульсного рентгеновского излучения установки АРСА уровень повреждений ДНК клеток крови, облученных в дозе 3 Гр, был выше, чем после воздействия γ-излучения $^{60}$Co. Напротив, при облучении в дозе 5 Гр, вызывающей летальный эффект на лимфоциты периферической крови (ЛПК), уровень повреждений ДНК после действия импульсного рентгеновского излучения был значительно ниже, чем после действия γ-излучения $^{60}$Co. При облучении в дозе 1 Гр уровень инициированных повреждений ДНК различался незначительно после обоих типов радиационного воздействия.

По итогам эксперимента наибольший интерес представляют результаты, полученные после облучения образцов крови импульсным рентгеновским излучением в дозе 3 Гр, характеризующей полулетальное действие ионизирующего излучения на ЛПК. Прерывистый характер набора дозы с паузой между импульсами в 15 с, возможно, приводит к активизации клеточных систем, отвечающих за восстановление радиоиндуцированных повреждений ДНК. При этом изменяется конформация самой ДНК, что приводит к увеличению размеров макромолекулы и повышает вероятность поражения ее свободными радикалами.

Таким образом, показано, что исследуемый тип радиационного воздействия инициирует более высокий уровень повреждений ДНК по сравнению с γ-излучением $^{60}$Co в диапазоне среднелетальных доз.

## РАДИОТЕХНОГЕННЫЙ ТЕРРОРИЗМ:
## Арсенал для ранней диагностики и терапии радиогенных патологий

*Нейфах Е.А.*
Институт химической физики им. Н.Н. Семенова РАН, Москва, Россия.

Распространение в мире ядерных технологий неизбежно повышает опасность радиотехногенного террора (**РТТ**). Понимание этой опасности должно мобилизовать на создание эффективного арсенала рациональных защитных средств. Важная составляющая таких средств включает разработку биотехнологий для ранней диагностики первичных и производных радиогенных патологий, как и апробированных схем их эффективной терапии. Наш более чем 25-летний опыт и 46 публикаций и докладов по этим направлениям позволяют обобщить результаты исследований и предложить необходимые компоненты для создания и применения такого арсенала. Патологии, впервые выявленные нами у пострадавшего от катастрофы персонала ЧАЭС и населения, принципиально должны мало отличаться от таковых, ожидаемых как последствия РТТ.

**Ранние первичные симптомы:** У ликвидаторов аварии ЧАЭС со средне- и низкодозовыми нагрузками при сочетании внешнего и внутреннего облучений обнаружен в капиллярной крови дозозависимый подъём уровней катаболитов липоперекисного каскада (**ЛПК**), сопряженный с одновременным развитием гиповитаминозов Е и А. Дети-дошкольники многократно радиочувствительнее взрослых по этим показателям. У них радиогенный рост уровней токсичных ЛПК шел автоускоренно с симптомами цепного-разветвленного процесса, если уровни биоантиоксидантов (**БАО**) снижались значительно ниже диапазонов их норм. Матери адекватно дозам передают указанные биохимические нарушения детям во внутриутробном периоде, вероятнее всего посредством прямого облучения плода, как и затем передачей инкорпорированных радионуклидов с грудным молоком.

**Вторичные симптомы:** Обе первичные радиогенные метаболические патологии ответственны за ряд цитогенетических (хромосомы лимфоцитов крови) и соматических (малые аномалии развития детей) нарушений. У ликвидаторов аварии ЧАЭС выявлено, что скорости их биологического возраста (по катаболитам крови пигмента старения липофусцина), повышаются линейно логарифму доз до суммарно накопленных около 50 сЗв, но свыше – более чем в 10 раз превышают нормальные скорости старения.

**БАО-реабилитация:** Подъём ЛПК и развитие дефицитов БАО, ускоренно расходуемых при радиогенных ЛПК-стрессах, купируются или предотвращаются адекватными пероральными дозами аптечных препаратов БАО как лечебно-поддерживающая терапия. Показано, что выявленные метаболические и ряд цитогенетических нарушений нормализуются, если уровни исследованных витаминов Е и А длительно поддерживать терапией внутри диапазонов их гематологических норм.

**Диагностическая ПК-программа:** На базе выявленных радиогенных нарушений разработана компьютерная Программа для ранней дифференциальной диагностики симптомов ионизирующего поражения относительно диапазонов возрастных и гендерных сравнимых норм. Специфика нарушений молярных соотношений исследованных про- и антиоксидантов, её динамика, как и их нормализация, включены в показатели мониторинга пациентов ПК-Программой.

**АРСЕНАЛ** должен включать как минимум следующие компоненты:

1) биохимическая лаборатория с необходимым рутинным оборудованием и оптическими приборами (спектрофлуориметр с автоматикой и др.),

2) подготовленный персонал (состав зависит от объёма и фронта работ),

3) стандарты, растворители и недорогие реактивы на исследуемые метаболиты,

4) диагностическая ПК-программа,

5) средства оперативной логистики и связи.

# ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СИСТЕМЫ РЕПАРАЦИИ ДНК В КЛЕТКАХ КРОВИ ЧЕЛОВЕКА ПОСЛЕ ДЕЙСТВИЯ ГАММА- ИЗЛУЧЕНИЯ $^{60}$Co И УФ-ИЗЛУЧЕНИЯ

*Никанорова Е.А., Нагиба В.И, Медведев Я.И., Поленова И.А.*
ФГУП«Российский Федеральный ядерный центр - Всероссийский НИИ экспериментальной физики», Саров, Россия,
gane@orb2.vniief.ru

Одним из современных и весьма чувствительных методов регистрации повреждений ДНК и изучения репарации ДНК на уровне одиночных клеток является метод ДНК-комет. Использование щелочного варианта метода ДНК-комет позволяет оценивать, главным образом, выход однонитевых разрывов и щелочнолабильных сайтов.

Несмотря на то, что механизмы повреждения ДНК гамма-квантами и УФ-лучами отличаются, механизмы репарации однонитевых разрывов ДНК имеют много общего. Кроме того, механизмы неспецифической резистентности организма должны работать с одинаковой интенсивностью независимо от природы действующего фактора.

Исследования проводили на клетках крови 6 здоровых доноров-добровольцев (средний возраст 25 лет), не имеющих профессионального контакта с ионизирующим излучением. Уровень повреждений ДНК определяли методом электрофореза единичных клеток в геле (“Comet assay”). Для тестирующего гамма-облучения крови использовали аттестованный гамма-источник $^{60}$Co с мощностью дозы 1 Гр/мин. Рассчитывали индекс репарации ДНК, показывающий скорость репарации радиационно-индуцированных повреждений ДНК в течение 30 и 60 минут.

УФ-облучение клеток крови проводили с помощью УФ-облучателя «Филипс» ($\lambda = 254$ нм) при мощности дозы 15 Дж/м$^2$×с. Измеряли спонтанный уровень повреждений ДНК и остаточный уровень повреждений ДНК через 0, 30 и 60 минут после облучения.

В результате проведённой оценки были выявлены сильные положительные корреляционные связи между индексами репарации повреждений ДНК, индуцированных гамма-излучением, и уровнем повреждений ДНК, вызванных эксцизией циклобутановых димеров нуклеиновых кислот после УФ–облучения.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что по максимальной величине эксцизии через 30-60 минут после действия УФ-излучения можно судить об активности ферментативной системы репарации радиационно-индуцированных повреждений ДНК в целом.

# ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМОВ ПЕРЕДАЧИ СИГНАЛА МЕЖДУ ОПУХОЛЕВЫМИ КЛЕТКАМИ ПОСРЕДСТВОМ ЭКСТРАЦЕЛЛЮЛЯРНЫХ ВЕЗИКУЛ

*Павлюков М.С.*[1], *Антипова Н.В*[1]., *Карпов Н.А.*[2], *Шендер В.О.*[1], *Шахпаронов М.И*[1].
[1]Институт биоорганической химии им. ак. М.М.Шемякина и Ю.А.Овчинникова РАН, Москва, Россия,
marat.pav@mail.ru
[2]Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, Москва, Россия,
nick.karpov@mail.ru

На сегодняшний день не вызывает сомнений, что популяция раковых клеток в пределах одной опухоли крайне гетерогенна и именно набор типов клеток присутствующих в каждой конкретной опухоли во многом определяет успех применяемых терапевтических методов и, в конечном счёте, выживаемость пациентов. Опухолевые клетки различных типов образуют сложнейшую сеть взаимодействий друг с другом и со своим микроокружением. В большинстве случаев сигналы, передаваемые раковыми клетками, способствуют их пролиферации и повышению резистентности к химио и радиотерапии. Недавние исследования показали, что при гибели клеток, вызванной как радиотерапией, применяемой во время лечения, так и недостатком питательных веществ, возникающем при быстром росте опухоли, апоптотирующие клетки выделяют ряд факторов ускоряющих пролиферацию соседних клеток, а также способствующих приобретению ими более агрессивного фенотипа. В настоящее время точный механизм этого процесса не известен, однако предполагается, что важную роль в передаче такого сигнала играют экстрацеллюлярные везикулы, транспортирующие различные макромолекулы от клетки к клетке. Целью данной работы стало определение сигнальных молекул, секретируемых опухолевыми клетками в составе микровезикул. В качестве объектов исследования нами были выбраны два различных типа раковых клеток: стволовые опухолевые клетки, выделенные из глиальной опухоли мозга человека, а также широко используемые в лабораторной практике не стволовых клетки линии SK-OV-3. Мы исследовали состав везикул, производимых этими клетками, при трёх различных условиях: при нормальной культивации (контроль), при культивации в среде с низким содержанием питательных веществ (без сыворотки и с концентрацией глюкозы 0,3 г/л), а также после обработки летальной дозой γ-излучения (клетки выдерживали в поле гамма-излучения источника $Cs^{137}$ до поглощенной дозы 12 Гр). Белки, секретируемые внутри везикул, были идентифицированы методом LC-MS/MS масс-спектрометрии, а количество различных молекул РНК, заключённых в везикулах, определялось методом Q-RT-PCR. Результаты этих экспериментов, показали, что везикулы, выделяемые стволовыми опухолевыми клетками, подвергающимися апоптозу, специфически обогащены разнообразными белками и некодирующими РНК функция которых заключается в регуляции процессинга клеточной мРНК. Таким образом, можно предположить, что механизм действия экстрацеллюлярных везикул, производимых апоптотирующими клетками, связан с регуляцией процессинга мРНК в клетках, поглощающих данные везикулы.

# ВЛИЯНИЕ МАЛЫХ И СУБЛЕТАЛЬНЫХ ДОЗ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ НА НЕЙРОНАЛЬНЫЕ И МЕЗЕНХИМАЛЬНЫЕ СТВОЛОВЫЕ КЛЕТКИ ГОЛОВНОГО МОЗГА

*Посыпанова Г.А., Москалева Е.Ю., Родина А.В., Попова О.Н.*
НИЦ "Курчатовский институт", ,Москва, Россия,
moskalevaey@mail.ru

Стволовые клетки различных тканей в значительной мере определяют их способность к регенерации после повреждающих, в том числе, радиационных воздействий. В головном мозге помимо чувствительных к облучению нейрональных стволовых клеток (НСК) недавно обнаружено присутствие мезенхимальных стволовых клеток ($МСК_{ГМ}$). Радиочувствительность $МСК_{ГМ}$ в отличие от мезенхимальных стволовых клеток костного мозга ($МСК_{КМ}$) не изучена. Целью работы явилась характеристика радиочувствительности $МСК_{ГМ}$ в сравнении с радиочувствительностью НСК и $МСК_{КМ}$ мышей при действии гамма-излучения. Все типы стволовых клеток выделяли из тканей мышей линии C57Black. НСК получали из целого головного мозга с использованием специальной культуральной среды для нейрональных клеток и низко адгезивных пластиковых чашек Петри. $МСК_{ГМ}$ и $МСК_{КМ}$ выделяли на основе их способности к адгезии в виде прикрепляющихся клеток из головного и костного мозга мышей соответственно и культивировали in vitro. МСК в экспериментах с облучением использовали не ранее 11 пассажа. Для характеристики полипотентных свойств $МСК_{ГМ}$ и $МСК_{КМ}$ оценивали их способность к дифференцировке в адипоциты, остеоциты и клетки, образующие хрящ. Клетки облучали гамма-лучами (цезий-137) в дозах 1, 5, 10 и 20 сГр при мощности дозы 1 сГр/мин. При облучении в более высоких дозах - при мощности 20 или 50 сГр/мин. Выживаемость клеток оценивали путем подсчета клеток с использованием трипанового синего на 1, 3, 7 и 14-е сутки после облучения. Фракцию SP (side population) определяли с помощью проточной цитофлуориметрии с использованием родамина-123. Показана способность $МСК_{ГМ}$ к полипотентной дифференцировке, но уровень индукции адипоцитов при действии стандартных индукторов на $МСК_{ГМ}$ был значительно ниже, чем при их действии на $МСК_{КМ}$. Облучение в указанных дозах не влияло на способность $МСК_{ГМ}$ и $МСК_{КМ}$ к дифференцировке. $МСК_{ГМ}$ пролиферировали с более высокой скоростью по сравнению $МСК_{КМ}$. Размер фракции SP и чувствительность клеток этой фракции к верапамилу для $МСК_{ГМ}$ и $МСК_{КМ}$ были близки. При действии малых доз в диапазоне от 1 до 10 сГр для НСК и от 1 до 50 сГр для $МСК_{ГМ}$ обнаружена стимуляция пролиферации стволовых клеток. При исследовании чувствительности клеток к действию гамма-излучения, показано, что $МСК_{ГМ}$ и $МСК_{КМ}$, не смотря на разную скорость пролиферации, характеризуются близкой радиочувствительностью. Значения $D_0$ для этих клеток составили соответственно 5,7 и 5,1 Гр через 7 суток после облучения. Зависимость доза эффект для $МСК_{ГМ}$ характеризовалась параболой второго порядка, для $МСК_{КМ}$ - прямой. НСК были значительно более радиочувствительны, чем $МСК_{ГМ}$ и $МСК_{КМ}$: $D_0$ для них составила 2,1 Гр. $МСК_{ГМ}$ в головном мозге обнаруживаются в небольшом количестве и преимущественно вблизи кровеносных сосудов, что рассматривается как свидетельство их гематогенного происхождения. Обнаруженные нами близкие показатели радиочувствительности $МСК_{ГМ}$ и $МСК_{КМ}$ подтверждают это предположение. В тоже время более высокая скорость пролиферации $МСК_{ГМ}$ и сниженная способность к дифференцировке в жировые клетки свидетельствуют о том, что эти клетки имеют определенные отличия от $МСК_{КМ}$. Роль $МСК_{ГМ}$ и $МСК_{КМ}$ в регенерации пострадиационных повреждений головного мозга предстоит выяснить.

# ВЛИЯНИЕ ПРОЛИФЕРАТИВНОГО СОСТОЯНИЯ КЛЕТОЧНОЙ ПОПУЛЯЦИИ НА ЧАСТОТУ РАДИАЦИОННО-ИНДУЦИРОВАННОЙ НЕСТАБИЛЬНОСТИ ХРОМОСОМ

*Пятенко В.С.*[1,2], *Матчук О.Н.*[1], *Замулаева И.А.*[1],
*Хвостунов И.К.*[1], *Эйдельман Ю.А.*[2,3], *Андреев С.Г.*[2,3]
[1]Медицинский радиологический научный центр Минздрава РФ, Обнинск, Россия,
[2]Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН, Москва, Россия,
andreev_sg@mail.ru
[3]Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,
Москва, Россия.

Радиационно-индуцированная нестабильность хромосом (РИНХ) изучалась в культуре клеток китайского хомячка CHO-K1. Цель работы – исследование влияния пролиферативного состояния клеточной популяции на количественные характеристики, хромосомных аберраций, наблюдаемых в разное время после облучения. Клетки облучали γ-квантами (3 Гр) в экспоненциальной (лог) и стационарной (стац) фазе роста, затем пересевали каждые 2 суток для поддержания непрерывной пролиферации. Изучались хромосомные дицентрики как с парными фрагментами, так и без них. Дополнительно проводили мечение клеток BrdU для определения аберраций в 1-4 митозах в разные моменты времени и выясняли распределение клеток по фазам клеточного цикла методом проточной цитофлуориметрии. Была также введена новая схема, «ограниченный рост»: в отличие от непрерывно пролиферирующей культуры, облученные клетки культивировались без частого пересева, их рост ограничивался по мере того, как культура клеток достигала конфлуентного состояния, в котором клетки выдерживались в течение различного времени.

При облучении клеток в стац-фазе РИНХ была достоверно выше по сравнению с облучением экспоненциально делящейся лог-популяции в течении ~7-8 дней после облучения. Кинетические кривые дицентриков с парными фрагментами и без них сильно различались. С замедлением пролиферации облученных клеток при длительном культивировании без пересева РИНХ существенно возрастала по сравнению со случаем быстро делящейся популяции. Полученные данные свидетельствуют о генерации новых аберраций в облученных клетках на всех сроках после воздействия, включая самые ранние, 2-3 деления. Различия РИНХ для популяций, облучаемых в стац- и лог-фазах, коррелируют с различиями межклеточной среды клеток, находящихся в стац- и лог-фазе, в частности, с различиями pH среды. Полученные данные по увеличению уровня РИНХ со временем для схемы ограниченного роста по сравнению с традиционной схемой частых пересевов предполагают наличие не связанного с репликацией ДНК механизма повреждений хромосом в потомках облученных клеток. Этот механизм может включаться в медленно делящихся и-или покоящихся клетках, что, вероятно, указывает на роль транскрипции в проявлении РИНХ.

# СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЭКОЛОГО-ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ У ЖИВОТНЫХ ЗОНЫ ВУРСа ПРИ ОЦЕНКЕ ОТДАЛЕННЫХ ПОСЛЕДСТВИЙ РАДИАЦИОННЫХ АВАРИЙ

*Л.Н. Расина*[1], *А.Н. Вараксин*[2]

[1]Институт экологии растений и животных УрО РАН, Екатеринбург, Россия, rasina@ipae.uran.ru

[2]Институт промышленной экологии УрО РАН, Екатеринбург, Россия, varaksin@ecko.uran.ru

Комплексный подход в прогнозировании последствий антропогенных воздействий на биоту и человека в загрязненной радионуклидами среде включает задачи выявления наиболее значимых показателей функционирования биологических систем и основных экологических факторов, формирующих реактивность. Исследования на мелких млекопитающих природных популяций зоны радиоактивного загрязнения Восточно-Уральского радиоактивного следа (ВУРС), биохимические методы оценки метаболических реакций клеток и тканей, прежде всего систем перекисного окисления липидов (ПОЛ) и антиоксидантной (АО), адекватные методы математического анализа, позволяют дать характеристику и прогнозировать отдаленные последствия радиационных аварий.

Регрессионная модель анализа данных позволила установить зависимость метаболических реакций у лесных мышей зоны ВУРСа от времени содержания животных в виварии после их транспортировки в лабораторию и необходимость экстраполяции экспериментальных данных к моменту отлова животных. Значительное сужение границ дисперсии и более выраженные реакции позволили выделить техногенный фактор, а зависимость реакций от пола животных охарактеризовать более выраженную реактивность самок и разные стадии формирования резистентности у самцов и самок.

С помощью дискриминантного анализа показана преимущественная роль радиогенного фактора в спектре реакций и их выраженности, определены наиболее значимые показатели. Смещение антиоксидантного статуса в сторону прооксидантных процессов выразилось в преобладании накопления продуктов ПОЛ митохондриальных мембран при низком уровне антиоксислительных ферментов.

Методами типологической регрессии обнаружены изменения взаимосвязей между показателями у животных зоны ВУРСа. Например, резкое уменьшение силы связи между содержанием общего белка в плазме крови и активностью цитохромоксидазы митохондрий печени характеризует направленность на возрастание энергозатрат в условиях физиологической напряженности клеток и тканей и более высокого уровня функционирования организма.

Исследование изменений наиболее значимых показателей у разных видов мелких млекопитающих, отловленных на участках с различной степенью загрязнения радионуклидами, позволило выделить в качестве ведущих детерминант адаптационных механизмов к длительному воздействию малых доз радиации исходный уровень метаболических процессов в организме и степень загрязнения окружающей среды.

Работа поддержана проектом № 12-М-24-2016 Программы междисциплинарных фундаментальных исследований УрО РАН.

# ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ФОЛЛИКУЛЯРНОГО ЭПИТЕЛИЯ ЩИТОВИДНОЙ ЖЕЛЕЗЫ МЕЛКИХ МЛЕКОПИТАЮЩИХ ПРИ ХРОНИЧЕСКОМ ОБЛУЧЕНИИ В МАЛЫХ ДОЗАХ

*О.В. Раскоша, О.В. Ермакова*
Институт биологии Коми научного центра УрО РАН, Сыктывкар, Россия,
raskosha@ib.komisc.ru

До сих пор спорным остается вопрос о закономерностях морфофункциональных и цитогенетических изменений органов эндокринной системы млекопитающих в ответ на длительное низкоинтенсивное воздействие ионизирующего излучения. В связи с этим было проведено цитогенетическое исследование клеток фолликулярного эпителия щитовидной железы у мышевидных грызунов после хронического воздействия ионизирующего излучения в малых дозах (в природных условиях и в эксперименте), а так же проанализирован спектр распределения фолликулов по диаметру в тиреоидной паренхиме у этих животных. В результате исследования выявлен генотоксический эффект хронического воздействия низкоинтенсивного ионизирующего излучения на фолликулярный эпителий щитовидной железы полевок, в течение многих поколений обитающих на участке с повышенным уровнем естественной радиоактивности (0.5-20 мкГр/ч), проявляющийся в увеличении частоты клеток с микроядрами. Вместе с этим, обнаружено стимулирующее влияние ионизирующей радиации на активность морфогенетических процессов в тиреоидной паренхиме животных из природных популяций, выражающееся в усиленном формировании микрофолликулов. Данные, полученные в природных условиях, подтверждены экспериментальными исследованиями: при хроническом облучении в дозах 5 и 50 сГр в ЩЖ мышевидных грызунов обнаружено усиление индукции МЯ и отчетливое возрастание частоты мелких фолликулов. Повышенный пролиферативный потенциал ЩЖ, может быть расценен, как неспецифическая адаптивная реакция органа на хроническое радиоиндуцированное повреждение железистых клеток. Работа выполнена при финансовой поддержке грантов РФФИ № 13-04-01750а и РФФИ РБУ № 1304-90351.

# ИММУННЫЙ СТАТУС ЛИКВИДАТОРОВ АВАРИИ 1986-1987 гг. НА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС

*А.П.Саливончик*
ГУ «Республиканский научно-практический центр радиационной медицины и экологии человека», Гомель, Республика Беларусь,
saliv2007@rambler.ru

Оценка состояния здоровья пострадавших после аварии на Чернобыльской АЭС актуальна и в настоящий момент. Изучение системы иммунитета, играющей ключевую роль в поддержании генетического постоянства внутренней среды организма и в защите от воздействия чужеродных антигенов, позволяет оценить ее способность к адаптации при воздействии повреждающих факторов. Значительно повышает объективную оценку показателей иммунного статуса оценка динамики его параметров во времени.

**Цель работы** – анализ состояния иммунной системы у ликвидаторов аварии на Чернобыльской АЭС, принимавших участие в работах в 1986-1987 гг.

**Материалы и методы.** Исследуемая выборка включала 170 мужчин в возрасте от 45 до 76 лет. Средний возраст - 58 лет. У лиц исследуемой выборки были оценены индивидуальные накопленные с момента Чернобыльской аварии эффективные дозы облучения, оценка показателей иммунного статуса проводилась в динамике на протяжении 2008-2010г.

Для количественного определения субпопуляций иммунокомпетентных клеток использовалась периферическая венозная кровь. Определение абсолютного количества субпопуляций лимфоцитов проводилось расчетным методом. Использовались данные общего анализа крови, выполненного на автоматическом гематологическом анализаторе «Cell-Dyn 3700» («Abbott», США). Мембранный фенотип лимфоцитов оценивали методом проточной цитометрии с использованием моноклональных антител, меченных флюорохромами на цитофлюориметре «PAS» («Partec», Германия). Количественное определение компонентов комплемента С3, С4, иммуноглобулинов классов А, G, М в сыворотке исследуемых выполнялось иммунотурбидиметрическим методом на автоматическом биохимическом анализаторе «Architect c8000» («Abbott», США).

Результаты. При динамическом анализе субпопуляционного состава лимфоцитов в обследованной группе отмечены статистически значимые изменения в уровне Т-клеток с фенотипом CD3-CD4+ ($p<0,002$), CD3-CD8+ ($p<0,009$), CD3+CD4+ ($p<0,037$), иммунорегуляторного индекса CD4+/CD8+ ($p<0,012$), показателей Т-лимфоцитов киллеров CD3+CD16+CD56+ ($p<0,05$), естественных киллеров и клеток с маркерами клеточной активности CD3-CD16+56+ ($p<0,006$), CD71+ ($p< 0,021$). При оценке в динамике уровней иммуноглобулинов отмечается статистически значимое различие по уровням IgA ($p< 0,003$).

Анализируя полученные данные, можно сделать вывод, что выявленные изменения субпопуляционного состава лимфоцитов носят стабильный характер и при повторном исследовании ранее отмеченные основные тенденции сохраняются.

Заключение. Полученные нами данные подтверждают высокий адаптационный потенциал иммунной системы. Отмеченное возрастание Т-клеток с фенотипом CD3-CD4+ свидетельствует о наличии явного дополнительного мутагенного воздействия.

# СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА РАДИАЦИОННО-ИНДУЦИРОВАННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ СЕНСОРНОЙ И МОТОРНОЙ ЗОН КОРЫ БОЛЬШОГО МОЗГА

*Н.В. Сгибнева, Н.В. Маслов, О.П. Гундарова, В.П. Федоров*
Воронежская государственная медицинская академия им. Н.Н. Бурденко,
Воронеж, Россия,
sas36@mail.ru

Для выявления морфологического субстрата радиационно-индуцированных изменений в сенсорной и моторной зонах коры полушарий большого мозга на 192 половозрелых крысах-самцах проведен эксперимент, в ходе которого их подвергали однократному облучению γ-квантами $Co^{60}$ в дозе 50 сГр с мощностью дозы 50 сГр/ч. Материал забирали через 1 сут, 6, 12 и 18 мес. после начала эксперимента. На парафиновых срезах сенсорной и моторной зон коры, окрашенных по Нисслю, подсчитывали количество нейронов с различными тинкториальными свойствами: нормо, гипо- и гиперхромные, пикноморфные и клетки тени. На препаратах, окрашенных по Shea S.K. при помощи компьютерной программы «ImageJ» (NIH, USA) определяли площадь сечения нервных клеток, их цитоплазмы, ядер и ядрышек, а также содержание в них РНК и ДНК. Общий белок выявляли по Бонхегу. На криостатных срезах выявляли активность дегидрогеназ: ЛДГ, СДГ, Г-6-ФДГ. Установлено, что ионизирующее излучение вызывает в изученных зонах коры типовые, в большинстве случаев обратимые неспецифические нейроморфологические реакции, проявляющиеся фазным изменением количества гипер- и гипо- и нормохромных нейронов. Отмечено и увеличение количества нейронов с деструктивными изменениями, которое прослеживается в определенные сроки пострадиационного периода, когда системы репарации не справляются с изменениями и на основе реактивных форм, являющихся вариантом нормальной клеточной реакции, возникают деструктивные. Морфометрическое исследование позволило выявить корреляцию изменений площади нейронов, их цитоплазмы, ядер, ядрышек, а также содержания в них нуклеиновых кислот с тинкториальными свойствами нейронов. Потеря внутриклеточной жидкости нейронов сопровождается уменьшением их размеров, что приводит к появлению нервных клеток с признаками коагуляционного некроза (пикноморфные клетки). Содержание цитоплазматической и ядрышковой РНК, в отличие от ДНК ядер отличается высокой лабильностью и не всегда коррелирует с их размерами, подтверждая как активацию, так и угнетение синтетических процессов. Содержание белка в нейронах в начальные сроки повышается, а в конце пострадиационного периода – снижается. Активность окислительно-восстановительных ферментов (СДГ, ЛДГ, Г-6-ФДГ) имеет незначительные колебания на протяжении сроков исследования и не играет, видимо, существенной роли в реакции сенсорной и моторной зон коры на ионизирующее излучение. Активный транспорт в капиллярной стенке на протяжении сроков исследования снижается, о чем свидетельствует динамика активности щелочной фосфомоноэстеразы. В целом в исследованных зонах коры наблюдаются однотипные реакции, направленные на регенерацию возникших повреждений и компенсацию нарушенных функций. Математическое моделирование выявленных нейроморфологических эффектов в различных по функции зонах коры больших полушарий головного мозга подтвердило их однонаправленный стохастический характер на протяжении всего пострадиационного периода.

# ЦИТОГЕНЕТИЧЕСКИЕ И ИММУНОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ СТИМУЛИРОВАННЫХ ЛИМФОЦИТОВ ПЕРИФЕРИЧЕСКОЙ КРОВИ ЧЕЛОВЕКА СВЯЗАНЫ СО СКОРОСТЬЮ ПРОЛИФЕРАЦИИ КЛЕТОК.

*А.М. Серебряный*[1], *М.М. Антощина*[2], *А.В. Алещенко*[1], *О.В. Кудряшова*[3], *М.Ф. Никонова*[4], *А.А. Ярилин*[4], *И.И. Пелевина*[3]

[1]Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН, Москва, Россия, amserebr@sky.chph.ras.ru

[2]Медицинский радиологический научный центр Минздрава РФ, Обнинск, Россия,

[3]Институт химической физики им. Н.Н. Семенова РАН, Москва, Россия,

[4]ГНЦ РФ - Институт иммунологии ФМБА Росии, Москва, Россия.

Известно, что культура стимулированных лимфоцитов является асинхронной популяцией, состоящей из клеток, находящихся в разных фазах клеточного цикла и пролиферирующих с разной скоростью. Для оценки скорости пролиферации клеток в ней предложено рассчитывать пролиферативный индекс популяции (ПИ). Чем выше средняя скорость движения клеток в культуре по клеточному циклу, чем больше прошло в ней митозов за изученное время, тем выше значение ПИ. В настоящей работе индивидуально для каждого обследуемого донора рассчитывали ПИ для культуры клеток его лимфоцитов периферической крови. Использован микроядерный тест с цитохалазином В. ПИ рассчитывали по числу одно-, дву- и многоядерных клеток в популяции после фиксации через 72 ч после стимуляции.

В работе изучались связи ПИ со спонтанной и индуцированной поврежденностью генома лимфоцитов, с иммунологическими свойствами клеток в ней: маркерами ранней и поздней активации CD69 и CD25, а также с маркером пролиферации Ki67. Установлено, что спонтанная поврежденность генома, измеренная по частоте клеток с микроядрами со скоростью пролиферации не связана. Облучение в дозе 1,0 Гр снижает скорость пролиферации, но снижение статистически незначимо. Между ПИ и радиочувствительностью наблюдается достоверная положительная корреляция средней силы указывающая, что популяции с «быстрыми» клетками более радиочувствительны. После облучения связь между новым ПИ и радиочувствительностью сохраняется, и, что удивительно, становится более тесной.

Установлено, что между скоростью пролиферации клеток и экспрессией указанных маркеров существуют отрицательные корреляции средней силы, откуда следует, что в популяциях с меньшей скоростью движения клеток по циклу после стимуляции доля маркер положительных клеток выше. Вероятно, пролиферация и синтез иммунологических маркеров являются конкурирующими процессами, и возможность их одновременного протекания ограничивается какими-то общими предшественниками и ресурсами. После облучения эти связи исчезают.

Данные показывают, что после стимуляции со скоростью пролиферации клеток в культуре связан ряд её свойств: например, радиочувствительность клеток, экспрессия иммунологических маркеров. Природа этих связей остается неизвестной. Конечно, сейчас нельзя делать строгий вывод, что эти зависимости вызваны причинно-следственными связями или, возможно, они является следствием каких-то иных причин.

В работе сравнивались разные культуры лимфоцитов и показано, что свойства культур различны, если они пролиферируют с разной скоростью. Возникает вопрос о возможности различий свойств лимфоцитов, пролиферирующих внутри культуры с разной скоростью, но он остается открытым.

# СРАВНЕНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ И ТЕЧЕНИЯ ЗАБОЛЕВАНИЙ ЖКТ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ИНТЕНСИВНОСТИ ВНУТРЕННЕГО ОБЛУЧЕНИЯ У ДЕТЕЙ, ПРОЖИВАЮЩИХ В РЕГИОНАХ РАДИОНУКЛИДНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОСЛЕ АВАРИИ НА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС

*А.Е. Сипягина, Л.С. Балева, Н.М. Карахан*
Детский научно-практический центр противорадиационной защиты
«Научно-исследовательский клинический институт педиатрии» ГБОУ ВПО РНИМУ
Минздрава РФ, Москва, Россия,
lbaleva@pedklin.ru

Сложность ситуации в регионах радионуклидного загрязнения обусловлена тем, что у жителей повышается значимость внутреннего облучения верхних отделов желудочно-кишечного тракта, который становится органом-мишенью и органом-депо воздействия радионуклидов цезия-137.

Целью работы было оценить роль радиационного фактора в формировании хронических заболеваний ЖКТ у детей, проживающих в регионах с различным уровнем радионуклидного загрязнения, и установить критерии риска развития злокачественных новообразований.

Обследовано 136 детей, проживающих в регионах с различным уровнем радионуклидного загрязнения с хроническими заболеваниями верхних отделов ЖКТ; группа сравнения – 61 ребенок, проживающий в радиационно чистых регионах (группа подобрана по принципу «случай-контроль»).

Использованные методы обследования: анализ радиационной ситуации, клинические, биохимические, иммунологические (Т-В-клеточный, местный иммунитет), гистологические, статистические.

Установлена значительная распространенность хронических заболеваний ЖКТ у детей в регионах с более высоким уровнем радиационного загрязнения почвы радионуклидами цезия-137. Показана активация пролиферативных процессов слизистой верхних отделов ЖКТ. Установлено достоверное снижение уровня секреторных иммуноглобулинов по сравнению с контролем, более выраженное в регионах с более высоким уровнем загрязнения радионуклидами. На основании расчета относительного и атрибутивного рисков сделан вывод о значимой роли радиационного фактора в формировании хронических заболеваний желудочно-кишечного тракта у детей. Определены факторы риска, играющие важную роль в формировании критериев прогностически неблагоприятного течения заболеваний верхних отделов желудочно-кишечного тракта (в том числе в формировании эрозивных процессов, злокачественных новообразований).

Научно разработанные критерии прогностически неблагоприятного течения хронических заболеваний верхних отделов ЖКТ (с учетом формирования злокачественных новообразований) на основе оценки совокупности факторов риска, позволяют формировать группы длительного интервенционного наблюдения с применением дифференцированных алгоритмов коррекции выявленных изменений.

# СРАВНЕНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ И ТЕЧЕНИЯ ЗАБОЛЕВАНИЙ ЖКТ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ИНТЕНСИВНОСТИ ВНУТРЕННЕГО ОБЛУЧЕНИЯ У ДЕТЕЙ, ПРОЖИВАЮЩИХ В РЕГИОНАХ РАДИОНУКЛИДНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОСЛЕ АВАРИИ НА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС

*А.Е. Сипягина, Л.С. Балева, Н.М. Карахан*
Детский научно-практический центр противорадиационной защиты
«Научно-исследовательский клинический институт педиатрии» ГБОУ ВПО РНИМУ
Минздрава РФ, Москва, Россия,
lbaleva@pedklin.ru

Сложность ситуации в регионах радионуклидного загрязнения обусловлена тем, что у жителей повышается значимость внутреннего облучения верхних отделов желудочно-кишечного тракта, который становится органом-мишенью и органом-депо воздействия радионуклидов цезия-137.

Целью работы было оценить роль радиационного фактора в формировании хронических заболеваний ЖКТ у детей, проживающих в регионах с различным уровнем радионуклидного загрязнения, и установить критерии риска развития злокачественных новообразований.

Обследовано 136 детей, проживающих в регионах с различным уровнем радионуклидного загрязнения с хроническими заболеваниями верхних отделов ЖКТ; группа сравнения – 61 ребенок, проживающий в радиационно чистых регионах (группа подобрана по принципу «случай-контроль»).

Использованные методы обследования: анализ радиационной ситуации, клинические, биохимические, иммунологические (Т-В-клеточный, местный иммунитет), гистологические, статистические.

Установлена значительная распространенность хронических заболеваний ЖКТ у детей в регионах с более высоким уровнем радиационного загрязнения почвы радионуклидами цезия-137. Показана активация пролиферативных процессов слизистой верхних отделов ЖКТ. Установлено достоверное снижение уровня секреторных иммуноглобулинов по сравнению с контролем, более выраженное в регионах с более высоким уровнем загрязнения радионуклидами. На основании расчета относительного и атрибутивного рисков сделан вывод о значимой роли радиационного фактора в формировании хронических заболеваний желудочно-кишечного тракта у детей. Определены факторы риска, играющие важную роль в формировании критериев прогностически неблагоприятного течения заболеваний верхних отделов желудочно-кишечного тракта (в том числе в формировании эрозивных процессов, злокачественных новообразований).

Научно разработанные критерии прогностически неблагоприятного течения хронических заболеваний верхних отделов ЖКТ (с учетом формирования злокачественных новообразований) на основе оценки совокупности факторов риска, позволяют формировать группы длительного интервенционного наблюдения с применением дифференцированных алгоритмов коррекции выявленных изменений.

# МОЛЕКУЛЯРНЫЕ СВОЙСТВА АЛЬБУМИНА ПЛАЗМЫ КРОВИ ДЕТЕЙ, ОБЛУЧЕННЫХ IN UTERO В РЕЗУЛЬТАТЕ КАТАСТРОФЫ НА ЧАЭС

*А.Н.Стожаров, Т.В.Пономаренко*
Белорусский государственный медицинский университет, Минск, Беларусь,
stojarov@mail.ru

Одним из известных радиобиологических эффектов является феномен повреждения головного мозга в результате внутриутробного облучения. В своих предыдущих исследованиях, проведенных на когорте детей, облученных внутриутробно в мае-июне 1996 года в результате чернобыльской катастрофы, было установлено, что наряду с другими биохимическими параметрами у данной группы детей (мужского и женского пола) наблюдается дозозависимое изменение количественного содержания в сыворотке крови общего и непрямого билирубина. Последний, являясь продуктом деградации гемоглобина токсичным и гидрофобным по своей природе, способен транспортироваться в печень только в связи с альбумином. В печени происходит его обезвреживание путем образования растворимых в воде форм - моно- или диглюкуронидов билирубина (прямой билирубин). Изменений количественного содержания в сыворотке прямого билирубина у облученных детей мы не наблюдали, что может свидетельствовать в пользу интактности механизмов конъюгации этого пигмента в печени у облученных детей.

Изменение в крови непрямого билирубина, а именно его уменьшение, может объясняться нарушением транспортных механизмов этого пигмента, выходом, в силу его гидрофобности, в липидсодержащие структуры. Последнее может иметь место и с тканью головного мозга, причем длительное поступление даже малых количеств этого пигмента будет сопряжено с повреждением структур головного мозга, обуславливая описанную энцефалопатию.

В этой связи представляется весьма актуальным в плане понимания первичных механизмов действия ионизирующей радиации исследовать структурно-функциональные характеристики сывороточного альбумина облученных внутриутробно и необлученных детей, находящихся в одинаковых условиях проживания, возраста и пола.

Для очистки альбумина сыворотки крови применялись хроматографические методы, заключительной фазой которых была колоночная хроматография на аффинном носителе – голубой сефарозе.

Спектры люминесценции, спектры возбуждения люминесценции альбумина сыворотки крови регистрировали при длинах волн возбуждения 280 и 296 нм с помощью спектрофлуориметра СФЛ 1211А (SOLAR).

На основании проведенной работы можно предположить, что внутриутробное облучение способно приводить к изменению структурной организации сывороточного альбумина человека. В пользу этого могут свидетельствовать результаты спектральных исследований (измененное положение максимума спектра триптофановой флуоресценции альбуминов, выделенных из крови детей, облученных во внутриутробном состоянии; изменение формы спектральных кривых и др.). Об этом могут говорить и термодинамические показатели температурно-индуцированных конформационных переходов альбуминов. Подобная повышенная лабильность сывороточных альбуминов может быть обусловлена известной уникальной конформационной изменчивостью этого транспортного протеина, а также изменениями в его первичной структуре, происходящими вследствие мутагенного действия ионизирующей радиации.

**РАДИАЦИОННОЕ ПРЕКОНДИЦИОНИРОВАНИЕ СЕТЧАТКИ ГЛАЗА IN VIVO МАЛОЙ ДОЗОЙ ПОВЫШАЕТ ЕЕ УСТОЙЧИВОСТЬ К ИНДУЦИРОВАННОЙ ДЕГЕНЕРАЦИИ И СТИМУЛИРУЕТ ВОССТАНОВЛЕНИЕ**

*В.А. Тронов[1,2], Ю.В. Виноградова[2], В.А. Поплинская[3], М.А. Островский[2,3]*
[1]Институт химической физики им. Н.Н. Семенова РАН, Москва, Россия,
vtronov@yandex.ru
[2]Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия,
vinojv@jinr.ru
[3]Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН, Москва, Россия,
poplinskaya@inbox.ru, ostrovsky3535@mail.ru

Радиационный гормезис убедительно продемонстрирован на делящихся клетах млекопитающих. Менее изучен этот эффект на покоящихся соматических клетках. Сетчатка глаза состоит из терминально дифференцированных клеток, утративших способность к делению. Гибель этих клеток приводит к утрате зрения. Сетчатка характеризуются сравнительно высокой устойчивостью к радиации. Тем не менее значительный контингент людей оказывается в ситуации, когда уровень генотоксического воздействия превышает уровень устойчивости сетчатки или тип воздействия на сетчатку не является адаптивным, например, при радиационной терапии опухолей мозга, меланомы глаз или при полетах человека в космос. Цель работы заключалась в оценке повреждающего действия гамма- и протонного излучений на структуру ДНК в сетчатке мышей, на функциональную активность сетчатки и оценка её способности к восстановлению in vivo. Работа проводилась на мышах C57BlxCBA, локально облучавшихся гамма и протонами (голова животных). Прекондиционирование сетчатки in vivo выполнялось с помощью протонного облучения в дозе ≤ 2,5 Гр. Спустя 4 часа после адаптирующего облучения мышей подвергали ударному химическому воздействию, а именно в/б введению метилнитрозомочевины (МНМ) в дозе 70 мг/кг, вызывающему острую дегенерацию сетчатки. Эффект воздействий оценивали по выходу повреждений ДНК в сетчатке, по морфометрическим показателям, по экспрессии маркерных белков P53, ATM, PARP, caspase-3, гибели фоторецепторов in situ и по функциональной активности сетчатки. Показана нелинейная зависимость морфологических изменений сетчатки от дозы облучения с наличием плато в области сравнительно малых доз (<15 Гр). В этой области наблюдается экспрессия белков-сенсоров повреждений ДНК (P53, ATM, PARP), способствующих их репарации, отмечается отсутствие изменений или обратимое снижение функциональной активности (ЭРГ). Доза выше пороговой (>15 Гр) вызывает дегенерацию сетчатки: морфологическая деструкция, гибель фоторецепторов, необратимое снижение функциональной активности, хотя повреждения ДНК эффективно репарируются. Радиационное прекондиционирование (доза ≤2,5 Гр) защищало сетчатку от МНМ-индуцированной дегенерации. Протекторный эффект протонного излучения ассоциирован с подавлением экспрессии активной формы каспазы-3, со снижением количества двунитевых разрывов ДНК и апоптотической гибели фоторецепторных клеток сетчатки. Полученные данные подтверждают способность зрелой сетчатки к структурному и функциональному пострадиационному восстановлению. Репарация ДНК является необходимой, но недостаточной предпосылкой восстановления сетчатки. Радиационный гормезис зрелой сетчатки in vivo сочетается с подавлением проапоптотической каспазы-3, снижением формирования двунитевых разрывов в ДНК, подавлением апоптотической гибели фоторецепторов.

# ОТДАЛЕННЫЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ВОЗДЕЙСТВИЯ ХРОНИЧЕСКОГО ОБЛУЧЕНИЯ НА МИКРОСКОПИЧЕСКИЕ ГРИБЫ

*Т.И.Тугай[1], В.А. Желтоножский[2], М.В. Желтоножская[2], Л.В. Садовников[2],А.В.Тугай[1]*
[1]Институт микробиологии и вирусологии НАН Украины, Киев, Украина,
tatyanatugay2@gmail.com
[2]Институт ядерных исследований НАН Украины, Киев, Украина,
zhelton@kinr.kiev.ua

Исследования влияния хронического ионизирующего излучения на микробиоту приобретает приоритетное значение, поскольку, последняя, как известно, является первичным звеном многих трофических цепей. При этом наибольшую роль играет микобиота, на долю которой приходится 80 % микробной биомассы почвы. Микобиота является постоянной и активной компонентой биогеоценоза и играет значительную роль в транслокации питательных веществ и различных микроэлементов в почве, в том числе и радионуклидов. Реализацию механизмов адаптации микроскопических грибов к неблагоприятных факторам окружающей среды, в частности, к ионизирующему излучению изучены не достаточно.

Формирование адаптации к действию хронического ионизирующего облучения у такого важного и малоизученного компонента биогеогеоценоза как микромицеты происходит на разных уровнях их иерархической организации - популяционном, организменном и молекулярном.

Для проведения исследований в условиях, имитирующих относительно высокие и низкие уровни радиоактивного загрязнения в зоне отчуждения ЧАЭС, были созданы две модельные системы, одна из которых имитировала по плотности потока радиации «горячие» частицы, а другая - радиоактивность почвы.

Установлено, что микромицеты способны адаптироваться и, более того, позитивно реагировать (радиотропизм, радиостимуляция) на относительно высокие (150 и 800 Гр) дозы облучения и это не уникальное свойство, присущее только отдельным видам. Было показано, что радиоадаптационные свойства сформировались у многих таксонов микроскопических грибов, выделенных исключительно из зоны отчуждения ЧАЭС, а частота их выявления достигает 80% среди штаммов, изолированных из экотопов с уровнем экспозиционной дозы до 500 мР/час. Именно на таких территориях наблюдается наибольшее увеличение биологической активности микроскопических грибов, которые являются одним из первичных звеньев трофических цепей и, следовательно, оказывают существенное влияние на функционирование всего биогеоценоза зоны отчуждения ЧАЭС и, в частности, на миграцию радионуклидов. Именно этот факт необходимо учитывать при создании долгосрочных прогнозов относительно скорости миграции радионуклидов на загрязненных территориях.

# ИЗУЧЕНИЕ ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ В ВОДЕ В РАДИОБИОЛОГИИ ЖИВЫХ СИСТЕМ

*И.Б.Ушаков, В.В.Цетлин, С.С.Мойса, Е.Л.Нефедова*
ГНЦ РФ - Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия,
v_tsetlin@mail.ru

В условиях длительных авиакосмических полетов космонавты и летчики подвергаются воздействию различных видов ионизирующей радиации низкой интенсивности, включая корпускулярное и электромагнитное галактическое космическое излучение и излучение солнца. Данные виды воздействия могут вызывать развитие катаракты, генетических мутаций, рака, угрожающих жизни физиологических нарушений и смерти. Помимо того, радиационное воздействие рассматривают как фактор старения [*Зугаирова,* 2009]. Последствия воздействия малых доз радиации сохраняются в течение многих генераций клетки [*Шмакова*, 2010] и негативно сказываются на здоровье [*Бурлакова*, 1999; *Little*, 2012]. Влияние ионизирующего излучения в дозах порядка 30-50 сГр изучено на различных биологических объектах [*Воронцов*, 2002; *Пелевина*, 2005; *Ushakov*, 2012, *Ушаков*, 2013]. В то же время влияние на живые организмы ионизирующего излучения в еще более низких дозах, не превышающих 10 сГр, остается мало изученным [*Руссов,* 2002] и общие закономерности их влияния на биологические объекты неизвестны. Невыяснен вопрос о соотношении влияний на организм непосредственного эффекта ионизирующего излучения и воздействия измененной вследствие радиационного облучения среды обитания [*Цетлин*, 2003]. В связи с этим проведены модельные эксперименты по изучению влияния радиационного излучения в малых дозах альфа-, бета- и гамма-источниками (мощность поглощенной дозы соответствовала радиационной обстановке в космических аппаратах), пониженного в 100-300 раз геомагнитоного поля и их сочетанного действия на окислительно-восстановительные свойства (редокс-потенциал) воды, всхожесть и энергию роста семян высших растений (редис, красный перец, пажитник). Выявлено, что по мере ослабления индукции магнитного поля в гипомагнитной камере величина редокс-потенциала воды возрастала, что свидетельствует о закономерном снижении внутренней энергии молекул воды. Изменение окислительно-восстановительных свойств воды (повышение величин редокс-потенциала) под влиянием возрастающих доз низкоинтенсивного альфа-, бета- и гамма-облучения происходило нелинейно, полимодально и даже спустя 20 мин после экспозиции величины редокс-потенциала воды увеличивались в среднем на 17%. Показано, что пониженное геомагнитное поле, как при прямом, так и при опосредованном (предварительно помещенной на 30 мин в гипомагнитную камеру) воздействии через воду, приводило к снижению всхожести и замедлению развития проростков семян, что, на наш взгляд, обусловлено снижением внутренней энергии молекул воды в ослабленном геомагнитном поле. При опосредованном воздействии через воду малые дозы гамма-излучения снижали, а альфа-излучения усиливали отрицательное действие пониженного геомагнитного поля на ростовые характеристики семян высших растений. Полученные результаты свидетельствует о том, что исследуемые факторы проявляют свой эффект за счет изменения свойств и состояния воды и, что именно вода является главным звеном в эффектах исследуемых воздействий, а также о том, что ионизирующее излучение является доминирующим фактором в их сочетанном действии. По-видимому, выявленные изменения редокс-потенциала воды при воздействии малыми дозами ионизирующего облучения и гипомагнитного поля, в свою очередь, приводят к морфо-физиологическим изменениям в живых системах.

# РАДИАЦИОННО-ИНДУЦИРОВАННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ НЕЙРОНОВ ГОЛОВНОГО МОЗГА

*В.П. Федоров, О.П. Гундарова, Н.В. Сгибнева, Н.В. Маслов*
Воронежская государственная медицинская академия им. Н.Н. Бурденко,
Воронеж, Россия,
fedor.vp@mail.ru

Анализ психоневрологического статуса ликвидаторов радиационных аварий, качества их жизни и профессионального долголетия показал значимую заинтересованность нервной системы в реакциях организма на действие малых доз ионизирующего излучения. При этом остается неясной причина наблюдаемых психоневрологических расстройств: связано это с действием радиации или психотравмирующих факторов, а также возрастными изменениями. Так как структурно-функциональное состояние нервной системы при ионизирующем облучении у человека в принципе не подлежит изучению, то выявить ее вклад в нарушение здоровья, определить наиболее радиочувствительные структуры и их дозо-временные зависимости в пострадиационном периоде объективно возможно только в экспериментах на животных. В этих условиях исключаются практически все посторонние влияния, кроме радиационного фактора и используются методики неприемлемые для человека. Правомочность таких исследований для последующей экстраполяции на человека доказана еще в пятидесятые годы. Белых беспородных крыс в возрасте 4 мес, подвергали облучению на установке «Хизатрон» (Чехословакия) γ - квантами $^{60}$Co в дозах 10, 20, 50 и 100 сГр с мощностью дозы 50 сГр/ч прослежены изменения структурно-функциональной организации нейронов сенсорной (поле PA$^{s}$) и моторной (поле FPa) зон коры больших полушарий, червя мозжечка и хвостатого ядра в сравнении с возрастным контролем. Рассматривали изменения тинкториальных свойств нейронов, их морфометрических показателей, белка и нуклеиновых кислот. Исследование на полную продолжительность жизни показало, что нервная система обладает определенной чувствительностью к радиационному фактору. Выявленные изменения неспецифичны, протекают волнообразно и не имеют линейной зависимости от дозы и времени пострадиационного периода. При всех дозах и сроках наблюдения преобладали пограничные изменения, отражающие различные варианты функциональной нормы нейронов. Такие изменения обратимы и при определенных условиях на их основе могут возникать различные формы альтеративных или адаптационных изменений. Все виды изменений встречались как в контрольных, так и экспериментальных группах, отличаясь лишь процентным соотношением. Изменения касались части нейронов и не затрагивали клеточную популяцию в целом, однако могли влиять на функциональное состояние нервной системы, т.к. некоторые показатели не всегда соответствовали возрастному контролю.

# ЭФФЕКТЫ ОТДАЛЕННЫХ ПОСЛЕДСТВИЙ γ -ОБЛУЧЕНИЯ В ДИАПАЗОНЕ МАЛЫХ ДОЗ НА ЭНДОКРИННЫЕ ЖЕЛЕЗЫ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ

*Ю.Б. Черкасова, А.А. Жемчужникова*
Воронежская государственная медицинская академия им. Н.Н. Бурденко,
Воронеж, Россия
z.vorontsova@mail.ru

В эксперименте на белых лабораторных крысах-самцах (270) после однократного и фракционированного γ-облучения в дозах 5, 10, 25, 50 мЗв с мощностью 50 сГр/ч, спустя 12, 18, 24 месяцев рассматривали морфофункциональное состояние щитовидной железы и пучковой зоны коры надпочечников в их взаимодействии по морфологическим критериям с использованием морфологических, морфометрических, гистохимических, морфологостатистических методов исследования и математического моделирования.

В щитовидной железе в хронодинамике эксперимента наблюдалось усиление гормонообразования в прямой зависимости от дозы γ-облучения на фоне диссинхронизации регуляторных процессов, проявляющейся снижением активности щелочной и кислой фосфатаз, а также общего числа тучных клеток межфолликулярной стромы щитовидной железы. Избирательная чувствительность и перераспределение морфофункциональных типов тучных клеток в пользу активных форм предполагает их активное участие в биоэффектах. В ходе исследований было выявлено формирование узелковых образований в паренхиме железы различной гормональной активности, независимо от кратности экспозиции и пострадиационных сроков. Стимуляция гормонообразования пучковой зоны коры надпочечников согласовывалась с четко прослеживаемой прямой дозовой зависимостью и отсутствием восстановительных процессов пострадиационных сроков. Причинные взаимодействия щитовидной железы и коры надпочечников в хронодинамике отдаленных последствий определяли синхронизацию гормонообразования. Из данных корреляционного анализа следует отметить, что наибольшую значимость в реализации радиационных эффектов принимали площадь липидного субстрата пучковой зоны коры надпочечников, щелочная фосфатаза, кислая фосфатаза и тучные клетки, посредством перераспределения их морфофункциональных типов, оказывая влияние гормонообразовательную функцию щитовидной железы. Парный корреляционный анализ выявил достоверные сильные связи между показателем коэффициента поражаемости узелковым процессом и всеми морфологическими критериями функционального состояния. Множественная корреляция констатировала наличие слабых связей по критериям, определяющим транспорт веществ, гормонообразование, высвобождение гормонов, а также процессы регуляции, следовательно, можно говорить о разобщении процессов, определяющих морфофункциональный гомеостаз. Необходимо отметить, что сила корреляционных связей критериев в направлении пролонгированности сроков наблюдения возрастала.

Таким образом, установлена синхронность взаимодействия эндокринных желез, независимо от кратности γ-облучения, на фоне формирования узелковых образований в щитовидной железе.

# ВЛИЯНИЕ ХРОНИЧЕСКОГО НИЗКОДОЗОВОГО ОБЛУЧЕНИЯ НА ГЕНЕТИЧЕСКИЕ, МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ И РЕПРОДУКТИВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ТРОСТНИКА ОБЫКНОВЕННОГО

*Н.Л. Шевцова, Д.И. Гудков*
Институт гидробиологии НАН Украины, Киев, Украина,
shevtsovanl@rambler.ru

Авария на Чернобыльской атомной станции поставила перед исследователями ряд проблем, связанных с последствиями хронического облучения биоты. С целью определения состояния высшей водной растительности начиная с 2006 г. проводятся исследования 13 видов гелофитов трех экологических групп литоральных сообществ высших водных растений водоемов Чернобыльской зоны отчуждения (ЧЗО). Основным объектом исследований служил тростник обыкновенный *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex. Steud – растение космополит семейства Poaceae, повсеместно встречающееся в водоемах ЧЗО и играющее доминирующую или субдоминирующую роль в сообществах воздушно-водных растений прибрежной и мелководной части. Тростник является концентратором первого порядка, как по $^{90}Sr$, так и по $^{137}Cs$. Уровень накопления этих основных дозообразующих радионуклидов в растениях из наиболее загрязненных водоемов ЧЗО достигает 6300 Бк/кг по $^{90}Sr$ и 14500 Бк/кг естественной влажности по $^{137}Cs$. Рассчитанная мощность поглощенной дозы для тростника обыкновенного в полигонных водоемах ЧЗО находится в диапазоне 2,20–11,95 сГр/год. Анализ данных анафазного экспресс-теста, выявил значительное превышение спонтанного уровня структурного мутагенеза в апикальных клетках корневых меристем тростника из водоемов ЧЗО. Максимальная частота аберраций хромосом составляет 10-18%. Изменение спектра хромосомных повреждений коррелирует с суммарной поглощенной растением дозой (r =0,831). Чем выше доза, тем полнее спектр представлен хромосомными аберрациями, а хроматидные аберрации преобладают у растений из контрольных и проточных водоемов. Отмечена временная функция повышения числа множественных аберраций – в 2013 г. их доля составляла 45-55% от всех аберраций у растений из наиболее “грязных“ замкнутых водоемов по сравнению с 20-25% в 2006 г. Оценка семенной продуктивности тростника водоемов ЧЗО выявила очень низкие показатели – в 5-10 раз ниже, чем у тростника из контрольных водоемов. Показатель стерильности метелки у растений из наиболее радиоактивно загрязненных замкнутых водоемов мог достигать 90%.. К тому же, зарегистрированная фактическая семенная продуктивность (жизнеспособные семена) составляла всего 6-7% от потенциальной продуктивности, а максимальная – 20-25%. Исследования выявили достоверное уменьшение морфометрических показателей метелки растений из полигонных водоемов ЧЗО, уменьшение количества цветков в соцветии, изменения в форме и окраске зерновок тростника. Проведенный корреляционный анализ подтвердил обратную зависимость морфометрических показателей метелки и количества цветков в соцветии от величины дозовой нагрузки на растение. Обращает на себя внимание нетипичная для тростника форма и окраска зерновок у растений из наиболее загрязненных водоемов. Таким образом, проведенные исследования цитогенетических, морфологических и репродуктивных показателей тростника обыкновенного свидетельствуют о наличии достоверных отклонений от нормы этих показателей у растений в водоемах Зоны отчуждения. Это может свидетельствовать о достаточно неблагоприятной ситуации, которая складывается в водоемах ЧЗО, где дозовые нагрузки на растения превышают 0,05 Гр/год.

# О НЕКОТОРЫХ АСПЕКТАХ ИЗМЕНЕНИЯ СТРУКТУРЫ МЕМБРАН ЭРИТРОЦИТОВ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ИОНОВ УРАНИЛА В НИЗКИХ КОНЦЕНТРАЦИЯХ

*Шевченко О.Г.*
Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, Россия,
shevchenko@ib.komisc.ru

Уран – тяжелый металл и ά-излучатель, его токсическое действие обусловлено химическими и радиологическими свойствами. В окружающей среде уран чаще всего встречается в наиболее стабильной форме уранил иона, представляющей высокую экологическую опасность в связи с хорошей растворимостью и биодоступностью. Существует немного работ, в которых рассматриваются клеточные и молекулярные механизмы токсичности урана, что обусловливает необходимость более детальных исследований в этом направлении. Одним из удобных и широко распространенных модельных объектов в токсикологии, радиобиологии и фармакологии являются эритроциты млекопитающих.

Цель работы – исследование влияния иона уранила в наномолярных концентрациях на чувствительность эритроцитов к действию повреждающих факторов различной природы. Для проведения экспериментов использовали суспензию эритроцитов крови лабораторных мышей (*Mus musculus* L.) и полевок-экономок (M*icrotus oeconomus* Pall.), классического объекта радиоэкологического мониторинга. Инкубацию исследуемых образцов проводили в термостатируемом шейкере. В качестве источника ионов уранила использовали раствор $UO_2Cl_2$ (5-1000 мкмоль/л). Острый окислительный стресс индуцировали внесением раствора $H_2O_2$ (0.9 ммоль/л) либо ААРН (5 ммоль/л). Для выявления скрытых изменений в мембране использовали неионный детергент Тритон Х-100 (0.001 и 0.003%). Для оценки динамики выживаемости клеток определяли степень гемолиза. Содержание вторичных продуктов ПОЛ, реагирующих с 2-тиобарбитуровой кислотой, а также концентрацию различных форм гемоглобина (oxyHb, metHb и ferrylHb) определяли спектрофотометрически. Статистическую обработку данных осуществляли с помощью пакетов программ Microsoft Office Excel 2007 и Statistica 6.0.

Показано, что эритроциты полевок-экономок отличаются большей чувствительностью к воздействию соединений урана по сравнению с эритроцитами лабораторных мышей, что может быть обусловлено ранее обнаруженными видовыми различиями в структуре мембран (соотношением холинсодержащих фракций фосфолипидов – сфингомиелина и фосфатидилхолина). Предварительная инкубация эритроцитов животных обоих видов с раствором хлорида уранила увеличивает чувствительность клеток к последующему воздействию Тритон Х-100, что свидетельствует о нарушении структуры мембраны вследствие кратковременного контакта эритроцитов с ионами уранила. Эти изменения не только влияют на выживаемость клеток, но и модифицирует их реакцию на действие химических соединений, способных индуцировать острый окислительный стресс. Характер модификации зависит от источника образования радикалов и обусловлен как особенностями его механизмов воздействия на клетку, так и способностью уранила катализировать химические реакции с образованием АФК. Детальные механизмы воздействия низких концентраций соединений урана на клетки требуют дальнейшего изучения.

Работа выполнена при частичной поддержке гранта Президиума УрО РАН «Молекулярно-клеточная биология»№ 12-П-4-1021.

# АКТИВНОСТЬ АДЕНИЛАТЦИКЛАЗЫ В ЛИМФОЦИТАХ И ТРОМБОЦИТАХ ОВЕЦ ПРИ ДЕЙСТВИИ ВНЕШНЕГО γ-ИЗЛУЧЕНИЯ

*Т.С.Шевченко, В.О. Кобялко*
Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии ФАНО, Обнинск, Россия,
Shevchenkotatyana@yandex. ru
Kobyalko@yandex. ru

Центральную роль в молекулярно-клеточных механизмах воздействия радиационного фактора на организм млекопитающих выполняют универсальные системы регуляции метаболизма, одной из которых является система цАМФ. Через систему цАМФ и ее ключевой фермент – аденилатциклазу (АЦ) осуществляется регуляция клеточного метаболизма, пролиферации и дифференцировки клеток, экспрессии генов и, в конечном итоге, - формирование специфической ответной реакции. Основная масса работ, посвященных изучению активности АЦ, проведена на клеточных популяциях лабораторных животных, на которых сложно проследить закономерности развития лучевого поражения в течение длительного срока, в отличие от крупных сельскохозяйственных животных. В связи с тем, что критическим органом при облучении организма млекопитающих в дозах 2-10 Гр является система кроветворения, целью работы стало исследование активности АЦ в наиболее радиочувствительных клетках крови лимфоцитах и тромбоцитах овец, подвергнутых тотальному внешнему γ-излучению в дозах 2, 4 и 6 Гр.

Определяли базальную и стимулированную простагландином $E_1$ активности АЦ в различные сроки радиационного поражения животных (в течение 15 сут). В лимфоцитах контрольных овец значения показателей составляли 2,82±0,64 и 3,74±0,52 пмоль/мин х $10^6$ клеток, а в тромбоцитах - 10,9±1,9 и 15,7±5,7 пмоль/мин х $10^8$ клеток, соответственно.

Развитие лучевой патологии с 1-х сут приводило к увеличению и базальной и стимулированной активности фермента в лимфоцитах в 1,7-3,3 раза фактически во все сроки исследования. В тромбоцитах регистрировали фазовые изменения показателя: рост на 1-е и 7-е сут в 1,7-10,9 раза и снижение до нормы в другие сроки. Зависимость от дозы внешнего γ-излучения базальной и стимулированной активности АЦ была отмечена в тромбоцитах на 1-е и 7-е сут, а в лимфоцитах - только стимулированной активности на 1-3- сут.

Таким образом, при действии внешнего γ-излучения на организм овец в широком диапазоне доз были обнаружены изменения базальной и стимулированной простагландином $E_1$ активности АЦ и в лимфоцитах, и в тромбоцитах. В лимфоцитах модификацию базальной и стимулированной активности АЦ отмечали в течение всего срока наблюдения, а в тромбоцитах - изменения носили фазовый характер, проявляясь, в основном на 1-е и 7-е сут. Предполагается, что у исследованных типов клеток имеется две стадии радиационно-индуцированной модификации активности АЦ. В начальный период радиационного поражения животных изменение активности фермента вызывается лучевым воздействием на мембраны клеток, находящихся в периферической крови. В последующие сроки регистрируемое увеличение активности АЦ определяется преобладанием в периферической крови более устойчивой к лучевому повреждению субпопуляции лимфоцитов и обновленной к 7-м сут популяции тромбоцитов с повышенной активностью фермента.

# АНТИОКСИДАНТНЫЙ СТАТУС КАК СОСТАВЛЯЮЩАЯ СИСТЕМЫ РЕГУЛЯЦИИ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ПОСЛЕДСТВИЙ ВОЗДЕЙСТВИЯ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ В МАЛЫХ ДОЗАХ

*Л.Н. Шишкина, М.А. Климович, М.В. Козлов*
Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН, Москва, Россия,
shishkina@sky.chph.ras.ru

Функционирование физико-химической системы регуляции перекисного окисления липидов (ПОЛ) на мембранном и органном уровня, обратная зависимость интенсивность процессов ПОЛ от дозы облучения и ее мощности, неодинаковая чувствительность и способность к восстановлению параметров этой регуляторной системы обусловливают высокую чувствительность окислительных реакций в липидах к действию ионизирующих излучений (ИИ) в малых дозах. Одним из дискуссионных является вопрос о вкладе дозы и/или мощности дозы в формирование последствий слабых радиационных воздействий. Важным фактором биологической эффективности воздействия низкоинтенсивного ИИ в малых дозах является исходный антиоксидантный (АО) статус в тканях животных как один из основных параметров системы регуляции ПОЛ.

Цель работы – сравнительный анализ функционирования системы регуляции ПОЛ в печени и головном мозге мышей после воздействия рентгеновского излучения (РИ) в дозах менее 1,5 мГр переменной мощности в зависимости от исходного АО статуса тканей, который модифицировали проведением экспериментов в разные сезоны. Все измерения проводили для каждого животного индивидуально. Выбор тканей для анализа обусловлен как высокой чувствительностью липидного обмена в этих тканях грызунов, обитающих на загрязненных радионуклидами территориях, так и существенными различиями физико-химических характеристик липидов печени и головного мозга лабораторных грызунов.

Выявлен рост гетерогенности физико-химических характеристик липидов в группах облученных мышей и в печени, и в головном мозге. Независимо от суммарной дозы РИ и величины показателя в контрольных группах обнаружены достоверное уменьшение соотношения сумм более легко- и более трудноокисляемых фракций фосфолипидов (ФЛ), т.е. способности липидов к окислению, и мольного отношения [стерины]/[ФЛ] при росте отношения основных фракций ФЛ в липидах печени всех опытных групп мышей. На формирование последствий РИ в малых дозах переменной мощности в головном мозге мышей, липиды которого в отличие от печени характеризуются прооксидантными свойствами в реакциях автоокисления, более существенное влияние оказывают такие физико-химические характеристики как антипероксидная активность липидов или наличие в них пероксидов. Динамика мощности дозы в процессе облучения оказывает достоверное влияние на среднегрупповые величины обобщенных показателей состава липидов в обеих тканях.

Совокупность экспериментальных данных свидетельствует о сложном нелинейном характере биологических эффектов данного типа РИ, а сохранение измененного АО статуса в тканях после воздействия РИ в дозах менее 1,5 мГр переменной мощности в течение длительного времени после облучения обусловливает изменение масштаба и характера взаимосвязей между тесно скоординированными в норме показателями системы регуляции ПОЛ.

Работа поддержана Программой фундаментальных исследований Президиума РАН «Фундаментальные науки – медицине» (2012 – 2014 гг.).

# СЕКЦИЯ 2.

# РАДИАЦИОННАЯ ГЕНЕТИКА.
# РАДИАЦИОННАЯ ИММУНОЛОГИЯ И ГЕМАТОЛОГИЯ.

# ЗАВИСИМОСТЬ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ НЕЙТРОФИЛОВ ПЕРИФЕРИЧЕСКОЙ КРОВИ ЧЕЛОВЕКА ОТ ДОЗЫ ОСТРОГО ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ *IN VITRO*

*А.А. Аклеев*
Южно-Уральский государственный медицинский университет, Челябинск, Россия,
andrey.akleev@yandex.ru

Различные свойства нейтрофильных гранулоцитов существенно отличаются по степени радиочувствительности. На настоящее время проведены немногочисленные исследования по оценке изменений функционального состояния нейтрофилов человека под влиянием острого радиационного воздействия. Кроме того, не исследована радиочувствительность недавно открытого свойства нейтрофилов формировать нейтрофильные внеклеточные ловушки (НВЛ). Исходя из вышеперечисленного, целью нашей работы явилось изучение дозовой зависимости для некоторых показателей функционального состояния нейтрофилов у лиц пожилого возраста.

У 10 лиц (4 мужчины и 6 женщин) пожилого возраста (средний возраст на момент исследования – 70,8±1,2 года) *in vitro* оценивали влияние острого гамма-излучения в широком диапазоне доз (0,1; 0,25; 1; 4 и 10 Гр) на параметры функциональной активности нейтрофилов периферической крови и на индукцию апоптоза. Для этого лейкоцитарную взвесь (при исследовании фагоцитарной, лизосомальной активности и внутриклеточного кислородзависимого метаболизма) или чистую фракцию нейтрофилов (при исследовании адгезивной активности, интенсивности апоптоза нейтрофилов и их способности образовывать внеклеточные ловушки), выделенные из периферической крови, облучали в дозах 0,1; 0,25; 1; 4 и 10 Гр на исследовательской гамма-установке радиобиологической (ИГУР-1).

Облучение чистой фракции нейтрофилов в дозе 4 Гр вызывало статистически значимое снижение доли адгезированных нейтрофилов, однако при воздействии гамма-излучения в дозе 10 Гр статистически значимых различий с пробами без облучения не отмечалось. Средний размер адгезированных нейтрофилов снижался при дозе облучения 10 Гр. В ходе эксперимента не было отмечено изменений со стороны фагоцитарной и лизосомальной активности нейтрофилов под действием острого гамма-излучения на лейкоцитарную взвесь во всем диапазоне исследованных доз. Установлено снижение активности внутриклеточного кислородзависимого метаболизма нейтрофилов под влиянием острого облучения в дозе 10 Гр. Облучение нейтрофилов в возрастающих дозах в пробах без индукции образования НВЛ препаратом «Пирогенал» вызывало снижение доли сегментоядерных нейтрофилов одновременно с увеличением доли клеток с недифференцированным ядром при дозе гамма-излучения 10 Гр. Действие острого гамма-излучения в дозе 0,1 Гр на активированные пирогеналом нейтрофилы вызывало повышение способности последних образовывать НВЛ. Не было отмечено влияния острого гамма-излучения во всем диапазоне исследованных доз на интенсивность апоптоза нейтрофилов.

Таким образом, наибольшую радиорезистентность к острому гамма-излучению продемонстрировали фагоцитарная и лизосомальная активность, а также интенсивность апоптоза нейтрофилов. Более радиочувствительными оказались внутриклеточный кислородзависимый метаболизм и адгезивная способность нейтрофилов. В то же время чувствительной к действию малых доз ионизирующей радиации явилась способность нейтрофилов, активированных пирогеналом, образовывать НВЛ.

# ГЕННАЯ КОНВЕРСИЯ В ЯДРЕ ЗИГОТЫ РЕГУЛЯРНО ЗАМЕЩАЕТ РАДИАЦИОННО-ПОВРЕЖДЕННЫЙ ОТЦОВСКИЙ ДИКИЙ АЛЛЕЛЬ МУТАНТНЫМ МАТЕРИНСКИМ У DROSOPHILA MELANOGASTER

*И.Д. Александров, М.В. Александрова, К.П. Афанасьева, Л.Н. Давкова*
Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия,
a38don@jinr.ru

Генная конверсия, наблюдаемая у гетероаллельных организмов как замещение одного аллеля другим, является универсальным генетическим процессом для митотически делящихся клеток высших эукариот, в основе молекулярного механизма которого лежит коррекция рекомбиногенного гетеродуплекса. Результатом этого процесса для соматических клеток является формирование мутантных гомозиготных клонов, негативные эффекты которых ограничены данным организмом. Нами в процессе молекулярного анализа радиационно-индуцированных мутаций генов *black (b), cinnabar (cn) и vestigial (vg) D.melanogaster*, полученных методом специфического локуса (как F1 от скрещивания облученных диких самцов с самками, генотип которых маркирован мутациями изучаемых генов), впервые был установлен факт регулярной генной конверсии по трем генам уже в первом диплоидном ядре зиготы после сингамии с формированием нового организма, все клетки которого гомозиготны по мутациям матроклинного происхождения. Ключевым для установления генной конверсии явилось наличие у конвертантов-гомозигот молекулярных маркеров материнских мутантных аллелей. Так, методом секвенирования среди 17 γ-индуцированных разными дозами мутаций *black* выявлено 3 (17.6%) конвертанта гомозиготных по материнскому аллелю $b^1$. Существенно, что из 8 нейтрон-индуцированных мутаций этого гена 7 (87.5%) также оказались конвертантами. Среди 16 γ-индуцированных мутаций *cn* было выявлено 8 (50%) конвертантов-гомозигот по материнскому аллелю $cn^1$ . Из 11 нейтрон-индуцированных мутаций этого гена лишь 3 (27.3%) оказались конвертантами. При секвенировании района гена *vg* с молекулярными маркерами материнского аллеля $vg^1$ установлено, что 5 (45.4%) из 11 γ-индуцированных мутаций также были конвертантами, а среди 7 нейтрон-индуцированных мутаций этого гена обнаружено 3 (42.8%) конвертанта. Важно отметить, что конвертанты наблюдались среди мутаций, индуцированных разными дозами γ-излучения (5-60 Гр) и нейтронов (2.5-20 Гр). Результаты секвенирования мутаций трех генов, индуцированных γ-излучением 40 Гр и нейтронами в дозах 2.5 и 10 Гр, позволяют оценить частоту индукции генной конверсии после действия этих видов радиации. Проведенные расчеты показали, что эта частота составляет в среднем 1.1 $x10^{-6}$ /локус/Гр для трех генов после действия γ-излучения и 7.4; 3.0 и 6.2 $x10^{-6}$ /локус/Гр для конвертантов-гомозигот $b^1$, $cn^1$ и $vg^1$ соответственно для нейтронов. Таким образом, генная конверсия в первом диплоидном ядре зиготы является регулярным генетическим процессом, который геноспецифичен и существенно зависит от качества радиации. Это позволяет полагать, что в индукции генной конверсии наряду с исходной гетероаллельностью (наличие инсерционно-делеционных изменений в структуре ДНК материнских аллелей, формирующих гетеродуплекс и конвертантов, обнаруженных нами среди спонтанных мутаций) важную роль играют и первичные повреждения ДНК отцовского гена, которые индуцируют излучения с низкой и особенно с высокой ЛПЭ. Обсуждается биологическое значение установленного факта генной конверсии в ядре зиготы как важного механизма повышения частоты мутантных аллелей в популяциях или, наоборот, нормальных аллелей, если процесс замещения равновероятен в обоих направлениях.

# МОЛЕКУЛЯРНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАДИАЦИОННОГО ЛОКУС-СПЕЦИФИЧЕСКОГО МУТАГЕНЕЗА И НОВЫЕ ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ ГЕНЕТИЧЕСКОГО РИСКА ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

*И.Д. Александров, М.В. Александрова, К.П. Афанасьева, Л.Н. Давкова*
Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия,
igdon@jinr.ru

Существующие оценки генетического риска (опасности) ионизирующей радиации, принятые НКДАР ООН (1982 г.) по результатам классических работ на дрозофиле и мыши, касались индукции рецессивных точковых мутаций с проявлением в последовательных поколениях и доминантных мутаций с проявлением уже в первом поколении, но не «малых» мутаций. Однако согласно новейшим открытиям геномики, именно последние в виде микроделеций/микроинсерций и замен оснований ДНК, ведущих к однонуклеотидному полиморфизму (SNP), лежат в основе многих генетических болезней человека с ранним или отдаленным проявлением. Эти достижения геномики указывают на необходимость оценки генетического риска радиации по индукции также и таких микроизменений ДНК отдельных генов и генома в целом. Учитывая сказанное, нами на модельном генетическом объекте Drosophila ведутся систематические исследования по молекулярному анализу мутаций генов разной величины и экзон-интронной организации после действия редко-ионизирующего γ-излучения и нейтронов с использованием базовых методов молекулярной биологии и генетики (полимеразная цепная реакция -ПЦР, анализ гетеродуплексов ДНК и секвенирование). В докладе представлены данные, характеризующие полный спектр изменений ДНК трех разных генов, выявляемых методом ПЦР (небольшие, протяженные и кластерные делеции гена и изменения, не выявляемые этим методом – $ПЦР^+$ -мутации), относительная частота которых зависит от гена и качества радиации. Существенно, что частота $ПЦР^+$ -мутаций для изученных генов в 2-3 раза выше после действия γ-излучения (50-88%), чем нейтронов (20-30%). Последующий молекулярный анализ таких мутаций методами выявления гетеродуплексов ДНК и секвенирования позволил установить регулярную индукцию γ-квантами замен оснований (в среднем $65.0 \times 10^{-6}$ /пн/Гр) и микроинсерций/микроделеций (в среднем $25.0 \times 10^{-6}$/пн/Гр) при секвенировании 16210 пн у 16 мутантов по двум генам. Частота таких повреждений после действия нейтронов ($230.0 \times 10^{-6}$ /пн/Гр и $180.0 \times 10^{-6}$ /пн/Гр, соответственно) при секвенировании 9210 пн у 8 мутантов одного из этих генов оказалась в 3.5 и 7.2 раза выше таковой, установленной для γ-излучения. Таким образом, проведенные эксперименты и их результаты впервые качественно и количественно характеризуют действие радиации с низкой и высокой ЛПЭ на ДНК отдельных генов с оценкой частоты индукции трех главных типов микроизменений, обуславливающих многие генетические болезни человека. Тем самым, результаты наряду с фундаментальным имеют и большое практическое значение, закладывая научную основу для оценки генетического риска радиации разного качества в индукции полиморфизма по разным изменениям на уровне оснований ДНК.

# БАНК БИОЛОГИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА СЕВЕРСКОГО БИОФИЗИЧЕСКОГО НАУЧНОГО ЦЕНТРА ФМБА РОССИИ – КРУПНЕЙШАЯ БАЗА ПО ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТОВ РАДИАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НИЗКОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ

*Е.Н.Альбах*[1], *Н.В.Литвяков*[1,2], *М.В.Халюзова*[1,2], *Д.С.Исубакова*[1], *А.Э.Сазонов*[1], *А.Б. Карпов*[1], *Р.М.Тахауов*[1]

[1]Северский биофизический научный центр ФМБА России, Северск, Россия, mail@sbrc.ru

[2]НИ Томский государственный университет, Томск, Россия, rector@tsu.ru

Для проведения исследований по оценке генетических эффектов долговременного радиационного воздействия низкой интенсивности, изучения механизмов и маркёров индивидуальной радиочувствительности человека, а также патогенеза наиболее значимых заболеваний в Северском биофизическом научном центре ФМБА России (СБН Центр) с 2002 г. формируется банк биологического материала (ББМ). Донорами ББМ СБН Центра являются работники крупнейшего в мире комплекса предприятий атомной индустрии – Сибирского химического комбината (СХК) и жители г. Северска, расположенного в непосредственной близости от предприятия. В ББМ выделены три "тематических" банка: 1) "Здоровые работники СХК"; 2) "Больные острым инфарктом миокарда (ОИМ)"; 3) "Больные злокачественными новообразованиями (ЗНО)".

ББМ "Здоровые работники СХК" содержит биологический материал 1 390 доноров (986 мужчин и 404 женщин). Средний возраст мужчин – 54,9 ± 0,37 года, женщин – 59,2 ± 0,56 лет. Средняя продолжительность работы на СХК мужчин 27,44 ± 0,40 лет, женщин – 25,1 ± 0,56 лет. В зависимости от вида профессионального облучения доноры распределены на четыре группы: 1) доноры, не подвергавшиеся радиационному воздействию (n = 184); 2) доноры, подвергавшиеся воздействию только внешнего γ-излучения (n = 649); 3) доноры, подвергавшиеся воздействию только внутреннего облучения за счёт инкорпорированного $^{239}$Pu (n = 63); 4) доноры, подвергавшиеся сочетанному (внешнему и внутреннему) облучению (n = 494).

ББМ "Больные ОИМ" содержит кровь и ДНК крови 755 доноров, имеющих установленный диагноз ОИМ. Средний возраст мужчин – 60,82 ± 0,47 лет, женщин – 67,37 ± 0,77 лет. 187 доноров (156 мужчин и 31 женщина) подвергались долговременному радиационному воздействию. Из них 116 человек – только внешнему облучению, 18 – только внутреннему облучению, 53 – сочетанному облучению.

ББМ "Больные ЗНО" содержит биологический материал 753 доноров. 611 доноров (462 мужчины и 149 женщин) подвергались долговременному профессиональному облучению. Из них 302 человека (222 мужчины и 80 женщин) подвергались только внешнему облучению, 95 человек (64 мужчины и 31 женщина) – только внутреннему облучению, 214 человек (176 мужчин и 38 женщин) – сочетанному облучению.

На материале ББМ проводятся широкогеномные исследования по оценке ассоциации полиморфизмов генов с цитогенетическими нарушениями, индуцированными радиационным воздействием, а также оценка изменений, свидетельствующих о наличии повышенной степени радиочувствительности. На выборке лиц, подвергавшихся длительному внешнему облучению, установлено статистически значимое повышение уровня хромосомных аберраций в дозовом интервале 100–300 мЗв, идентифицировано 28 SNP, ассоциированных с повышенной частотой кольцевых и дицентрических хромосом (Радиационная биология. Радиоэкология. 2013. Т. 53, № 2).

# RADIATION-INDUCED DNA REPAIR FOCI: FUNDAMENTAL AND APPLIED ASPECTS

*I. Belyaev[1,2], E. Markova[1], A. Somsedikova[1], S. Vasilyev[1,3], S. Sorokina[1,4], M. Durdik[1], P.Kosik[1], L. Zastko[1], P. Plavckova[1], L. Vokalova[1]*

[1]Cancer Research Institute, Bratislava, Slovak Republic,
[2]General Physics Institute, Russian Academy of Science (RAS), Moscow, Russia,
[3]Institute of Medical Genetics, Russian Academy of Medical Science, Tomsk, Russia,
[4]Institute of Theoretical and Experimental Biophysics, RAS, Pushchino, Russia,
Igor.Beliaev@savba.sk

Several proteins such as γH2AX and 53BP1 involved in DNA repair and DNA damage signaling have been shown to produce discrete foci in response to ionizing radiation. These foci are believed to co-localize to DSB and referred to as ionizing radiation induced foci (IRIF) or DNA repair foci. IRIF are considered to be the most sensitive assay for detecting DSB. Along with appearance of γH2AX foci, the nuclei of irradiated cells are homogeneously stained with anti-γH2AX resulting in so called pan-staining which is believed to appear in early apoptosis. We analyzed 53BP1, phospho53BP1and γH2AX IRIF induced by low and therapeutical doses of γ-rays/protons in lymphocytes and CD34+ stem cells from peripheral blood and umbilical cord blood, human cancer cell lines and fibroblasts using laser confocal microscopy, automatic microscopic system Metafer (Metasystems, Germany) and ImageStream (Amnis, USA) which is a combination of flow cytometer with fluorescent microscope. Radiation induced γH2AX pan-staining and apoptosis (Annexin/Propidium Iodide assay) was analyzed by ImageStream and flow cytometry. We found that both systems are sensitive to low-dose-induced IRIF at about 1cGy while analysis using classical flow cytometry showed statistical significance at higher doses. The incidence of pan-staining correlated with apoptotic cells till onset of secondary necrosis. We conclude that ionizing radiation induced pan-staining appear at early stages of apoptosis and eliminated during necrosis-related membrane damage pan-staining. Almost no 53BP1 foci were detected in pan-stained cells. Our data indicate possible relationship between formation of 53BP1/phospho 53BP1/γH2AX foci, γH2AX pan-staining and apoptosis. Finally, we suggest a mechanism for cooperative assembling of proteins in IRIF based on dynamic properties of chromatin.

Our studies have revealed that some residual IRIF remain in cells for a relatively long time after irradiation, and have indicated a possible correlation between radiosensitivity of cells and residual IRIF. Remarkably, residual foci are significantly larger in size than the initial foci. Increase in the size of IRIF with time upon irradiation has been found in various cell types and has partially been correlated with dynamics and fusion of initial foci.

Although it is admitted that the number of IRIF reflect that of DSB, we and others found a lack of correlation between kinetics for IRIF and DSB and a lack of 100% co-localization between DSB repair proteins. These data suggest that some proportion of residual IRIF that depend on cell type, dose, and post-irradiation time may represent alternations in chromatin structure after DSB have been repaired or misrepaired. While precise functions of residual foci are presently unknown, our and literature data indicate their possible link to remaining chromatin alternations, nuclear matrix, apoptosis, delayed repair and misrejoining of DSB. Our data indicate also that the residual foci may be useful tool for biological dosimetry and estimation of individual radiosensitivity of breast cancer patients.

**Acknowledgements.** This work was supported by the Structural Funds of EU (Protonbeam, ITMS: 26220220129), the Slovak Research and Development Agency (APVV 0669-10) and the VEGA Grant Agency (2/0150/11) of the Slovak Republic.

# ПРОСПЕКТИВНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ОНКОЛОГИЧЕСКОЙ ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ ЛИКВИДАТОРОВ АВАРИИ НА ЧАЭС С РАЗНОЙ ЧАСТОТОЙ TCR-МУТАНТНЫХ КЛЕТОК

*И.А. Замулаева, Н.И. Лозебной, Н.В. Орлова, С.Г. Смирнова*
Медицинский радиологический научный центр Минздрава РФ, Обнинск, Россия,
zamulaeva@mail.ru

Гипотеза о возможной связи радиационно-индуцированной нестабильности генома (РИНГ) с повышенным риском возникновения онкологических заболеваний существует уже многие годы. Как известно, эта гипотеза основана на представлениях о ключевой роли мутаций в злокачественной трансформации и необходимости возникновения генетической нестабильности на первом этапе канцерогенного процесса. Проверка гипотезы встречает значительные сложности, особенно в случае радиационного воздействия на организм человека. Однако работа в этом направлении представляет несомненный интерес как с теоретической, так и практической точек зрения (для понимания механизмов радиационного канцерогенеза и формирования группы высокого канцерогенного риска среди лиц, подвергшихся действию ионизирующих излучений). Поэтому в данном исследовании проведен проспективный анализ канцерогенного риска в зависимости от наличия или отсутствия признаков РИНГ в соматических клетках облученных лиц на примере группы ликвидаторов последствий аварии на ЧАЭС.

Исследование генных соматических мутаций по локусу Т-клеточного рецептора (TCR), выполненное нами в 1993-2011 годах в группе 398 ликвидаторов, продемонстрировало повышение частоты TCR-мутантных лимфоцитов у части облученных лиц по сравнению с возрастным контролем. Доля таких лиц составляла 12,5% и статистически значимо не менялась со временем после облучения (средняя накопленная доза 7,7±0,6 сГр). Учитывая короткое время полужизни TCR-мутантных клеток (2-3 года) из-за естественного обновления популяции лимфоцитов, можно было полагать, что наблюдаемый эффект обусловлен РИНГ, которая проявляется в течение длительного времени после воздействия (в нашем исследовании до 25 лет). В 2014 году была проанализирована онкологическая заболеваемость обследованных ранее ликвидаторов отдельно в подгруппах с нормальной и повышенной частотой TCR-мутантных клеток. Данные об онкологической заболеваемости ликвидаторов были получены из Канцер-регистра ФГУЗ Клинической больницы №8 ФМБА России (г. Обнинск). Средний период наблюдения составил 10 лет. Всего выявлено 23 заболевших через 1 год и более после TCR-исследования; случаи заболевания в течение 1 года после TCR-исследования были удалены из анализа. Статистический анализ показал, что онкологические заболевания возникали значимо чаще в подгруппе с повышенной, чем с нормальной частотой мутантных клеток ($p=0,0003$ по критерию $\chi^2$, RR=3,58, 95% доверительный интервал [1,60-8,08]). Причем эта закономерность была наиболее ярко выражена в течение первых 5 лет после определения частоты TCR-мутантных клеток, а затем прогностическое значение этого показателя уменьшалось.

Таким образом, несмотря на небольшой объём выборки и малое число случаев онкологических заболеваний, полученные данные свидетельствуют в пользу гипотезы о связи РИНГ с повышенным кацерогенным риском. Повышенная частота TCR-мутантных клеток у ликвидаторов аварии на ЧАЭС может быть использована в качестве критерия для формирования группы повышенного канцерогенного риска.

# РАДИОЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ И АДАПТИВНЫЙ ОТВЕТ ЛИМФОЦИТОВ КРОВИ ДЕТЕЙ, ПОСТОЯННО ПРОЖИВАЮЩИХ НА ТЕРРИТОРИИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО БЕДСТВИЯ В РЕГИОНЕ АРАЛЬСКОГО МОРЯ

*Ф.И.Ингель*[1], *Ш.Н.Хусаинова*[2], *Г.А.Косдаулетова*[3], *Е.К.Кривцова*[1]

[1] НИИ экологии человека и гигиены окружающей среды им А.Н.Сысина Минздрава РФ, Москва, Россия, fainaingel@mail.ru

[2]Научно-исследовательский Центр педиатрии и детской хирургии, Алматы, Республика Казахстан,

[3]Алматинский государственный институт усовершенствования врачей, Алматы, Республика Казахстан.

Высыхание Аральского моря создало экологическую катастрофу в целом регионе. С начала 90-х годов прошлого века жители города начали уезжать. Среди оставшихся значительно увеличилась заболеваемость, в том числе, онкологическими заболеваниями, что относили за счет загрязнения дефолиантами воды рек Аму-дарьи и Сыр-Дарьи.

Мы провели междисциплинарное исследование, целью которого был сравнительный медико-социо-психологический и цитогенетический анализ состояния здоровья детей, проживающих в городе Аральске (расположен на берегу Аральского моря), параллельно с оценкой загрязнения воды, воздуха, почвы и биосубстратов детей токсикантами и генотоксикантами. В данном сообщении приведены результаты фрагмента работы, посвященного анализу эффектов нестабильности, радиочувствительности и адаптивного ответа генома лимфоцитов крови детей.

Рандомизированные группы мальчиков и девочек 5-8 лет из Аральска (44 ребенка) и региона сравнения – поселка Акчи (Центральный Казахстан, 34 ребенка), были сформированы по результатам предварительного медицинского и психологического обследования. Образцы венозной крови детей культивировали в присутствии цитохалазина В. От каждого ребенка ставили 3 культуры: для оценки фоновых эффектов нестабильности генома, определения радиочувствительности при облучении in vitro (1.0 Гр, $Co^{60}$, аппарат «Cirus», мощность дозы 0,2 Гр/мин на 24 часу от начала культивирования) и адаптивного ответа (адаптивная доза 0,05 Гр на 24 часу и разрешающая доза 1,0 Гр через 5 часов). Цитогенетический анализ включал спектр клеточных популяций, оценку частоты микроядер (MN) во всех типах делящихся клеток, частоту апоптоза и митоза. Статистический анализ выполнен с применением пакета программ Statistica 6.1.

Частота клеток с MN и радиочувствительность, определенная по частоте клеток с MN между Аральском и Акчи не различались. В то же время, доля детей в когорте с положительным адаптивным ответом в Акчи была 36,6 % против 12,8% в Аральске, с отрицательным адаптивными ответом в Аральске - 64,1%, в Акчи - 23,3 %. Радиочувствительность лимфоцитов крови детей была связана с состоянием здоровья матери во время беременности, полом ребенка, массо-ростовым индексом ребенка, наличием у него микроаномалий развития, степенью тревоги ребенка и наличием хронических заболеваний сердечно-сосудистой и дыхательной систем. Серьезное влияние оказывали доход, жилищные условия и социальный статус отца.

То есть, существенную роль в формировании радиочувствительности играют факторы, которые ранее не принимали во внимание и которые могут использоваться для формирования групп повышенного генетического риска.

**РЕЗУЛЬТАТЫ МЕТА-АНАЛИЗА ЧАСТОТЫ ГЕННЫХ ПЕРЕСТРОЕК RET/PTC В КАРЦИНОМАХ ЩИТОВИДНОЙ ЖЕЛЕЗЫ ВЫЯВИЛИ СИСТЕМАТИЧЕСКИЙ СУБЪЕКТИВНЫЙ УКЛОН В ОРИГИНАЛЬНЫХ РАБОТАХ ПРИ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ОБЩЕГО МАССИВА ДАННЫХ**

*А.Н. Котеров, Л.Н. Ушенкова, А.П. Бирюков*
ГНЦ Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна ФМБА России, Москва, Россия,
govorilga@inbox.ru

На основе полученных в результате полного (охват практически 100% источников за более чем 20 лет; 164 работы молекулярно-эпидемиологического плана из 28-ми стран мира) мета-анализа наиболее точных данных о частоте генных перестроек RET/PTC в спорадических и радиогенных карциномах ЩЖ проведено сравнение с опубликованными в обзорах и в обзорных разделах оригинальных статей значениями. Выбран временной диапазон публикаций с 2005 г. по 2013 г. включительно, т.е., период, когда основной массив соответствующих данных уже был получен.

Обнаружен значительный субъективный уклон, когда в очень многих случаях приводимые конкретными авторами диапазоны (иной раз широкие) частоты RET/PTC для той или иной группы людей (стратификации по возрасту и факту радиационного воздействия) не включали истинные величины. При этом те показатели, для которых исходно имелось представление как о «малых», занижались, а те, которые считались «большими» (для радиогенных раков, в частности, чернобыльской этиологии), завышались. Данные моменты, находящие свое отражение как в психологии (Hollands J.G., Dyre B.P., Bias in proportion judgments: the cyclical power model // Psychol. Rev. 2000), так и в криминалистике (Кертэс И. Тактика и психологические основы допроса. М, 1965), были выражен весьма отчетливо.

Проведен сравнительный статистический анализ числа публикаций с уклоном и без такового. Обсуждаются возможные последствия для расчета радиационных рисков указанного субъективного уклона у авторов, выполняющих конкретные исследования.

**ИЗУЧЕНИЕ ГИПЕРМЕТИЛИРОВАНИЯ В ЛЕЙКОЦИТАХ КРОВИ ЧЕЛОВЕКА В ОТДАЛЕННЫЙ ПЕРИОД ПОСЛЕ ОБЛУЧЕНИЯ**

*Кузьмина Н.С., Мязин А.Е., Лаптева Н.Ш., Рубанович А.В.*
Институт общей генетики им. Н.И. Вавилова РАН, Москва, Россия,
nin-kuzmin@yandex.ru

Накопление знаний об эпигенетической регуляции функционирования генома приводит к необходимости изучения новых аспектов генотоксического действия радиации на организм человека. С помощью метода метилчувствительной полимеразной цепной реакции проведено изучение гиперметилирования CpG–островков промоторов генов клеточного цикла (*p16/CDKN2A, p14/ARF, RASSF1A)* и детоксикации ксенобиотиков *(GSTP1)* в лейкоцитах 104 облученных людей (ликвидаторы аварии на ЧАЭС, 83 чел., 38-76 лет и профессионалы-атомщики г. Сарова, 21 чел., 53-75 лет) и лиц двух контрольных групп (59 чел., возраст ≤ 35 лет и 103 чел., возраст > 35 лет). Зарегистрированные у ликвидаторов аварии на ЧАЭС дозы облучения (если такие сведения имелись) находились в диапазоне от 35 до 480 мЗв. Реконструированные у атомщиков на основании имеющейся дозиметрической информации индивидуальные поглощенные дозы β-излучения трития составили от 1,1 cSv до 48,1 cSv, один человек подвергся облучению в дозе 99,4 cSv. В работе использован ранее созданный (2003-2007 гг) в лаборатории экологической генетики ИОГен РАН банк ДНК этих лиц. Общее количество AciI – сайтов в исследованных фрагментах составляло от 2 до 7 для разных локусов. Только у 1 человека (1,7 %) из контрольной группы молодых людей (≤ 35 лет) выявлено метилирование изученных CpG – динуклеотидов гена *RASSF1A,* а у 1 индивидума – гена *GSTP1*. Как у облученных лиц, так и у одновозрастной контрольной группы (> 35 лет) обнаружены случаи аберрантного метилирования промоторов всех генов. Выявлена существенно повышенная частота облученных лиц с аномальным метилированием CpG – островков генов *p16* и *GSTP1* ($p = 0.0097$ и $p = 0.005$, соответственно). С возрастом встречаемость метилирования промотора гена *RASSF1A* статистически значимо возрастала как в контрольной группе ($r = 0, 213$; $p = 0.006$), так и у ликвидаторов аварии на ЧАЭС ($r = 0, 212$; $p = 0,031$). В отношении остальных генов подобной тенденции не обнаружено. Множественный регрессионный анализ показал, что рост числа метилированных локусов из совокупности генов *p16*, *p14* и *GSTP1* обусловлен исключительно фактом экспонирования (p-value $= 7.1 \cdot 10^{-5}$).

Таким образом, впервые показана реальность радиационно-индуцированного аберрантного метилирования CpG–островков промоторов генов, участвующих в основных защитных функциях клетки, в организме человека в отдаленный период после облучения.

# МИКРОЯДЕРНЫЙ ТЕСТ КАК СПОСОБ БИОИНДИКАЦИИ ИНКОРПОРАЦИИ МАЛЫХ ДОЗ РАДИОНУКЛИДОВ У ЛИЦ, ПРОЖИВАЮЩИХ НА РАДИАЦИОННО-ЗАГРЯЗНЁННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ.

*Лопатин С. Н., Кравцов В.Ю., Дударенко С.В., Рожко А.В., Надыров Э.А., Ежова О.А., Мигащук Н.Ю.*
Всероссийский центр экстренной и радиационной медицины им. А.М. Никифорова МЧС России, Санкт-Петербург, Россия, http://www.arcerm.ru/.
Республиканский научно-практический центр радиационной медицины и экологии человека, Гомель, Республика Беларусь, http://www.rcrm.by/.

Для выявления мутагенности (канцерогенности) факторов внешней среды существует множество цитологических методов, одним из которых является микроядерный тест. Мы впервые использовали данную методику в гистологических срезах гастробиоптатов у лиц, проживающих постоянно на радиационно-загрязненных территориях.

Целью исследования являлось изучение частоты встречаемости микроядер в мукоцитах покровно-ямочного эпителия слизистой оболочки желудка в группе лиц, проживающих на радиационно-загрязненных территориях и в группе лиц, которые не имели в анамнезе фактов радиационных воздействий.

Микроядерный тест проводили у населения, пострадавшего от факторов аварии на ЧАЭС в 1988-1992гг и спустя 26 лет, в гистологических срезах, полученных из антральных гастробиоптатов. Наряду с микроядерным тестом в гастробиоптатах обследуемых пациентов, было проведено иммуногистохимическое определение *Helicobacter pylori*.

Выявлены достоверные различия в полученных результатах между жителями радиационно-загрязнённых территорий (n=50) и лицами, которые не имели в анамнезе фактов радиационных воздействий (n=68) по показателю «частота мукоцитов слизистой оболочки желудка с микроядрами». Максимальная частота мукоцитов с микроядрами наблюдалась у лиц, проживающих на радиационно-загрязнённых территориях с *Hp*-ассоциированными заболеваниями верхних отделов ЖКТ. В группе пациентов радиационно-загрязнённых территорий с *Hp*-ассоциированными гастритами частота встречаемости мукоцитов с микроядрами в слизистой оболочке желудка была в пять раз выше, чем у пациентов, слизистая оболочка которых не была инфицирована *Hp* ($p< 0,01$). В группе обследованных на РЗТ через 26 лет после аварии на ЧАЭС (n=60) не выявлено достоверных различий по частоте мукоцитов с микроядрами от аналогичных показателей у обследованных в 1988-1993гг. В указанной группе населения, постоянно (26 лет с момента аварии на ЧАЭС) проживающих на РЗТ, не отмечен рост первичной заболеваемости по раку пищевода и желудка.

Таким образом, проведенное нами исследование позволяет заключить, что гистологическое исследование с применением микроядерного теста является методом констатации для определения инкорпорации радионуклидов. Образование микроядер в СОЖ не является предиктором онкологического процесса и может быть использован в практическом здравоохранении как способ биоиндикации и инкорпорации малых доз радионуклидов.

**ПОЛИМОРФИЗМ ЯДЕРНОЙ И МИТОХОНДРИАЛЬНОЙ ДНК КРОВИ ОНКОЛОГИЧЕСКИХ ПАЦИЕНТОВ ПОСЛЕ РАДИОХИМИОТЕРАПИИ**

*И.Ю.Митрошина[1], А.В.Агаджанян[2], М.Г.Ломаева[1], Л.А. Фоменко[1], Л.В.Малахова[1], ЕА Кононова[1], В.Г.Безлепкин[1]*

[1]Институт теоретической и экспериментальной биофизики РАН, Пущино, Россия, xf2@rambler.ru

[2] РНЦ Рентгенорадиологии Минздрава РФ, Москва, Россия, Ann-aghajanyan@yandex.ru

Цель настоящего исследования заключалась в оценке уровня вариабельности ядерной ДНК (яДНК) и митохондриальной ДНК (мтДНК) периферической крови у индивидов, страдающих онкологическими заболеваниями (рак молочной железы или рак легких) и прошедших стандартные курсы РХТ. Для анализов использовали препараты ДНК из плазмы периферической крови (ПК) от 19 онкологических пациентов Российского научного центра Рентгенорадиологии Минздравсоцразвития РФ (г. Москва) с гистологически подтвержденным диагнозом рака молочной железы (РМЖ) и от 9 пациентов с диагнозом рак легких (РЛ). Пациенты проходили курсы лечения с применением цитостатических препаратов антрациклиновой группы (доксорубицин, эпирубицин, таксотер) и воздействия гамма-излучения на опухоль, согласно схеме утвержденной Минздравсоцразвития России. Уровень изменчивости некодирующих гипервариабельных микросателлит-ассоциированных (МСА) повторов яДНК, анализировали с применением метода AP-PCR Метод локус-специфической ПЦР использовали для оценки частоты разного размера аллелей CTG)n повторов, локализованных в 3'–UTR-области гена DMPK на 19 хромосоме человека. Для скрининга «неидентифицированных» мутаций была применена технология рестрикционного анализа ДНК с использованием CEL-I эндонуклеазы, расщепляющей гетеродуплексы с неспаренными основаниями. Определение соотношения ядерной и митохондриальной ДНК в плазме ПК выполнено как попытка характеризовать индивидуальные особенности эффективности курсов радиотерапии у пациентов, страдающих РЛ. В качестве «контроля» использовали препараты ДНК из ПК и плазмы ПК от 16 условно здоровых доноров, проходивших плановую диспансеризацию в Больнице Пущинского Научного Центра РАН (г. Пущино). Выявлено повышение уровня полиморфизма МКС-ассоциированных повторов ДНК из плазмы ПК. Можно предполагать, что обнаруженный эффект является следствием элиминации в плазму крови фрагментов генома деградирующих опухолевых клеток после воздействия средств РХТ на опухоль. Обнаружено, что в ДНК из ПК контрольных доноров основанная масса продуктов амплификации (CTG)n-повторов представлена фрагментами с размером порядка 150 п.н. В группе пациентов, страдающих онкологическим заболеванием, после курса РХТ наблюдается «патологическое» увеличение размера исследуемых фрагментов вплоть до 800 п.н. Таким образом, мы наблюдаем явление «экспансии» тринуклеотидных (CTG)n-повторов у пациентов, не страдающих мышечной дистрофией, но подвергшихся воздействию генотоксических агентов химической и радиационной природы на фоне онокзаболевания. Результаты экспериментов с использованием CEL-I эндонуклеазы свидетельствуют, что в плазме крови пациентов после проведения курса радиотерапии доля мутантных копий внеклеточной мтДНК в общей циркулирующей ДНК увеличилась. Следует полагать, что факторы, применяемые при лечении онкологических заболеваний, приводят к существенным повреждениям в клеточной ДНК, к нарушениям функционирования систем репарации и контроля репликации ДНК. Следствием может быть возникновение ошибок в геноме соматических клеток, как в зоне облучения, так и в клетках прилегающих участков тканей.

# ИССЛЕДОВАНИЕ МОЛЕКУЛЯРНО-ГЕНЕТИЧЕСКИХ МЕХАНИЗМОВ РАДИАЦИОННОГО ГОРМЕЗИСА И РАДИОАДАПТИВНОГО ОТВЕТА *DROSOPHILA MELANOGASTER*

*А.А. Москалев [1,2,3], М.В. Шапошников [1,2], Е.Н. Плюснина [1,2], Л.А. Шилова [1], Н.В. Земская[1,2], Д.О. Перегудова [1], А.А. Данилов [1], Е.В. Добровольская [1], А.В. Кудрявцева [4]*

[1]Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, Россия,

[2]Кафедра экологии ИЕН СыктГУ, Сыктывкар, Россия,

[3]Московский физико-технический институт (Федеральный университет), Долгопрудный, Россия,

[4]Институт молекулярной биологии РАН им. В.А. Энгельгарта, Москва, Россия,

Многие токсичные агенты, ингибируя процессы жизнедеятельности при больших концентрациях, в малых дозах оказывают стимулирующий эффект. В середине XX в. Сазам и Эрлих предложили назвать такую U-образную зависимость «доза-ответ» гормезисом, от греческого слова «hormaein», означающего «стимулировать». Впервые вопрос «Все ли дозы радиации вредны?» поставил Х. Генри в 1961 г., в последствие данные по радиационному гормезису были обобщены в монографии Люкки, где он предложил собственно термин «радиационный гормезис» и продемонстрировал, что радиация в низких дозах может стимулировать метаболическую активность клеток, такую как синтез ДНК и белков. В СССР идею радиационного гормезиса развивал чл-корр. А.М. Кузин. Наши собственные данные не только подтвердили существование радиационного гормезиса у дрозофил, но и выявили несколько возможных его механизмов. Нам удалось показать, что хроническое ионизирующее облучение в малой (4 сГр) и средней (40 сГр) дозах на ранних стадиях развития приводит к статистически значимому увеличению массы тела взрослых самцов дрозофил. Кроме того, наши эксперименты демонстрируют возможность увеличения продолжительности жизни после облучения в малых дозах у линии дрозофил дикого типа. Одним из возможных механизмов радиационного гормезиса является стимуляция экспрессии генов, способствующих предотвращению (гены антиоксидантной защиты), замещению или элиминации клеточных повреждений (гены репарации ДНК, молекулярных шаперонов, автофагии). Наши исследования влияния малых доз ионизирующих излучений на продолжительность жизни линий дрозофил с мутациями генов антиоксидантной защиты, белков теплового шока и репарации ДНК показали их важную роль в радиоадаптации и радиационном гормезисе. Результаты РТ-ПЦР анализа подтвердили долговременные изменения паттернов экспрессии генов стресс-ответа в результате воздействия малых доз ионизирующего излучения. Применение полногеномного секвенирования транскриптома позволило нам выявить новые молекулярные механизмы радиационного гормезиса, связанные с изменением экспрессии генов сигнальных путей Hedgehog, Jak-STAT, mTOR, Notch, TFG-beta, Hippo, генов протеасомальной деградации, базальных транскрипционных факторов, эксцизионной репарации нуклеотидов и репарации мисматчей, циркадных ритмов, рибосом, транскрипции, синтеза ДНК и метаболизма ксенобиотиков .

Таким образом, зависимость «доза-ответ» в диапазоне малых доз носит сложный и не всегда прогнозируемый характер и радиационный гормезис – одно из проявлений такой неоднозначности. Более правильно определять «гормезис» как эффект гиперфункции системы в результате воздействия ионизирующего облучения, а не как «благоприятное» действие радиации. Работа поддержана грантом Президиума РАН № 12-П-4-1005 «Экологическая генетика продолжительности жизни модельных животных (*Drosophila melanogaster, Mus musculus*)», грантом РФФИ № 14-04-01596 и грантом Президента РФ № МД-1090.2014.4.

# БИОЛОГИЧЕСКАЯ ИНДИКАЦИЯ И БИОЛОГИЧЕСКАЯ ДОЗИМЕТРИЯ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ В РАЗЛИЧНЫХ ГРУППАХ ЛИЦ, ПОДВЕРГШИХСЯ ВОЗДЕЙСТВИЮ РАДИАЦИИ

*Е.Г. Неронова, С.С. Алексанин*
Всероссийский центр экстренной и радиационной медицины им.А.М.Никифорова МЧС России, Санкт-Петербург, Россия.

С целью оценки возможности использования цитогенетических нарушений для биологической дозиметрии и биоиндикации ионизирующих излучений в отдаленном периоде времени после облучения проведен анализ хромосомных аберраций в лимфоцитах периферической крови. Были обследованы различные категории лиц, имевших контакты с ионизирующими излучениями в процессе профессиональной деятельности, ликвидаторы последствий аварии на Чернобыльской АЭС, а также у лица, ранее проживавшие в регионе Семипалатинских ядерных испытаний. Абсолютное большинство обследованных подверглось действию ионизирующих излучений в диапазоне малых доз. Интервал времени между цитогенетическим обследованием и облучением составлял от одного года до 49 лет.

Анализ нестабильных хромосомных аберраций выявил в группе экспонированных лиц достоверно повышенную частоту всех типов нарушений хромосомного комплекса клеток, в том числе парных фрагментов и цитогенетических радиационных маркеров, по отношению к показателям группы сравнения. Пациенты с радиационными маркерами были выявлены во всех группах экспонированных лиц в количестве, достоверно превышающем количество лиц с маркерами, выявленных в группе сравнения. Анализ стабильных аберраций (транслокаций) был выполнен у лиц, раннее проживавших в различных населенных пунктах, расположенных в зоне влияния Семипалатинского ядерного полигона. У 13% обследованных лиц была выявлена повышенная, по сравнению с контрольным уровнем, частота транслокаций, что позволило установить биологическую дозу облучения для этих пациентов.

Таким образом, цитогенетические исследования, выполненные в отдаленном периоде после облучения (до 49 лет) свидетельствуют о долгосрочных генетических эффектах малых доз ионизирующих излучений, выявляемых в соматических клетках человека и позволяют проводить биоиндикацию и биологическую дозиметрию ионизирующих излучений.

# ЭЛИМИНАЦИЯ РАДИАЦИОННО-ИНДУЦИРОВАННЫХ АБЕРРАЦИЙ ХРОМОСОМ И РЕТРОСПЕКТИВНАЯ ОЦЕНКА ДОЗЫ ПОСЛЕ РАЗЛИЧНЫХ АВАРИЙ

*В.Ю.Нугис*[1], *А.В.Севанькаев*[2], *И.К.Хвостунов*[2], *Е.В.Голуб*[2], *М.Г.Козлова*[1], *Н.М.Надежина*[1], *И.А.Галстян*[1]

[1] ГНЦ РФ – Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И.Бурназяна ФМБА России, Москва, Россия,
nugisvju@list.ru

[2] Медицинский радиологический научный центр Минздрава РФ, Обнинск, Россия.

В Клинике ФМБА им. А.И.Бурназяна в течение более 25 лет наблюдались лица, пострадавшие при аварии на Чернобыльской АЭС. В план их обследования входило и осуществление повторных цитогенетических исследований культур лимфоцитов периферической крови с целью изучения закономерностей элиминации аберраций хромосом и разработки подходов к ретроспективной оценке дозы при использовании классического метода окраски. Однако указанный радиационный инцидент не был первым, как не был он и последним. Лица, пострадавшие от случайного облучения в различных других ситуациях, также периодически (с разной степенью частоты) поступали в клинику в отдалённые сроки для обследования и лечения по поводу различных заболеваний, что позволило и у них производить динамическое наблюдение за уровнями хромосомных повреждений. В общей сложности повторный цитогенетический анализ лимфоцитов был осуществлён у представителей следующих групп пострадавших: 1) 4 человека после гамма-облучения (4 аварии, частота взятия крови – от 1 до 10), 2) 14 человек после гамма-бета-облучения (5 аварий, частота взятия крови – от 1 до 6), 3) 6 человек после гамма-нейтронного облучения (5 аварий, частота взятия крови – от 1 до 5). В качестве исходных дозовых оценок использовались (в различном сочетании) результаты физических расчётов, исследования сигнала ЭПР в эмали зуба, гематологические и цитогенетические данные. Подчеркнём, что последние, в отличие от чернобыльского контингента, могли и отсутствовать. Большая часть культур лимфоцитов периферической крови у данных больных была исследована или в сроки, близкие к окончанию наблюдения за чернобыльскими пациентами, или в значительно более позднее время после облучения (от 20 лет до 51 года). Два пациента после гамма-облучения обследовались в более ранний период. Таким образом, пациенты, подвергшиеся гамма-, гамма-бета и гамма-нейтронному облучению, были обследованы повторно в целом в более отдалённые сроки после воздействия, чем чернобыльцы. При цитогенетическом анализе с помощью классического метода окраски хромосом в отдалённые сроки после аварии на Чернобыльской АЭС с помощью специальной компьютерной программы были получены зависимости для ретроспективной оценки дозы. Их использование для того же самого у других пациентов продемонстрировало следующее. Ретроспективная оценка дозы у рассматриваемого контингента по уравнению множественной регрессии, включающему компьютерно восстановленную оценку дозы и время, прошедшее после облучения, в целом даёт неудовлетворительные результаты, так как наблюдается явный выход многих точек за пределы 95%-доверительных интервалов для индивидуальных значений в сторону завышения дозовых величин. При применении уравнения множественной регрессии, включающего восстановленную оценку дозы и частоту атипичных хромосом в отдалённые сроки после облучения, были получены более хорошие результаты, так как полученные оценки дозы большей частью лежали в пределах 95%-доверительного интервала для индивидуальных значений.

# ОСОБЕННОСТИ ИММУНОЛОГИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ У ПЕРСОНАЛА СИБИРСКОГО ХИМИЧЕСКОГО КОМБИНАТА ПРИ РАДИАЦИОННОМ ВОЗДЕЙСТВИИ ОТ ИНКОРПОРИРОВАННОГО ПЛУТОНИЯ-239

*И.В. Орадовская[1], Т.Т. Радзивил[2]*
[1]ГНЦ РФ - Институт иммунологии ФМБА России, Москва, Россия,
[2]Сибирский федеральный научно-клинический центр ФМБА России, Северск, Россия,
oradovskaya.39@mail.ru

Сообщение основано на результатах мониторинга за персоналом Сибирского химического комбината и населением, проживающим в районе его размещения. Проанализированы показатели иммунного статуса (ИС) персонала ядерно-химического производства, в организме которых инкорпорирован плутоний-239. Дозовые группы сформированы с интервалом в 10 нКu. Обследовано 60 человек – носителей $^{239}$Pu и 408 человек, не имеющих накопления в организме $^{239}$Pu. По сравнению с контролем, для ИС всех групп дозовой нагрузки было характерно наличие диссоциации в показателях относительных и абсолютных значений Т-клеточного звена и $CD16^+56^+$-NK-клеток с повышением абс. значений, снижение маркеров активации $HLA\text{-}DR^+$ и $CD95^+$ и повышение В-лимфоцитов. **При отсутствии в организме $^{239}$Pu**, помимо общих характерных изменений, ИС персонала достоверно отличался снижением процентного содержания $CD3^+$-, $CD8^+$-лимфоцитов, уровня сывороточных иммуноглобулинов трех классов, повышением лимфоцитов, абс. содержания $CD4^+$-, $CD8^+$-лимфоцитов, NK-Т-клеток и индекса иммунорегуляции. **При содержании в организме $^{239}$Pu > 0-10 нКu**, по отношению к персоналу с отсутствием $^{239}$Pu, ИС отличался достоверным снижением абс. значений $CD8^+$-Т-лимфоцитов и уровня сывороточного IgA. Выявлялась тенденция к снижению абс. значений Т-клеточного звена, NK-Т-клеток, В-лимфоцитов и повышению индекса иммунорегуляции (ИРИ), $CD16^+56^+$-NK-клеток, $HLA\text{-}DR^+$ и уровня сывороточного IgG, сохранялась недостаточность IgM. **При содержании в организме $^{239}$Pu > 10-20 нКu** по сравнению с персоналом, не содержащим $^{239}$Pu, достоверных отличий не выявлено. По отношению к группе с содержанием $^{239}$Pu до 10 нКu выявлено достоверное повышение лейкоцитов, абс. значений $CD8^+$-Т-лимфоцитов, NK-Т-клеток (%) и общего IgE. Сохранялся низкий уровень IgM, снижение IgA, наблюдалось изменение в распределении субпопуляций Т-лимфоцитов: тенденция к снижению процентного содержания $CD4^+$-Т-лимфоцитов и повышению $CD8^+$-Т-лимфоцитов, что привело к снижению ИРИ, повышенного в дозовой группе > 0-10 нКu, и более выраженное повышение $CD16^+56^+$-лимфоцитов. **При активности $^{239}$Pu > 20-40 нКu**, по сравнению со всеми предыдущими группами, наблюдалось снижение показателей Т-клеточного звена, достоверно – ИРИ. Выявлено значительное повышение значений $CD16^+56^+$-лимфоцитов, NK-Т и общего IgE. В сопоставлении с группой персонала, не содержащего $^{239}$Pu, ИС отличался тенденцией к повышению абс. значений лимфоцитов, цитотоксических $CD16^+56^+$, NK-Т-клеток, уровня общего IgE и снижению сывороточных IgM, IgA. **При активности $^{239}$Pu > 40 нКu,** в сопоставлении с группой персонала, не содержащего в организме $^{239}$Pu, ИС отличался достоверным снижением IgA и В-лимфоцитов (%) и тенденцией к снижению лимфоцитов, абс. значений Т-клеточного звена, значительным повышением NK-Т и $CD16^+56^+$-лимфоцитов, тенденцией к повышению IgM и общего IgE и снижению IgG.

Зависимость изменения (↑↓) параметров ИС от накопления в организме $^{239}$Pu характеризовалось наличием дисбаланса с наибольшей частотой снижения $CD8^+$-Т-лимфоцитов и повышения лимфоцитов – при содержании $^{239}$Pu > 0-10 нКu; снижения $CD3^+$-, $CD4^+$-Т-лимфоцитов – при дозах > 10-20 нКu; повышения $CD16^+56^+$, $CD4^+$-Т-лимфоцитов и ослабление экспрессии $CD95^+$ при накоплении $^{239}$Pu > 40 нКu. С увеличением дозы внутреннего облучения от инкорпорированного $^{239}$Pu линейно возрастали доли лиц с повышением $CD16^+56^+$-лимфоцитов и снижением $CD95^+$.

# ОЦЕНКА ЧАСТОТЫ И СТРУКТУРЫ ВРОЖДЕННЫХ ПОРОКОВ РАЗВИТИЯ У НАСЕЛЕНИЯ, ПРОЖИВАЮЩЕГО В РЕГИОНЕ РАЗМЕЩЕНИЯ АЭС, В СВЕТЕ НОВЕЙШИХ ДАННЫХ О РАДИАЦИОННО-ИНДУЦИРОВАННОЙ ПРИРОДЕ РАЗВИТИЯ ВПР

*В.А. Осипов, А.М. Лягинская, , И.М. Петоян, А.П. Ермалицкий, Н.М. Карелина*
ГНЦ РФ - Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна ФМБА России, Москва, Россия,
Slava.1812@yandex.ru

В области радиационной генетики человека до 2007 г. (выхода Публикации МКРЗ №103) основные исследования были направлены на выявление и оценку в популяциях радиационно-индуцированных наследственных, так называемых менделевских эффектов, вызываемых мутациями единичных генов и реципрокными транслокациями в хромосомах. В 2007 г. вышла Публикация №103 МКРЗ, в которой признавалась генетическая природа радиационно-индуцированных врожденных пороков развития (ВПР) другой, не моногенной (наследственной) природы, которые в спонтанных случаях относятся к многофакторным, составляющих порядка 50% всех случаев ВПР, регистрируемых у детей при рождении. Эта концепция обусловливает особую актуальность исследования частоты и структуры ВПР у детей лиц, профессионально контактирующих с источниками излучения.

Целью настоящей работы явилось определение общей частоты и структуры ВПР у новорожденных детей в семьях мужчин-персонала основных цехов Смоленской АЭС и населения, проживающего в регионе размещения АЭС.

Материалом изучения служили данные медицинских индивидуальных карт «История родов» (форма 096/у) и «История развития новорожденного» (форма 097/у) в г. Десногорске за период 1989-2012 гг.

Результаты настоящего исследования показали, что, общая частота рождения детей с пороками развития (в т.ч. и с малыми аномалиями развития) в семьях мужчин-персонала АЭС в период 1989-2012 гг., была статистически достоверно выше, по сравнению с аналогичным показателем в группе контроля и составляла 71,5±7,3 и 53,3±6,2 на 1000 новорожденных соответственно. Частота рождения детей только с ВПР или только с малыми аномалиями развития в семьях персонала также была выше (хотя и статистически не достоверно), по сравнению с контрольной группой и составляла соответственно: 45,0±5,9 и 34,0±5,0 на 1000 детей с ВПР, и 31,3±4,9 и 21,6±4,0 на 1000 детей с малыми аномалиями. Соотношение частоты «больших» и «малых» аномалий развития в группе детей персонала и в контрольной группе было практически одинаковым и составляло 62,9% и 37,1%, и 63,8% и 36,2% соответственно.

В общей структуре ВПР частота 9 тяжелых и «легко» выявляемых форм ВПР с высоким вкладом мутационной (наследственной) компоненты у детей из группы персонала и из контрольной группы практически не отличалась и составляла соответственно 7,2±2,4 и 7,0±2,3 на 1000, что не превышает международные показатели - 5,9-7,4 на 1000. Частота 21 формы обязательного учета ВПР, согласно приказу Минздрава РФ № 286 от 10.09. 1998 г., у детей из группы персонала и контрольной группы также статистически не различалась и составляла 14,5±3,4 и 16,2±3,6 на 1000 соответственно. Избыточная частота ВПР в группе детей персонала была обусловлена долей многофакторных ВПР. Эти результаты согласуются с концепцией Публикации МКРЗ №103 относительно механизма радиационно-индуцированных ВПР у человека. Согласно этой концепции неблагоприятные эффекты облучения гонад у человека, скорее всего, будут представлены мультисистемными аномалиями развития, которые формально называются «многофакторными врожденными пороками».

# ГЕНОТОКСИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ ПРИРОДНЫХ ИСТОЧНИКОВ ИОНИЗИРУЮЩЕЙ РАДИАЦИИ В ЛИМФОЦИТАХ ПЕРИФЕРИЧЕСКОЙ КРОВИ И БУККАЛЬНОМ ЭПИТЕЛИИ ГОРНЫХ РАБОЧИХ

*Д.А. Петрашова, В.В. Пожарская, Н.К. Белишева*
Кольский научный центр РАН, Научный отдел медико-биологических проблем адаптации человека в Арктике, Апатиты, Россия,
petrashova@admksc.apatity.ru

Целью данного исследования являлась оценка цито- и генотоксических эффектов природных источников ионизирующего излучения с помощью микроядерного теста на лимфоцитах крови и буккальном эпителии горняков, пребывающих под землей в условиях смешанного ионизирующего излучения.

Материал исследования: образцы лимфоцитов периферической крови и буккального эпителия горняков, работающих под землей в условиях повышенной концентрации радона (Мурманская область). Взятие материала проводилось в рамках ежегодного медицинского осмотра работников горнорудного производства. Группа испытуемых состояла из 240 мужчин, в возрасте 21-68 лет, стаж работы 1-50 лет. Данные получены в результате анализа образцов биологического материала 25 испытуемых в возрасте 37-64 лет, стаж работы не менее 10 лет. Для определения генотоксических эффектов производственной среды в клетках лимфоцитов горнорабочих был использован микроядерный тест с цитокинетическим блоком в присутствии цитохалазина Б. Взятие образцов буккального эпителия и процедуры приготовления препаратов проводили в соответствии с методикой, описанной в работе Мейер и др.(2010). Содержание двуядерных лимфоцитов с микроядрами и клеток буккального эпителия с генетическими и цитологическими особенностями оценивали на основе анализа не менее 1000 клеток на каждом препарате. с применением микроскопа AXIOSTAR PLUS (Karl Zeiss, Германия) (об.15 х ок.40, 100).

Анализ препаратов лимфоцитов периферической крови человека показал, что среднее число двуядерных клеток без идентифицированных нарушений, составляет 958.5±3.9 на 1000 двуядерных клеток (90-98%). Среднее число лимфоцитов с микроядрами (МЯ) достигало 25,4±2,4 клеток (1-5%), что значительно превышает соответствующие значения для жителей российских городов – от 8,6 до 17,7. При сравнении среднего числа двуядерных лимфоцитов с МЯ установлено увеличение их числа в 1,6-1,7 раза у горняков со стажем 20-40 лет по сравнению с мужчинами, работающими в условиях хронического воздействия ионизирующего излучения меньшее время (26,0±7,6 при стаже 20-25 лет против 15,1±2,5 при стаже 10-19 лет).

Анализ клеток буккального эпителия у горняков показал, что в исследуемой группе наблюдается более низкое число клеток с нормальным ядром относительно контрольной группы (37.7±2.28% против 58.70±5.09%), превышение относительно контроля почти в 2 раза клеток с кариолизисом (42.4±3.15% против 27.02±3.84%), значительное превышение клеток с кариорексисом (12.0±2.86% против 0.38±0.18%) и 20 кратное превышение двуядерных клеток (0.3±0.05% против 0.016±0.016%).

Резкое возрастание двуядерных клеток буккального эпителия в группе горняков по сравнению с контрольной группой может свидетельствовать о воздействии ионизирующей радиации на процесс цитокинеза, нарушение которого может приводить к появлению многоядерных клеток. Присутствие микроядер в лимфоцитах свидетельствует о повреждении хромосом, поскольку известно, что микроядра являются небольшими структурами, образующимися в результате отставания хромосом и их фрагментов в процессе митотического деления

# ИЗМЕНЕНИЕ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ЖИЗНИ ОСОБЕЙ *DROSOPHILA MELANOGASTER* С РАЗЛИЧНОЙ АКТИВНОСТЬЮ ГЕНОВ РЕПАРАЦИИ ДНК В УСЛОВИЯХ ГАММА-ОБЛУЧЕНИЯ

*Е.Н. Плюснина*[1,2], *Л.А. Шилова* [1], *Н.В. Земская* [1,2], *А.А. Москалев* [1,2,3]

[1] Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, Россия,
ekaterina.plyusnina@gmail.com

[2] Сыктывкарский государственный университет, Сыктывкар, Россия,

[3] Московский физико-технический институт, Долгопрудный, Россия.

Цель работы – исследовать роль генов, участвующих в распознавании повреждений ДНК (гомологи *HUS1, CHK2, ATM, ATR, p53*), эксцизионной репарации оснований и нуклеотидов (гомологи *PCNA, XPC, XPF, RRP1, GADD45*), репарации двунитевых разрывов ДНК (гомологи *BRCA2, BLM, WRN, RAD50, RAD54, XRCC3, Ku80*) в регуляции продолжительности жизни (ПЖ) и радиоустойчивости особей *Drosophila melanogaster*.

Особей линии дикого типа *Canton-S* и мух с гомо- и гетерозиготными мутациями в генах распознавания и репарации повреждений ДНК подвергали различным режимам облучения: 1) хроническому (10 сут) γ-облучению в дозе 40 сГр от источника с $^{226}$Ra на предимагинальных стадиях развития; 2) острому (30 мин) γ-облучению в дозе 30 Гр от источника с $^{60}$Co сразу после вылета имаго; 3) последовательное воздействие обеими дозами. Хроническое воздействие γ-излучения в дозе 40 сГр индуцировало эффект радиационного гормезиса (РГ) и радиоадаптивный ответ (РАО) на острое воздействие в дозе 30 Гр у дрозофил дикого типа. В то же время у особей с мутациями в генах репарации ДНК РГ и РАО отсутствовал либо проявлялся в меньшей степени. Полученные результаты говорят о важной роли исследуемых генов в формировании ответа на радиационное воздействие в малых дозах. Феномен РГ и РАО связан с активацией защитных систем клетки и организма с помощью адаптирующего радиационного воздействия в малой дозе. В пользу такого объяснения говорят полученные нами данные по экспрессии генов распознавания и репарации повреждений ДНК. После хронического γ-облучения в дозе 40 сГр у дрозофил линии дикого типа *Canton-S* наблюдали повышение активности генов репарации ДНК в 1.7-2.2 раза по сравнению с необлученными мухами. Для гомологов генов *ATM, PCNA, XPF, BLM* данный эффект сохранялся до конца жизни. Мы предположили, что сверхэкспрессия генов репарации ДНК также может повысить эффективность восстановления повреждений ДНК и радиоустойчивость организма. Исследовали изменение ПЖ дрозофил с повсеместной кондиционной (мифепристон-индуцибельной) сверхэкспрессией генов репарации ДНК после острого (30 мин) γ-облучения в дозе 30 Гр. Сверхактивацию генов проводили с использованием системы GAL4/UAS. Повышенная активность генов репарации ДНК снизила ПЖ дрозофил и в большинстве случаев не приводила к повышению устойчивости к действию γ-излучения в дозе 30 Гр.

Таким образом, нарушение активности генов ответа на повреждение ДНК приводит к существенному снижению ПЖ и радиоустойчиовсти животных. Однако повышение активности генов распознавания и репарации репарации ДНК путем введения их дополнительных копий не только не оказывает адаптирующего влияния, но и приводит к негативным последствиям. Следовательно, поиск геро- и радиопротекторных методов и средств требует дальнейших исследований.

Работа поддержана грантом Президиума РАН № 12-П-4-1005 «Экологическая генетика продолжительности жизни модельных животных (*Drosophila melanogaster, Mus musculus*)», грантом РФФИ № 14-04-01596, грантом Президента РФ № МД-1090.2014.4 и молодежным грантом УрО РАН № 14-4-НП-103.

# ИММУНОЛОГИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ ОТ ВНЕШНЕГО РАДИАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ У ПЕРСОНАЛА СИБИРСКОГО ХИМИЧЕСКОГО КОМБИНАТА (СХК)

*Т.Т. Радзивил*[1], *И.В. Орадовская*[2]
[1]Сибирский федеральный научно-клинический центр ФМБА России, Северск, Россия,
[2]ГНЦ «Институт иммунологии» ФМБА России, Москва, Россия,
tradzi@mail.ru

Проанализированы показатели иммунного статуса (ИС) персонала СХК, подвергающихся воздействию ионизирующего излучения (ИИ) от внешних источников. Обследовано 468 человек, в том числе 252 человека, не имеющих дозовых нагрузок (0 мЗв) и 216 человек с дозами облучения > 0-100 мЗв и свыше 100 мЗв. По сравнению с контролем, во всех дозовых группах выявлялась общая тенденция в изменении ИС. Она характеризовалась наличием диссоциации в относительных и абсолютных показателях Т-клеточного звена, В-лимфоцитов и $CD16^+56^+$-клеток с повышением абс. значений, достоверным повышением лимфоцитов, NK-Т-клеток и индекса иммунорегуляции, а также снижением $CD8^+$-Т-лимфоцитов, уровня сывороточных IgM и IgA и ослаблением экспрессии маркеров $CD95^+$, $HLA\text{-}DR^+$.

Отличительной особенностью ИС персонала, не имеющего дозовых нагрузок (**0 мЗв**), в сопоставлении с контролем, кроме общих закономерностей, было снижение процентного содержания показателей Т-клеточного звена, достоверно $CD3^+$-, $CD8^+$-Т-лимфоцитов. При **облучении в дозах > 0-25 мЗв** относительные значения $CD3^+$-, $CD4^+$-Т-лимфоцитов соответствовали контролю, выявлялась тенденция к снижению $CD8^+$-Т-лимфоцитов (%) и большему повышению абс. значений Т-клеточного звена. По отношению к персоналу с отсутствием дозовой нагрузки, определялось достоверное повышение $CD4^+$-Т-лимфоцитов. Фенотип ИС отличался умеренной активацией клеточного звена, тенденцией к снижению $HLA\text{-}DR^+$ и повышению общего IgE. ИС персонала **при дозах облучения > 25-50 мЗв**, по отношению к группе с отсутствием дозовой нагрузки, отличался достоверным повышением $CD3^+$-, $CD4^+$-Т-лимфоцитов (%) и уровня IgG. Фенотип ИС отличался умеренной активацией Т-клеточного звена, тенденцией к снижению $CD16^+56^+$-клеток (%), $HLA\text{-}DR^+$, сывороточного IgA и общего IgE и к повышению NK-Т-клеток, $CD95^+$, В-лимфоцитов. **При дозах облучения > 50-100 мЗв,** кроме характерных отклонений по отношению к контролю, наблюдалось достоверное снижение лейкоцитов, что не отмечено ни в одной дозовой группе. По отношению к персоналу с отсутствием дозовой нагрузки, определялось достоверное снижение лейкоцитов, абс. значений лимфоцитов, $CD8^+$-Т-, $CD19^+$-В-лимфоцитов, повышение $CD4^+$-Т-лимфоцитов (%), $CD95^+$ и общего IgE. Фенотип ИС отличался наиболее низкими значениями цитотоксических $CD8^+$-Т-лимфоцитов, усилением экспрессии $CD95^+$, по сравнению с другими группами (но сниженными, по отношению к контролю) и высоким уровнем общего IgE. Отличительной особенностью ИС персонала **при облучении > 100 мЗв** являлось достоверное повышение $CD16^+56^+$-лимфоцитов (%) и общего IgE по отношению к персоналу с отсутствием дозовой нагрузки и наиболее высокая частота повышения IgE > 1000 МЕ (8,93%; 5:56).

Динамика частоты отклонения параметров ИС характеризовалась непрерывным нарастанием долей лиц с повышением $CD4^+$-Т-лимфоцитов с увеличением дозы облучения в диапазоне до 100 мЗв с тенденцией к снижению при облучении > 100 мЗв; также возрастанием долей с повышением $CD16^+56^+$-клеток и общего IgE с увеличением дозы облучения, кроме доз >25-50 мЗв. В диапазоне этих доз нарастает частота снижения экспрессии маркера HLA-DR (%) и снижаются доли лиц с недостаточностью $CD8^+$-Т-лимфоцитов при сопоставимом уровне в других дозовых группах. Таким образом, у персонала СХК, подвергающегося лучевым нагрузкам от внешних источников ИИ, выявляются признаки активации Т-лимфоцитов и NK-клеток.

# ЦИТОГЕНЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЛИМФОЦИТОВ КРОВИ – ЗНАЧЕНИЕ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ И ПРИКЛАДНЫХ ПРОБЛЕМ РАДИОБИОЛОГИИ

*Г.П. Снигирёва*[1], *А.А. Иванов*[2,3]

[1]Российский научный центр рентгенорадиологии Минздрава России, Москва, Россия, sni_gal@mail.ru

[2]ГНЦ РФ - Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия,

[3]ГНЦ РФ - Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна ФМБА России, Москва, Россия,

a1931192@mail.ru

Радиационное поражение генетического аппарата клеток человека и животных лежит в основе развития большинства ближайших и отдалённых последствий воздействия ионизирующего излучения (*Дубинин, 1961, Бочков, 1971, Шевченко, 1985, Севанькаев и соавт., 1995, Воробцова, 2006, Снигирева, 2014*). В ряде случаев обнаружение специфических хромосомных повреждений в лимфоцитах периферической крови является единственным и наиболее достоверным признаком радиационного воздействия на организм (*Дубинина, 1977, Пяткин, Нугис, 1988, Bender et al, 1988, Obe, 2007*). Изменение частоты хромосомных аберраций подчиняется строгой дозовой зависимости в широком диапазоне доз облучения, воздействовавшего на человека, включая диапазон малых доз радиации.

Повреждение генетического аппарата клетки, которое проявляется на уровне структурных перестроек хромосом, лежит в основе радиационного канцерогенеза (*Bonassi, 1999, Rossner et al., 2005*).

Оценка уровня хромосомных аберраций после воздействия различных видов ионизирующего излучения с варьированием по показателю линейной потери энергии (ЛПЭ) позволяет определять значение их относительной биологической эффективности (ОБЭ). При этом установлен переменный характер значения ОБЭ в зависимости от диапазона доз, а также мощности дозы излучения (*Даренская, 1968, Prosser et al., 1983, Tanaka et al., 1994, Федоренко, 2006*).

Исследование in vitro радиочувствительности хромосомного аппарата позволяет с достаточно высокой степенью достоверности прогнозировать уровень радиочувствительности организма в целом.

Цитогенетический анализ позволяет решать задачи радиационной фармакологии, включая оценку эффективности и механизма действия противолучевых препаратов (*Дурнев и соавт., 1998*).

Особое место цитогенетический анализ занимает в космической радиобиологии, поскольку является единственным способом регистрации факта и интенсивности воздействия космического излучения на организм космонавтов (*Obe et al., 1997, 1999, Fedorenko et al., 2001, 2002, Snigireva et al., 2013*).

Цитогенетический анализ длительно сохраняющихся после облучения в лимфоцитах крови человека хромосомных аберраций оказывает существенную помощь в работе экспертных советов при установлении факта облучения человека.

# ВКЛАД КОГНИТИВНОЙ ХЕМОСИГНАЛИЗАЦИИ У МЫШЕЙ В ЗАВИСИМУЮ ОТ ГЕНОТИПА ДИСТАНЦИОННУЮ КОРРЕКЦИЮ ПОСТРАДИАЦИОННЫХ НАРУШЕНИЙ ИММУНИТЕТА

*Б.П.Суринов, В.Г.Исаева, Л.П.Жовтун, Н.Н.Духова*
Медицинский радиологический научный центр Минздрава РФ, Обнинск, Россия,
surinov@mrrc.obninsk.ru

Ранее показано, что воздействие ионизирующей радиации в сублетальных дозах на лабораторных мышей индуцирует выделение с мочой отсутствующих в норме летучих веществ, которые обладают повышенной аттрактивностью для интактных особей (Суринов и др., 1997-2007). В свою очередь, облученные мыши повышают свою аттрактивность к хемосигналам интактных мышей, что сопровождается дистанционной коррекцией пострадиационных нарушений иммунной реактивности (Суринов и др., 2008). Указанные данные получены на самцах мышей линий СВА и С57Bl6. Как в аттрактивности, так и в иммунной стимуляции имело значение соотношение генотипов доноров и реципиентов летучих выделений – предпочтительными являлись выделения сингенных особей.

В случае межполовых реакций облученных мышей-самок и интактных самцов линий СВА и С57Bl6 наблюдалась более сложная картина. В отличие от облученных самцов, у облученных самок стимулирующие иммунную реактивность эффекты естественных хемосигналов интактных сингенных самцов проявляются в более поздние сроки – 7 суток после облучения. В ранние сроки – 3 сутки – наблюдалось даже снижение иммунной реактивности. Такие особенности объясняются тем, что хемосигнализация в физиологических условиях регулирует репродуктивную активность, для которой приоритетным является участие аллогенных самцов и самок. Вероятно, что относительная устойчивость репродуктивных процессов к радиационному воздействию проявляется в ранние сроки после облучения в виде конкуренции с иммунной реактивностью. Позднее, с развитием репаративных процессов, иммунная реактивность становится более чувствительной к эффектам хемосигнализации.

Более яркие межполовые эффекты хемосигнализации наблюдались в модификации поведенческих реакций. Известно, что в норме мыши-самцы в соответствии с репродуктивными задачами проявляют аттрактивность к аллогенным самкам. После облучения самок поведение самцов изменяется на противоположное. В течение одной-двух недель привлекательными для интактных самцов становятся выделения облученных сингенных самок. Очевидно, что повышенная частота коммуникаций интактных самцов с облученными сингенными самками обеспечивает участие хемосигнализации в коррекции пострадиационных нарушений иммунной реактивности. Аналогичные явления наблюдались и у беспородных животных. В этом случае имела место повышенная аттрактивность облученных мышей-самцов к полученным до облучения выделениям «своей» группы или выделениям самок, к которым были адаптированы самцы до их облучения. Такие поведенческие реакции сочетались с коррекцией клеточности крови у облученных в сублетальной дозе мышей «своей» группы. Представленные данные свидетельствуют о том, что в условиях воздействия ионизирующей радиации хемосигнализация участвует в когнитивных процессах – распознавании животными генотипа облученных особей, стадии и глубины поражений. Таким образом, обеспечивается просоциальная модификация поведенческих реакций в группах, что реализуется в предпочтительности дистанционной коррекции нарушений иммунной резистентности и повышении выживаемости близкородственных особей или членов «своей» группы, «своего гнезда».

# РЕАКЦИЯ ИММУННОЙ СИСТЕМЫ НА ГАММА-ОБЛУЧЕНИЕ В МАЛЫХ ДОЗАХ

*М.А.Тамбовский, Р.И. Гайсин*
Казанский кооперативный институт, Казань, Россия,
maksimka_81@bk.ru

Действие малых доз радиации на иммунную систему и механизмы ее гомеостаза, реализующие защитные и адаптационные процессы организма изучены недостаточно. Имеющиеся по этой проблеме данные немногочисленны и противоречивы. Поэтому проблема действия малых доз ионизирующих излучений на систему иммунитета требует дальнейшего изучения как в плане исследования эффектов этого воздействия, так и механизмов их реализации на различных уровнях.

Исследования проведены на белых крысах живой массой 180-200 г в двух сериях опытов.

Облучение животных проводили на гамма-установке «Пума» (источник цезий-137) в суммарной дозе 1,0 Гр при мощности дозы $5{,}59 \times 10^{-8}$ Кл(кг*с) (0,013 Р/мин).

Лимфоциты периферической крови белых крыс выделяли центрифугированием в градиенте плотности фикол-верографина с последующим отмыванием культуральной средой и доводили до конечной концентрации $10^7$ клеток в 1 мл.

Количество циркулирующих Т-лимфоцитов определяли методом спонтанного розеткообразования с эритроцитами барана.

Число лейкоцитов и лимфоцитов в периферической крови белых крыс определяли по общепринятым методикам.

Содержание иммуноглобулинов основных классов в сыворотке крови оценивали методом радиальной иммунодиффузии в геле.

Установлено, что внешнее облучение белых крыс в дозе 1,0 Гр приводит к изменению у экспериментальных животных ряда параметров клеточного и гуморального иммунитета, в числе которых тенденция к увеличению абсолютного (на 47,2%) и относительного количества лимфоцитов и Е-розеткообразующих клеток в периферической крови. Процентное содержание Т-клеток остается неизменным.

Чувствительными к малым дозам облучения оказались и показатели системы гуморального иммунитета. Количество сывороточного иммуноглобулина М превышало таковое в контроле 25,7%.

Содержание в сыворотке крови опытных животных иммуноглобулинов класса G существенно не отличалось от контрольных значений, класса А – превышало таковое в контроле на 13,5 %.

Таким образом, действие общего внешнего гамма-облучения на организм характеризуется нарушением кооперативного взаимодействия лимфоидных и нелимфоидных клеток в ходе формирования иммунологической реактивности.

# ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ ГЕРПЕТИЧЕСКОЙ ИНФЕКЦИИ У ЛИЦ, ПРОЖИВАЮЩИХ В ЗОНЕ УРАНОВЫХ ХВОСТОХРАНИЛИЩ

*Р.Р. Тухватшин, А.А. Исупова, А.А. Койбагарова*
Кыргызская государственная медицинская академия им. И.К. Ахунбаева,
Бишкек, Кыргызстан,
rtuhvatshin@gmail.com

**Цель исследования.** Изучить особенности патогенеза развития латентной герпетической инфекции на организм людей, проживающих в зоне урановых хвостохранилищ с учетом особенностей иммунного гомеостаза и данных экспериментального моделирования.

Под наблюдением находилось 320 человек, из которых 200 человек проживали в пгт. КаджисайКыргызской Республики и 120 человек в г. Бишкек, они составили группу сравнения. Был проведен развернутый иммунологический анализ с определением показателей клеточного и гуморального иммунитета, а также показателей неспецифической резистентности. В эксперименте было использовано 120 животных (крысы), средней массой 180-200 гр.

Герпес вызывали в/б введением 0,25 мл жидкости из везикул от больного с герпесом.

Животные per. os. получали радионуклиды урана из расчета 1 мг/кг веса в течение 30 дней. Гипоксическую тренировку осуществляли в климатической барокамере (ЦНИЛ КГМА) на высоте 6 тыс. м над ур. моря по 6 часов в день на протяжении 30 дней.

Определялись биохимические показатели крови на современном анализаторе Screen master.

При обследовании лиц, проживающих вблизи урановых хвостохранилищ, установлена персистенция вирусной нагрузки в организме, которая проявлялась положительными титрами противогерпетических антител IgG и частично IgM в периферической крови. Клинически острая герпетическая инфекция в основном характеризовалась тяжелым течением и различными осложнениями (геморрагическая, зостериформная, язвенно-некротическая формы вирусной инфекции), а у проживающих на территориях, свободных от радионуклидов, – наличием различных клинических форм. Впервые установлено, что у лиц с латентной инфекцией, проживающих вблизи урановых хвостохранилищ, наблюдается значительное снижение общего пула Т-лимфоцитов и дисбаланс их субпопуляций, особенно Т-хэлперов (CD-4) со статистически недостоверным увеличением количества В-лимфоцитов (СД19), что указывало на развитие вторичного иммунодефицита.

При экспериментальном исследовании течения острой герпетической инфекции на крысах с одновременным введением радионуклидов урана выявлены нарушения как углеводного, так и холестеринового обмена, белковосинтетической функции печени, которые сопровождались снижением уровней глюкозы, холестерина, общего белка. Белково-синтетическая функция печени и выделительная почек у экспериментальных животных была нарушена в большей степени в тех случаях, когда последние получали радионуклиды урана в условиях гипоксической тренировки на фоне герпетической инфекции.

Таким образом, проживание лиц в зоне урановых хвостохранилищ изменяет обычное течение герпетической инфекции, что подтверждается клиническими и иммунологическими исследованиями, а гипоксия не указывает защитного эффекта при заболевании животных герпесом.

# ПОЛНЫЙ МЕТА-АНАЛИЗ ИССЛЕДОВАНИЙ ЧАСТОТЫ ГЕННЫХ (ХРОМОСОМНЫХ) ПЕРЕСТРОЕК RET/PTC КАК ОСНОВА ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ПЕРВИЧНОГО МАРКЕРА РАДИОГЕННЫХ ПАПИЛЛЯРНЫХ КАРЦИНОМ ЩИТОВИДНОЙ ЖЕЛЕЗЫ

*Л.Н. Ушенкова, А.Н. Котеров, А.П. Бирюков*
ГНЦ Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна,
ФМБА России, Москва, Россия,
govorilga@inbox.ru

Исследование лучевой атрибутивности раков щитовидной железы (ЩЖ) у людей, подвергавшихся радиационному воздействию, не теряет своей актуальности в связи со все возрастающими дозами медицинского облучения и с непрекращающимися угрозами радиационных аварий и ядерного терроризма. Отсюда следует важность поиска биологических маркеров, позволяющих дифференцировать радиогенные опухоли ЩЖ от нерадиогенных с целью последующего получения профессиональных льгот, компенсаций и т.п. Наиболее обширные исследования генетических маркеров папиллярных карцином ЩЖ (основных радиогенные форм рака ЩЖ) были связаны с генными (хромосомными) перестройками RET/PTC (PTC — «Papillar Thyroid Cancer»), которые заключаются в образовании химерных конструкций между генами-донорами и тирозинкиназным доменом гена *RET*. С начала 1990-х гг. были проведены многочисленные исследования частоты перестроек RET/PTC в спорадических и лучевых раках ЩЖ, затронувшие минимум 28 стран мира (164 публикации по молекулярной эпидемиологии и 113 обзоров на начало 2014 г.). Однако эти усилия пока так и не привели ни к каким-либо статистически доказанными положениям, ни к однозначным выводам (а только к неким «представлениям»). Ничего значимого с позиции доказательной медицины для частоты RET/PTC в карциномах ЩЖ пока так и было не опубликовано.

В представленной работе проведен полный (охват источников порядка 100%; более 90% — оригиналы статей) мета-анализ публикаций по частоте RET/PTC суммарно (всех типов) и двух основных типов перестроек (RET/PTC1 и RET/PTC3) в папиллярных карциномах ЩЖ различных необлученных и облученных когорт. Проведена стратификация двух видов по бинарному принципу («дети» (до 17-ти лет) — «взрослые» и «необлученные» — «облученные»). Впервые за более чем 20 лет исследований в 28-ми странах мира получены эпидемиологически корректные, статистически достоверные различия между частотой RET/PTC в спорадических и радиогенных опухолях, а также для «детей» и взрослых. Практически впервые выявлена дозовая зависимость для частоты RET/PTC в радиогенных карциномах применительно к области эпидемиологии.

Полученные данные позволяют предложить некий конкретный репер (значение) для показателя частоты RET/PTC в папиллярных карциномах, развившихся во взрослом возрасте, в качестве первичного и отчасти «юридического» (Gonzalez A.J., 2011; НКДАР-2012) генного маркера лучевой атрибутивности. Чувствительность метода составила 50–61%, а специфичность —75%. Сравнение показателей теста, в том числе перекрывания 95% доверительных интервалов, с «табельным» методом диагностики диабета по уровню глюкозы в крови продемонстрировало не слишком высокое преимущество последнего.

Учитывая, что даже несовершенный маркер установления причинности при профессиональных воздействиях — это лучше, чем отсутствие маркера, указанный тест, основанный на определении частоты RET/PTC в опухолях ЩЖ для групп людей с предполагаемым радиационным воздействием, может оказаться весьма полезным.

# ТКАНЕСПЕЦИФИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПОЛИМОРФИЗМА ПРОСТЫХ ПОВТОРОВ ДНК У ПОТОМСТВА МЫШЕЙ РАЗНОГО ПОЛА, РОЖДЕННОГО ОТ ОБЛУЧЕННЫХ САМЦОВ ИЛИ САМОК.

*Л.А. Фоменко, М.Г.Ломаева, В.Г.Безлепкин*
[1]Институт теоретической и экспериментальной биофизики РАН, Пущино, Россия,
ludfom@rambler.ru

Представлены результаты исследований, свидетельствующие о различиях в уровне полиморфизма микросателлит (МКС)-ассоциированных повторов ДНК в соматических тканях потомков мышей BALB/c разного пола, рожденных от самцов или самок, облученных ионизирующей радиацией до зачатия потомства. Обычно анализ индуцированной трансгенерационной нестабильности генома (НСГ) проводится по результатам обследования общей выборки потомства. Наши эксперименты были выполнены на братско-сестринских группах потомков, рожденных одними и теми же родителями до и после облучения одного из них. Это дало возможность исключить дополнительную вариабельность от межсемейных различий. Методом ПЦР со случайно выбранным праймером (AP-PCR) выявлено, что уровень полиморфизма ДНК достоверно повышается у потомков самок, облученных в дозе 2 Гр (не нарушающей репродуктивную способность). У потомков самцов, облученных в такой же дозе, изменение уровня полиморфизма было недостоверным. Можно полагать, что повышенный уровень полиморфизма в соматических клетках потомства является следствием реализации нерепарированных или ошибочно репарированных повреждений генома половых клеток родителей. В литературе, в отдельных исследованиях, обращалось внимание на различие характера проявления эффектов облучения родителей у потомков разного пола. В плане расширения представлений о биологических основах феномена индуцированной трансгенерационной НСГ представляется актуальным выяснение характера его проявления у потомков разного пола, рожденных от отцов или матерей, подвергшихся воздействию ионизирующего излучения. В настоящем сообщении представляется фактический материал исследований, демонстрирующий различия в уровне полиморфизма МКС-ассоциированных повторов ДНК для нескольких тканей (головной мозг, селезенка, легкие, периферическая кровь и эпителий кончика хвоста) у потомков разного пола от преконцептивно облученных самцов или самок.

# ШИРОКОГЕНОМНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ АССОЦИАЦИИ ПОЛИМОРФНЫХ ЛОКУСОВ С ПОВЫШЕННОЙ ЧАСТОТОЙ ХРОМОСОМНЫХ АБЕРРАЦИЙ, ИНДУЦИРУЕМЫХ ХРОНИЧЕСКИМ РАДИАЦИОННЫМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ

*М.В.Халюзова*[1,2], *Н.В.Литвяков*[1,2], *Д.С.Исубакова*[1], *Е.Н.Альбах*[1], *А.Э.Сазонов*[1], *А.Б.Карпов*[1]

[1]Северский биофизический научный центр ФМБА России, Северск, Россия, mail@sbrc.ru

[2]НИ Томский государственный университет, Томск, Россия, rector@tsu.ru

Наиболее распространённым биоиндикатором радиационного воздействия считается уровень дицентрических и кольцевых хромосом в лимфоцитах периферической крови. Их повышенная индукция у отдельных индивидов при одинаковой дозе может служить показателем высокой степени радиочувствительности этих людей. Ранее нами было проведено широкогеномное исследование на микроматрице "Cancer_SNP_Panel" ("illumina") ассоциации 1 421 однонуклеотидного полиморфизма (SNP) с уровнем хромосомных аберраций у 86 работников Сибирского химического комбината (СХК), подвергавшихся хроническому внешнему облучению в дозах 100–300 мЗв. В результате было идентифицировано 28 SNP, ассоциированных с повышенной частотой кольцевых и дицентрических хромосом (Радиационная биология. Радиоэкология. 2013. Т. 53, № 2).

Целью этого исследования явилась валидация на независимой выборке работников СХК, подвергавшихся радиационному воздействию, связи выявленных SNP с повышенной частотой дицентрических и кольцевых хромосом. Валидацию проводили на выборке, состоящей из 654 облучённых работников СХК (средняя доза внешнего облучения – 160,9 ± 9,25 мЗв, медиана – 88,23 мЗв, интерквартильный размах – 21,2–213,6 мЗв). Для всех обследованных лиц был проведён стандартный цитогенетический анализ лимфоцитов периферической крови. Генотипирование геномной ДНК проводили методом ПЦР в режиме реального времени с праймерами оригинального дизайна. Ранее была проведена валидация 6 SNP и подтверждена связь с повышенной частотой дицентриков и кольцевых хромосом для 5 SNP: *INSR rs1051690*, *PCTP rs2114443*, *VCAM1 rs1041163*, *TNKS rs7462102*, *WRN rs1800389*.

В ходе настоящего исследования были изучены полиморфизмы *rs2288729*, *rs4227*, *rs2233679*, *rs2873950*. Было установлено, что минорные генотипы генов фактора активации протеаз апоптоза *APAF1 G/A rs2288729*; mannose-P-dolicholutilization defect 1 *MPDU1 A/C rs4227*; пептидил-пролил цис/транс изомеразы *PIN1 rs2233679* связаны с повышенной частотой возникновения кольцевых хромосом. У носителей мутантных генотипов по этим SNP частота кольцевых хромосом была выше в 1,8; 2,4 и 2,6 раза соответственно, чем у носителей мажорных и гетерозиготных генотипов. Ассоциацию полиморфизма гена серин-треониновой киназы *GSK3B T/G rs2873950* с повышенной частотой индукции кольцевых хромосом подтвердить не удалось.

Полученные результаты позволяют предположить, что валидированные SNP могут играть важную роль в формировании генетической компоненты индивидуальной радиочувствительности человека, а двухфазный дизайн с идентификацией при помощи микроматрицы или NGS и валидацией на независимой выборке представляет существенный интерес в плане возможности каталогизации генетических составляющих радиочувствительности.

# МЕТОД РЕТРОСПЕКТИВНОЙ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ДОЗИМЕТРИИ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА СТАБИЛЬНЫХ ХРОМОСОМНЫХ АБЕРРАЦИЙ В ЛИМФОЦИТАХ КРОВИ ЧЕЛОВЕКА

*Хвостунов И.К.*[1], *Шепель Н.Н.*[1], *Коровчук О.Н.*[1], *Голуб Е.В.*[1], *Нугис В.Ю.*[2]

[1]Медицинский радиологический научный центр Минздрава РФ, Обнинск, Россия,
726727@mrrc.obninsk.ru

[2]ГНЦ РФ - Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна ФМБА России, Москва, Россия,
nugisvju@list.ru

Ретроспективная биологическая дозиметрия на основе цитогенетического теста востребована, имеет специфическую область применимости и, в ряде случаев, незаменима. Имеется обширный опыт применения цитогенетического метода при различных радиационных авариях, неконтролируемых облучениях и нарушениях техники радиационной безопасности. Подобный опыт накоплен как в отечественных лабораториях, так и за рубежом. Для совершенствования практики применения цитогенетической биодозиметрии необходим сравнительный анализ и учет накопленного опыта. В первую очередь это относится к ретроспективной биодозиметрии на основе анализа стабильных аберраций (транслокаций). Цель настоящего исследования – анализ и обобщение накопленных данных для совершенствования практики применения ретроспективной биодозиметрии.

Для анализа была сформирована группа обследованных лиц, у которых кровь на цитогенетический анализ бралась как сразу после облучения, так и в отдаленном пострадиационном периоде. Накопленные в лаборатории радиационной цитогенетики (МРНЦ, Обнинск) результаты состояли из 14 анализов дицентриков стандартным методом в начальный период и 33 анализов транслокаций в отдаленном периоде методом FISH. Дозы острого облучения обследованных лиц варьировались в пределах 0.9 – 4. 0 Гр. Все они после облучения имели клинические признаки острой лучевой болезни от I до III степени. Начальная частота дицентриков в группе варьировалась в пределах 5.0 – 100 дицентриков на 100 клеток. Поздний анализ транслокаций проводился при селективной окраске 3-х хромосом в следующих комбинациях: (#2,#3,#5), (#2,#3,#8), (#2,#4,#12), (#1,#4,#11). Оценка частоты радиационно-индуцированных танслокаций производилась путем экстраполяции на полный геном по методу Lucas (1995) с учетом возрастного контроля по данным Sigurdson (2008). Для повышения статистической точности в анализируемую группу были включены результаты цитогенетического обследования пострадавших лиц в результате радиологического инцидента в Goiania, Бразилия (1987) и Tammiku, Эстония (1994). За счет этого данные пополнились на 17 анализов исходных дицентриков стандартным методом и 44 анализа транслокаций в отдаленном периоде методом FISH при селективной окраске 3-х хромосом в следующих комбинациях:(#1,#2,#4), (#1,#4,#12), (#1,#6,#11), (#3,#4,#8). Путем статистического анализа данных было получено безразмерное отношение начальной частоты дицентриков к индуцированным транслокациям в следующем виде $Y=Y_1 +(Y_0-Y_1)\exp(-t/T_1)$, где $Y_0 = (1.28\pm0.08)$, $Y_1 = (0.24\pm0.013)$ –начальная и отдаленная величина отношения, $T_1 = (1.96\pm0.33)$, лет – константа спада. Данное соотношение позволяет вычислить неизвестную начальную частоту дицентриков, имея результаты анализа транслокаций в отдаленном периоде и оценить статистическую погрешность частоты дицентриков. По начальной частоте дицентриков вычисляется поглощенная доза на все тело согласно рекомендациям МАГАТЭ (2011). В работе приводятся примеры применения разработанного метода, анализируются его точность и область применимости

# ВЛИЯНИЕ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ В ДИАПАЗОНЕ МАЛЫХ ДОЗ (10-40 сГр) НА ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ ЖИЗНИ И УРОВЕНЬ ЭКСПРЕССИИ ГЕНОВ У *DROSOPHILA MELANOGASTER*

*М.В. Шапошников*[1,2], *Д.О. Перегудова*[1], *Е.Н. Плюснина*[1,2], *А.А. Москалев*[1,2,3]
[1]Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, Россия,
mshaposhnikov@mail.ru
[2]Сыктывкарский государственный университет, Сыктывкар, Россия,
[3]Московский физико-технический институт государственный университет, Долгопрудный, Россия.

Ионизирующие излучения в малых дозах характеризуются широким спектром биологических эффектов, начиная от стимулирующих (адаптивный ответ, гормезис) и заканчивая негативными (гиперчувствительность, генетическая нестабильность). В формировании эффектов облучения в малых дозах участвуют такие механизмы стресс-ответа клетки, как защита от свободных радикалов, репарация ДНК, контроль клеточного цикла, программируемая гибель клетки. В основе ответа клетки на облучение могут лежать изменения активности специфических белков через модификации, изменение внутриклеточной локализации белков и изменение профиля экспрессии генов. Однако дифференцированный вклад молекулярно-клеточных процессов в эффекты, наблюдаемые на организменном уровне (изменение продолжительности жизни, плодовитости, стрессоустойчивости), практически не изучен. В то же время это именно те изменения, которые играют определяющую роль в приспособленности особи и популяции к условиям окружающей среды и являются интегральными показателями здоровья индивидуума. Задачи настоящей работы состояли в исследовании дозовой зависимости эффектов малых доз гамма-излучения (10, 20 и 40 сГр) на продолжительность жизни *Drosophila melanogaster*; анализе влияния малых доз гамма-излучения на уровень экспрессии генов методом количественной ПЦР в реальном времени (QRT-PCR); сопоставлении эффектов, наблюдаемых на молекулярно-генетическом и организменном уровне.

Объектами данного эксперимента были особи *Drosophila melanogaster* линии дикого типа *Canton-S* (Блумингтон, США). Мухи содержались при 25 °С и 12-часовом режиме освещения на дрожжевой питательной среде. Опытную группу мух подвергли воздействию гамма-излучения от источника $^{226}$Ra в дозе 10, 20 и 40 сГр на имагинальной стадии жизненного цикла. Мощность экспозиционной дозы составила 36 мГр/ч, время воздействия – 2 ч 47 мин, 5 ч 34 мин и 11 ч 8 мин, соответственно.

Ранее при анализе изменений транскриптома нами установлено, что ионизирующее излучение в дозе 20 сГр вызывает изменение уровня транскрипции генов *Sugarbabe* и *Tramtrak*, участвующих в контроле продолжительности жизни дрозофилы. В настоящем исследовании показано, что ионизирующее излучение в дозе 10 сГр вызывает увеличение продолжительности жизни самцов, тогда как в дозе 20 и 40 сГр – ее снижение. Продолжительность жизни самок увеличивается после действия излучения в дозе 40 сГр и не изменяется после 10 и 20 сГр. Уровень экспрессии гена *Tramtrack* у самцов снижается при дозе 40 сГр, у самок - увеличивается при дозе 10 сГр и снижается при дозе 40 сГр. Уровень экспрессии гена *Sugarbabe* у самцов увеличиваетя при дозе 10 сГр и снижается при дозе 40 сГр. У самок - увеличивается при дозе 20 сГр и снижается при дозе 40 сГр. Таким образом, радиационно-индуцированное изменение продолжительности жизни связано с изменением уровня транскрипции генов *Sugarbabe* и *Tramtrak*.

Исследования поддержаны целевой Программой РАН «Молекулярная и клеточная биология» № 12-П-4-1005.

# РОЛЬ МИКРОРНК, ВЛИЯЮЩИХ НА ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ Р53-ЗАВИСИМОЙ СИСТЕМЫ СОХРАНЕНИЯ СТАБИЛЬНОСТИ ГЕНОМА, В ФОРМИРОВАНИИ ОТДАЛЕННЫХ ПОСЛЕДСТВИЙ РАДИАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

*Л.В.Шуленина*
ГНЦ РФ - Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна ФМБА России, Москва, Россия,
Shulenina 2010@mail.ru

Одним из главных отдаленных последствий радиационного воздействия является появление опухолей, для которых типично состояние нестабильности генома. Р53-зависимая сигнальная система направлена на поддержание стабильности генома. Поэтому, для оценки риска лучевой онкотрансформации важным является длительное изучение динамики пострадиационных изменений состояния этой системы, которое зависит от активности онкосупрессора белка p53, воздействующего при помощи микроРНК на гены мишени. Основными белковым регуляторами содержания и активности онкосупрессора p53 в клетке является Е3 лигаза mdm2 и ее гомолог mdm4. mdm2 при взаимодействии с p53 инактивирует онкосупрессор и способствует его быстрой деградации. mdm4 инактивирует p53 и увеличивает время жизни mdm2 и p53. Для *miR34, miR16, miR 145* белок p53 является транскрипционным фактором. *MiR125* снижает содержание мРНК гена *p53*, *а* «онкомир» *mir21* препятствует p53-обусловленной остановке клеточного цикла и апоптозу.

Мы исследовали экспрессию генов *p53, mdm2, Mdm4* и содержание зрелых микроРНК *miR34, miR16, miR145*, являющихся супрессорами опухолей, а также «онкомиры» miR125 и *mir21* в костном мозге крыс-самок в течение 2-х лет после однократного кратковременного тотального облучения в дозе 2,5 Гр с помощью метода ПЦР в реальном времени.

Обнаружено, что в период до появления опухолей (75 сутки после облучения) в клетках костного мозга наблюдается увеличение *mir21* и снижение содержания мРНК генов *p53, mdm2,* а также микроРНК *miR34, miR16, miR 145*. На 315 и 550 сутки после облучения содержание мРНК генов *p53, mdm2, Mdm4* не отличалась от уровня контроля. Содержание онкосупрессора *miR 145* на 315 сутки было увеличено, а на 550 сутки – снижено. Уровень «онкомира» *miR125* на 315 сутки уменьшался, а на 550 сутки возрастал.

Установлена корреляционная связь между содержанием мРНК гена *p53* и уровнем мРНК генов *mdm2, mdm4*, а также зрелых микроРНК *miR34, miR125, miR145, miR16, mir21* у интактных крыс в клетках костного мозга через 75 и 315 сутки после начала опыта, а на 550 сутки, возможно, в связи со старением, эта связь исчезает. У облученных крыс корреляционные зависимости между активностью гена *p53* и микроРНК, участвующими в реализации действия транскрипционного фактора *p53* на гены-мишени, исчезают значительно раньше - уже на 315 сутки.

Полученные нами изменения показателей свидетельствуют о снижении эффективности функционирования *p53*-зависимого сигнального пути сохранения стабильности генома в периоде, предшествующему образованию опухолей молочных желез у крыс-самок на 75 сутки после облучения. Во время появления опухолей (315 и 550 сутки) выявлены изменения функционирования *p53*-зависимой системы.

# СЕКЦИЯ 3.

# МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ДЕЙСТВИЯ РАДИАЦИИ.
# РАДИОБИОЛОГИЯ ОПУХОЛЕЙ.
# ПРОБЛЕМЫ ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ.

# МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ВОЗРАСТАНИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ НЕЙТРОНОВ У ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ

*Н.К.Белишева*
Кольский научный центр РАН, Апатиты, Россия,
natalybelisheva@mail.ru

Космические лучи (КЛ), как источник ионизирующего излучения, обладают определенной спецификой, связанной с тем, что они представляют непрерывно варьирующий низко дозовый поток плотно- и низко-ионизирующей радиации электромагнитной и корпускулярной природы. Наибольшей биоэффективностью в потоке вторичных компонент КЛ обладают нейтроны, которые составляют около 90% адронов у поверхности Земли. Отсюда, возможные эффекты воздействия КЛ обусловлены в значительной мере частицами с высокой ЛПЭ, доза которых варьирует с циклами солнечной активности (СА) и в периоды спорадических вспышек на Солнце, сопровождающихся возрастанием интенсивности нейтронов у поверхности Земли (*Ground Level Enhancement - GLE* ).

Цель данного исследования состояла в выявлении медико-биологических последствий возрастания интенсивности нейтронов у поверхности Земли в контрастные годы СА и в период солнечных протонных событий, ассоциированных с GLE.

Материал исследования включал клеточные культуры, растущие in vitro, базу данных по врожденным порокам развития (ВПР) у детей (ФГУН «Северо-западного научного центра гигиены и общественного здоровья» Роспотребнадзора; г. Кировск, Мурманской области); материалы отчетов Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Мурманской области, данные по заболеваемости населения в РФ (Федеральная служба государственной статистики). Данные нейтронного монитора получены в ППГИ КНЦ РАН.

Доказательство присутствия частиц с высокой ЛПЭ в солнечных КЛ в период GLE (43, 44, 45) у поверхности Земли в октябре 1989 г. (19, 22, 24 октября). было получено на основе расчета каскадов частиц в атмосфере, выполненного с применением инструментария Geant 4 в приложении Planetocosmics, основанного на коде Монте-Карло, и экспериментального материала, демонстрирующего радиационные эффекты в клеточных культурах. Расчеты полного потока частиц с наибольшей биоэффективностью и амбиентного эквивалента дозы потоков нейтронов в различных диапазонах энергий показал, что в период 3-х случаев GLE амбиентный эквивалент дозы составил 217 мкЗв/см$^2$. Эта доза в 100 раз превышают фоновые значения и достаточна, чтобы привести к генетическим нарушениям в клетках человека. В спокойный период вариации интенсивности КЛ отражаются в динамике числа многоядерных клеток.

В работе показано, что распространенность случаев отдельных форм врожденных пороков развития у детей (ВПР) в высоких широтах возрастает в годы с GLE, а также в годы низкой СА. Кроме того, такие классы болезней как новообразования, болезни крови, кроветворных органов и др. связаны с возрастанием интенсивности КЛ у поверхности Земли. Полученные результаты показывают, что случаи GLE, ассоциированные с увеличением плотности потока частиц с жестким энергетическим спектром, могут инициировать повреждения ДНК в клетках человека. Возрастание заболеваемости населения РФ в годы низкой СА, сопровождающейся возрастанием интенсивности нейтронной компоненты КЛ, возможно, обусловлено сенсибилизацией организма к воздействию генотоксических агентов, при которой дополнительное приращение дозы ионизирующего излучения могло бы приводить к аддитивным эффектам.

**ЗНАЧЕНИЕ КИНЕТИКИ ПРОСТАТ-СПЕЦИФИЧЕСКОГО АНТИГЕНА У БОЛЬНЫХ РАКОМ ПРЕДСТАТЕЛЬНОЙ ЖЕЛЕЗЫ ПЕРЕД ДИСТАНЦИОННОЙ ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИЕЙ**

*О.А.Богомолов*, Г.М.Жаринов, М.И.Школьник*
Российский научный центр радиологии и хирургических технологий Минздрава РФ, Санкт-Петербург, Россия,
urologbogomolov@gmail.com

В настоящее время кинетика простат-специфического антигена (ПСА) используется в разных клинических ситуациях, в том числе, для оценки агрессивности рака предстательной железы (РПЖ). Однако по этой проблеме имеются противоречивые данные.

Цель исследования. Оценить клиническое и прогностическое значения времени удвоения простат-специфического антигена (ВУПСА), определенного до начала лечения, у больных РПЖ, подвергавшихся комбинированному гормонолучевому лечению.

У 912 больных РПЖ до начала лечения определено ВУПСА. Значения ВУПСА были сопоставлены с распространенностью процесса, суммой Глисона, исходным уровнем ПСА. Исходное ВУПСА сравнивалось с показателями выживаемости больных после гормонолучевого лечения. Больные с учетом распространенности опухоли были разделены на подгруппы, соответствующие медленному и быстрому ВУПСА. Для каждой подгруппы были построены кривые выживаемости с использованием метода Каплан-Майер. Различие кривых тестировалось с помощью log-rank-теста.

В группе локализованного рака медиана ВУПСА составила 24.5 мес. В группе местнораспространенного РПЖ значение медианы ВУПСА было 12.2 мес, при генерализованном РПЖ - 2.4 мес. Различия были достоверными ($p<0.00001$). Значение показателя Глисона было определено у 729 пациентов. Медиана ВУПСА у больных с суммой Глисона $\leq 6$ составила 20.8 мес. В группах с суммой Глисона 7 и 8-10 медианы ВУПСА были равны 9.0 и 3.85 мес соответственно. Группы достоверно отличались друг от друга ($p<0.00001$). При сравнении ВУПСА и исходного уровня ПСА также выявлены достоверные различия ($p<0.00001$). С увеличением значений ПСА медиана ВУПСА уменьшалась. Подтверждено прогностическое значение ВУПСА у больных РПЖ, подвергнутых комбинированному гормонолучевому лечению. По мере увеличения скорости роста ПСА выживаемость достоверно снижается. В группе больных локализованным РПЖ кривые выживаемости для подгрупп с быстрым и медленным ВУПСА статистически достоверно отличались друг от друга ($p<0.01$, log-rank). Сходные тенденции наблюдались у больных генерализованным РПЖ. Медиана выживаемости в подгруппах быстрого и медленного ВУПСА составили 23.4 и 49.1 мес соответственно. У пациентов с местнораспространенным РПЖ кривая выживаемости для медленного ВУПСА не достигала уровня медианы. Отличие от подгруппы быстрого ВУПСА было достоверным ($p<0.01$, log-rank). В настоящей работе на большом клиническом материале ($n=912$) показана корреляция между ВУПСА и степенью опухолевой прогрессии. По мере увеличения распространенности, снижения дифференцировки и нарастания исходного значения ПСА скорость роста ПСА увеличивалась. Таким образом, выявлена зависимость между исходной динамикой концентрации ПСА и степенью опухолевой прогрессии. Одним из результатов исследования является подтверждение прогностического значения ВУПСА у больных РПЖ. По мере увеличения скорости роста ПСА выживаемость достоверно снижается. На наш взгляд, исходная динамика концентрации ПСА является отражением фактической скорости роста опухоли у больных РПЖ.

# КОГНИТИВНЫЕ ФУНКЦИИ У ЛИЦ, ПОДВЕРГШИХСЯ АНТЕНАТАЛЬНОМУ ОБЛУЧЕНИЮ В ОТДАЛЕННЫЕ ПЕРИОДЫ ПОСЛЕ РАДИАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

*Е.Ю. Буртовая, М.В. Белова, Т.Э. Кантина, А.В. Аклеев*
Уральский научно-практический центр радиационной медицины ФМБА России,
Челябинск, Россия,
burt@urcrm.ru

История становления атомной промышлености на Южном Урале сопровождалась развитием радиационных аварий и инцидентов. Вследствие сброса радиоактивных отходов в реку Теча и аварии на ПО «Маяк» в 1957 году, жители пострадавших территорий подверглись хроническому радиационному воздействию в пределах малых доз. Особый интерес вызывают последствия антенатального радиационного воздействия на здоровье облученных лиц. Для оценки когнитивных функций лиц, подвергшихся радиационному воздействию в период внутриутробного развития, в течение 2011-2013 гг. обследовано 150 человек. Основную группу составили 77 антенатально облученных, дозовая нагрузка составила 0,09±0,06 Гр на красный костный мозг плода и 0,009±0,009 Гр на желудок плода (аналог мягкие ткани). Группу сравнения составили 73 человека, проживавшие на радиоактивно не загрязненных территориях Челябинской области. Сравниваемые группы были однородны и сопоставимы по гендерному, социальному, образовательному и возрастному критериям. В работе использованы клинический, клинико-психологический, инструментальный, лабораторный методы и метод статистической обработки материалов.

В обеих группа наиболее часто встречались жалобы на головные боли, головокружение, нарушение сна, снижение памяти на текущие события. В основной группе доминировали когнитивные и астенические нарушения (p=0,03). В группе сравнения преобладали проявления органических психических расстройств (шум в голове, ушах, плохая переносимость жары и духоты, тревога, потливость, сердцебиение).

Отмечена тенденция к увеличению числа случаев с клиническими признаками недостаточности кровообращения в бассейне правой средней мозговой артерии (правом полушарии головного мозга) в основной группе (p=0,06), достоверно чаще выявляли патологическую активность головного мозга (p=0,01), и преобладание на фоновой ЭЭГ патологического тета-ритма (p=0,04).

При оценке коэффициента интеллекта (IQ) у облученных лиц выявлен более низкий уровень общего (p=0,049) и вербального (p=0,015) интеллекта. Отмечено достоверно более высокое содержание кортизола (p=0,01) и сульфатоксимелатонина (p=0,03) у пациентов основной группы по сравнению с обследованными контрольной группы. Полученные данные свидетельствуют о напряжении адаптационных механизмов лиц, облученных в антенатальном периоде, более глубоком изменении активности головного мозга.

Указанные результаты демонстрируют необходимость проведения дополнительных исследований, направленных на изучение механизмов развития отдаленных психических расстройств, определение роли радиационного и нерадиационных факторов в генезе выявленной патологии.

# ВЫЯВЛЯЕМОСТЬ ЗАБОЛЕВАНИЙ С ВПЕРВЫЕ УСТАНОВЛЕННЫМ ДИАГНОЗОМ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ПЕРИОДИЧЕСКИХ МЕДИЦИНСКИХ ОСМОТРОВ (ПМО) РАБОТНИКОВ ПРЕДПРИЯТИЙ, ПРИКРЕПЛЕННЫХ НА МЕДИЦИНСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ К ЛПУ ФМБА РОССИИ

*А.Ю. Бушманов, А.П. Бирюков, Э.П.Коровкина, Н.Н.Бухвостова, А.С.Кретов*
ГНЦ РФ - Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна ФМБА России, Москва, Россия,
korovkina@fmbcfmba.ru

В настоящее время проблема оценки состояния здоровья работников, связанных с воздействием тех или иных вредных производственных факторов, является актуальной.

В соответствии с приказом Министерства здравоохранения и социального развития Российской Федерации № 302н от 12.04.2011 «Об утверждении перечней вредных и (или) опасных производственных факторов и работ, при выполнении которых проводятся предварительные и периодические медицинские осмотры (обследования), и порядка проведения обязательных предварительных и периодических медицинских осмотров (обследований) работников, занятых на тяжелых работах и на работах с вредными и (или) опасными условиями труда» в ЛПУ, подведомственных ФМБА России, проводятся периодические медицинские осмотры (ПМО) работников предприятий ряда отраслей промышленности, прикрепленных к ФМБА. В соответствии с приложением № 3 к приказу 302н составляются заключительные акты, в которых указываются хронические соматические заболевания с впервые установленным диагнозом по Международной классификации болезней – 10 (МКБ-10).

Нами был проведен анализ полученных при выборочном исследовании заключительных актов ЛПУ за 2011 год по результатам периодических медицинских осмотров (ПМО) работников ряда отраслей промышленности, прикрепленных на медицинское обслуживание к ЛПУ, подведомственных ФМБА России, а именно: Химпрома, Водного транспорта, Роскосмоса, Судпрома, Миноборонпрома, Росатома (включая АЭС). Рассчитывали выявляемость (на 1000 осмотренных) и структуру болезней (в %) впервые выявленных хронических соматических заболеваний во время ПМО в 2011 году у работников обследуемых отраслей.Анализ полученных показателей проведен в сравнении со средними показателями по ФМБА, полученными в настоящем исследовании, и аналогичными показателями по России.

Установлено, что при проведении ПМО в 2011 году в среднем у работников предприятий, обслуживаемых ЛПУ, подведомственных ФМБА России, заболеваемость с диагнозом, установленным впервые в жизни, составила 109,6 на 1000. По отраслям промышленности следует отметить достоверно меньшую выявляемость по Химпрому (43/1000), Роскосмосу (72,4/1000) по сравнению со средней по ФМБА (109,6/1000). Выявляемость впервые установленных заболеваний у работников Госкорпорации «Росатом» (101,1/1000) была близка к средней по ФМБА .

При анализе выявляемости по классам МКБ-10 наблюдается следующая картина: на первом месте - болезни системы кровообращения: (20,9%). на втором - болезни глаз: (11,7%), далее - болезни органов пищеварения - (8,9%) и заболевания костно-мышечной системы-(8,6%).

**БИОЭФФЕКТЫ ОБЕДНЕННОГО УРАНА В МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЯВЛЕНИЯХ.**

*Воронцова З.А.,*[1] *Афанасьев Р.В.,*[2] *Зуев В.Г.*[2]
[1]Воронежская государственная медицинская академия им. Н.Н. Бурденко, кафедра гистологии, Воронеж, Россия,
z.vorontsova@mail.ru
[2]ГНИИИ военной медицины МО РФ, Москва, Россия.

Изучение воздействия радионуклидов на организм остается актуальным. Применение обедненного урана в различных видах вооружения и танковой брони при испытаниях или конфликтах стали причиной многочисленных жалоб на состояние здоровья как военнослужащих, так и мирного населения соответствующих территорий. Феномен тромбоцитопенического синдрома можно отнести к поражающему эффекту инкорпорированного водного раствора урана на паренхиму печени, что было констатировано в условиях эксперимента на 180 белых лабораторных крысах-самцах при однократном пероральном его применении в дозе 0,1 г на 100 г массы. Анализ паренхимы печени по ядерному тесту констатировал перестройку ядер гепатоцитов преобладанием в них гетерохроматина и определил максимально обусловленный риск поражения спустя три мес после однократного применения обедненного урана. Фиброзирование паренхимы печени, возникновение инфильтратов в портальных зонах и паренхиме ацинусов констатировало стабильный эффект однократного воздействия в хронодинамике отдаленных последствий эксперимента. Качественные и количественные методы оценки исследуемых критериев с разнообразием подходов после однократного перорального введения водного раствора оксидов обедненного урана предполагают кумулятивный радиотоксический характер поражения пролонгированностью изменений структурно-функциональных долек – ацинусов и определяют морфофункциональное состояние печени как необратимое. По данным отечественной и зарубежной литературы нарушение продукции тромбопоэтина при печеночной недостаточности определяется как ведущий и едва ли не единственный механизм возникновения тромбоцитопении. Учитывая контакт тромбопластинок с системой гуморального иммунитета при рассмотрении морфофункционального состояния селезенки были обнаружены мегакариоциты в красной пульпе, как дополнительный экстрамедуллярный очаг по производству тромбопластинок, чтобы компенсировать утрату. Мегакариоциты располагались одиночно или группами, причем групповых образований было больше в два раза, но число тех и других достоверно преобладало спустя три месяца после воздействия обедненного урана. Возрастной контроль показал незначительную динамику соотношения белой и красной пульпы с увеличением красной ($p=0,05$) на фоне снижения белой спустя шесть мес. В эксперименте, белая пульпа изменяла свои позиции, достоверно снижая территорию красной пульпы, причем, с наибольшими показателями спустя три мес ($p=0,05$). Резюмируя полученные данные, можно отметить пролонгированный, опосредовано индуцированный характер изменений в селезенке, определивший возникновение экстрамедуллярного тромбоцитарного ростка на фоне кумулятивного радиотоксического эффекта обедненного урана, а также проявление имуннорезистентности в пластичности компенсаторно-приспособительных процессов на системном уровне.

**БИОЭФФЕКТЫ ОБЕДНЕННОГО УРАНА В МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЯВЛЕНИЯХ ОРГАНОВ-МИШЕНЕЙ.**

*Воронцова З.А., Кудаева Э.Ф.*
Воронежская государственная медицинская академия им. Н.Н. Бурденко,
кафедра гистологии, Воронеж, Россия,
z.vorontsova@mail.ru

Острая урановая интоксикация характеризуется политропным действием на различные системы и механизм действия его соединений весьма разнообразен. Выявление и обобщение закономерностей, определяющих метаболический статус органов пищеварительной системы с иммунной составляющей необходимо для раскрытия механизмов патологического процесса, возникающего в ответ на однократное пероральное введение водного раствора оксидов обедненного урана (ОУ) в хронодинамике сроков наблюдения, что и обуславливает цель данного исследования. Экспериментальная модель представлена белыми половозрелыми беспородными крысами-самцами с начальным возрастом 4 мес в соответствии с планом эксперимента, животные были разделены на шесть групп: экспериментальные группы с временными параметрами 1;3 и 6 мес после однократного перорального поступления водного раствора оксидов ОУ в дозе 0,1 мг на 100 г массы животного, которым соответствовали три возрастные группы контроля. В экспериментальных группах было использовано большое количество животных с достаточным представительством морфологических критериев. Чтобы исключить причину случайных явлений использован дополнительный статистический метод – кластерный анализ. Показатели средних значений кластеров определили степень их близости с контролем и между собой, а также количественное распределение животных по морфоэнзиматическим критериям внутри кластера. У экспериментальных крыс был значительный разброс показателей средних значений исследуемых критериев в кластерах. Показатели активности щеточной каемки энтероцитов в кластере I снижались спустя 6 мес от начала эксперимента с предшествующим возрастанием спустя 1 и 3 мес. В кластерах II и III наблюдалось повышение активности ЩФ по всем срокам эксперимента относительно контроля. На всем протяжении эпителиального пласта от донных отделов крипт до верхушки ворсин отмечается миграционная активность стромальных лимфоцитов. Их содержание на ворсинках превышает численность мигрантов в криптах более чем в 4 раза, причем это соотношение остается относительно постоянным в хронодинамике эксперимента. В строме толстой кишки показатели ЩФ стенки капиллярного русла в кластере I были снижены относительно контроля спустя 1 и 3 мес, а к завершению эксперимента – нормализовались. В кластере II активность ЩФ повышалась спустя 1 и 3 мес, а в кластере III – спустя мес; к 6 мес снижалась в обоих кластерах. Необходимо отметить, что эффекты ОУ в слизистой оболочке тощей и толстой кишки были разнонаправленными и в некоторых случаях обратимыми, однако в реакциях не было согласованности. Тем не менее, большинство крыс, имеющих принадлежность кластеру I, были близки к состоянию гомеостаза в завершающем сроке наблюдения по гистоэнзиматическим показателям слизистой оболочки толстой кишки. Восстановление внутриклеточного равновесия и нормализация процессов проницаемости изученных критериев слизистой оболочки толстой кишки предполагает включение защитно-приспособительных механизмов. Таким образом, количественная компартменизация показателей в условиях эксперимента свидетельствовала о динамической кластеризации морфологических критериев и о превышающей толерантность инкорпорированной дозе ОУ с разной выраженностью чувствительности, видимо в связи с его кумулятивным радиотоксическим эффектом.

# ЛУЧЕВЫЕ ОСЛОЖНЕНИЯ В ЭНДОВАСКУЛЯРНОЙ ХИРУРГИИ

*И.А. Галстян, Н.М. Надежина, Н.М. Борисов*
ГНЦ РФ - Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна ФМБА России, Москва, Россия,
igalstyan@rambler.ru

С 1960-х годов в хирургии при проведении эндоваскулярных процедур, требующих точных и, как правило, длительных, манипуляций хирурга, применяется метод интервенционной радиологии Наибольшее распространение методы интервенционной радиологии (рентгеновского контроля) получили в кардиоваскулярной хирургии, в частности в эндоваскулярной хирургии коронарных сосудов (ангиопластика, шунтирование, стентирование и др.). В связи с внедрением этих методов в последние десятилетия в литературе накапливаются сведения об осложняющих их проведение острых и хронических местных лучевых поражениях (МЛП). При развитии острых МЛП в проекции пучка рентгеновского излучения (доза облучения свыше 10 Гр) отмечается появление эритемы, отека, пузырей, позднее – некрозов и язв. Латентный период для МЛП при остром воздействии ограничивается периодом от нескольких дней до двух месяцев в зависимости от величины суммарной дозы. Явления хронического дерматита, проявляющегося атрофией кожи, индурацией подлежащих тканей, изменениями пигментации, появлением телеангиоэктазий, гиперкератоза и поздних лучевых язв, развитием чешуйчатоклеточной карциномы, могут наблюдаются при повторных процедурах у одного больного. Длительность периода выявления признаков лучевых повреждений кожи в зависимости от суммарной дозы и количества проведенных эндоваскулярных процедур (хроническое воздействие) может колебаться от 15 дней до 10 лет после вмешательства. Возможно, именно поэтому эти больные часто оказываются вне зоны внимания врачей, проводивших рентгеновское облучение, и не всегда устанавливается причинно-следственная связь между МЛП проводившимся ранее вмешательством. В архиве клинике ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна имеются 2 наблюдения больных с поздними лучевыми язвами, развившимися в результате проведения ангиопластики со стентированием коронарных артерий. Наиболее частыми причинами развития острых поражений являются использование неисправного оборудования, превышение регламентированной длительности процедуры вследствие технических сложностей или недостаточности оперативной техники (более 120 мин.), а также высота стола и избыточный вес больного, приводящие к приближению поверхности тела к рентгеновской трубке, когда суммарная доза может достигать величин, пороговых для развития лучевых поражений. С целью уменьшения вероятности развития МЛП или раннего выявления подобных осложнений и начала адекватного лечения, можно рекомендовать при проведении процедуры эндоваскулярного вмешательства: 1. заполнение специального протокола для занесения сведений о виде и длительности диагностической или лечебной процедуры, о длительности облучения больного, суммарной дозе на кожу в областях, подвергающихся лучевому воздействию, фокусном расстоянии, угле падения пучка рентгеновского излучения на поверхность тела больного и его рассеянии, различных характеристиках ренгеноскопического аппарата. 2. Возможно использование многослойных плоских дозиметров для уточнения суммарной дозы за время процедуры. 3. Больные, у которых во время процедуры суммарная доза достигла 3 Гр, или те, у кого при повторном проведении процедур суммарная доза за 1 раз достигла 1 Гр, должны быть отнесены в группу высокого риска по развитию лучевых поражений. Для них должно быть рекомендовано динамическое наблюдение с периодическим осмотром кожных покровов.

# ЯЗВА-РАК КОЖИ В ИСХОДЕ МЕСТНОГО ЛУЧЕВОГО ПОРАЖЕНИЯ

*И.А. Галстян, Н.М. Надежина, М.Г. Левадная, А.В. Аксененко*
ГНЦ РФ - Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна ФМБА России, Москва, Россия,
igalstyan@rambler.ru

Существование канцерогенного эффекта радиации общепризнано. Целью настоящего сообщения является оценка частоты и факторов риска малигнизации поздних лучевых язв в исходе местных лучевых поражений (МЛП).

В архиве ГНЦ-ФМБЦ им. А.И. Бурназяна накоплены многолетние наблюдения за динамикой раневого процесса, ближайшими и отдаленными последствиями МЛП, развившихся вследствие острого аварийного облучения у 217 больных. У 4 (1,8%) больных в исходе длительно существующих поздних лучевых язв развился плоскоклеточный рак.

Возникновение рака в области длительно существующей лучевой язвы, по данным литературы редко встречается в отдаленном периоде острых МЛП и несколько чаще – при хроническом лучевом воздействии. В нашем исследовании все больные подверглись острому аварийному лучевому воздействию. У них средняя длительность существования поздней лучевой язвы до ее малигнизации - 21,8 ± 3,2 (15-29) лет при средней длительности наблюдения - около 20 лет. Средний возраст развития опухоли - 60,8 ± 4,9 (48-69) лет. Так как основной локализацией МЛП при контактах с изолированными источниками ионизирующего излучения являются руки, то в 3 из 4 наблюдений наших наблюдений язва–рак была выявлена на кистях рук. Другие локализации МЛП по данным литературы являются более редкими. Только у одного больного в нашем исследовании обнаружена язва-рак на передней поверхности бедра. Методом выбора для лечения больных с малигнизацией поздней лучевой язвы является иссечение в пределах здоровых тканей с последующей аутопластикой. У наших пациентов рецидивов опухоли пока не наблюдалось.

Выводы: Возможным исходом длительно существующей поздней лучевой язвы может быть развитие язвы-рака. Частота малигнизации длительно существующей поздней лучевой язвы в нашем исследовании – 1,8%, что по данным литературы не превышает частоту развития опухоли в длительно существующей язве нелучевого генеза. Сходные частоты озлокачествления длительно существующих язв лучевого и нелучевого генеза могут свидетельствовать о том, что в этом процессе, прежде всего, участвуют неспецифические патогенетические механизмы: нарушение васкуляризации и недостаточный иммунологический контроль в пораженной области. Несомненно, свою роль играет практически постоянное местное применение лекарственных средств, в том числе и обладающих раздражающим действием. Своевременно проведенная пластическая операция в области последствий МЛП предотвращает малигнизацию поздних лучевых язв и, тем самым, улучшает качество жизни и прогноз для жизни больного.

**СРОКИ ЛЕЧЕНИЯ КАК ФАКТОР, ВЛИЯЮЩИЙ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ В САМОСТОЯТЕЛЬНОМ И КОМБИНИРОВАННОМ ПЛАНЕ У БОЛЬНЫХ РАКОМ ЯЗЫКА.**

*Геворков А.Р., Бойко А.В., Черниченко А.В., Плавник Р.Н., Носова Е.А., Хмелевский Е.В.*
Московский научно-исследовательский онкологический институт
им. П.А. Герцена, Москва, Россия,
torsurg@mail.ru

В настоящее время не вызывает сомнения значительное различие в эффекте облучения в зависимости от целого ряда факторов, в том числе режима и сроков подведения доз ионизирующего излучения. **Целью исследования** явилось определение оптимальных сроков подведения суммарных доз излучения в лечении больных раком языка. **Материал и методы.** Анализу подвергнуты результаты лечения 130 пациентов с новообразованиями корня (n=39, 30%) и подвижной части языка (n=91, 70%), получивших лечение в МНИОИ им. П.А. Герцена в период с 2003 по 2012 гг. Самостоятельное лучевое лечение первичного очага проведено 44 (34%) пациентам, комбинированное с операцией – 86 (66%). Облучение проводилось по схеме динамического фракционирования – в РОД 4Гр х 1раз в сутки три дня подряд с последующей лучевой терапией в РОД 2Гр х 1 раз в сутки по пятидневной рабочей неделе. Предоперационные дозы облучения (на локорегионарный объем, включая лимфоколлекторы) варьировали от 18 до 50Гр (средняя доза 34,5Гр±9,3), а при облучении по радикальной программе (только на первичный очаг) составляли 60-78Гр (средняя доза 69Гр. $\alpha/\beta$ для рака подвижной части считали по Stuschke and Thames - 10.5 (интервал 6.5- 29), для корня языка – по Withers et al. - 14.7 (интервал 4.4-$\infty$). Перерыв в лечении при самостоятельном лечении составил от 0 до 58 дней (среднее 32±15), при предоперационном облучении – от 0 до 44 дней (среднее 16±16). Биологическая эквивалентная доза по LQ модели при радикальном облучении рака корня языка составила от 57Гр до 82Гр (среднее 65,1Гр±7), а по ВДФ от 64Гр до 79,4Гр (среднее 72,8Гр±5) соответственно. При радикальном лечении подвижной части эти показатели составили от 59Гр до 81Гр (среднее 68Гр±7) и от 64,5Гр до 81,8Гр (среднее 70,3Гр±6) соответственно. С целью адекватного определения роли сроков облучения мы включили в многофакторный анализ 45 потенциальных предикторов, характеризующих распространенность и свойства новообразований, соматическое состояние пациентов и объем проведенного лечения. Все расчеты реализованы с помощью языка статистических вычислений R. При изучении **результатов** расчеты по LQ модели достоверно коррелировали ($p<0,05$) с показателями выживаемости и позволили скорректировать меньшую корреляцию СОД с учетом перерывов в лечении и локализации процесса. По результатам многофакторного анализа была выявлена позитивная связь ($p<0,05$) эффективности проведенного лечения с суммарным сроком перерывов в облучении менее 30 дней. **Вывод.** При значительных перерывах в облучении (суммарно более 1 месяца) схема нетрадиционного фракционирования в лучшем случае компенсирует их и не позволяет рассчитывать на выигрыш в терапевтическом эффекте суммарной очаговой дозы.

**МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ И МОЛЕКУЛЯРНО-ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РАКА ЯЗЫКА.**

*Геворков А.Р., Бойко А.В., Завалишина Л.Э.*
Московский научно-исследовательский онкологический институт им. П.А. Герцена, Москва, Россия,
torsurg@mail.ru

Основными методами лечения больных плоскоклеточным орофарингеальным раком являются хирургические вмешательства, лучевая, химио- и таргетная терапия. В последние десятилетия большое внимание уделяется разработке оптимальных показаний к облучению и определению тактики лечения в целом. Плоскоклеточный рак языка представляет собой сложное заболевание, характеризующееся биологической гетерогенностью, и, в целом, относится к умеренно чувствительным к лучевой терапии формам опухолевого роста, со значительными вариациями в зависимости от локализации в корне или подвижной части языка. **Целью** исследования являлось определение морфологических и генетических свойств рака корня и подвижной части языка и их связи с эффективностью лучевой терапии в рамках самостоятельного и комбинированного лечения. **Материалы и методы.** В период с 2003 по 2012 г. в МНИОИ им. П.А. Герцена проведено лечение 130 пациентам с новообразованиями корня (39 больных, 30%) и подвижной части языка (91 пациент, 70%). В исследование включено 74 (57%) мужчин и 56 (43%) женщин. В исследовании преобладали больные с опухолями III и IV стадий (39% и 35% соответственно), с инвазивным характером роста у 88% и регионарными метастазами у 70%. С целью адекватного определения роли сроков облучения мы включили в многофакторный анализ 45 потенциальных предикторов, характеризующих распространенность и свойства новообразований, соматическое состояние пациентов и объем проведенного лечения. **Результаты.** Предварительный анализ морфологических и молекулярно-генетических параметров позволил выявить закономерности биологии опухолей различной локализации. Для рака корня языка характерна низкая дифференцировка, инвазивный рост, высокая пролиферативная активность, высокий уровень экспрессии Е-кадгерина, умеренный – EGFR, p21, bcl-2 и ЦОГ-2, относительно низкий уровень экспрессии p53 и VEGF, большая доля ВПЧ-позитивного рака, амплификация гена EGFR у трети больных. Опухоли подвижной части языка характеризовались более высокой дифференцировкой, инвазивным ростом, умеренной пролиферативной активностью, относительно высоким уровнем экспрессии p53, умеренным уровнем экспрессии Е-кадгерина, p21, ЦОГ-2, bcl-2, EGFR и VEGF, высокой долей ВПЧ-негативного рака, амплификацией гена EGFR у трети больных. Мутации генов EGFR и KRAS, исследованные у всех 55 больных проспективной группы, отсутствовали во всех случаях. По результатам многофакторного анализа была выявлена позитивная связь ($p<0,05$) эффективности проведенного лечения с локализацией опухоли в корне языка, женским полом, экспрессией Е-кадгерина, p21, Bcl-2, радиочастотной абляцией ложа опухоли. Была выявлена негативная связь с регулярным приемом алкоголя, наличием более двух сопутствующих заболеваний, локализацией опухоли в подвижной части языка, периневральной инвазией опухоли, экспрессией p53, ЦОГ-2, VEGF, Ki67, эквивалентными дозами облучения по LQ модели менее 40Гр. **Вывод.** На основании статистической оценки вкладов каждого фактора была создана математическая модель предварительной оценки эффективности самостоятельного лучевого и комбинированного лечения, включившая 15 параметров и имеющая градацию от – 100 до + 100 баллов.

# МЕДИЦИНСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ АВАРИИ НА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АТОМНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ И ПАТОЛОГИЯ ОРГАНОВ СИСТЕМЫ ПИЩЕВАРЕНИЯ У ПОСТРАДАВШЕГО НАСЕЛЕНИЯ

*С.В.Дударенко, С.Н.Лопатин*
Всероссийский центр экстренной и радиационной медицины им А.М.Никифорова МЧС России, Санкт-Петербург, Россия,
svd2212@mail.ru

Проблема влияния на организм человека факторов техногенных катастроф (в первую очередь радиационной аварии в Чернобыле) остается весьма актуальной, т.к. измененная экология индустриальных и радиационно загрязненных территорий может создавать реальные условия для развития соматических заболеваний, в том числе и болезней пищеварительного тракта.

Цель нашего исследования являлось изучение на одной и той же когорте населения состояния здоровья и особенности развития соматической (в т.ч. гастродуоденальной патологии) через 5 и 27 лет после радиационной аварии.

Материалы и методы исследования: в работе использованы методы медико-статистического анализа заболеваемости населения, эндоскопические, цитологические и электронно-микроскопические методы оценки гастробиоптатов, радиометрические и биохимические, иммунологические методы оценки гомеостаза у 13 тысяч человек на радиоактивно загрязненных территориях (РЗТ).

Результаты исследования:

У населения РЗТ за период с 1986 по 2013 гг отмечается рост соматической заболеваемости по классам болезней органов пищеварения, сердечно-сосудистой патологии при снижении частоты диагности онкологических заболеваний органов брюшной полости. При этом через 6-8 лет после аварии на ЧАЭС по данным электронной микроскопии установлены признаки нарушения созревания мукоида, дифференцировки мукоцитов на фоне микроядрообразования и изменения морфологических свойств ворсинок эпителия. Через 27 лет в той же когорте обследованных частота микроядрообразования мукоцитов снизилась и не имела связи с факторами инкорпорации радионуклидов и частоты HP-инфекции у населения РЗТ.

Так как МКРЗ (1990) считает, что основным неблагоприятным фактором, сопровождающим воздействие малых доз ионизирующей радиации является вероятность смерти от рака, а так же возможность возникновения онкологических заболеваний, то имеющиеся у нас данные о частоте выявляемости рака желудка и концентрации у обследованных основных онкомаркеров свидетельствуют об отсутствии канцерогенного риска возникновения опухолей верхних отделов пищеварительного тракта у населения на РЗТ. Одним из механизмов развития соматической патологии у населения РЗТ является синдром хронического адаптивного перенапряжения, признаки которого описываются у большинства обследованных.

Заключение:

1. Рост соматической патологии у населения РЗТ не имеет достоверных связей с радиационными факторами аварии на ЧАЭС.
2. Патология митотической активности мукоцитов слизистой оболочки желудка является отражением инкорпорации радионуклидов через пищевую цепочку и жителей РЗТ.
3. В основе расстройств здоровья жителей РЗТ лежит стойкое нарушение метаболических процессов на основе синдрома хронического адаптивного перенапряжения.

# СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ ЗЛОКАЧЕСТВЕННЫХ НОВООБРАЗОВАНИЙ

*Жаринов Г.М., Некласова Н.Ю.[1], Гребенюк А.Н.[2], Баскин Л.М.[3]*
[1] Российский научный центр радиологии и хирургических технологий Мнздрава РФ,
[2] Военно-медицинская академия им. С.М.Кирова МО РФ, Санкт-Петербург, Россия,
[3] СПбГУТ им. профессора М.А.Бонч-Бруевича, Санкт-Петербург, Россия,
[1] asatur15@mail.ru [2] grebenyuk_an@mail.ru [3] lev_baskin@mail.ru

Эффективность лучевой терапии по показателям длительной выживаемости и продолжительности жизни онкологических больных на протяжении последних двух-трех десятилетий практически перестала изменяться, что свидетельствует о достижении предельных возможностей метода. Одним из основных направлений повышения эффективности лучевой терапии (ЛТ) больных злокачественными новообразованиями является изменение радиочувствительности нормальных и опухолевых тканей. В целом результаты использования радиомодификаторов привели к повышению эффективности ЛТ – увеличилась частота локального контроля и, для ряда локализаций злокачественных опухолей, выживаемость. Однако выживаемость оценивалась не боли чем в трети исследований, при этом глубина прослеженности колебалась от 2 до 36 мес. Большинство методов управления радиочувствительностью требуют специального оборудования, синхронизации с сеансами облучения, модификации режимов ЛТ, обладают выраженной токсичностью. Поэтому, несмотря на длительную историю и теоретические предпосылки включения модифицирующих агентов в схемы ЛТ, их реальное использование остается прерогативой крупных научных центров. Следует также отметить, что до сих пор повышение показателей длительной выживаемости больных при использовании радиомодификации в проспективных исследованиях, выполненных с соблюдением принципов доказательной медицины, достигнуто в единичных работах.

Таким образом, многолетний опыт применения радиомодификации не привел к принципиальным изменениям результатов ЛТ больных злокачественными новообразованиями. В этих условия необходимо искать альтернативные пути повышения эффективности ЛТ.

Существующие модели роста опухолей не объясняют удовлетворительно некоторые существенные факты, среди которых: 1) чрезвычайная гетерогенность результатов лечения больных; 2) теоретическая невозможность излечения от злокачественной опухоли даже минимального объема; 3) самопроизвольное излечение, а также длительная самопроизвольная стабилизация; 4) выраженное несоответствие реакции опухолевых клеток на лечебное воздействие in vitro и in vivo.

Разработана модель роста злокачественной опухоли, учитывающая нелинейную зависимость скорости роста и распада раковых клеток $dn/dt$ от их количества $n(t)$, а также эффект запаздывания, заключающийся в том, что $dn(t)/dt$ определяется их количеством $n(t-\tau)$ в предыдущий момент времени (эффект запаздывания). Разработанная модель не только объясняет вышеперечисленные обстоятельства, но и указывает на возможные пути повышения эффективности лучевой терапии опухолей. Известно, что облучение существенно увеличивает продолжительность клеточного цикла, что, в соответствии с моделью, должно приводить и приводит к уменьшению скорости роста опухоли и соответствующему увеличению продолжительности жизни больных. При этом изменение времени гибели опухолевых клеток также обладает существенным влиянием на скорость роста новообразования. Возможно, сокращение сроков апоптоза, а также времени элиминации погибших опухолевых клеток позволит улучшить результаты лучевого лечения онкологических больных.

# ПЕРСОНАЛИЗАЦИЯ ЛЕЧЕНИЯ ОПУХОЛЕНОСИТЕЛЕЙ ПУТЕМ ПРЕДИКЦИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЛУЧЕВОЙ И ХИМИОЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ НА ОСНОВАНИИ РАДИОЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ДНК КРОВИ

*С.Д.Иванов, Л.И.Корытова*
Российский научный центр радиологии и хирургических технологий Минздрава РФ,
Санкт-Петербург, Россия,
sergey.d.ivanov@mail.ru

Определение радиочувствительности (РЧ) на всех ступенях структурной иерархии живых систем является одной из ведущих проблем радиационной биологии и может быть одним из путей решения задачи персонализированного применения лучевой терапии (ЛТ) в клинической радиологии. Обзор предпринятых к настоящему времени разработок предиктивного показателя РЧ не выявил тестов, удовлетворяющих предъявляемым практикой требованиям. Изучение микроокружения такой опухоли как рак молочной железы (РМЖ), показало, что в прилегающей к новообразованию ткани, гистологически не отличающейся от нормы, наблюдались аномалии метаболизма. Анализ экспрессии генов дал основание рассматривать микроокружение опухоли как вероятное направление её роста и некоторые параметры этого матрикса, возможно, позволят использовать их в качестве предиктивных показателей для применения ЛТ. Одним из компонентов микроокружения опухоли является кровь. Мы предположили, что ДНК клеток крови можно использовать для предикции РЧ ткани опухоли, когда определение чувствительности клеток солидных новообразований к планируемой ЛТ практически неосуществимо или осложнено. Способ определения показателя основан на измерении величины S-индекса - степени снижения содержания ДНК в пробах крови после их тестирующего облучения ex vivo и инкубации в течение 3 ч [Иванов С.Д. и др., 2006]. Были изучены также эффекты введения железосодержащей воды как радиосенсибилизатора при определении величины S-индекса ex vivo, так и в качестве питьевой in vivo при ЛТ крыс с глиомами. Апробация предсказания эффективности применения экспериментальной ЛТ у опухоленосителей глиом показала, что величина S-индекса, определенного до начала лечения, может быть использована в качестве предиктивного маркера. Введение железосодержащей воды как радиомодификатора до облучения приводило к торможению роста объёмов опухолей по сравнению с контролем. Наблюдавшийся результат определялся сочетанным - апоптозным и ферроптозным эффектами радиации. Ферроптоз – вновь выявленная форма гибели клеток, зависит от количества внутриклеточного железа, а морфологически и биохимически отличается от апоптоза, некроза и аутофагии. Ферроптоз позволяет специфически повысить гибель опухолевых клеток, связанных с мутациями генов семейства RAS [Dixon et al., 2012]. Апробация разработанного S-индекса в клинике показала, что путем определения величины этого параметра до начала лечения пациентов можно предсказать эффективность планируемой ЛТ и химиоЛТ больных РМЖ. При значении S-индекса выше 1,0 (у радиочувствительных лиц) наблюдался в 1,5 – 2 раза более длительный период безрецидивной выживаемости в сравнении с радиорезистентными пациентами. В абсолютном выражении это составляло от 5 до 32 мес. в зависимости от подгруппы больных (первичные или повторные). Величина S-индекса также была прямо пропорционально связана с длительностью безрецидивного периода у больных раком мочевого пузыря после комбинированного лечения и с продолжительностью жизни пациентов с глиомами, получавших ЛТ. Таким образом, к настоящему времени разработан достаточно простой и быстрый в исполнении тест, позволяющий осуществить отбор пациентов с солидными новообразованиями для их успешного лечения, включающего применение ЛТ самостоятельно или адъювантно.

# ОНКОУРОЛОГИЧЕСКАЯ ЗАБОЛЕВАЕМОСТЬ ПЕРСОНАЛА ПРЕДПРИЯТИЯ АТОМНОЙ ИНДУСТРИИ

*Д.Е.Калинкин[1,2], А.Б.Карпов[1,2], Р.М.Тахауов[1,2], Д.Б.Бульдович[1,2], А.А.Орешин[2]*
[1]Северский биофизический научный центр ФМБА России, Северск, Россия, mail@sbrc.ru
[2]Сибирский государственный медицинский университет Минздрава РФ, Томск, Россия, ozz@ssmu.ru

Известно, что возникновение злокачественных новообразований (ЗНО) является одним из стохастических эффектов воздействия ионизирующего излучения (ИИ). Учитывая расширение использования атомной энергии в хозяйственной деятельности человека (в силу значительного сокращения природных топливных ресурсов), сохраняет актуальность проблема изучения онкологической заболеваемости персонала предприятий атомной промышленности. В частности, это касается ЗНО урогенитального тракта, которые представляют собой серьёзную медико-социальную проблему.

Целью работы являлось исследование риска онкоурологической заболеваемости среди персонала крупного объекта атомной индустрии – Сибирского химического комбината (СХК). Источником информации для расчёта показателей онкологической заболеваемости и коэффициентов стандартизованного относительного риска (СОР) заболевания ЗНО работников СХК являлась база данных регионального медико-дозиметрического регистра персонала СХК, в которой содержится персонифицированная информация относительно 65 500 работников. Значительная часть персонала СХК в процессе профессиональной деятельности подвергалась внешнему, внутреннему или сочетанному (внешнему и внутреннему) облучению. При анализе коэффициентов СОР в качестве стандарта был использован "внутренний контроль" – фоновые показатели онкоурологической заболеваемости работников СХК, не подвергавшихся ИИ.

В результате проведённого анализа было установлено, что в структуре онкологической заболеваемости мужского персонала СХК доля ЗНО мочевых путей и половых органов составила соответственно 7,7 и 7,6 %. Среди женщин удельный вес ЗНО мочевыводящих путей составил 4,1 %. В структуре онкологической смертности мужчин доля ЗНО мочевых путей составила 5,4 %, а мужских половых органов – 4,1 %. Среди женщин доля умерших вследствие ЗНО мочевых путей составила 2,8 %.

Заболеваемость ЗНО мочевых путей среди мужчин – работников СХК составила 12,5 случая на 100 000 работников (в том числе 7,3 случая заболевания ЗНО почки и 4,7 случая ЗНО мочевого пузыря); заболеваемость ЗНО половых органов среди мужского персонала составила 14,6 случая на 100 000 человеко-лет наблюдения (в том числе 12,9 случаев ЗНО предстательной железы). Среди женского персонала СХК заболеваемость ЗНО мочевых путей составила 11,1 случая на 100 000 работниц (в том числе 7,6 случая ЗНО почки и 1,7 случая ЗНО мочевого пузыря).

Среди мужчин, подвергавшихся в процессе профессиональной деятельности воздействию ИИ (суммарная доза – > 500 мЗв), был статистически значимо повышен СОР заболевания ЗНО половых органов (1,66 [1,05–2,49]), а среди женщин – СОР возникновения ЗНО мочевых путей (3,67 [2,64–4,97], суммарная доза – > 200 мЗв).

Полученные результаты диктуют необходимость углубленного изучения онкоурологической заболеваемости персонала предприятий атомной промышленности.

# РАДИОСЕНСИБИЛИЗАЦИЯ ОПУХОЛЕВЫХ КЛЕТОК С ПОМОЩЬЮ ИНГИБИТОРОВ АКТИВНОСТИ И ЭКСПРЕССИИ ШАПЕРОНОВ

*В.А.Кудрявцев, А.В.Демидкина, В.А.Мосина, А.Е.Кабаков*
Медицинский радиологический научный центр Минздрава РФ, Обнинск, Россия,
aekabakov@hotmail.com

Повышение эффективности лучевой терапии в результате селективной радиосенсибилизации злокачественных клеток является важной и актуальной задачей. Ранее было обнаружено, что ингибирование щаперонной активности белка HSP90 в раковых клетках может повышать их радиочувствительность. Однако, дисфункция HSP90 сопровождается мощной индукцией шаперона HSP70, что способствует выживанию клеток-мишеней. Мы предлагаем комбинировать ингибиторы активности HSP90 с ингибиторами индукции (экспрессии) HSPs с целью усиления радиосенсибилизирующего эффекта на опухоли. Рациональность такого подхода продемонстрирована в данном исследовании, проведенном на культурах клеток из опухолей и нормальных тканей человека.

Опухолевые клеточные линии MCF-7 и HeLa, а также нормальные фибробласты и клетки эпителия человека обрабатывались ингибиторами индукции HSPs (кверцетин, триптолид, NZ28) и/или ингибитором шаперонной активности HSP90 (17AAG); затем эти клетки облучали гамма-квантами в клинически применимых дозах (2-6 Гр). Цитотоксические эффекты облучения оценивали по клоногенности и в МТТ-тесте. Уровни экспрессии HSP70 и динамику «фокусов» (сайты репарации двунитевых разрывов) в ядерной ДНК анализировали с помощью меченых антител на флуоресцентном микроскопе.

Нами показано, что предобработка опухолевых клеток 10-100 нМ 17AAG значительно повышало их радиочувствительность, что проявлялось в нарушении репарации разрывов ядерной ДНК, усилении пост-радиационной клеточной гибели и падении клоногенного потенциала. Если 17AAG применялся в комбинации с 10-30 мкМ кверцеином или 2-4 нМ триптолидом, или 0,3-1 мкМ NZ28, это предотвращало индукцию шаперона HSP70 и резко усиливало радиосенсибилизацию опухолевых клеток. Напротив, никаких радиосенсибилизирующих эффектов не наблюдалось в образцах нормальных клеток, которые были обработаны таким же образом.

Таким образом, комбинирование ингибиторов функциональной активности шаперонов с ингибиторами их экспрессии представляется перспективной стратегией для селективной сенсибилизации раковых клеток к лучевой терапии.

# ЭКСПРЕССИЯ МЕМБРАННЫХ МАРКЕРОВ ЭФФЕКТОРНЫХ И РЕГУЛЯТОРНЫХ ЛИМФОЦИТОВ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ ПРОФЕССИОНАЛЬНОМ ОБЛУЧЕНИИ

*Т.В. Лукьянова, Е.Н. Кириллова, Т.И. Урядницкая*
Южно-Уральский институт биофизики ФМБА России, Озерск, Россия,
kirillova@subi.su

Пролонгированное действие ионизирующей радиации сопровождается развитием ряда изменений в кроветворной, иммунной и других системах организма, формирующиеся дефекты которых лежат в основе патогенеза ряда заболеваний, в том числе онкологических. Цель работы – оценка состояния клеточного звена врожденного и приобретенного иммунитета у работников атомного производства, подвергшихся длительному внешнему γ- и внутреннему α-облучению за счет инкорпорированного $^{239}$Pu в малых дозах, определение критериев повышенной вероятности развития онкопатологии на основании нарушения иммунной защиты. Изучена экспрессия мембранных маркеров в крови у работников основных заводов ПО «Маяк», подвергшихся радиационному воздействию (120 чел), и у лиц, не подвергавшихся профессиональному облучению (111 чел., контроль) Накопленная доза внешнего γ-облучения в группе составляла 0,16±0,02 Гр и содержание плутония в организме 0,42±0,11 кБк. На проточном цитофлюориметре исследовали содержание 26 показателей иммунограммы: общее количество лейкоцитов, лимфоцитов, а также относительное и абсолютное содержание лимфоцитов следующих фенотипов – Т- и В-лимфоциты (Т-л, В-л), Т-киллеры (Т-к), Т-хелперы (Т-х), Т-л ранней активации, Т-лимфоциты средней активации, другие активированные клетки, Т-регуляторные лимфоциты (Трег.), лимфоциты, готовые к апоптозу (CD95), натуральные киллеры – эффекторы врожденного иммунитета (НК), регуляторные предшественники Т-л и НК – (ТНК-л), ранние (двойные отрицательные – дубль–) и поздние (двойные положительные – дубль+) предшественники Т-л. В 95% случаев были собраны детальные медицинские сведения. Обработка результатов исследования проведена с использованием программного пакета «Statistica» (6 версия). При оценке содержания эффекторных лимфоцитов в крови лиц, подвергшихся сочетанному профессиональному облучению, выявлена тенденция к снижению среднегруппового показателя общего количества Т-л ($p<0,1$) и достоверное снижение, по сравнению с контролем ($p<0,05$) Т-киллеров – эффекторов приобретенного иммунитета, активно участвующих в противоопухолевой защите. Увеличение в 1,5 раза содержания НК, лимфоцитов, стоящих на первой линии противоопухолевого иммунитета, не было статистически значимым, однако при персонализированной оценке у 6 из 32 работников ПО «Маяк» абсолютное содержание НК было в 2-3 раза выше верхнего интервала нормы. Обращает внимание достоверное увеличение (в 1,4 раза) количества эффекторов гуморального звена иммунитета В-л у работников, подвергшихся только внешнему облучению. Статистически значимые различия с показателями в контроле выявлены также при изучении содержания регуляторных и активированных лимфоцитов, контролирующих пролиферацию, дифференцировку и апоптоз клеток. При сочетанном облучении имело место снижение в 1,6 раза по сравнению с контролем ($p<0,05$) количества лимфоцитов поздней стадии активации (CD 95). Оценка состояния регуляторного звена иммунитета у работников, подвергшихся длительному внешнему облучению в малых дозах, позволила выявить достоверное увеличением количества поздних предшественников Т-л в 2,2 раза ($p<0,02$), в 1,7 раза ранних предшественников Т-л ($p<0,1$) и повышение количества Т-л ранней (в 2,2 раза, $p<0,05$) и поздней (в 3,5 раза, $p<0,1$) активации. Было выявлено, что длительное облучение с низкими дозами вызывает компенсаторно-приспособительное повышение содержания популяций и субпопуляций лимфоцитов, ответственных за поддержание иммунного гомеостаза, приводящее к снижению количества Т-клеточных эффекторов приобретенного иммунитета и лимфоцитов, участвующих в апоптозе.

# ПАТОГЕНЕЗ ИНФЕКЦИОННЫХ ОСЛОЖНЕНИЙ ОСТРОЙ ЛУЧЕВОЙ БОЛЕЗНИ

*В.Н. Мальцев, Н.М. Ставракова*
ГНЦ РФ - Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна ФМБА России, Москва, Россия,
a1931192@ mail.ru.

Острая лучевая болезнь (ОЛБ) закономерно осложняется развитием инфекционных осложнений (ИО) на фоне постлучевого угнетения механизмов врожденного иммунитета. Целью настоящего исследования является определение роли отдельных факторов врожденного иммунитета в процессе формирования инфекционных осложнений ОЛБ.

Для решения поставленной цели исследования были проанализированы литературные и собственные экспериментальные данные изучения состояния отдельных факторов врожденного иммунитета для оценки их радиорезистентности с использованием методов вариационной статистики.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что зависимость доза-эффект для большинства факторов врожденного иммунитета может быть представлена в виде нисходящей экспоненты. Бактерицидность сыворотки начинает угнетаться на уровне воздействия сублетальных доз излучения вследствие снижения содержания в ней лизоцима, трансферринов, интерферонов, бета-лизинов и пропердина (альтернативный путь активации комплемента). На уровне летальных доз эффект достигает максимальной выраженности. Синтез нормальных антител предсуществует в организме относительно момента облучения и поэтому содержание нормальных антител в сыворотке крови снижается только после воздействия на организм излучения в летальных дозах. Наиболее устойчив к действию излучения синтез IgM-антител. В их число входят TOLL-подобные и Nod-рецепторы. Они узнают консервативные стабильные высокомолекулярные структуры патогенных микробов — паттерны и реагируют с ними. TOLL-подобные рецепторы распознают бактериальные ЛПС и липопептиды, ДНК и РНК, NOD-рецепторы пептидогликана различных микробов. Классический путь активации комплемента относительно радиоустойчив.

Угнетение клеточных механизмов врожденного иммунитета зависит от снижения подвижности, бактерицидной и переваривающей способности фагоцитов, а также от снижения их числа (нейтрофилы, базофилы, эозинофилы). Эффект начинается на уровне сублетальных доз и достигает максимальной выраженности на уровне летальных доз излучения, в связи со снижением числа относительно радиорезистентных клеток: макрофагов и ЕК. Данные о влиянии излучения на поглотительную функцию нейтрофилов крови крайне противоречивы из-за нарушения стандартности постановки проб от облученных организмов. Поглотительная функция фиксированных макрофагов РЭС относительно радиоустойчива.

Таким образом, в основе развития ИО ОЛБ лежит угнетение механизмов врожденного иммунитета за счёт снижения содержания в сыворотке крови бактерицидных субстанций, подвижности и переваривающей способности фагоцитов наряду со снижением их числа. На уровне летальных доз эффект достигает максимальной выраженности в связи с угнетением синтеза нормальных антител и снижения содержания относительно радиорезистентных клеток, обладающих способностью к фагоцитозу: макрофагов и ЕК-клеток.

# ЭТИОЛОГИЯ ИНФЕКЦИОННЫХ ОСЛОЖНЕНИЙ ОСТРОЙ ЛУЧЕВОЙ БОЛЕЗНИ

*В.Н. Мальцев, Г.А. Шальнова*
ГНЦ РФ - Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна ФМБА России, Москва, Россия,
a1931192@ mail.ru.

Инфекционные осложнения (ИО) закономерно отягощают течение острой лучевой болезни (ОЛБ). Они являются основной причиной гибели облученного организма. Изучение этиологии ИО ОЛБ привлекает большое внимание исследователей и врачей. Целью нашего исследования явилось изучение морфологии, патогенности и генетики условно-патогенных микробов (УПМ) микрофлоры − возможных возбудителей ИО ОЛБ.

Для решения поставленной цели были проанализированы литературные и собственные экспериментальные данные для выявления возбудителей ИО ОЛБ среди микробов нормальной микрофлоры и изучения причин их патогенности при ОЛБ.

Анализ литературных данных свидетельствую о том, что для многих УПМ доказана их этиологическая роль при ИО ОЛБ (кишечные палочки, протеи, клебсиеллы, стафилококки, энтерококки, псевдомонады, клебсиеллы, грибы Кандида). Судя по справочным данным, возбудителями ИО ОЛБ могут быть десятки УПМ микрофлоры человека. К ним, можно отнести бактерии (174 вида), грибы (3 вида) и простейшие (3 вида) – всего 180 видов из 60 родов. Все УПМгетерохемоорганотрофы с различным типом дыхания, большинство – грамотрицательные (60,9%), факультативные анаэробы (48,3%), палочковидной формы различной конфигурации (81,6%), имеющие жгутики (55,2%), капсулу (19,5%), не образующие спор (97,7%). Роль некоторых микробов в этиологии ИО ОЛБ нуждается в подтверждении и уточнении. Это в первую очередь относится к анаэробам. Их выделение из организма и индентификация связаны с рядом трудностей.

Проникновение во внутренние среды УПМ обусловлено наличием у них факторов агрессии: гиалуронидазы, сиалидазы, фибринолизина, коллагеназы, лецитиназы, плазмакоагулазы, протеазы и ДНКазы. Патологическое действие на организм оказывают эндо- ,экзотоксины и ферменты микробов («эффекторные» молекулы). Эндотоксин продуцируют 41,1% бактерий, экзотоксин − 26,8%, эндотоксин и экзоотоксин − 8,9%, «эффекторные» молекулы имеют все микробы микрофлоры. Эндотоксины грамотрицательных микробов обладают одинаково выраженной токсичностью. Экзотоксины УПМ отличаются специфичностью повреждающего действия на различные клетки.

Гены патогенности УПМ в норме находятся в репрессированном состоянии. Они в виде транспозонов входят в состав «островов патогенности» хромосом или являются плазмидами. В случае малочисленности популяции УПМ находятся в авирулентном состоянии. При увеличении числа УПМ возрастают их патогенность по типу «кворум» эффекта. Факторы патогенности могут передаваться от микроба к микробу за счёт конъюгации, трансдукции или трансформации.

Таким образом, ИО ОЛБ вызывают УПМ, обладающие факторами агрессии, эндотоксинами и экзотоксинами, активированными за счет экспрессии генов патогенности в результате «кворум» эффекта, а также «эффекторные» молекулы микробов.

# ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ГОРНЯКОВ, ЗАНЯТЫХ В ПОДЗЕМНЫХ РАЗРАБОТКАХ РЕДКОМЕТАЛЬНЫХ РУД, СОДЕРЖАЩИХ ПРИМЕСИ ПРИРОДНЫХ РАДИОНУКЛИДОВ

*А.А.Мартынова*[1], *Н.А.Мельник*[2], *Н.К. Белишева*[1]

[1] Кольский научный центр РАН, Апатиты, Россия,
martynovaalla@yandex.ru

[2] Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И.В.Тананаева КНЦ РАН, Апатиты, Россия,
nat-melnik@list.ru

Цель исследования состояла в оценке психофизиологического состояния горняков, занятых в подземных разработках редкометальных руд. Редкометалльное сырье характеризуется высокой степенью радиоактивности, связанной с повышенным содержанием природных радионуклидов рядов урана-238 и тория-232, которые являются источником радиоактивного газа радона и дочерних продуктов его распада, излучающих альфа-частицы, которые относятся к плотно ионизирующей радиации с высоким коэффициентом радиационного риска и представляют особую опасность как источник внутреннего облучения.

Радиоэкологические исследования проводились на руднике, на котором добывается подземным способом редкометалльная руда, и посёлке, находящемся в непосредственной близости от него. В населенном пункте и руднике был осуществлен отбор проб подземной воды и горных пород с целью определения возможности дополнительной дозовой нагрузки на население этого района. Исследования выполнялись в аккредитованной Региональной лаборатории радиационного контроля ИХТРЭМС КНЦ РАН на сертифицированной поверенной аппаратуре радиометрическими и спектрометрическими методами. Психофизиологическое состояние оценивали у горняков мужского пола (150 человек), занятых в подземных разработках руды. Контрольная группа была представлена мужчинами (79 человек), не работающими на данном предприятии. Оценку психофизиологического состояния организма проводили на основе измерений вариабельности сердечного ритма (ВСР) с использованием програмно-аппартного комплекса «Омега-М».

В изучаемом районе были проведены радиоэкологические исследования и установлены основные источники внутреннего и внешнего облучения работников предприятия. Измерения показали, что гамма-фон на руднике находится на уровне 0.1-1.5 мкЗв/ч и не превышает нормативного значения в условиях подземной разработки; суммарные значения удельной альфа- и бета-активности подземных вод в отдельных контрольных точках рудника превышали нормативные требования к питьевой воде в 7 раз и 2.1 раз соответственно.

Оценка психофизиологического состояния горняков выявила проявление вегетативной дисфункции в регуляции ВСР. Эта дисфункция выражается в повышении индексов напряжения в регуляции сердечного ритма, в более раннем истощении адаптационных резервов, в снижении суммарного вегетативного влияния на сердечной ритм, в увеличении вклада симпатического звена регуляции в ВСР, проявляющегося в снижении вариабельности сердечного ритма (ВСР) в более раннем возрасте, по сравнению с нормой. Высокий вклад очень низко частотной компоненты (VLF) в спектральный диапазон ВСР свидетельствует о гиперадаптивном состоянии организма горняков занятых в подземных разработках руды, следующей стадией которого является срыв адаптации и высокая степень уязвимости к воздействующим факторам среды.

# РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСНОГО ЛЕЧЕНИЯ МЕЛКОКЛЕТОЧНОГО РАКА ЛЁГКИХ С ПРИМЕНЕНИЕМ ФОТОННОЙ И НЕЙТРОННОЙ ТЕРАПИИ

*Л.И.Мусабаева, В.А.Лисин, С.В.Миллер, Е.О.Родионов*
Научно-исследовательский институт онкологии СО РАМН, Томск, Россия,
musabaevali@oncology.tomsk.ru

В настоящее время мелкоклеточный рак лёгких (МРЛ) привлекает к себе особое внимание в связи с ростом заболеваемости у больных и изменением современных представлений о возможностях его лечения. Однако, частота рецидивов первичного очага после комбинированного лечения составляет до 70 %. МРЛ в основном представлен гетерогенной популяцией как по типу клеток, так и по степени их дифференцировки. Поэтому именно полиморфизм опухоли и является основной причиной радиорезистентности образования.

*Цель работы:* Изучить роль локальных методов лечения в комплексе мероприятий при МРЛ, в том числе, применение быстрых нейтронов 6.3 МэВ циклотрона U-120 ТПУ в качестве дополнительного воздействия после фотонной терапии.

На первом этапе больным МРЛ проводились курсы химиотерапии и фотонная терапия на основной очаг суммарная очаговая доза (СОД) – 30 Гр по 3 Гр 5 раз в неделю. Нейтронная терапия, как правило, дополняла гамма-терпию, но в двух случаях быстрые нейтроны 6.3 МэВ проводили на первом этапе и после 10 дневного перерыва применялась гамма-терапия в стандартном режиме.

Оценка пространственного распределения дозы быстрых нейтронов 6.3 МэВ и радиобиологического планирования проводили на базе компьютерной программы. Определяли следующие параметры курса нейтронной терапии: 1) продолжительность одного сеанса терапии; 2) изоэффективная и поглощенная дозы на коже в зоне каждого поля за весь курс терапии; 3) факторы ВДФ для кожи и области опухолевого очага. Глубина 50% изодозной кривой составляла при размерах поля облучения – 6x8 см² – 6 см, для поля – 10x10 см² – 7 см. Лучевая терапия быстрыми нейтронами проводилась только с двух полей – переднего и заднего. Учет гетерогенности позволил существенно снизить лучевую нагрузку на кожу полей облучения. Допустимое облучение кожной ткани (ВДФ≤100 ед) в зоне каждого поля при трёх сеансах нейтронной терапии достигается при расстоянии между точками входа лучей ≤27 см. Программа облучения МРЛ быстрыми нейтронами выбирается такой, чтобы точки входа нейтронных пучков в тело пациента не совпадали с точками выхода пучков гамма-терапии. Сформулированному условию удовлетворяет следующий курс нейтронной терапии.

Разовая очаговая доза (РОД) быстрых нейтронов – 2.4 Гр с двух встречных полей (с каждого поля РОД – 1.2 Гр, всего 3 фракции; Ритм облучения – 2 раза в неделю с интервалом 48–72 часа. Суммарная очаговая доза – 7.2 Гр, что соответствует – 40 Гр по изоэффекту. Относительная биологическая эффективность (ОБЭ) нейтронов при однократной дозе 2.4 Гр составляет – 2.9.

Разработанная методика позволит выявить частоту рецидивов у больных МРЛ, определить эффективность новых схем химиотерапии и оперативного вмешательства у больных с распространенными формами МРЛ.

**РЕАКЦИЯ ЭКСПАНСИРУЮЩИХ ТКАНЕЙ НА ОДНОКРАТНОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ ОБЕДНЕННОГО УРАНА.**

*Набродов Г.М., Селявин С.С., Гуреев А.С.*
Воронежская государственная медицинская академия им. Н.Н. Бурденко,
кафедра гистологии, Воронеж, Россия,
z.vorontsova@mail.ru

Начиная с комплекса расстройств, обозначенных как «синдром Войны в Заливе», «Балканский синдром» и «особый синдром» трактующиеся с позиций полиорганного проявления, но без конкретных характеристик, несмотря на широкий диапазон заболеваемости военнослужащих, прибывавших на загрязненных обедненным ураном (ОУ) территориях. Кумулятивный характер ОУ представляется опасным как для участников вооруженных событий, так и для жителей близлежащих загрязненных территорий. Некоторые изменения реакций на уровне пищевого поведения, вызывающего повышение потребности в приеме пищи и воды с отмеченным снижением массы тела крыс индуцируют рассмотрение морфофункционального состояния в системе органов-мишеней при инкорпорации ОУ, и определенный интерес представляют отдаленные последствия на экспансирующие ткани – растущие. Объектом исследования были половозрелые белые, лабораторные крысы-самцы с начальным возрастом 4 мес в количестве 26 особей, из них – 6 контрольных. Экспериментальные крысы испытывали однократный пероральный прием водного раствора оксидов ОУ в дозе 0,1 мг на 100 г массы. Спустя три мес после инкорпорации водного раствора оксидов ОУ светооптическая плотность сукцинатдегидрогеназы (СДГ) в секреторных отделах околоушной железы достоверно повышалась. На уровне исчерченных выводных протоков она не изменялась, однако увеличивалась их протяженность. Светооптическая плотность лактатдегидрогеназы (ЛДГ) испытывала подобную динамику, но с меньшей выраженностью ($p<0,05$). Таким образом, можно отметить продолжительный эффект изменений светооптической плотности дегидрогеназ в паренхиме околоушной железы. Анализ светооптической плотности СДГ паренхимы зон ацинусов печени спустя три мес после воздействия показал ее динамическое снижение в центральной и промежуточной зонах ($p<0,05$), а также незначительно в периферической. Светооптическая плотность ЛДГ была повышенной ($p<0,05$) с меньшей выраженностью в центральной зоне. Морфофункциональные изменения желчевыводящих структур, перипортального пространства долек печени характеризовались образованием ложных желчных ходов по показателям светооптической плотности распределения щелочной фосфатазы (ЩФ), что являлось предпосылкой к развитию билиарного цирроза. Исследование поджелудочной железы при окраске гематоксилин-эозином спустя три месяца после инкорпорации ОУ показало деструктивные изменения ацинусов экзокринной паренхимы с достоверным изменением хромосомного аппарата и границ гомогенной зоны экзокриноцитов, ацинусов с преобладанием зимогенной, синтетически неактивной.

Таким образом, пролонгированный постурановый эффект констатировал дисбаланс распределения светооптической плотности гидролитических ферментов в структурных образованиях желез и признаки атипичной регенерации выводных структур.

# ПАТОГЕНЕТИЧЕСКИЕ МЕХАНИЗМЫ РАЗВИТИЯ ОТДАЛЕННЫХ МЕДИЦИНСКИХ ПОСЛЕДСТВИЙ У ЛИКВИДАТОРОВ АВАРИИ НА ЧАЭС

*Н.М. Оганесян, А.Г. Карапетян*
Научный центр радиационной медицины и ожогов Минздрава РА,
Ереван, Республика Армения.

Вот уже более 28 лет под динамическим наблюдением в НЦРМО находится более 2600 ликвидаторов Чернобыльской аварии. Наблюдение за ними проводится по разработанной нами 3-х ступенчатой системе, включающей диспансерный, стационарный и реабилитационный этапы. Возраст ликвидаторов в период аварии был в пределах 20-55 лет. Основное количество ликвидаторов находилось в зоне аварии в 1986г.

Результаты многолетних исследований показали, что патологические изменения у ликвидаторов аварии носили волнообразный характер. Однако с течением времени различные изменения органов и систем прогрессировали, при этом заболевания функционального круга (различные неврозы, НЦД, другие функциональные нарушения) постепенно перерастали в органические заболевания (ИБС, нарушения мозгового кровообращения, ГБ, заболевания легких, ЖКТ и другие системные расстройства). С помощью различных методов статистической обработки данных выявлены долевые соотношения радиационного и нерадиационных факторов в развитии заболеваний нервной, сердечно-сосудистой, дыхательной и пищеварительной систем в динамике 28 летнего периода. Полученные результаты свидетельствуют как о раннем, так и отдаленном поставарийном влиянии ИР на развитие заболеваемости у ликвидаторов, хотя в последнем случае эффекты ИР часто оказываются замаскированными под влиянием других неблагоприятных факторов нерадиационной природы. Так, для заболеваний ССС достаточно четкая дозовая зависимость выявлена только для раннего поставарийного периода, тогда, как в более поздние сроки ведущую роль в генезе заболеваний этого класса играет возрастной фактор. Показано, что в послеаварийном периоде происходят аддитивные взаимодействия радиационного фактора с нерадиационными, в первую очередь с такими факторами, как возраст, курение и алкоголь. Анализ смертности ликвидаторов показал, что дозовая зависимость смертности отсутствует или скрывается на фоне более значимых факторов, влияющих на продолжительность жизни. Применение в работе двухфакторного дисперсионного анализа позволило выявить отчетливую зависимость иммунологического статуса ликвидаторов от времени их участия в ликвидации последствий аварии, свидетельствуя о существенной иммунодепрессивной роли радиационного фактора на протяжении всего периода наблюдений.

Изменения органов и тканей, выявленные у лиц, принимавших участие в ликвидации аварии на ЧАЭС укладываются в понятие хронического лучевого синдрома (ХЛС), который рассматривается МКРЗ в качестве системной тканевой реакции организма на хроническое воздействие ионизирующего излучения. Механизм этой реакции является сложным и связан с комплексом не только клеточных и тканевых адаптивных реакций, но и общих ответов организма через такие регуляторные системы как нервная, иммунная и эндокринная. Очевидно, что регулирующее влияние этих систем очень важно для нормального функционирования отдельных органов и тканей, так и организма в целом в отдаленном периоде после аварийного воздействия ИР

# ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ХАРАКТЕРА ТЕЧЕНИЯ ОСТРОЙ ЛУЧЕВОЙ БОЛЕЗНИ ПРИ КОМБИНИРОВАННОМ ВОЗДЕЙСТВИИ ПОРАЖАЮЩИХ ФАКТОРОВ РАДИАЦИОННЫХ АВАРИЙ

*Д.Б. Пономарев, О.А. Данилова, С.Ю. Краев, А.Б. Селезнёв*
Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова, Санкт-Петербург, Россия,
r.laboratory@yandex.ru

При аварии на радиационно опасных объектах существует вероятность облучения людей в дозах, превышающих установленные гигиенические нормы. События на Чернобыльской АЭС и АЭС Фукусима свидетельствуют, что в данной чрезвычайной ситуации наряду с ионизирующим излучением на пострадавших могут воздействовать и другие поражающие факторы, в частности, факторы взрыва (взрывная ударная волна, тепловое воздействие, воздействие продуктов сгорания). Взрывная травма сопряжена с возникновением коммоционно-контузионной травмы и существенным изменением общего состояния пострадавшего. Установление особенностей развития и «клинических» проявлений острой лучевой болезни на фоне травматического повреждения являлось целью настоящего экспериментального исследования.

Облучение животных (крыс) осуществляли в дозе, вызывающей развитие костномозговой формы острой лучевой болезни тяжелой степени. Воздействие взрывной ударной волны моделировали посредством гидродинамического удара с возникновением закрытой травмы легкой степени тяжести. Животных группы «контроль» подвергали процедуре «имитации» воздействия (без облучения и нанесения травмы). В ходе исследования оценивали среднюю продолжительность жизни и выживаемость облученных животных (по данным наблюдения в течение 30 сут), поведенческую активность и морфологический состав периферической крови.

Анализ полученных данных показал, что облучение вызывало гибель 60 % животных как в условиях изолированного облучения (группа 1), так и комбинированного воздействия факторов (облучение и травматическое повреждение /группа 2/). Однако если в группе 2 средняя продолжительность жизни павших животных составила 11,2±1,4 сут, то в группе 1 значение данного показателя было выше более чем в 1,5 раза ($p<0,05$). В ходе оценки общего состояния подопытных животных по показателям спонтанной двигательной активности в условиях теста «Открытое поле» установлено, что спустя 1 сут после воздействия уровень горизонтальной двигательной активности у облученных животных (группа 1) был на 30 % ниже, чем у животных группы «контроль». У крыс группы 2, подвергнутых комбинированному воздействию факторов, значение вышеуказанного показателя было снижено относительно контроля почти на 70 %. Более выраженное угнетение поведенческой активности у крыс группы 2, по сравнению с животными групп «контроль» и группа 1, отмечено также по таким показателям как число и длительность реакции замирания, число вертикальных стоек и поворотов. У животных групп 1 и 2 уже в первые дни после облучения наблюдалось развитие прогрессирующих изменений картины крови, что, как известно, обусловлено нарушением кроветворения в костном мозге. Наиболее резко уменьшалось количество лимфоцитов. Анализ периферической крови крыс на 30 сут после облучения показал лишь частичную нормализацию значений гематологических показателей, в частности, содержание лимфоцитов у крыс группы 1 и 2 составило, соответственно, 56 % и 65 % от контрольных значений. Статистически значимых различий между подопытными животными групп 1 и 2 в динамике изменения показателей периферической крови не выявлено.

Полученные данные свидетельствуют о снижении средней продолжительности жизни и ухудшении общего функционального состояния пораженных в условиях комбинации облучения с травматическим повреждением легкой степени, что, однако, не сопровождалось увеличением уровня смертности.

# ИЗМЕНЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА ОПУХОЛЕВЫХ СТВОЛОВЫХ КЛЕТОК В БИОПСИЙНОМ МАТЕРИАЛЕ РАКА ВЕРХНИХ ДЫХАТЕЛЬНЫХ ПУТЕЙ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ РЕДКОИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ

*Е.И. Селиванова, В.Г. Андреев, С. А. Макаренко, И.А. Замулаева*
Медицинский радиологический научный центр Минздрава РФ, Обнинск, Россия,
selivanova_l@mail.ru

Радиорезистентность опухолевых стволовых клеток (ОСК) рассматривается в качестве одной из возможных причин рецидивирования онкологических заболеваний после лучевой терапии. Однако количественные изменения популяции ОСК после радиационного воздействия in vivo и, особенно, связь этих изменений с эффективностью лечения больных исследованы недостаточно. Поэтому целью данной работы является выяснение количественных изменений ОСК в биопсийном материале в ходе лучевой терапии больных раком верхних дыхательных путей (ВДП).

В работе использован известный в литературе метод идентификации ОСК, основанный на иммунофенотипировании по поверхностным маркерам. Группу исследования составили 27 больных плоскоклеточным раком ВДП (главным образом, гортани) на стадиях Т2-Т4. Возраст больных варьировал от 49 до 85 лет (в среднем 60,9±1,4 лет). Долю ОСК определяли в биопсийном материале больных до лечения и через 24 ч после γ-облучения в суммарной очаговой дозе (СОД) 10 Гр в режиме стандартного фракционирования дозы (по 2Гр ежедневно). Биопсийный материал механически разобщали, окрашивали с помощью ДНК-связывающего красителя Хёхст 33342 и моноклональных антител к CD44, CD24, CD45, меченных различными флуорохомами, а затем анализировали с помощью проточной цитофлуориметрии.

Установлена высокая индивидуальная вариабельность доли $CD44^{+}CD24^{-/low}CD45^{-}$ ОСК среди ядросодержащих клеток биопсийного материала. До лечения средняя доля (±se) таких клеток составляла 6,8±1,4%, после облучения в дозе 10Гр – 7,6±1,5%. У большинства больных (16 из 27) наблюдалось повышение доли ОСК после облучения по сравнению с таковой до лечения. У трех больных доля ОСК существенно не изменялась после облучения, у остальных восьми больных – уменьшалась. Величина изменений, наблюдаемых на индивидуальном уровне, была обратно пропорциональна исходной доле ОСК до лечения ($R=-0,71$; $p=0,00004$). Анализ не выявил корреляции доли ОСК до лечения с клинико-морфологическими показателями опухолевого процесса (гистологической формой, размером первичного очага и распространенностью заболевания). Средняя доля ОСК до лечения была одинакова в группах больных с разной степенью регрессии опухоли, которая оценивалась через 2 недели после первого этапа лучевой терапии в СОД 30-40 Гр. При этом важно отметить, что реакция популяции ОСК на облучение различалась в радиочувствительных и радиорезистентных новообразованиях, разделенных по критерию 50%-й регрессии после первого этапа лучевой терапии. Так, в группе 8 больных с радиорезистентными опухолями (степень регрессии менее 50%) наблюдалось статистически значимое увеличение доли ОСК после облучения в дозе 10Гр по сравнению с таковой до лечения: 9,3±4,0% vs 4,6±2,0%, соответственно, $p=0,02$. У больных с радиочувствительными опухолями (степень регрессии более 50%) этот показатель в среднем не изменялся после радиационного воздействия, что, по-видимому, указывает в таких случаях на одинаковую чувствительность ОСК и остальных опухолевых клеток к облучению.

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о связи количественных изменений ОСК с ближайшими результатами лечения рака ВДП. В дальнейшем несомненный интерес представляет изучение отдаленных результатов лечения в зависимости от количественных изменений ОСК в ходе лучевой терапии.

**РЕАКЦИЯ ОПУХОЛЕВЫХ И ОПУХОЛЕВЫХ СТВОЛОВЫХ КЛЕТОК НА ДЕЙСТВИЕ МАЛЫХ ДОЗ ГАММА-ОБЛУЧЕНИЯ**

*Семочкина Ю.П., Москалева Е.Ю., Кондрашева И.Г., Попова О.Н., Северин С.Е.*
НИЦ "Курчатовский институт", Москва, Россия,
adgezia@list.ru

Опухолевые стволовые клетки (ОСК), как и нормальные СК, характеризуются устойчивостью к противоопухолевым препаратам, которая определяется высоким уровнем экспрессии генов ABC-транспортеров, независимо от устойчивости клеток основной массы опухоли, и к действию облучения. Устойчивость ОСК к облучению в высоких дозах связывают с высокой способностью ОСК к репарации ДНК и с высокой активностью антиоксидантных систем. Действие малых доз на ОСК практически не изучено. Субстратами ABC-транспортеров являются такие флуоресцентные красители, как Hoechst 33342 и родамин-123. После инкубации опухолевых клеток с этими красителями при исследовании с помощью проточной цитофлуориметрии ОСК выявляются как популяция неокрашивающихся или слабо окрашивающихся клеток, которые образуют побочную популяцию – side-population (SP). Способность стволовых клеток слабо включать красители и образовывать SP используют в качестве суррогатного маркера для выявления и нормальных и ОСК. Целью работы явилось изучение действия малых и сублетальных доз гамма-излучения на ОСК различных линий меланомы человека и мелкоклеточного рака легкого линии Н69 и на уровень пролиферации опухолевых клеток. Опухолевые клетки культивировали в стандартных условиях. Клетки подвергали действию гамма-излучения (цезий-137) в дозах 1, 5, 10 и 20 сГр при мощности дозы 1 сГр/мин, при облучении в более высоких дозах - при мощности 20 или 50 сГр/мин. Их выживаемость оценивали путем подсчета клеток с использованием трипанового синего на 1, 3, 7 и 14-е сутки после облучения. ОСК определяли как клетки, формирующие фракцию SP с использованием родамина-123 с помощью проточной цитофлуориметрии. Скорость пролиферации оценивали по приросту клеток в процессе культивирования. Обнаружено стимулирующее действие гамма-излучения в диапазоне доз 5-50 сГр на пролиферацию опухолевых клеток человека разных типов. Для выявления эффекта необходимо исследовать действие нескольких доз, так как для клеток разных типов стимулирующие дозы могут несколько различаться, но наиболее часто указанные эффекты регистрируются при дозах от 5 до 20 сГр. Стимуляция пролиферации клеток при действии малых доз сопровождалась снижением фракции клеток, не накапливающих краситель и увеличением доли клеток слабо накапливающих родамин-123. Это снижение доли ОСК, по-видимому, связано с повышенным переходом ОСК в пул прогениторных клеток. При действии доз выше 1 Гр регистрируется ингибирование пролиферации опухолевых клеток. При высоких дозах обнаруживается увеличение доли ОСК (фракции SP), что определяется высокой радиоустойчивостью ОСК по сравнению с основной массой опухолевых клеток. Стимуляция пролиферации опухолевых клеток при действии малых доз может рассматриваться как фактор риска развития опухолей, если в зоне действия малых доз будут оказываться покоящиеся ОСК

# ОЦЕНКА ДОЗЫ ОБЛУЧЕНИЯ ПЕРСОНАЛА ОТДЕЛЕНИЙ ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ, РАБОТАЮЩЕГО С ЛИНЕЙНЫМИ МЕДЕЦИНСКИМИ УСКОРИТЕЛЯМИ, С УЧЕТОМ НАВЕДЕННОЙ АКТИВНОСТИ

*О.С.Сидоров*[1], *Д.М. Защиринский*[1], *Л.В. Владимиров*[2]

[1] Испытательный лабораторный центр ООО "КАНОН", Москва, Россия,
sidos@inbox.ru

[2] Российская медицинская академия последипломного образования Минздрава РФ, Москва, Россия,
aleks36@inbox.ru

Во всем мире ежегодно растет количество людей с онкологическими заболеваниями. Одним из основных методов лечения этой нозологической группы является лучевая терапия, поэтому потребность в радиотерапевтических системах с линейными медицинскими ускорителями электронов очень велика. Количество систем для лучевой терапии неуклонно растет как во всем мире, так и в России и будет дальше увеличиваться. Данное обстоятельство обуславливает необходимость уделять большее внимание радиационной безопасности населения и персонала, попадающего в сферу их воздействия.

Отдельного внимания заслуживает проблема обеспечения радиационной безопасности медицинского персонала постоянно работающего с системами для лучевой терапии, особенно с энергиями фотонного излучения более 10 МэВ. В результате работы на таких энергиях в конструктивных элементах установки и вспомогательном оборудовании, попадающих в прямой пучок излучения, появляется остаточная наведенная активность, создающая повышенный уровень внешнего гамма-излучения. Нами были проведены измерения этой величины. На основании полученных дозиметрических данных, нами была рассчитана доза, которую может получить персонал во время укладки пациента. Измерения проводились на различных системах для лучевой терапии фирмы «Varian Medical Systems» при энергиях излучения от 6 до 18 МэВ. При энергиях 6 и 10 МэВ наведенная активность практически отсутствовала или была незначительной и быстро убывала со временим. При энергиях 15 и 18 МэВ мощности дозы гамма-излучения на рабочем месте у стола через 1 минуту после окончания облучения составили 13,1 и 17,2 мкЗв/ч, а через 8 минут – 4,0 и 5,6 мкЗв/ч соответственно. Эти данные использовались для оценки вклада наведенной активности в индивидуальную дозу персонала по нижеприведенной методике.

Оценка дозы облучения персонала выполнялась для максимально неблагоприятных условий, когда все процедуры проводили при максимальной энергии и мощности дозы пучка фотонного излучения в изоцентре. При расчете использовались следующие исходные данные: количество пациентов в смену - 25; время, которое персонал проводит в процедурной около ускорителя при подготовке пациента к процедуре и после её окончания - 10 мин. Общее время, которое персонал проводит в течении года в процедурной у стола с пациентом и может подвергаться облучению от наведенной активности, составило 1042 часов. В результате получилось, что при энергии пучка 15 МэВ дополнительный вклад в индивидуальную дозу облучения персонала составит 7,1 мЗв, а при энергии 18 МэВ - 10,5 мЗв в год. Этот вклад является существенным и его необходимо учитывать при расчете допустимой мощности дозы на рабочих мест персонала. Руководствуясь принципом оптимизации мы рекомендуем устанавливать время запретного периода на вход персонала в процедурную после завершения сеанса облучения.

# БИОФИЗИЧЕСКИЕ ПАТТЕРНЫ СИНДРОМА ДЕЗАДАПТАЦИИ У РАБОТНИКОВ РАДИОХИМИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

*Г.В. Талалаева*
Институт экологии растений и животных УрО РАН, Екатеринбург, Россия
gvtalal@mail.ru

В связи с новым витком развития ядерной энергетики большое значение приобретают исследования, касающиеся биофизических аспектов адаптации человека к хроническому действию малых доз радиации. Ранее нами было показано, что у работников радиохимического производства регистрируются явления биофизической дезадаптации, которые объективизируются меодом РОФЭС диагностики в виде изменения кожной электропроводности точек акупунктуры (Талалаева Г.В., Соловьев К.С., 2006; Соловьев К.С., Талалаева Г.В., 2009). В настоящем сообщении представлено сравнение паттернов кожной электропроводности у работников радиохимического производства и спасателей − сотрудников МЧС России, не подвергавшихся воздействию радиационного фактора.

**Полученные результаты.** Формализован характер соотношения случаев повышенной и пониженной кожной электропроводности в структуре функциональных состояний каналов акупунктуры. Установлено, что соотношение случаев повышенной и пониженной электропроводности канала TR, характеризующего состояние микроциркуляторного русла и иммунной статуса человека, были сопоставимы в группе работников радиохимического производства и молодых сотрудников МЧС России. В процентах от числа обследованных данная пропорция составила 20,6:58,8 против 18,3:58,3 у лиц с радиационным анамнезом и без него, соответственно.Одновременно с этим, по другим каналам акупунктуры, варианты соотношений гипер- и гипофункциональных состояний в сравниваемых группах обследованных качественно отличались друг от друга. Например, таким по каналу легких это соотношение было равно 31,7:53,3 % в группе работников основного производства и 55,1:31,2 % в группе сотрудников МС. Пропорция первой группы была зеркально инвертирована по отношению к пропорции второй группы.

Та же закономерность, но с меньшей степенью симметричности, была зафиксирована для показателей кожной электропроводности по каналу печени: соотношение гиперактивных каналов к гипоактивным у работников радиохимического производства составило 50,0:38,3 против соотношения 15,5:72,5 у сотрудников МЧС России, не имеющих в анамнезе радиационного стресса.Для канала почек аналогичные пропорции были менее наглядны, но свидетельствовали о двукратной большей частоте гиперактивных состояний у работников радиоактивного производства в сравнении с сотрудниками МЧС России: 8,3:75,0 против 3,4:81,1 %.

Таким образом, в обследованных группы принципиально различались паттерны функциональной активности каналов, отражающих за дыхательную и дезинтоксикационную функции организма. У спасателей, не подвергавшихся радиационному стрессу, адаптация к профессиональным нагрузкам осуществлялась за счет интенсификации окислительных реакций на фоне относительного понижения функциональной активности печени. У работников радиохимического производства, адаптированных к профессиональной деятельности, наблюдалась обратная реакция: адаптационный процесс происходил путем снижения активности дыхательной системы при одновременном повышении дезинтоксикационной функции организма.Полагаем, что выявленный паттерн биофизического состояния лиц радиационного риска целесообразен для нивелирования окислительного стресса и являются естественным радиопротекторным механизмом и отражает трансформацию гомеостаза человека в условиях формирующейся техносферы.

# СОКРАЩЕНИЕ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ЖИЗНИ КАК ФАКТОР РАДИАЦИОННОГО РИСКА

*В.И. Тельнов*
Южно-Уральский институт биофизики, ФМБА России, Озерск, Россия,
tvi@subi.su

Для интегральной характеристики неблагоприятного влияния ионизирующего излучения наиболее информативным показателем, по мнению ряда исследователей, является сокращение продолжительности жизни у облученных людей (Cameron J.R., 2003). В этом отношении большого внимания заслуживает когорта работников первого в стране предприятия атомной промышленности ПО «Маяк», которые в результате профессиональной деятельности подверглись хроническому внешнему и внутреннему облучению в широком диапазоне доз.

Целью исследования была оценка потерянных лет потенциальной жизни (potential years life lost – PYLL) и вклада в их изменения смертности и возраста смерти при опухолевых и неопухолевых причинах смерти у облученных людей.

Изучена когорта работников ПО «Маяк» 1948-1958 годов найма, подвергшихся инкорпорации плутония-239 в широком диапазоне. Оценивали уровни смертности, возраст смерти, PYLL на основе европейского гендерного стандарта и вклад в их изменения смертности, возраста смерти и прочих факторов на основе разработанной методики. Среди причин смерти выделяли опухолевые и неопухолевые заболевания органов основного и неосновного депонирования плутония-239.

В результате установлено, что с увеличением инкорпорации плутония-239 в организме происходит снижение возраста смерти в целом на 5,2 года у мужчин и на 6,6 года у женщин, а после начала работы – на 6,9 лет у мужчин и на 7,7 лет у женщин. Показана связь повышения уровней смертности от опухолевых причин у мужчин и женщин, главным образом, за счет злокачественных новообразований легких и печени, являющихся основными органами депонирования плутония-239. Впервые выявлено связанное с инкорпорацией плутония-239 снижение возраста смерти при опухолевых и неопухолевых причинах основных и не основных органов депонирования, как у мужчин, так и у женщин. Выполненные на основе полученных оценок расчеты показали существенную зависимость повышения PYLL от уровня инкорпорации плутония-239 у мужчин при всех причинах смерти и у женщин – при большинстве. Наибольший вклад в повышение PYLL у мужчин и женщин вносила смертность при опухолевых и неопухолевых заболеваниях легких и печени. В остальных случаях и в целом PYLL повышались, главным образом, за счет снижения возраста смерти.

Таким образом, результаты проведенного исследования показали существенную зависимость от инкорпорации плутония-239 не только уровней смертности, но и возраста смерти при опухолевых и неопухолевых причинах. При этом ведущий вклад в сокращение продолжительности жизни, за исключением опухолевых и неопухолевых заболеваний органов основного депонирования плутония-239, вносило радиационно-обусловленное снижение возраста смерти по сравнению с радиационно-обусловленным повышением уровней смертности. Исходя из этого PYLL, как показатель сокращения продолжительности жизни, является более информативным по сравнению с уровнями смертности и возрастом смерти, так как является их интегральным отражением.

Полученные данные свидетельствуют о целесообразности использования для оценки радиационного риска у облученных людей показателя возраста смерти и PYLL наряду с традиционными показателями, такими как относительный риск, избыточный относительный риск и другими, основанными на повышенной смертности.

# НЕЙРОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ КОРРЕЛЯТЫ ПСИХОНЕВРОЛОГИЧЕСКИХ РАССТРОЙСТВ У ЛИКВИДАТОРОВ РАДИАЦИОННЫХ АВАРИЙ

*И. Б. Ушаков, В. П. Федоров*
ГНЦ РФ - Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия,
fedor.vp@mail.ru

Анализ состояния здоровья авиационных специалистов (возраст 33,6±6 лет), участвующих в ликвидации аварии на ЧАЭС и получивших дозу облучения 22,6±0,6 сГр., оценка профессионального долголетия, причин дисквалификации, социально-гигиенических условий жизни, состояние иммунитета и проверка выявленных нарушений в эксперименте на полную продолжительность жизни крыс, облученных однократно в дозах от 10 до 100 сГр с последующим математическим моделированием нейроморфологических показателей, составлением прогноза их развития и дозо-временной экстраполяцией на человека позволили считать, что ионизирующее излучение в изученных дозах само не оказывает существенного влияния на головной мозг и не является ведущей причиной нарушения психоневрологического статуса ликвидаторов. Обобщенный показатель выхода радиобиологического эксперимента по множеству использованных критериев практически не имеет различий с возрастными изменениями. Математическое моделирование показало, что динамика изменений всех показателей имеет нелинейный характер с умеренным или слабым коэффициентом корреляции эффекта с дозо – временными параметрами. К концу наблюдения большинство показателей соответствовало возрастному контролю. Наблюдаемые нейроморфологические эффекты практически не зависели от дозы облучения, но существенно зависели от рассматриваемого исследователем показателя и времени пострадиационного периода. Практически все рассматриваемые показатели были более лабильными при самой малой исследуемой дозе – 10 сГр, что согласуется с данными о преобладании раздражающего эффекта меньших доз облучения над ионизирующим. Выявленные преходящие нейроморфологические изменения мало согласуются с данными о росте числа нейропсихических заболеваний у ликвидаторов аварии на ЧАЭС не получивших детерминированных доз облучения. Видимо, такое несоответствие связано в реальной жизни с комбинацией ионизирующего излучения с психотравмирующими факторами, обусловленными работой на радиационно-загрязненной местности, недостаточной квалификацией в области радиобиологии, профессиональными и бытовыми вредностями, сопутствующими заболеваниями а также радиофобией и эгоистически-рентными установками. Следовательно, профилактика психоневрологических нарушений и реабилитационные мероприятия для ликвидаторов должны быть направлены на повышение их профессиональной подготовки, защиту от неблагоприятного влияния на организм факторов авиационного полета, решение медико-психологических и социально-гигиенических проблем, а также достойной компенсации рисков, которым подвергаются их близкие.

# ИЗУЧЕНИЕ ПРОТИВООПУХОЛЕВЫХ И РАДИОМОДИФИЦИРУЮЩИХ СВОЙСТВ NOS-ИНГИБИТОРА Т1023 НА МОДЕЛИ ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ

*М.В. Филимонова, Л.И. Шевченко, В.М. Макарчук, Е.А. Чеснакова*
Медицинский радиологический научный центр Минздрава РФ, Обнинск, Россия,
amnea@mail.ru

Активация NO/cGMP-пути является общим звеном в развитии ангиогенного действия большинства проангиогенных факторов. В этой связи подавление синтеза NO ингибиторами синтаз оксида азота (NOS) потенциально может оказывать неспецифическое ангиостатическое воздействие на опухоль, а также, подобно существующим антиангиогенным средствам, повышать эффективность лучевой терапии новообразований. В данной работе изучалось противоопухолевое и антиметастатическое действие ингибитора NOS и γ-излучения при их раздельном и сочетанном применении.

**Методы**. В качестве ингибитора NOS использовано соединение Т1023 из класса N,S-замещённых изотиомочевин, полученное в лаборатории радиационной фармакологии ФГБУ МРНЦ. Исследования выполнены на самцах мышей-гибридов $F_1$. В качестве опухолевой модели использована перевиваемая карцинома лёгких Льюис (КЛЛ). Локальное лучевое воздействие на опухоль проводили в дозе 5 Гр на 7 сутки от перевивки КЛЛ. Воздействие ингибитором NOS также начинали с 7 суток роста КЛЛ – Т1023 вводили ежедневно, в/б в дозе 60 мг/кг (1/5 $ЛД_{16}$) по 20 сутки. При сочетанном воздействии - Т1023 начинали вводить после облучения. Объём узлов КЛЛ оценивали каждые 3-4 суток. На 21 сутки животных выводили из опыта под эфирным наркозом и проводили подсчёт лёгочных метастазов. Опыты выполнены в двух повторностях.

**Результаты**. Воздействие γ-излучения в дозе 5 Гр вызывало торможение роста узлов КЛЛ – через неделю после облучения длительность задержки роста составляла 1,8-2 суток. С этого момента и до конца наблюдения объём узлов КЛЛ в группах, получавших облучение, был достоверно ниже, чем в контроле, а индекс роста опухоли (ИР) у этих животных сохранялся на уровне 65-75%. Радиационное воздействие вызывало также достоверное подавление метастазирования – индекс ингибирования метастазирования (ИИМ) составлял 45-60%.

Субхроническое введение Т1023 в дозе 60 мг/кг также оказывало достоверное и сходное с γ-излучением влияние на развитие КЛЛ - к концу первой недели от начала воздействия длительность задержки роста опухоли достигла 2-2,5 суток, и ИР у этих животных до конца наблюдения сохранялся в пределах 55-70%. Близким было и антиметастатическое действие Т1023 – ИИМ составлял 30-45%.

Сочетанное воздействие γ-излучения и последующего субхронического введения Т1023 в обоих опытах сопровождалось повышением противоопухолевого эффекта – через неделю после начала «лечения» длительность задержки роста КЛЛ составляла 2,8-3,2 суток, и ИР до конца наблюдения составлял 40-55%. Возрастало и подавление метастазирования – ИИМ составлял 60-70%. Наблюдаемые количественные показатели противоопухолевого и антиметастатического влияния при сочетанном воздействии ниже аддитивного уровня, однако, по крайней мере, противоопухолевое действие в этом случае достоверно превышает эффекты раздельного действия как γ-излучения, так и Т1023.

**Выводы**. При субхроническом введении соединение Т1023 в нетоксических дозах способно подавлять рост и метастазирование новообразований, а также повышать эффективность лучевой терапии.

# РАЗРАБОТКА СТАНДАРТНОГО ФАНТОМА ГЛАЗА ЧЕЛОВЕКА ДЛЯ ОЦЕНОК ДОЗ ВНУТРЕННЕГО ОБЛУЧЕНИЯ

*О.В.Фотина*[1,2], *Т.В.Гуляева*[3], *В.А.Дроздов*[1], *Д.О.Еременко*[1,2], *С.Ю.Платонов*[1,2], *О.А.Юминов*[1], *А.В.Тултаев*[4]

[1]НИИ ядерной физики им. Д.В. Скобельцына Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия,

[2]Физический факультет Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия,

[3]ООО "ТехноМедикал", Москва, Россия,

[4]ГНЦ РФ - Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна ФМБА России, Москва, Россия,

fotina@srd.sinp.msu.ru

Настоящая работа проводится в рамках исследований, целью которых является разработка α- эмиттерного радиофармпрепарата (РФП) «Астат-211, $^{211}$At». Основанием для особого внимания к оценке доз внутреннего облучения такого органа, как глаз и хрусталик глаза, являются данные по клинической практике использования РФП с радиоактивными изотопами йода. Астат-211 является химическим аналогом $^{131}$I, и вследствие этого можно априори предположить, что оценка доз внутреннего облучения органа – мишени «глаз», с одной стороны, требует особого внимания, а с другой стороны, данный орган как выделенный объект «орган- мишень» в стандартном фантоме взрослого человека в настоящий момент отсутствует. Для решения этой проблемы нами используется программная среда GEANT-4, позволяющая проводить оценки поглощенных доз облучения в органе - мишени «глаз» при симуляции сложной анатомии человеческого организма. Оценки были выполнены для γ-излучения стандартного диапазона энергий от 0,01 МэВ до 4 МэВ и α-спектра $^{211}$At. В качестве анатомического фантома нами был взят стандартный MIRD фантом (ICRP Publication 89) и более сложный фантом ORNL. В результате выполненного моделирования показано, что использование α-эмиттерного РФП «Астат-211, $^{211}$At» существенно уменьшает дозу облучения глаза и его хрусталика по сравнению с дозой, которая возникает при использовании РФП с I-131 при одинаковой терапевтической дозе в органе мишени - щитовидной железе.

# СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ОРГАНИЗАЦИИ МЕДИЦИНСКОЙ СОРТИРОВКИ ПОРАЖЕННЫХ ИОНИЗИРУЮЩИМ ИЗЛУЧЕНИЕМ НА ПЕРЕДОВЫХ ЭТАПАХ МЕДИЦИНСКОЙ ЭВАКУАЦИИ

*Халимов Ю.Ш., Карамуллин М.А., Кульнев С.В., Чеховских Ю.С., Язенок А.В., Кузьмич В.Г.*
Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова, Санкт-Петербург, Россия,
yula_spb@mail.ru

Вопросы совершенствования организации терапевтической помощи пострадавшим в результате радиационных инцидентов мирного времени сохраняют свою актуальность ввиду: сохранения риска их возникновения вследствие природных и техногенных катастроф; необходимости использования международного опыта в области ликвидации последствий радиационных аварий; появления новых средств профилактики и лечения радиационных поражений.

При организации медицинской помощи пострадавшим при возникновении очагов массовых санитарных потерь радиационного генеза на передовых этапах медицинской эвакуации в раннем периоде после инцидента неминуемо возникает ряд трудностей, препятствующих выполнению медицинскими подразделениями своих задач на уровне, соответствующем современному состоянию науки и практики. К таким трудностям можно отнести: 1) отсутствие у медицинского персонала специальной подготовки в области диагностики и лечения острых радиационных поражений; 2) нехватку врачебно-сестринского состава вследствие значительного увеличения нагрузки на этап; 3) дефицит времени для принятия диагностического решения и оказания медицинской помощи в экстренной и неотложной формах; 4) быстрое расходование лекарственных средств и медицинского имущества.

Ключевым элементом в оказании медицинской помощи пострадавшим в ближайшие часы после радиационного инцидента на передовых этапах медицинской эвакуации является медицинская сортировка. В ее основе лежит постановка предварительного диагноза каждому пострадавшему в ходе инцидента на основе ограниченного объеме клинических, анамнестических и лабораторных данных. В рекомендациях международных экспертов (METREPOL, 2001 г) заложен синдромный принцип формулировки диагноза радиационного поражения, позволяющий описать формулой острого радиационного синдрома (синоним острой лучевой болезни), большинство клинических форм радиационного поражения через комбинацию из синдромов поражения четырех основных радиочувствительных систем (нервной, кроветворной, желудочно-кишечного тракта, кожи и слизистых оболочек).

Предварительная оценка синдромного подхода, как инструмента, позволяющего формулировать диагноз острого радиационного поражения на передовых этапах медицинской эвакуации в условиях моделирования входящего потока санитарных потерь из очага мирного времени продемонстрировала, в сравнении с использованием традиционного нозологического подхода, уменьшение суммарного времени, затраченного сортировочными бригадами для принятия диагностического решения на 20-25%, а частоты диагностических ошибок на 25-30%.

Совершенствование существующих подходов к организации терапевтической помощи в случае возникновения радиационных инцидентов мирного времени должно основываться на результатах апробации новых алгоритмов медицинской сортировки в полевых условиях. Для соблюдения принципов единства подходов и преемственности при организации оказания медицинской помощи на всех этапах эвакуации наиболее рациональные технологии в деятельности медицинских работников должны внедряться, независимо от их ведомственной принадлежности.

# ПОВЕРХНОСТНАЯ ТЕРМОМЕТРИЯ С ХОЛОДОВОЙ НАГРУЗКОЙ БОЛЬНЫХ РАКОМ МОЛОЧНОЙ ЖЕЛЕЗЫ ДО - И ПОСЛЕ ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ

*Е.В. Хмелевский*
Московский научно-исследовательский онкологический институт
им. П.А. Герцена, Москва, Россия,
khmee53@mail.ru

Цель исследования - изучение влияния лучевой терапии на термопродукцию и терморегуляцию опухолевых и нормальных тканей у больных раком молочной железы. Исходные или повторные - после холодовой нагрузки - измерения поверхностной температуры проводили с помощью радиотермографа РТМ-01-РЭС в ИК-диапазоне. Исследовали 49 случаев острых постлучевых повреждений кожи 1-2 ст. (RTOG/EORTC), возникших на фоне послеоперационного облучения, 10 случаев первично неоперабельного рака молочной железы до и после лучевой терапии и еще 8 случаев иных повреждений мягких тканей неопухолевой природы. Повторные измерения в основной (зона первичного опухолевого роста или постлучевых повреждений) и симметричной контрольной точках проводили после 5-ти-минутного естественного охлаждения при температуре 21˚С или после минутного контактного охлаждения при температуре таяния льда.

Изучая острые постлучевые повреждения обнаружили, что отличия температуры между зоной повреждения и симметричной контрольной областью последовательно достоверно нарастали на ~1□С на каждую степень визуальной 3-х степенной шкалы гиперемии, а естественная холодовая нагрузка приводила к недостоверному, но устойчивому повышению этой разницы, в среднем, на 0,3□С - на 15% от исходного уровня отличий. Сопоставив эти данные с результатами термомертрии при мягкотканых изменениях иной природы предположили, что в острой (сосудистой и экссудативной) фазе повреждения поверхностных тканей умеренная естественная гипотермия увеличивает разницу теплоотделения из поврежденной зоны в сравнении с нормой, а в хронической фазе (фиброзирования), напротив — нивелирует ее.

Исследуя особенности терморегуляции опухолевой ткани выяснили, что если до облучения естественная холодовая нагрузка достоверно увеличивает отличия между опухолью и нормальными тканями, то через 1 мес. после лечения – по достижении частичного или полного эффекта - напротив, нивелирует ее. В отличие от естественной гипотермии, искусственное низкотемпературное охлаждение всегда приводило к достоверному (двукратному — до 3˚С) увеличению отличий между поверхностной температурой в зоне опухоли и в зоне контроля. Однако если в фазе активного опухолевого роста эти отличия проявлялись сразу, сохраняясь не менее 10 мин, то в фазе регрессии опухоли они сначала нивелировались и лишь затем - через 3-4 мин. вновь достигали уровня, характерного для не леченой опухоли. Выявленные отличия динамики восстановления температуры могут отражать различную природу исходной поверхностной гипертермии в фазе активного опухолевого роста и в фазе постлучевой регрессии.

**ИНФЕКЦИОННЫЙ СИНДРОМ У ОБЛУЧЁННЫХ МЫШЕЙ, ОПРЕДЕЛЯЕМЫЙ ПУТЁМ ВЫЯВЛЕНИЯ БАКТЕРИУРИИ**

*Г.А. Шальнова, И.Е. Андрианова, Н.М. Ставракова, Т.М. Булынина*
ГНЦ РФ - Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна ФМБА России, Москва, Россия,
a1931192@mail.ru

Установлено, что у облучённых организмов часто возникает инфекционный синдром, вызываемый микробами аутофлоры (аутоинфекция, эндогенная инфекция). При этом изучали аутомикрофлору кишечника, кожи, дыхательных путей, наличие микробов во внутренних органах, а определение микробов в моче мелких лабораторных животных осталось вне поля зрения, из-за трудности её взятия у последних. Известно, что выделение микробов-возбудителей происходит через мочевыводящие пути. В моче больных острой лучевой болезнью (ОЛБ), пострадавших в результате аварии на Чернобыльской АЭС, обнаруживали бактерии – представителей аутомикрофлоры.

Цель данной работы – расширение методических возможностей экспериментального изучения инфекционного синдрома ОЛБ на модели выявления бактериурии у облучённых мышей. Для этого использовали бумажные диски. Их получали из фильтрованной бумаги с помощью канцелярского дырокола (Ø = 5 мм). Пропитанные мочой (вторая капля, выделяемая у наружного отверстия мочеиспускательного канала) помещали в чашку Петри со средой Эндо на 24 час для роста микробов при 370С. На одной чашке можно расположить 20 и более дисков.

Использовано 375 мышей (СВА х С57Bl)F1 самцов, массой около 20 г при тотальном γ-облучении в различных дозах (5,0 – 10,0 Гр) при мощности 1 гр/мин.

Установлено, что бактериурия возникает в латентный период ОЛБ, достигает максимума в разгар и нормализуется в восстановительный период. Её выраженность усиливается прямо пропорционально тяжести ОЛБ.

Предложенный метод позволяет не только обнаружить наличие и оценить интенсивность бактериурии, но и определить вид микроба-возбудителя.

Метод применим для изучения бактериурии у мелких лабораторных животных, характеризующей развитие инфекционного синдрома ОЛБ. Он прост в исполнении, экономичен и информативен.

# СЕКЦИЯ 4.

# РАДИАЦИОННАЯ ЗАЩИТА И МОДИФИКАЦИЯ ЭФФЕКТОВ РАДИАЦИИ.

# РЕАКЦИЯ СИСТЕМЫ ГЕМОПОЭЗА В РЕАЛИЗАЦИИ ЗАЩИТНОГО ЭФФЕКТА РАДИОПРОТЕКТОРОВ С РАЗЛИЧНЫМ МЕХАНИЗМОМ ДЕЙСТВИЯ

*Н.В. Аксёнова* [1], *А.А. Аксёнова* [2]

[1] Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова, Санкт-Петербург, Россия,

[2] Северо-западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова, Санкт-Петербург, Россия,

nataaks@mail.ru

Клетки костного мозга высокочувствительны к радиационному воздействию. Несмотря на многочисленные исследования в этой области, поиск новых средств профилактики и терапии радиационных поражений, реализующих свой механизм путем защиты гемопоэза, остается актуальным до сегодняшнего дня.

Целью данного исследования явилась сравнительная оценка эффективности радиозащитных препаратов с различными механизмами действия в отношении костномозгового кроветворения облученных животных.

Экспериментальные исследования выполнены на мышах-гибридах (СВА×С57Bl) первого поколения, мышах линии BALB/c и белых беспородных мышах.

В качестве радиозащитных препаратов применяли: цистамин, препарат Б-190, интерлейкин-1β (ИЛ-1β), флагеллин, генистеин, β-эстрадиол, гепарин. Выбор доз и схемы введения препаратов был обоснован данными литературы.

Оценку эффективности исследуемых препаратов проводили по методикам экзогенного и эндогенного колониеобразования путем подсчета числа колоний, выросших в селезенках мышей к 9-м сут после облучения (КОЕ-$С_9$).

В ходе проведенных исследований было установлено, что применение цистамина за 20-30 мин до облучения животных в методике экзогенного колониеобразования увеличивало число КОЕ-$С_9$ более чем в 3 раза по сравнению с контролем. Радиопротекторное применение Б-190 увеличивало число колониеобразующих единиц с 3,5 в контроле до 4,4 в опытной группе. Профилактическое применение ИЛ-1β предотвращало постлучевое снижение КОЕ-$С_9$ почти в два раза. Применение гинестеина за 1 ч радиационного воздействия приводило к увеличению КОЕ-$С_9$ в 1,5 раз по сравнению с контролем. β-Эстрадиол, вводимый за 5 сут до облучения, повышал число КОЕ-$С_9$ в 1,4 раза по сравнению с контролем.

В методике эндогенного колониеобразования профилактическое введение препарата Б-190 увеличивало количество КОЕ-$С_9$ почти в два раза по сравнению с контрольной группой. Введение делетированного флагеллина за 30 мин до рентгеновского воздействия повышало число КОЕ-$С_9$ с 1,27 в контрольной группе до 2,92 в опытной. Радиопротекторное применение генистеина повышало число КОЕ-$С_9$ с 2,9 в контроле до 8,5 в опыте. Введение гепарина при облучении мышей увеличивало число эндогенных колоний в среднем на 10-15%.

Наибольший эффект сохранения гемопоэтических клеток проявлялся при совместном применении цистамина и ИЛ-1β, после которого число КОЕ-$С_9$ у облученных в дозе 2 Гр мышей-доноров составило 15,8 при 3,5 в контрольной группе. Несколько меньший эффект был у комбинации Б-190 + ИЛ-1β.

Таким образом, несмотря на различные механизмы действия, все изучаемые радиозащитные препараты защищают систему гемопоэза животных, подвергшихся острому радиационному воздействию.

# РАЗРАБОТКА НОВОГО РАДИОЗАЩИТНОГО ПРЕПАРАТА НА ОСНОВЕ РЕКОМБИНАНТНОГО ИНТЕРЛЕЙКИНА-1β ЧЕЛОВЕКА

*Г.В. Александров*[1], *А.В. Петров*[1], *А.С. Симбирцев*[1], *Н.В. Аксенова*[2], *А.Н. Гребенюк*[2]
[1] Государственный научно-исследовательский институт особо чистых биопрепаратов ФМБА России, Санкт-Петербург, Россия,
[2] Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова, Санкт-Петербург, Россия,
avpetrov@hpb-spb.com

Разработка новых радиозащитных препаратов остается одной из важнейших задач современной радиационной биологии. Известно, что провоспалительный цитокин интерлейкин-1β (ИЛ-1β) обладает радиопротекторной и терапевтической активностью. Однако практическое применение препаратов на основе рекомбинантного ИЛ-1β человека ограничивается тем, что его растворы в низкой концентрации не стабильны при хранении. В связи с этим в ФГУП «ГосНИИ ОЧБ» ФМБА России была разработана жидкая композиция, содержащая стабилизаторы третичной структуры белка, антиоксиданты, ингибиторы протеиназ, регуляторы pH и консерванты, обеспечивающие высокую стабильность раствора белка в концентрации 1 мкг/мл.

Целью настоящей работы была экспериментальная оценка радиозащитной эффективности новой жидкой лекарственной формы (ЖЛФ) рекомбинантного ИЛ-1β человека в опытах на мелких лабораторных животных.

Оценку активности ЖЛФ ИЛ-1β проводили на модели миелодепрессии, вызванной однократным введением циклофосфана. Животные двух опытных групп получали субстанцию или ЖЛФ ИЛ-1β в одинаковой дозе 50 мкг/кг, животные контрольной группы получали растворитель (физиологический раствор). Обе лекарственные формы ИЛ-1β вводили через 24 ч после циклофосфана, 1 раз в сутки в течение 3 дней. Цитометрический анализ субпопуляций клеток красного костного мозга выявил значительное увеличение промежуточных (CD11b+Ly6–) и зрелых (CD11b+Ly6+) форм гранулоцитов у животных обеих опытных групп по сравнению с контролем. В то же время достоверных различий между опытными группами не наблюдалось.

Оценку радиозащитного эффекта ЖЛФ ИЛ-1β проводили также в сравнении с субстанцией на беспородных белых мышах в модели костномозговой формы острой лучевой болезни. Исследуемые препараты вводили за 20 ч до облучения. Наблюдение вели в течение 30 суток после облучения с ежедневной оценкой количества погибших животных. Было показано, что при облучении в дозе 6,5 Гр обе формы ИЛ-1β повысили выживаемость животных до 90% по сравнению с 60% в контрольной группе. При облучении в дозе 7,5 Гр в контроле выжило 25% животных, а в группах, получавших ЖЛФ и субстанцию ИЛ-1β, 67% и 75%, соответственно. Средняя продолжительность жизни (СПЖ) животных обеих опытных групп была достоверно выше по сравнению с контролем. При облучении в дозе 8,5 Гр в обеих опытных группах выживаемость составила 8%, а выживаемость животных контрольной группы была нулевой. СПЖ погибших облученных мышей, получавших субстанцию ИЛ-1β, не отличалась от контрольной группы, тогда как в группе, получавшей ЖЛФ, данный параметр был достоверно выше, чем в контрольной группе. Дополнительно радиозащитный эффект ЖЛФ ИЛ-1β был изучен в модели эндогенного колониеобразования. Было показано, что введение новой ЖЛФ и субстанции ИЛ-1β в равной степени увеличивают число эндогенных колоний, выросших на селезенках мышей на 9 сут после облучения.

Таким образом, разработанная жидкая лекарственная форма ИЛ-1β человека обеспечивает высокую стабильность рекомбинантного белка и может быть использована при создании радиопротектора для индивидуального применения.

# К МОДИФИКАЦИИ ВИТАМИНОМ А ПОСЛЕДСТВИЙ ВНУТРИЛЁГОЧНОЙ ИНКОРПОРАЦИИ $^{239}PuO_2$

*И.К.Беляев, Е.С.Жорова, В.С.Калистратова, И.М.Парфенова, Г.С.Тищенко*
ГНЦ РФ - Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна ФМБА России, Москва, Россия,
9424951@bk.ru

Целесообразность апробации витамина А как средства некаузальной противорадиационной защиты обусловлено отсутствием эффективных способов ускорения выведения 239PuO2 из органов дыхания.

239PuO2 (1-2 мкм) вводили (20,7-22,6 кБк/крысу) нелинейным белым ♂♂ в возрасте 70 суток внутритрахеально (контроль), через 20 или 200 суток раз в месяц до конца жизни - ретинол пальмитат /РП/ (714 МЕ/крысу) - перорально (опыт).

Установлены близкая эффективность схем назначения РП (критерии согласия Пирсона $\chi 2$, Шеллинга-Вольфейля Т) и разнонаправленные модифицирующие эффекты (критерий знаков Z, $p \geq 0{,}01\text{-}0{,}05$) на последствия внутрилёгочной инкорпорации 239PuO2.

Констатировано, что РП не влияет (критерий Стьюдента t) на метаболизм 239PuO2 и среднюю гармоническую продолжительность жизни животных.

В диапазоне исследованных средних геометрических поглощенных доз 32-212 Гр РП увеличивает частоту воспалительных и склеротических заболеваний лёгких на 5-15, и 35-55% от контроля, соответственно; гиперплазии бронхиального эпителия на 35-85%; плоскоклеточной метаплазии эпителия – на 80% (81-212 Гр); гипо- и гиперплазии лимфоидной ткани в 1,2-8 раз (102-212 Гр) и в 2,1-1,1 раза (49-212 Гр); опухолей лимфоидной и кроветворной ткани (лимфо-, ретикулосарком и лейкозов) в 2,5-3 раза (85-212 Гр).

РП снижает частоту мета-, гипер- и неопластических изменений бронхиального эпителия на 40-20% (0-59 Гр) и на 10-15% (59-212 Гр); опухолей эпителиального генеза – на 50-30% (32-60 Гр) и на 10% (60-212 Гр): плоскоклеточного рака на 30-45% (32-60 Гр) и на 20-30% (60-212 Гр), аденокарцином на 60-40% (32-60 Гр), анапластического рака на 100% (90-212 Гр); лимфо-, ретикулосарком и лейкозов на 25% (32-85 Гр); число крыс со множественными опухолями и опухолями лёгких на 75-20% (0-212 Гр) и на 35-5% (32-85 Гр), соответственно.

Выявленное в указанных диапазонах поглощенных доз учащение воспалительных и склеротических заболеваний лёгких, лимфо- и ретикулосарком не позволяет рекомендовать исследованные форму, дозу и схемы назначения витамина А для профилактики отдалённых последствий внутрилёгочной инкорпорации 239PuO2.

# РАДИОМОДУЛЯТОРЫ КАК ВАЖНЫЙ КОМПОНЕНТ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ ОТ ПОРАЖАЮЩЕГО ДЕЙСТВИЯ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ

*М.В.Васин*
Российская медицинская академия последипломного образования Минздрава РФ,
Москва, Россия,
mikhail-v-vasin@yandex.ru

Радиомолуляторы представляют собой группу лекарственных средств или пищевых добавок, обладающих важными фармакологическими свойствами, способствующими повышению резистентности организма к экстремальным неблагоприятным факторам внешней среды, включая воздействие ионизирующего излучения, за счет поддержки адаптационных сдвигов, проявляющихся в стимуляции антиоксидантной системы организма. К радиомодуляторам относятся природные антиоксиданты, являющиеся важными и необходимыми компонентами питания человека, определяющие качество его жизни. Примерами могут служить биофлавоноиды (гинестеин, кверцетин, рутин, антоцианы и др.), витамины Е, С, А, ряд аминокислот (аспарагиновая, глютаминовая, кислоты, триптофан, гистидин и др.), микроэлементов (селен, магний, марганец, цинк, кобальт и др.), гидролизаты белков (КСП, МИГИ-К и др.), а также биологически активные растительные компоненты (адаптогены). Многие из них обладают антиоксидантными, антимутагенными, противовоспалительными, антибактериальными свойствами, которые способствуют противолучевому действию данных соединений. Объективной оценкой их радиомодулирующих свойств, включая условия низкоинтенсивного радиационного воздействия, является увеличение продолжительности жизни подопытных животных, а также эпидемиологические данные по смертности населения на загрязненной территории техногенными радионуклидами с оценкой качества их жизни. Современные достижения в области расшифровки генной экспрессии элементов антиоксидантного ответа и, в целом, цитогенетической регуляции горметических процессов свидетельствуют о важной роли активации Nrd2/Keep1 и Sirtuin/FoxO клеточных путей при подавлении транскриптационного фактора NF-kappaB. О роли подавления провоспалительных процессов, связанных с активацией транскриптационного фактора NF-kappaB, в снижении фибротических пострадиационных процессов свидетельствуют успешные испытания ингибироторов ангиотензин-превращающего фермента, а также его рецепторов, в профилактике и лечении радиационных поражений легких, почек и печени.

# ВОССТАНОВЛЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА ЖИРНЫХ КИСЛОТ И МАССЫ ТИМУСОВ У ОБЛУЧЕННЫХ РЕНТГЕНОВСКИМИ ЛУЧАМИ МЫШЕЙ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ЭМИ КВЧ

*А.Б.Гапеев*[1]*, А.В.Ариповский*[2]*, Т.П.Кулагина*[1]
[1]Институт биофизики клетки РАН, Пущино, Россия,
[2]ГНЦ прикладной микробиологии и биотехнологии, Оболенск, Россия,
gapeyev@icb.psn.ru

Модификация клинических эффектов лучевой терапии в онкологии с целью снижения побочного токсического действия облучения является актуальной проблемой. Наряду с этим возможность возникновения внештатных ситуаций на объектах атомной промышленности стимулирует поиск средств и методов защиты от поражающего действия ионизирующей радиации. Обнаружено, что неионизирующие электромагнитные излучения (ЭМИ) способны модифицировать эффекты ионизирующей радиации как *in vitro*, так и *in vivo*. Степень насыщенности жирнокислотных цепей липидов клеточных мембран влияет на радиорезистентность и радиочувствительность биологических объектов. Облучение животных ЭМИ способно изменять жирнокислотный состав клеток их органов и тканей. При этом параметры ЭМИ в значительной степени определяют конечный результат воздействия. Тимус является важнейшей мишенью действия ионизирующей радиации на иммунную систему. Целью работы являлось определение взаимосвязи между изменениями массы тимуса, количества и состава его жирных кислот (ЖК) у мышей при облучении рентгеновскими лучами, а также выяснение возможного защитного и терапевтического эффекта ЭМИ крайне высоких частот (КВЧ) при рентгеновском поражении.

Исследовано влияние ЭМИ КВЧ (42.2 ГГц, 0.1 мВт/см$^2$, экспозиция 20 мин, импульсная модуляция меандром с частотой 1 Гц) на количество ЖК в тимусе и массу тимусов у мышей после рентгеновского облучения в дозе 4 Гр. Показано значительное увеличение количества суммарных ЖК в тимусе через 4-5 ч после рентгеновского облучения с последующим их снижением на 10 сутки и отсутствием восстановления в течение 30 суток. На 30 и 40 сутки после рентгеновского облучения мышей не наблюдалось восстановления массы тимусов. Воздействие ЭМИ КВЧ как до, так и после рентгеновского облучения предотвращало снижение количества ЖК в пересчете на мг ткани тимуса при снижении массы тимусов по сравнению с контролем. Предварительное облучение мышей ЭМИ КВЧ перед рентгеновским облучением замедляло снижение массы тимусов по сравнению с животными, облученными ЭМИ КВЧ после рентгеновского облучения. Воздействие ЭМИ КВЧ способствовало восстановлению массы тимусов облученных рентгеновскими лучами мышей через 40 суток до уровня, значимо не отличавшегося от контроля, независимо от последовательности воздействий ЭМИ КВЧ и рентгеновского излучения. Воздействие ЭМИ КВЧ на интактных животных не оказывало значимого влияния на массу тимусов, количество и процентное соотношение ЖК.

При рентгеновском облучении мышей и комбинированном воздействии ЭМИ КВЧ и рентгеновского облучения в период, предшествующий массовой гибели тимоцитов (4-5 ч после облучения), наблюдалось достоверное увеличение содержания омега-3 и омега-6 полиненасыщенных ЖК при отсутствии изменений содержания насыщенных ЖК и снижении содержания мононенасыщенных. Повышенное содержание полиненасыщенных ЖК наблюдалось и на 10 сутки после облучения животных, когда начинаются процессы восстановления клеточности тимуса. Предполагается, что ЖК участвуют в реализации радиозащитного действия ЭМИ КВЧ.

# НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СРЕДСТВ ВЫВЕДЕНИЯ ИЗ ОРГАНИЗМА ПРОДУКТОВ ЯДЕРНОГО РАСПАДА

*Гладких В.Д., Ковтун В.Ю., Назаров В.Б.*
Научно-производственный центр «Фармзащита» ФМБА России, Химки, Россия,
gladkich@atompharm.ru

В Российской Федерации разрешены к применению в медицинской практике следующие средства выведения из организма продуктов ядерного распада и инкорпорированных радионуклидов: альгисорб и адсобар для выведения радиоактивного стронция, которые в настоящее время не выпускаются; ферроцин для выведения цезия, пентацин для выведения продуктов ядерного распада, плутония, америция, урана и определения носительства этих элементов.

Отдельно стоит остановиться на препарате цинкацин, который был разрешен для медицинского применения в 1995 г., однако в силу известных обстоятельств в промышленном масштабе не выпускался, и согласно новому законодательству для его разрешения необходимо провести клинические исследования. Если их удастся провести с привлечением сотрудников ПО Маяк, у которых еще присутствует с 70-ых годов прошлого века в скелете радиоактивный плутоний, то цинкацин будет разрешен. Цинкацин менее токсичен, чем пентацин, кроме того, он содержит цинк, который после облучения организма в больших количествах выделяется из организма, приводя к резкому снижению металлотионеинов и супероксиддисмутаз – основных ферментов, защищающих организм от действия свободных радикалов, и не выводит ряд тяжелых металлов, которые входят в состав других необходимых организму ферментов.

.В 1995 - 2000 годах был опубликован синтез новых функциональных сорбентов на основе гидроксипиридона, получивших название HOPO хелаторов. Показано, что они селективно выводят плутоний, уран, торий и америций из организма. Уже в XXI веке многочисленными исследованиями установлено, что предлагаемые соединения не токсичны для млекопитающих, даже при хроническом введении. Важным преимуществом HOPO соединений является их эффективность при пероральном способе введения. В сравнительных опытах показано, что они при пероральном введении, по крайней мере, в три раза более эффективны, чем пентацин при внутривенном способе введения. По-видимому, они будут разрешены к медицинскому применению в США в ближайшее время.

Необходимо осуществить синтез этих соединений, изучить их токсикологические характеристики, специфическую активность при различных способах введения. При подтверждении опубликованных результатов, подготовить материалы для проведения первой фазы клинических исследований.

Работа будет проводиться ФГУП НПЦ «Фармзащита» ФМБА России совместно с ФГБУ "Федеральный медицинский биофизический центр имени А.И.Бурназяна" ФМБА России.

# ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ РАДИОЗАЩИТНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ НАНОФОРМЫ СИНТЕТИЧЕСКОГО ГЕНИСТЕИНА

*А.Н. Гребенюк[1], В.А. Башарин[1], Р.А. Тарумов[1], В.Ю. Ковтун[2], И.Е. Чикунов[2], Х.К. Нгуен[3], В.И. Швец[3], В.В. Чупин[4]*

[1] Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова, Санкт-Петербург, Россия,
[2] Научно-производственный центр «Фармзащита» ФМБА России, Химки, Россия,
[3] Московский государственный университет тонких химических технологий им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия,
[4] Московский физико-технический институт, Долгопрудный, Россия,
tarumov_ra@mail.ru

Проблема химической защиты организма от воздействия ионизирующей радиации с каждым годом приобретает все большую актуальность. Кроме того, существует необходимость в адресной доставке к биомишеням фармакологических средств, обладающих радиозащитной эффективностью, с минимальным их разрушением в процессе транспортировки. Такие проблемы могут быть решены применением препаратов, помещенных на наноносители. В России была создана наноформа синтетического генистеина, однако сведения об острой токсичности и противолучевых свойствах этого препарата в литературе не представлены.

Целью данного исследования явилась изучение острой токсичности и радиозащитной эффективности наноформы генистеина в опытах на мелких лабораторных животных.

Экспериментальные исследования выполнены на 580 белых беспородных мышах-самцах и мышах-самцах гибридов F1 (CBA x C57Bl).

Наноформу генистеина готовили из дисперсии, состоящей из синтетического генистеина в дозе 1 мг/мл ТГФ, БЭС – 5 мг/мл ТГФ, CHS – 1 мг/мл ТГФ, DOPG – 1мг/мл ТГФ, фосфатного буфера 10 мМ, pH 7,5 – 25 мл. Дисперсию упаривали до объема 10 мл. После упаривания концентрация генистеина в дисперсии составила 10%. Полученную дисперсию растворяли в дистиллированной воде для создания необходимой концентрации генистеина.

Препарат в исследованиях, направленных на изучение острой токсичности, мышам вводили в дозах от 200 мг/кг до 5000 мг/кг. В исследования по оценке радиозащитной эффективности наноформы генистеина препарат вводили в дозах 150 мг/кг или 500 мг/кг в режиме профилактического приема – за 24 ч, 1 ч до радиационного воздействия и курсом из двух инъекций – первое введение за 24 ч, второе – за 1 ч до острого облучения, а также в схемах терапевтического применения препарата – через 1 ч или через 4 ч после радиационного воздействия. Для экспериментального моделирования острых радиационных поражений животных подвергали общему однократному рентгеновскому облучению на установке РУМ-17 в дозах 6.5, 7.5 или 8.5 Гр.

Установлено, что $LD_{50}$ для наноформы генистеина превышает 5000 мг/кг, что позволяет отнести это соединение к малотоксичным веществам. По критериям выживаемости и средней продолжительности жизни облученных мышей наиболее выраженный радиозащитный эффект регистрировался при профилактическом применении наноформы генистеина в дозе 150 мг/кг за 1 ч до острого рентгеновского облучения, при этом ФИД препарата составил 1,18.

Выявленная в предварительных исследованиях радиозащитная активность наноформы синтетического генистеина позволяет рекомендовать дальнейшее изучение этого препарата в качестве перспективного средства профилактики радиационных поражений и оценку возможных механизмов его радиозащитного действия.

# ЭФФЕКТИВНОСТЬ СТАЗЕПИНА КАК СРЕДСТВА ПРОФИЛАКТИКИ И ЛЕЧЕНИЯ ОСТРЫХ РАДИАЦИОННЫХ ПОРАЖЕНИЙ

*О.А. Данилова, И.И. Красильников*
Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова, Санкт-Петербург, Россия,
r.laboratory@yandex.ru

Широкое внедрение радиационных технологий в различных отраслях народного хозяйства, промышленности, науки, медицины, повышает риски воздействия ионизирующих излучений в широком диапазоне доз на персонал и население. Современные противорадиационные средства не в полной мере отвечают требованиям по эффективности, безопасности, удобству применения и др. Установлено, что десятки официнальных лекарственных средств различных фармакологических групп помимо основного фармакологического действия обладают радиозащитной активностью. Поэтому, одним из перспективных направлений совершенствования системы медицинской противорадиационной защиты является поиск противолучевых средств среди официнальных фармакологических препаратов.

Цель работы - экспериментальное изучение противолучевой (профилактической и лечебной) применения стазепина. Данный препарат относится к группе трициклических антидепрессантов, среди которых имеются эффективные радиозащитные средства (имипрамин, тримипрамин и др.).

Исследования выполнены на белых беспородных мышах и крысах, облученных в дозе $СД_{90\text{-}100/30}$. Стазепин в дозе 10 мг/кг вводили внутрибрюшинно: мышам за 24 ч, за 10 мин до или через 10 мин после облучения; крысам за 10 мин до или через 10 мин после облучения. Характер течения и исходов острого радиационного поражения оценивали по выживаемости и средней продолжительности жизни (СПЖ) животных. Результаты проведенных исследований свидетельствуют, что стазепин обладает профилактической и лечебной противолучевой эффективностью. В экспериментах на крысах показано, что в группе «контроль облучения» выживаемость составляла 0 + 8 % при величине СПЖ 7,9 ± 1,1 сут. Профилактическое введение стазепина способствовало увеличению выживаемости до 42 ± 12 %,а величины СПЖ до 10,2 ± 3,1 сут. При введении стазепина после облучения выживаемость крыс составила 33 ± 13 % при величине СПЖ 14,3 ± 2,3 сут. Ведение препарата мышам увеличивало выживаемость облученных животных на 50-60 %.

Полученные данные свидетельствуют о необходимости дальнейшего изучения радиозащитных свойств стазепина. Противолучевое действие препарата, вероятно, связано с активацией процессов аутофагии, т.е. захвата дефектных внутриклеточных макромолекул и органелл и доставки их в лизосомы, где они подвергаются дезинтеграции. С другой стороны, стазепин подобно его структурным аналогам, вероятно, ингибирует обратный захват моноаминов, что также может способствовать его радиозащитному действию.

# СОВРЕМЕННЫЕ СРЕДСТВА ПРОФИЛАКТИКИ И КУПИРОВАНИЯ ДИСПЕПСИЧЕСКОГО СИНДРОМА ПЕРВИЧНОЙ РЕАКЦИИ НА ОБЛУЧЕНИЕ

*И.С. Драчёв, В.И. Легеза, А.Б. Селезнёв*
Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова, Санкт-Петербург, Россия,
dr.ingwar@mail.ru

Синдром первичной реакции на облучение (ПРО), особенно его диспепсические проявления (тошнота, рвота, диарея), являются одной из основных причин ухудшения самочувствия и снижения трудоспособности в раннем постлучевом периоде. Особую актуальность проблема профилактики и купирования ПРО приобретает в условиях проведения экстренных противоаварийных работ, при ликвидации последствий радиационных аварий, когда личный состав аварийно-спасательных групп и технический персонал объекта, эксплуатирующего источники ионизирующих излучений (ИИ), может находиться в ситуации непрогнозируемости облучения организма в широком диапазоне доз.

Цель работы — экспериментальная оценка эффективности современных антиэметиков в качестве средств профилактики и купирования диспепсического синдрома ПРО. Опыты выполнены на собаках, подвергнутых острому относительно равномерному γ-облучению в абсолютно эметогенных дозах: 20 и 30 Гр. Через 2-3 мин после облучения животным внутримышечно или перорально вводили один из следующих препаратов: антагонист $Д_2$ рецепторов, блокатор $5НТ_3$ рецепторов (I или III поколения), антагонист $NK_1$ рецепторов. Время наблюдения за облученными животными составляло 6 ч. При проведении исследования соблюдали требования нормативно-правовых актов о порядке экспериментальной работы с использованием животных, в т.ч. по гуманному отношению к ним. Установлено, что антагонист $Д_2$ рецепторов способствовал предупреждению рвоты у 50 % собак, облученных в дозе 20 Гр, и у 20 % животных, облученных в дозе 30 Гр. Более выраженное противорвотное действие отмечено при введении антагониста $5НТ_3$ рецепторов. Наблюдали предотвращение рвоты у 70 % собак, облученных в дозе 20 Гр, и у 50 % животных, облученных в дозе 30 Гр. Наиболее выраженный противорвотный эффект отмечен при введении антагонистов $NK_1$ рецепторов. При воздействии ИИ в дозе 30 Гр единичные рвотные акты развивались у 50 % облученных животных, а при облучении в дозе 20 Гр рвотная реакция отсутствовала. Из всех исследованных препаратов наибольший защитный эффект на развитие постлучевой диареи оказали антагонисты $5НТ_3$ рецепторов. На их фоне полностью купировалась диарея, после облучения в дозе 20 Гр. При увеличении дозы облучения выраженность антидиарейного действия этих препаратов снижалась.

Таким образом, для профилактики и купирования диспепсического синдрома ПРО наиболее перспективны антагонисты $5НТ_3$ и $NK_1$ рецепторов. Актуальной остается задача по созданию комплексных рецептур, компоненты которых будут наиболее эффективно воздействовать на различные проявления ПРО (тошноту, рвоту, диарею, гиподинамию). Наиболее подходящим антиэметическим компонентом рецептуры в настоящее время являются антагонисты $5НТ_3$ рецепторов III поколения.

# ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМОВ ФЕНОМЕНА ВЗАИМНОГО ОТЯГОЩЕНИЯ ПРИ СОЧЕТАННЫХ РАДИАЦИОННЫХ ПОРАЖЕНИЯХ И ЭФФЕКТИВНОСТИ СРЕДСТВ ЕГО МОДИФИКАЦИИ

*Н.И. Заргарова, В.И. Легеза, А.Н. Гребенюк, А.Ю. Кондаков*
Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова, Санкт-Петербург, Россия,
z_nika51@mail.ru

Как при использовании ядерного оружия, так и при радиационных авариях изолированные поражения от острого внешнего облучения встречаются значительно реже, чем комбинированные (радиационно-механические и радиационно-термические) и сочетанные (обусловленные одновременным или последовательным воздействием на организм внешнего и местного облучения). Наиболее характерной особенностью такого рода патологии является т.н. «феномен» (более известный как «синдром») взаимного отягощения (ФВО), суть которого заключается в более тяжелом течении каждого из составляющих патологический процесс компонентов.

К настоящему времени наиболее подробно изучен ФВО, развивающийся в условиях комбинированных радиационных поражений, тогда как при сочетанных радиационных поражениях механизмы и возможности модификации указанного феномена изучены недостаточно, что и обусловило выбор цели настоящей работы.

Исследования выполнены на белых беспородных крысах-самцах в соответствии с требованиями нормативно-правовых документов о порядке проведения экспериментальных работ с применением животных. Глубокие (III-б) степени ожоги кожи наносили с помощью рентгенотерапевтического аппарата РУМ-17. Облучению подвергали участок кожи площадью 10 % поверхности тела, доза облучения составляла 60 Гр, мощность дозы 3,3 Гр/мин. Общее облучение осуществляли от источника γ-излучения (установка ИГУР-1, $^{137}Cs$), дозы облучения от 5 до 6,75 Гр, мощность дозы 1,37 Гр/мин.

Установлено, что под влиянием лучевого ожога 30-суточная выживаемость животных, подвергнутых общему γ-облучению, снижается в среднем на 40 %. В свою очередь, под влиянием общего γ-облучения в дозах $СД_{10\text{-}50/30}$ значительно (на 30-40 %) снижается скорость заживления ожоговой раны, что в совокупности свидетельствует о развитии ФВО при использовании разработанной модели сочетанного радиационного поражения. В его патогенезе важное значение имеет усугубление проявлений оксидативного стресса, эндотоксемии и гематоиммунных нарушений.

Показано, что наиболее перспективными средствами профилактики и лечения сочетанных радиационных поражений, включающих общее γ-облучение и глубокие радиационные ожоги, являются радиопротекторы нафтизин и цистамин, иммуномодуляторы беталейкин и продигиозан, раневые покрытия сангвикол, колоцил, гемасепт и биотравм.

# ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА РАДИОЗАЩИТНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОМБИНИРОВАННОГО ПРИМЕНЕНИЯ ПРЕПАРАТОВ С РАЗЛИЧНЫМИ МЕХАНИЗМАМИ ПРОТИВОЛУЧЕВОГО ДЕЙСТВИЯ ПРИ ОСТРОМ ОБЛУЧЕНИИ

*В.В. Зацепин*
Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова, Санкт-Петербург, Россия
vz-vtmz@yandex.ru

Выраженность радиозащитного эффекта большинства современных радиопротекторов напрямую связана с количеством вводимого препарата. Оптимальные радиозащитные дозы ограничены степенью токсичности этих соединений. Одним из направлений совершенствования медицинской противорадиационной защиты является поиск радиозащитных комбинаций препаратов с разными механизмами противолучевой защиты.

Целью исследований явилась экспериментальная оценка радиозащитной эффективности совместного применения противолучевых средств, выпускаемых на территории РФ, при остром облучении (цистамина, Б-190, гепарина, интерлейкина-1β).

Эксперименты выполнены на белых беспородных мышах-самцах, мышах-самцах гибридах (СВА х С57Bl) F1 и белых беспородных крысах. Общее относительно равномерное рентгеновское облучение животных осуществляли в дозах $ЛД_{50\text{-}90/30}$. Цистамин, Б-190 и гепарин вводили до, а интерлейкин-1β – после лучевого воздействия. Сроки и дозы введения препаратов обоснованы данными литературы.

Оценку противолучевой эффективности изучаемых схем введения препаратов проводили на основе анализа 30-ти суточной выживаемости, оценки эффективности костномозгового кроветворения и динамики показателей лейкоцитарной формулы облученных животных.

Установлено, что в условиях внешнего радиационного воздействия последовательное применение изучаемых препаратов позволяет существенно увеличить выживаемость облученных животных. ФИД для схемы препарат Б-190 + интерлейкин-1β составил 1,5; для схемы гепарин + интерлейкин-1β – 1,3; а при последовательном применение цистамина и интерлейкина-1β – 1,6.

Комплексное применение изучаемых препаратов способствовало снижению выраженности постлучевых нарушений костномозгового кроветворения. Так, ФИД, оцененный по критерию образования эндогенных селезеночных колоний, при введении цистамина и интерлейкина-1β составил 1,64; препарата Б-190 и интерлейкина-1β – 1,62; а гепарина и интерлейкина-1β – 1,22.

Наиболее эффективно уменьшали выраженность ранней постлучевой лейкопении и увеличивали темп восстановления количества клеток лейкоцитарного ростка кроветворения схемы введения препаратов, включающие в себя цистамин или Б-190 и интерлейкин-1β.

Представленные данные свидетельствуют о том, что комплексные схемы применения средств с разными механизмами противолучевого эффекта в значительной степени снижают тяжесть течения острого лучевого поражения у животных. Среди изученных схем введения препаратов наиболее эффективной, по результатам наших исследований, является комбинация цистамина с интерлейкином-1β. Сравнимой эффективностью обладает и комбинация препарата Б-190 с интерлейкином-1β.

Полученные результаты свидетельствуют о необходимости дальнейшей разработки подходов к созданию лечебно-профилактических схем, включающих в себя использование препаратов с различными механизмами противолучевого действия.

# ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ И ЛУЧЕВОЕ ПОРАЖЕНИЕ

*А.А. Иванов*[1,2], *И.Б. Ушаков*[1]
[1]ГНЦ РФ - Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия,
[2]ГНЦ РФ - Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна ФМБА России, Москва, Россия,
a1931192@mail.ru

Питьевая вода, помимо, выполнения основной функции – утоления жажды – является источником ряда минеральных и органических веществ, необходимых для организма человека и животных. В зависимости от происхождения, способа очистки и обеззараживания вода приобретает новые физико-химические свойства, в числе которых можно назвать химический состав, уровень окислительно-восстановительного потенциала, изотопный состав молекул воды, остаточные количества обеззараживающих веществ и др. Особую категорию составляют лечебные минеральные воды.

В ходе многолетних исследований установлены существенные сезонные колебания в способности водопроводной воды, модифицировать течение лучевого поражения. Обнаружены уникальные лечебные свойства слабоминерализованной натуральной воды из естественного источника при острой лучевой болезни.

Установлена способность легкоизотопной воды – воды с пониженным содержанием дейтерия и кислорода 18О оказывать лечебное действие при костномозговой форме лучевой болезни, которое выражалось в повышении 30-суточной выживаемости на 30 – 40% по сравнению с облучённым контролем и стимуляции костномозгового кроветворения в восстановительный период.

С помощью введения в состав питьевой воды минерал-органического комплекса достигнуто приобретение её лечебных свойств при острой лучевой болезни.

Легкоизотопная вода, бутилированная вода первой категории качества, водопроводная вода, подвергнутая дополнительной электрохимической очистке, при длительном использовании животными, в качестве питьевой воды перед облучением обладают выраженными радиомодифицирующими свойствами, при этом отмечено повышение чувствительности цитогенетического аппарата костномозговых клеток – увеличение числа хромосомных аберраций – к действию ионизирующего излучения на фоне повышения митотической активности.

Исследованы особенности влияния воды различного происхождения на течение лучевого поражения в кишечной форме, а также при фракционированном облучении животных.

В докладе будут обсуждены механизмы радиомодифицирующего действия питьевой воды различного происхождения с различными физико-химическими свойствами, а также перспектива регулирования качества питьевой воды при использовании после воздействия радиации на организм профессионалов, а также в клинике и эксперименте.

# ПРОФИЛАКТИКА ОТДАЛЕННЫХ ПОСЛЕДСТВИЙ ВНЕШНЕГО И ВНУТРЕННЕГО ОБЛУЧЕНИЯ ПРИ ПОМОЩИ ВИТАМИНА А И ЕГО ПРЕДШЕСТВЕННИКА - БЕТА-КАРОТИНА

*В.С. Калистратова, И.К. Беляев, Е.С. Жорова, И.М. Парфенова, Г.С. Тищенко*
ГНЦ РФ - Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна ФМБА России, Москва, Россия,
kalistratova. VS @ gmail.com

В связи с тем, что развитие злокачественных новообразований является наиболее серьёзным из отдаленных последствий радиационных поражений, первоочередной задачей при проведении профилактики отдаленных последствий должен быть выбор средств эффективного предупреждения радиационно-индуцированных онкологических заболеваний. Экспериментальные данные, отчасти эпидемиологические и клинические исследования показали, что витамин А и бета-каротин (БК), обладающие антиканцерогенным, антиоксидантным и иммуномодулирующим действием, способны ингибировать рак.

В докладе будут обобщены экспериментальные данные о радиозащитном и противоопухолевом действии БК при воздействии внешнего общего облучения и радионуклидов с разным характером распределения в органах и тканях: $^{131}$I, $^{238}$Pu, НТО, $^{90}$Sr.

Длительное (в течение всей жизни после воздействия нуклида) применение физиологических количеств БК (синтетического или микробиологического) вызывает одинаковую направленность профилактических эффектов: удлиняется средняя продолжительность жизни; удлиняется (на несколько лет при экстраполяции на человека) латентный период до момента появления первой опухоли после воздействия радионуклида; снижается частота и скорость развития опухолей. Наиболее чувствительными к действию БК были опухоли эпителиального происхождения.

Изучение антиканцерогенного действия ретинола и БК показало, что ретинол, помимо положительных эффектов, вызывает отрицательные - увеличение кумулятивной частоты опухолей и изменение спектра радиационно-индуцированных опухолей.

В экспериментах с $^{131}$I получены данные, свидетельствующие о том, что с уменьшением возраста на момент поступления радионуклида профилактическое действие БК значительно возрастает, особенно в отношении бластомогенных эффектов. Профилактика бета-каротином нарушений сперматогенеза крыс, индуцированных инкорпорацией $^{90}$Sr, способствовала уменьшению их в 2 раза.

Результаты длительных и многосторонних исследований, показали, что БК является перспективным в отношении профилактики отдаленных последствий, вызванных ионизирующим излучением. Однако, необходимо проведение дальнейших научных поисков, связанных с оптимизацией дозы, ритма и длительности введения нуклида, совершенствованием методов использования бета-каротина, что позволит значительно снизить риск возникновения отдаленной лучевой патологии.

# ДИГИДРОКВЕРЦЕТИН - АНТИОКСИДАНТ, СПОСОБНЫЙ ЗАЩИЩАТЬ ДНК ОТ ОКИСЛИТЕЛЬНЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ, ВЫЗВАННЫХ АКТИВНЫМИ ФОРМАМИ КИСЛОРОДА, И ПРОЯВЛЯТЬ РАДИОЗАЩИТНЫЕ СВОЙСТВА

*О.Э. Карп, О.В. Шелковская, С.В. Гудков, В.И. Брусков*
Институт теоретической и экспериментальной биофизики РАН, Пущино, Россия,
olgakarp1@gmail.com

Поиск безопасных и эффективных радиозащитных препаратов продолжается уже более шестидесяти лет. В настоящее время одним из основных направлений поиска радиозащитных веществ является скрининг адаптогенов растительного происхождения. Флавоноиды – один из наиболее перспективных классов природных соединений, способных модифицировать отрицательные эффекты ионизирующей радиации, дигидрокверцетин (ДГК) – один из ярких представителей этого класса. Цель настоящей работы заключалась в исследовании антиоксидантных и радиозащитных свойств дигидрокверцетина. С помощью специфичного для гидроксильных радикалов флуоресцентного зонда – кумарин-3-карбоновой кислоты исследовано влияние ДГК на концентрацию гидроксильных радикалов, образующихся под действием рентгеновского излучения. Показано, что ДГК в существенной мере снижает выход радиационно-индуцированных гидроксильных радикалов водных растворах *in vitro*. При увеличении концентрации ДГК в растворе с 0,1 до 1 ммоль/л наблюдается уменьшение количества гидроксильных радикалов с 15 до 80%. С помощью определения оптической плотности образцов с использованием красителя ABTS (2.2'-азино-ди-3-этил-2.3-дигидробензотиазолин-6-сульфоновой кислоты) исследовано влияние ДГК на образование перекиси водорода в водных растворах под действием рентгеновского излучения. Установлено, что ДГК значительно снижает выход радиационно-индуцированной перекиси водорода в водных растворах *in vitro*. При увеличении концентрации ДГК в растворе с 0,1 до 1 ммоль/л наблюдается уменьшение количества перекиси водорода с 20 до 70%. С помощью метода микроядерный тест исследовано влияние ДГК на образование цитогенетических повреждений в клетках красного костного мозга самцов мышей - полихроматофильных эритроцитов (ПХЭ) с микроядрами (МЯ) - под действием рентгеновского излучения. Показано, что при введении ДГК мышам в концентрациях 150 и 300 мк/кг в красном костном мозге мышей уменьшается образование радиационно-индуцированных ПХЭ с МЯ. Защитный эффект ДГК увеличивается при повышении его концентрации. Исследовано влияние ДГК на выживаемость животных, подвергнутых воздействию рентгеновского излучения в дозе 7 Гр. Установлено, что внутрибрюшинное введение ДГК в концентрации 30 мг/кг за 15 минут до тотального рентгеновского облучения в дозе 7 Гр приводит к увеличению выживаемости мышей. Таким образом, установлено, что ДГК проявляет существенные антиоксидантные, а также радиозащитные свойства.

# НОВЫЕ СРЕДСТВА ПРОФИЛАКТИКИ РАДИАЦИОННОГО СТРЕССА НА ОСНОВЕ СТАБИЛЬНЫХ МАГНИТНЫХ ИЗОТОПОВ

*В.К. Кольтовер* [1], *В.Г. Королев* [2], *Ю.А. Кутлахмедов* [3]

[1] Институт проблем химической физики РАН, Черноголовка, Россия, koltover@icp.ac.ru

[2] Петербургский институт ядерной физики - НИЦ «Курчатовский институт», Гатчина, Россия, lge@omrb.pnpi.spb.ru

[3] Институт клеточной биологии и генетической инженерии НАН Украины, Киев, Украина, ecoetic@yandex.ru

С середины прошлого столетия атомная энергетика стала частью нашей повседневной жизни. К сожалению, «человеческий фактор» делает неизбежными аварии, даже катастрофы, как это было в Уиндскейле (Англия, 1957), Три-Майл-Айленде (США, 1979), Чернобыле (Украина, 1986) и Фукусиме (Япония, 2011). Нужно заблаговременно принимать меры предосторожности, направленные на уменьшение пагубных последствий воздействия радиации на специалистов атомной промышленности и население территорий, загрязненных радиацией. Для защиты от острого радиационного поражения известен целый ряд эффективных радиопротекторов на основе биологически активных аминов, аминотиолов и антиоксидантов. Однако эти соединения, как правило, токсичны. Для защиты от хронического излучения в малых дозах необходимы малотоксичные лекарственные средства, пригодные для долгосрочного применения в качестве пищевых добавок. В этом плане интересны стабильные магнитные изотопы химических элементов, которые входят в норме в состав нанореакторов живых клеток. Особый интерес представляет магний. Из трех стабильных изотопов магния – $^{24}$Mg, $^{25}$Mg и $^{26}$Mg с природным соотношением приблизительно 79, 10 и 11%, только $^{25}$Mg имеет ядерный спин ($I$=5/2) и, соответственно, создает магнитное поле. $^{24}$Mg и $^{26}$Mg не имеют ядерного спина ($I$=0) и не создают магнитного поля. В наших работах были обнаружены изотопные различия в кинетике восстановления клеток дрожжей *S. cerevisiae* после облучения коротковолновым УФ светом. Константа скорости восстановления клеток, обогащенных магнитным изотопом, $^{25}$Mg, оказалась вдвое выше, чем константа скорости восстановления клеток, обогащенных немагнитным изотопом, $^{24}$Mg [1]. Так как для репарационных процессов, прежде всего – для репарации и синтеза ДНК, необходим АТФ, то можно было предположить, что обнаруженный радиозащитный эффект обусловлен более высокой эффективностью изотопа $^{25}$Mg, по сравнению с немагнитным изотопом магния, в качестве $Mg^{2+}$-кофактора «топливно-силовых» нанореакторов клетки. Действительно, в экспериментах с одним из важнейших молекулярных моторов биоэнергетики – мышечным белком миозином обнаружена значительная, в 2-2,5 раза, стимуляция АТФ-гидролазной активности миозина при замене немагнитного изотопа магния, $^{24}$Mg или $^{26}$Mg, на магнитный изотоп $^{25}$Mg [2]. Полученные результаты демонстрируют принципиальную возможность создания новых радиопротекторов («пищевых добавок») на основе стабильных магнитных изотопов. Работа поддержана РФФИ, проект № 14-04-00593а.

1. V.K. Koltover, V.G. Korolev, Y.A. Kutlakhmedov. In: *Ionizing Radiation: Applications, Sources and Biological Effects*, New York: Nova Science Publishers, Inc. 2012, pp. 117-128.

2. V.K. Koltover, R.D. Labyntseva, A.A. Lul'ko, V.K. Karandashev, S.A. Kosterin. *Reports Natl. Acad. Sci. Ukraine*, 2014, №1, 163-170.

# ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СРЕДСТВ КОНСЕРВАТИВНОГО ЛЕЧЕНИЯ ЛУЧЕВЫХ ОЖОГОВ ПРИ СОЧЕТАННЫХ РАДИАЦИОННЫХ ПОРАЖЕНИЯХ

*А.Ю. Кондаков, Н.И. Заргарова*
Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова, Санкт-Петербург, Россия,
alexkondakov@list.ru

Проблема лучевых ожогов остается актуальной до настоящего времени. Особую сложность представляет лечение лучевых ожогов у пострадавших с сочетанными радиационными поражениями. Цель исследования - изучение в эксперименте эффективности различных ранозаживляющих средств местного действия, разрешенных к клиническому применению у человека и не изученных в эксперименте при сочетанных поражениях.

Эксперименты проведены на белых беспородных крысах массой 180-200 г. согласно Правилам проведения работ с использованием экспериментальных животных и Европейской конвенции по их защите, изложенной в директиве Европейского сообщества (86/609/ЕС). Поверхностные лучевые ожоги III-а степени моделировали облучением кожи от контактного источника β-излучения в дозах 30 и 60 Гр. Площадь поражения кожи – 1 % поверхности тела. Глубокие лучевые ожоги III-б степени моделировали облучением кожи от источника рентгеновского излучения в дозе 60 Гр при напряжении на трубке 180 кВ, анодном токе 15 мА, кожно-фокусном расстоянии 25 см. Площадь поражения кожи - 10 % поверхности тела. Сочетанные радиационные поражения (СРП) моделировали в вариантах β - или рентгеновского ожога на фоне общего облучения от источника γ-излучения на установке ИГУР-1 в дозе 4 Гр.

При исследовании использовали средства местного лечения лучевых ожогов (мази, гели, кремы, растворы), содержащие соединения следующего типа: противомикробные (метрогил, левомеколь, ируксол, тетрациклин, банеоцин, дермазин); гормоны (гиоксиозон, акридерм Гента, акридерм СК); стимуляторы репарации (актовегин, биопин, пантенол-ратиофарм, вулнузан, эплан, цинковая мазь, линимент Вишневского); иммуномодуляторы (мазь с ИЛ-1β); антисептики (димексид). Из аэрозолей изучали эффективность комбинированных препаратов «Олазоль», «Полькортолон ТС», «Гипозоль», обладающих противовоспалительным, антисептическими и стимулирующим регенерацию действием. Изучали эффективность раневых покрытий на основе хитозана «Процел-супер», «Селенопол» и коллагена «Биатравм», «Колоцил», «Сангвикол» и «Гемасепт».

Установлено, что все исследованные средства местного лечения оказывали лечебное действие только при поверхностных β-поражениях кожи. При СРП, включающих поверхностные лучевые ожоги, наиболее эффективными среди всех изученных средств оказались раневые покрытия на основе хитозана – «Процел-супер» и «Селенопол». При СРП, включающих глубокие лучевые ожоги из исследованных раневых покрытий на коллагеновой основе, только применение “Биотравма” способствовало сокращению сроков отслоения струпа на 10 сут по сравнению с контролем.

# РОЛЬ ОКСИДАТИВНОГО СТРЕССА В МЕХАНИЗМАХ БИОЛОГИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БЕТАЛЕЙКИНА В ТЕРАПИИ МЕСТНЫХ И СОЧЕТАННЫХ РАДИАЦИОННЫХ ПОРАЖЕНИЙ

*А.Ю. Кондаков [1], А.Б. Селезнев [1], Г.Г. Родионов [2], Н.И. Заргарова[1]*

[1]Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова, Санкт-Петербург, Россия,
alexkondakov@list.ru

[2]Всероссийский центр экстренной и радиационной медицины
им. А.М. Никифорова МЧС России, Санкт-Петербург, Россия.

Согласно существующим представлениям о патогенезе острой лучевой болезни, важную роль в механизмах развития пострадиационной миелодепрессии играет оксидативный стресс, проявляющийся в чрезмерной продукции активных форм кислорода, инициации процессов перекисного окисления липидов, с одной стороны, и снижении активности различных компонентов антиоксидантной системы (АОС), с другой. Стабильность состава и свойств биологических жидкостей — важнейшее и необходимое условие гомеостаза организма, в частности окислительного. Действие внешних прооксидантов (в т.ч. ионизирующего излучения) и активация эндогенных механизмов генерации активных форм кислорода приводит к напряжению механизмов антиоксидантной защиты, истощению резервных возможностей АОС и развитию оксидативного стресса (ОС), проявляющегося на клеточном, тканевом и организменном уровне.

Цель исследования состояла в изучении особенностей течения ОС при местных и сочетанных радиационных поражениях, а также в оценке модифицирующей роли цитокинов (беталейкина) в латентный период лучевой раны.

Экспериментальные исследования выполнены на белых беспородных крысах-самцах, массой 180-200 г. Местные радиационные поражения моделировали β-облучением кожи в дозе 60 Гр (площадь ожога–5 % поверхности тела), а сочетанное радиационное поражение в аналогичном варианте β-ожога на фоне общего облучения от источника γ-излучения в дозе 4 Гр. Беталейкин вводили внутрибрюшинно в дозе 5 мкг/кг ежедневно в течение латентного периода лучевой раны (начиная сразу после облучения кожи и до появления эритемы, в среднем около 7-8 сут). Исследовали показатели ОС методом биохемилюминесценции плазмы крови.

Установлено, что местные радиационные поражения вызывают увеличение в плазме крови животных интенсивности процессов свободнорадикального окисления (СРО) на 21 и 30 сут после облучения, при этом повышение резервных возможностей АОС наблюдается только на 30 сут. Введение цитокина оказывает модифицирующее влияние, заключающееся в более раннем на 7-10 сут повышении интенсивности СРО и активности АОС.

При сочетанных радиационных поражениях отмечали «временное» смещение активности АОС в отличие от местного радиационного поражения: увеличение в плазме крови интенсивности процессов СРО и активности АОС наблюдали уже к 7-10 сут. Введение беталейкина приводило к нормализации показателей ОС к 21 сут наблюдения.

Таким образом, учет особенностей интенсивности СРО при местных и сочетанных радиационных поражениях, а также модифицирующая роль цитокинов на течение лучевой раны, может быть использована при разработке патогенетически обоснованных схем терапии при указанной радиационной патологии.

# ФОРМИРОВАНИЯ САНИТАРНО-ЭПИДЕМИОЛОГИЧЕСКИХ УЧРЕЖДЕНИЙ МО РФ, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫХ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

*В.В. Конев, Д.А. Сидоров, Ю.В. Шилов, И.И. Азаров*
Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова, Санкт-Петербург, Россия,
kvv.konev@yandex.ru

Опыт ликвидации радиационных аварий (Чернобыль, Фукусима и др.) свидетельствует о необходимости иметь в готовности силы и средства медицинской службы, предназначенные для обеспечения радиационной безопасности, в т.ч. для организации и проведения санитарно-гигиенических мероприятий при устранении последствий радиационных инцидентов.

Цель исследования – на основе оценки вероятных сценариев радиационных инцидентов, анализа возможности центров государственного санитарно-эпидемиологического надзора (ЦГСЭН) МО РФ обосновать структуру и оснащение подвижных радиологических групп (ПРГ), а также алгоритмы их деятельности в подготовительный период и в ходе ликвидации последствий радиационных аварий.

Материалами исследования послужила информация о случившихся за последние 60 лет радиационных авариях, о факторах, определяющих необходимый объём санитарно-гигиенических мероприятий в ходе их ликвидации, и возможностях ЦГСЭН по вопросам обеспечения радиационной безопасности.

Результаты проведенных исследований позволили сформировать в МО РФ в рамках Единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций ПРГ ЦГСЭН. Основным направлением их деятельности является участие в планировании, организации и проведении санитарно-гигиенических мероприятий при ликвидации последствий радиационных инцидентов.

Обоснованы задачи ПРГ в повседневной деятельности и при ликвидации последствий радиационных аварий и катастроф. Исходя из оценки количества и характеристики объектов МО РФ, где используются источники ионизирующего излучения, возможных сценариев радиационных аварий, проведён расчёт необходимого количества ПРГ в различных регионах страны. Приведены экономически обоснованные доводы о формировании ПРГ за счёт штатов санитарно-гигиенических подразделений ЦГСЭН МО РФ. Разработана организационно-штатная структура ПРГ: начальник группы – начальник отделения военного труда, радиологии и токсикологии, персонал группы – врач по радиационной гигиене, инженер-радиометрист (техник-дозиметрист), лаборант, водитель-электрик. Аргументирована необходимость проведения дополнительной подготовки специалистов ПРГ по медицинским аспектам радиационной безопасности. На кафедре военной токсикологии и медицинской защиты Военно-медицинской академии спланирована и организована данная подготовка.

Сформулированы предложения по оснащенности ПРГ медицинской техникой и имуществом за счет штатных средств радиометрического и дозиметрического контроля, комплектов отбора проб, автомобильной техники. С целью повышения эффективности деятельности ПРГ разработаны документы, необходимые для работы в подготовительный период и в ходе ликвидации последствий радиационного инцидента: положение о ПРГ, функциональные обязанности персонала, расчёт содержания ПРГ, документы материально-технического оснащения и другие.

Моделирование действий ПРГ в ходе тактико-специальных учений показало, что созданные формирования способны эффективно функционировать в системе обеспечения радиационной безопасности при чрезвычайных ситуациях.

# МОДЕЛЬ МЕСТНЫХ ЛУЧЕВЫХ ПОРАЖЕНИЙ ДЛЯ ДОКЛИНИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ КЛЕТОЧНОЙ ТЕРАПИИ

*К.В. Котенко, Б.Б.Мороз, Т.А. Насонова, О.А.Добрынина, А.А. Липенгольц, Т.И.Гимадова, Ю.Б.Дешевой, В.Г.Лебедев, А.В.Лырщикова, И.И.Ерёмин*
ГНЦ РФ - Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна ФМБА России, Москва, Россия,
t.anasonova12@yandex.ru

При действии ионизирующего излучения на человека одним из наиболее распространенных видов лучевых повреждений являются местные поражения кожи и подлежащих тканей. Консервативные методы лечения тяжелых местных лучевых поражений являются малоэффективными, и нередко требуется хирургическое вмешательство. Одним из перспективных методов лечения тяжелых лучевых ожогов может являться клеточная терапия, оптимальные условия применения которой требуют проведения доклинических исследований.

Целью работы являлась разработка экспериментальной модели тяжелых местных лучевых поражений кожи при действии относительно «мягкого» рентгеновского излучения, когда не наблюдается поражение нижерасположенных органов и тканей.

Эксперименты проведены на крысах-самцах породы Вистар, массой 180-200 г. Облучение проводилось на разработанной нами модифицированной самозащищенной рентгеновской установке РАП 100-10 производства ООО «Диагностика-М» (Россия). Модифицированный рентгеновский аппарат способен работать при напряжении на трубке от 30 кВ до 100 кВ и токе от 6,1 мА до 10 мА. Это позволяет менять режимы облучения, и в зависимости от поставленных задач облучать кожу лабораторных животных, вызывая лучевые поражения кожи от легких до крайне тяжелых.

Животные были облучены в дозах от 40 до 225 Гр при различных параметрах. Дозиметрические характеристики исследовались с помощью фантома, состоящего из сборки термолюминесцентных детекторов (ТТЛД-580) и фторопласта общей толщиной 30 мм, помещенной в плексигласовый цилиндр. Измерения и расчеты показали, что относительная глубинная доза при облучении в дозе 110 Гр на глубине 5-10 мм была не более 10 Гр. На поверхности кожи создавалось однородное круглое поле излучения диаметром 3,2 см. Клинические наблюдения, результаты измерения площади поражения и патогистологические исследования кожи свидетельствуют о том, что доза 110 Гр (Al фильтр 0,1 мм) рентгеновского излучения вызывает тяжелые и длительно незаживающие язвы у крыс. Так, у 89 % крыс на 60-е сутки площадь радиационного поражения кожи составляла более 1,0 $см^2$, а у 45% животных лучевые язвы наблюдались более 120 суток.

Таким образом, облучение животных на модифицированном рентгеновском аппарате РАП 100-10 в дозе 110 Гр является оптимальным режимом радиационного воздействия, которое приводит к тяжелым и длительно текущим местным лучевым поражениям кожи у крыс. Эта экспериментальная модель может быть использована для совершенствования патогенетической терапии местных лучевых поражений кожи, прежде всего, в условиях применения клеточной терапии.

# ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ РАДИОЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ ЦИСТАМИНА ПРИ ИНТРАТРАХЕАЛЬНОМ ВВЕДЕНИИ

*С.Ю. Краев, И.С. Драчёв*
Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова Санкт-Петербург, Россия,
r.laboratory@yandex.ru

Серосодержащие радиопротекторы до настоящего времени занимают основное место в арсенале профилактических противолучевых средств. Главный их недостаток — наличие нежелательных побочных эффектов при использовании в эффективных радиозащитных дозах. Поэтому столь важное значение имеет поиск подходов, позволяющих достичь радиозащитной концентрации в организме, исключающей или ослабляющей их побочное действие.

Одним из таких подходов является изменение способов их «доставки» в организм, в частности — интратрахеальное введение. Изучение возможности использования этого способа для снижения побочных эффектов цистамина и явилось целью настоящего исследования.

Эксперименты проведены на белых беспородных крысах самцах, подвергнутых общему относительно равномерному гамма-облучению в дозе 7,4 Гр (минимальная абсолютно смертельная доза). Водный раствор цистамина вводили крысам интратрахеально или внутрибрюшинно в дозе 10 мг/кг и 100 мг/кг за 20—30 мин до облучения. Объем введения не превышал 0,1 мл. Животным контрольноых групп в те же сроки, в тех же объемах и теми же способами вводили физиологический раствор. В течение 30 сут регистрировали выживаемость и среднюю продолжительность жизни (СПЖ) животных.

Установлено, что выживаемость животных контрольных групп составляла 0 + 10 %, при этом величина СПЖ в группе с внутрибрюшинным введением равнялась 8,2 ± 1,1 сут, а с интратрахеальным — 9,8 ± 0,6 сут. При внутрибрюшинном введении цистамина в дозе 100 мг/кг выживаемость крыс повысилась до 40 %, а СПЖ до 20 сут. При интратрахеальном введении радиопротектора в этой же дозе все животные погибли в первые 3 ч. Иная картина наблюдалась при введении цистамина в дозе 10 мг/кг. При внутрибрюшинном введении препарата в этой дозе наблюдалась 100 % гибель животных, тогда как при интратрахеальном введении выживаемость составляла 40 %, а величина СПЖ 20 сут.

Таким образом, интратрахеальный способ введения цистамина позволяет на порядок снизить его радиозащитную дозу и существенно уменьшить вероятность развития нежелательных побочных эффектов препарата.

# ИЗУЧЕНИЕ РАДИОЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ РЕЦЕПТУРЫ, ВКЛЮЧАЮЩЕЙ МОНОПРОБИОТИК И АНТИБИОТИК ДЛИТЕЛЬНОГО ДЕЙСТВИЯ

*И. И. Красильников*
Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова, Санкт-Петербург, Россия,
r.laboratory@yandex.ru

Учитывая разнообразие возможных вариантов экстремальных ситуаций, сопровождающихся радиационными воздействиями, трудности с прогнозированием радиационной обстановки в этих случаях, можно предполагать, что наиболее перспективными для практики окажутся противолучевые средства, обладающие определённой универсальностью, например, профилактической и лечебной радиозащитной активностью, а также пролонгированным действием. Ряд препаратов бактериального происхождения частично отвечает этим требованиям. Большего внимания заслуживают те из них, которые являются аптечными лекарственными средствами. К числу последних относится монопробиотик бифидумбактерин, который в опытах на животных различных видов оказывает длительное профилактическое радиозащитное действие. Следует учитывать также, что бифидобактерии не патогенны для человека.

Цель исследования состояла в получение лечебно-профилактической радиозащитной рецептуры за счет комбинирования бифидумбактерина с другим аптечным препаратом — депо-формой пенициллина бициллином-1.

Эксперименты выполнены на беспородных мышах-самцах в условиях общего кратковременного гамма-облучения в дозе 7,4 Гр ($CD_{90/30}$). Животные получали по 10 тыс ед. бициллина-1 в 0,1 мл водной взвеси бифидобактерий ($2*10^5$ микробных клеток) подкожно однократно до или после облучения. Профилактическое введение рецептуры за 1-5 сут до облучения повышало выживаемость животных на 60-70 %. В лечебном варианте наибольший защитный эффект (80 %) отмечен при введении рецептуры через 3 ч после облучения, хотя при применении рецептуры в другие сроки (через 10-15 мин, 1 ч или 1 сут) также наблюдалось повышение радиорезистентности животных.

В реализации радиозащитного эффекта рецептуры, вероятно, принимают участие различные механизмы. Так, бифидумбактерин, подобно другим бактериальным препаратам, может при участии толл-подобных рецепторов повышать неспецифическую резистентность организма. При гидролизе тиазолидинового цикла молекулы пенициллина появляется свободная сульфгидрильная группа, которая и определяет обнаруженный ранее радиозащитный эффект антибиотика. Наконец, сам депо-препарат антибиотика в течение многих суток после однократного применения тормозит развитие патогенной микрофлоры.

Целесообразно продолжить изучение рецептуры, бифидумбактерина и консервативных молекулярных структур бифидобактерий в качестве средств повышения устойчивости организма к факторам радиационной, химической и биологической природы.

# РАДИОПРОТЕКТОРЫ И РАДИОМИТИГАТОРЫ – РОЛЬ И МЕСТО В СИСТЕМЕ ПРОТИВОРАДИАЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ

*В.И. Легеза, А.Н. Гребенюк*
Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова, Санкт-Петербург, Россия,
legeza@yandex.ru, grebenyuk_an@mail.ru

Цель исследования – анализ роли радиопротекторов и радиомитигаторов в современной системе медицинской противорадиационной защиты и перспектив их использования с целью повышения её эффективности.

В докладе будут представлены собственные и литературные данные о радиозащитной эффективности и побочном действии разрешенных к медицинскому применению радиопротекторов из группы аминотиолов (цистамин, аминофостин и др.) и биогенных аминов (индралин, нафазолин, мексамин и др.).

К перспективным (разрабатываемым) радиозащитным средствам следует отнести 5-андростендиол – метаболит секретируемого корой надпочечников дегидроандростерона, полипептид CBLB 502 (protectan) – флагеллин, выделенный из белка жгутиков Salmonella enteric. ФИД флагеллина в опытах на животных различных видов составляет около 1.6, что существенно выше, чем у большинства современных радиопротекторов.

Среди антиоксидантов в качестве радиопротекторов наиболее перспективны генистеин (изофлавон, содержащийся в сое), хелатор переменной валентности 5-диэтил-сульфонамилсалициловой кислоты, мелатонин, препараты селена, антиоксиданты фенольной природы (диакол, сезамол и др.). Разрабатываются также новые способы доставки потенциально перспективных радиопротекторов (аминотиолов, супероксиддисмутазы, липоевой кислоты, ингибиторов NO-синтазы и др.) непосредственно в митохондрии.

В качестве радиомитигаторов (соединений, обладающих как радиозащитным, так и «радиолечебным» действием при введении в ранний постлучевой период) наиболее перспективны соединения с преимущественным действием на гематоиммунную систему: вакцинные препараты, полисахаридные и белковополисахаридные компоненты микробов кишечно-тифозной группы; дезоксинат; антиоксиданты α-токоферол, селенметионин, инозин, беталейкин, тромбопоэтин и другие цитокины.

В докладе будут обоснованы требования к радиопротекторам и радиомитигаторам нового поколения и первоочередные задачи, решение которых необходимо для создания противолучевых средств, соответствующих этим требованиям.

# БИОЭФФЕКТЫ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ОБЛУЧЕНИЯ НА ФОНЕ ПРИМЕНЕНИЯ РАДИОМОДИФИКАТОРОВ

*Логачева В.В., Жемчужникова А.А.*
Воронежская государственная медицинская академия им. Н.Н. Бурденко,
Воронеж, Россия,
z. vorontsova@mail.ru

Исследование выполнено на 150 белых лабораторных половозрелых крысах-самцах. Животных распределили согласно факторам воздействия и временной динамики на 21 группу. В результате комплексного изучения с использованием морфометрических и статистических методов исследования проводилась оценка эффективности радиомодификации гипоксической газовой смеси (ГГС) на морфологические эквиваленты функции щитовидной железы (ЩЖ).

В ходе исследования было установлено, что применение ГГС перед γ-облучением в дозе 0,5 Гр вызывала стимуляцию функциональной активности щитовидной железы по всем исследуемым критериям в первые часы после воздействия, с тенденцией к снижению активности в прогнозе. В динамике первых суток после воздействия наблюдалось повышение высоты тироцитов с достоверными показателями спустя пять часов, а через трое суток - снижение. Размеры фолликулов уменьшались в начальные сроки исследования, а к 72-м часам приближались к контролю как при изолированном облучении. Гормонообразование снижалось в первые часы после воздействия ( 1,7 и 5 ч), а начиная с суток и до конца исследования, в том числе и в прогностической модели, незначительно повышалось. При комбинированном применении ГГС и γ-облучения в дозе 0,5 Гр тучные клетки (ТК) стромы щитовидной железы отреагировали фазными изменениями высвобождения биологически активных веществ при лизисе гранул и снижением дегрануляции в прогностической модели ($p < 0,05$), а также снижением общего числа ТК к концу первых суток наблюдения. Очевидно, что такое перераспределение в пользу вакуолизированных форм ТК можно расценивать как компенсаторную реакцию на снижение гормонообразования. Модифицирующее влияние ГГС на эффекты γ-облучения в дозе 10 Гр в первые часы после воздействия проявилось в увеличении высоты тироцитов и уменьшении фолликулов, гормонообразование было снижено ($p < 0,05$), с меньшей степенью выраженности в сравнении с группой изолированного облучения. В более поздние сроки наблюдения отмечались признаки гипофункции. Общее число ТК стромы снижалось во все сроки наблюдения, за исключением показателей пяти часов после воздействия. Можно предположить, что высокий уровень дегрануляции ТК определял реакцию паренхимы щитовидной железы при радиомодифицирующем эффекте ГГС в первые часы после воздействия. В более поздние сроки наблюдения, на фоне снижения дегрануляции, начиналась десинхронизация реагирования морфологических показателей, при этом уровень вакуолизированных форм ТК оставался низким во все сроки наблюдения, в том числе и в прогнозе.

Таким образом, применение гипоксической газовой смеси перед γ-облучением в дозе 0,5 Гр в ранние сроки уменьшает выраженность изменений в щитовидной железе, обеспечивая радиорезистентность. При комбинированном воздействии ГГС и γ-облучения в дозе 10 Гр, модифицирующий эффект ГГС в ранние сроки уменьшал выраженность изменений в щитовидной железе , вызванных γ-облучением снижением разобщенности между уровнем гормонообразования и высотой тироцитов. В более поздние сроки, в том числе и в прогнозе, направленность изменений при модифицированном и изолированном воздействии γ-облучения совпадала и проявлялась снижением функции..

# РАЦИОНАЛЬНАЯ РАЗРАБОТКА И СИНТЕЗ РАДИОЗАЩИТНЫХ СОЕДИНЕНИЙ НА БАЗЕ НОВЫХ ЭФФЕКТИВНЫХ ИНГИБИТОРОВ NO-СИНТАЗ

*Мандругин А.А*[1]*., Филимонова М.В.*[2]*, Шевченко Л. И.*[2]
[1]Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,
Химический факультет, Москва, Россия,
[2]Медицинский радиологический научный центр Минздрава РФ, Обнинск, Россия,
aam1945@mail.ru

Разработан и осуществлен синтез радиозащитных соединений на базе новых эффективных ингибиторов NO-синтаз (NOS) с помощью компьютерного моделирования лигандов в моделях оксидазного домена эндотелиальной и индуцибельной NO-синтаз. Проведённые исследования свидетельствуют о том, что некоторые S-замещённые линейные и циклические производные изотиомочевины, являясь активными ингибиторами NO-синтаз (NOS), обладают вазопрессорными и радиопротекторными свойствами, повышают чувствительность злокачественных опухолей к лучевому воздействию.

Проведена количественная оценка NOS-ингибирующей активности синтезированных соединений на различных изоформах NO-синтаз in vitro и in vivo флюоресцентным и электрохимическим методами. Осуществлена оценка острой токсичности синтезированных соединений дигидротиазин-тиазолинового ряда на мелких лабораторных животных. Изучены вазопрессорные, противошоковые свойства синтезированных соединений на экспериментальных моделях тяжёлого геморрагического, эндотоксического и анафилактического шока. Исследовано противоопухолевое действие синтезированных соединений на культурах опухолевых клеток, перевиваемых опухолях и при лучевой терапии опухолей экспериментальных животных. Осуществлен синтез соединений, обладающих различной липофильностью, для достижения оптимального тканевого распределения, с целью снижения их токсичности и повышения терапевтической эффективности.

Синтез новых эффективных ингибиторов NOS перспективен для создания новых лекарственных средств необходимых при лечении таких социально-значимых заболеваний, как тяжёлые шоковые состояния, хронические артрито-артрозы, дегенеративные заболевания нервной системы, онкологические заболевании и их лучевой терапии.

**ИЗУЧЕНИЕ МЕХАНИЗМА РАДИОЗАЩИТНОГО ДЕЙСТВИЯ НОВЫХ СОЛЕЙ 2-АМИНО-5,6-ДИГИДРО-4Н-1,3-ТИАЗИНА**

*Мандругин А.А.*[1], *Борисова Г.С.*[1], *Филимонова М.В.*[2], *Шевченко Л. И.*[2]

[1]Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Химический факультет, Москва, Россия,

aam1945@mail.ru

[2] Медицинский радиологический научный центр Минздрава РФ, Обнинск, Россия,

mari_fil@mail.ru

Исследования влияния различных солей 2-амино-5,6-дигидро-4Н-1,3-тиазина (2-АДТ), обладающих выраженным радиозащитным действием, на артериальное давление крови показали, что некоторые из них обладают способностью повышать артериальное давление, изменяемое в результате эндотоксического шока.

В данной работе были синтезированы соли состава 1:1 ряда органических кислот 2-АДТ. Показано, что некоторые из них обладают выраженной антигиповолемической активностью, изученной на модели геморрагического шока у крыс (более 40 мин). Частота сердечных сокращений, сниженная в состоянии шока, у большинства животных под действием солей имела устойчивую тенденцию к учащению. Частота дыхания не изменялась. Антигипотонический эффект данных солей превосходит действие мезатона и препаратов с полипептидной структурой. Нивелирующий эффект на критическое снижение артериального давления, вызванное тяжёлой кровопотерей, протекает без возникновения вторичной гипотензии, характерной для адреномиметиков, в том числе и для мезатона. Полученные соединения менее токсичны, чем мезатон.

Мы полагаем, что радиозащитное действие новых солей связано с их гипертензивным эффектом.

# СОЗДАНИЕ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ РАДИОЗАЩИТНЫХ СРЕДСТВ НА ОСНОВЕ ХИМИЧЕСКИХ ИНГИБИТОРОВ NO-СИНТАЗЫ

*Мандругин А.А.*[1], *Борисова Г.С.*[1], *Филимонова М.В.*[2], *Шевченко Л.И.*[2]
[1]Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,
Химический факультет, Москва, Россия,
aam1945@mail.ru
[2]Медицинский радиологический научный центр Минздрава РФ, Обнинск, Россия,
mari_fil@mail.ru

Наша работа направлена на изыскание новых противолучевых средств, с целью изучения роли эндогенного NO и их биологического действия, и поиск модификаторов синтеза NO в радиобиологических процессах.

Исследования, проведенные нами ранее, свидетельствуют о том, что некоторые производные соединений дигидротиазин-тиазолинового ряда практически полностью блокируют действие фермента NO-синтазы и обладают заметным противолучевым действием. На основе циклических изотиомочевин созданы новые формы для направленного транспорта и пролонгированного действия ингибиторов NO-синтазы. Проведена количественная оценка ферментативной активности ряда синтезированных соединений методом радионуклидной диагностики в опытах in vitro на различных видах NO-синтаз.

Получены соединения, обладающие различной липофильностью, что необходимо для адресного распределения потенциальных лекарств в органах и тканях животных, с целью увеличения их фармакологической эффективности.

# РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИМЕНЕНИЯ КЗАР «ЗЕЛЕНЫЕ ВОЛНЫ®» В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА РАННЕЙ СТАДИИ ОНТОГЕНЕЗА ЗЛАКОВЫХ РАСТЕНИЙ

*Т.И. Милевич*[1], *Н.В. Шамаль, А.Д Наумов*[1], *В.П. Герасименя*[2], *С.В. Захаров*[2]
[1] Институт радиобиологии НАН Беларуси, Гомель, Беларусь,
t_milevich@mail.ru
[2] Институ химической физики им. Н.Н. Семенова РАН, Москва, Россия,
gerasimenia_v_p@mail.ru

С целью интенсификации растениеводства в практику сельского хозяйства в последние годы стали внедрять электротехнологические методы воздействия на растения и семена зерновых и овощных культур. Использование электромагнитных полей слабой интенсивности в диапазоне низкочастотных волн для регуляции активности биологических объектов имеет большую перспективу.

В настоящем исследовании изучено влияние разных режимов действия электромагнитного излучения (ЭМИ) на жизнеспособность семян злаковых культур после воздействия на них ионизирующего излучения. В качестве объектов исследования были выбраны озимая пшеница и овес. Облучение половины каждой партии семян проводили на гамма - установке «ИГУР» в дозе 50 Гр, мощность дозы 660 mGy/min. Необлученные и облученные семена проращивали в чашках Петри при обычных условиях и в условиях воздействия ЭМИ. Для этого использовали комплект защиты и активации роста биологических объектов КЗАР «Зеленые волны®» (патенты РФ №2169458 и 2201665), который формирует особый микроклимат с помощью слабого электрического поля, создаваемого электронным генератором импульсов с заданной периодичностью во времени и в пространстве с определенной направленностью излучения, сконцентрированного коническими волноводами.
Ионизирующее излучение оказало угнетающее действие на прорастание семян озимой пшеницы и овса. Электромагнитное излучение, генерируемого КЗАР «Зеленые волны®», нивелировало отрицательное действие ионизирующего излучения.

Воздействие электромагнитного поля также ускорило процесс прорастания и развития семян, не подвергавшихся γ – излучению в условиях десятисуточного их хранения и просто в обычных условиях проращивания. Необходимо отметить, что имеется тенденция к более высоким значениям всхожести и силы роста для необлученных семян при действии ЭМИ при хранении и последующем прорастании, а для облученных семян – только при хранении.

Таким образом, проведенные исследования показали, что электромагнитное излучение стимулирует рост и развитие растений на ранних этапах онтогенеза. Результатом этих процессов является сокращение сроков созревания, что в благоприятных условиях ведет к увеличению урожая и улучшению его качественных характеристик.

# ОЦЕНКА СОРБЦИОННЫХ СВОЙСТВ БИОМАССЫ БАЗИДИАЛЬНОГО ГРИБА «ВЕШЕНКА ОБЫКНОВЕННАЯ»

*Т.И. Милевич*[1], *А.Д Наумов*[1], *В.П. Герасименя*[2], *С.В. Захаров*[2]
[1] Институт радиобиологии НАН Беларуси, Гомель, Беларусь,
t_milevich@mail.ru
[2] Институт химической физики им. Н.Н. Семенова РАН, Москва, Россия,
gerasimenia_v_p@mail.ru

В последние годы объектом глубоких биотехнологических исследований стали высшие базидиальные грибы, структурную основу которых составляет хитин. Хитинсодержащий материал может найти применение в химической промышленности и для решения экологических проблем в качестве сорбента ионов тяжелых металлов, в том числе радиоактивных, трансурановых и редкоземельных элементов, для извлечения из водных растворов, почвы, донных отложений и других комплексов, содержащих твердофазные частицы, для удаления нефтепродуктов и других высокомолекулярных соединений, в медицине для изготовления энтеросорбентов, присыпочных и перевязочных материалов, в качестве иммунномодулирующих лекарственных препаратов пролонгированного действия и в других областях.

Работа посвящена изучению сорбции сухой биомассой мицелия гриба «Вешенка обыкновенная» ионов тяжелых металлов (свинец, кадмий, медь) и радионуклидов (стронций-90, уран-238, цезий-137).

Сорбцию ионов металлов грибной биомассой проводили из растворов сернокислой меди, хлористого кадмия и азотнокислого свинца, содержащих по 10 мг/л указанных катионов. Подкисление растворов осуществляли серной, соляной и азотной кислотами соответственно.

Полученные результаты свидетельствует о высокой сорбционной активности исследуемой биомассы. Величина относительной сорбции в большинстве случаев достигает 80–90 %. Наибольшую сорбционную активность биомасса проявляет по отношению к иону свинца.

Анализ зависимости величины сорбции изучаемых ионов от pH среды выявил значительное влияние этого фактора на поглощение ионов металлов грибной биомассой. Максимальное количество ионов металлов поглощается в диапазоне pH 4–8 (от 56 до 100 %). В кислой среде (pH 2–3) сорбция иона меди снижается примерно в 4 раза, кадмия – в 5 раз, а на сорбцию свинца подкисление исходного раствора до pH 2,4 практически не сказывается, сорбируется практически весь содержащийся в растворе свинец.

Максимум сорбции сухой биомассой мицелия гриба «Вешенка обыкновенная» микроконцентраций стронция ($10^{-9}$ моль/л) наблюдается в кислых растворах (pH 2 – 4) и составляет 45 – 50 %.

Было установлено, что в области pH 2 – 4 доля сорбированного урана-238 в растворе $10^{-4}$ моль/л составляет 50 – 80 %, а в растворе $10^{-2}$ моль/л только 20 %. Сорбционная способность биомассы гриба обусловлена не только ионным обменом, но и дополнительными механизмами поглощения, по-видимому, поверхностной сорбцией.

Таким образом, сухая биомасса мицелия гриба «Вешенка обыкновенная», способная связывать ионы тяжелых металлов и радионуклидов, проявляя высокую селективность к особенно опасному поллютанту – иону $Pb^{2+}$, является перспективным субстратом для получения сорбентов, которые могут быть использованы в самых различных областях, в том числе и в медицине в качестве энтеросорбентов.

# НОВЫЕ ЭФФЕКТИВНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ОСЛАБЛЕНИЯ ТОКСИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ РАДИАЦИИ И ДРУГИХ ФАКТОРОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ НА ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА

*А.А.Морозова, Н.В.Ананьева*
Институт радиобиологии НАН Беларуси, Минск, Беларусь,
dopinat@mail.ru

Авария на Чернобыльской атомной электростанции сделала Республику Беларусь одной из самых загрязненных в экологическом отношении стран, что, в первую очередь, ухудшает здоровье всех групп населения, особенно детей и подростков. Так, за последние десять лет в Беларуси имеет место увеличение численности детей с хроническими заболеваниями и функциональными отклонениями. Растет гастроэнтерологическая, аллергическая, эндокринная и нервно-психическая патология, увеличивается число детей с нарушениями зрения, заболеваниями крови и т.д.

В этой связи с 2006 года по настоящее время в Государственном научном учреждении «Институт радиобиологии Национальной академии наук Беларуси» проводится цикл работ, целью которых является создание и организация производства эффективных средств для ослабления токсического действия радиации и других факторов окружающей среды на организм человека.

Успешное решение поставленной цели выполнялось по трем направлениям:

- первое направление включало создание эффективных средств, так называемых биологически активных добавок (БАД) к пище, которое было завершено организацией опытного производства ассортимента фосфорно-кальциевых обогатителей серии «Допинат»;
- второе – посвящено разработке технологии обогащения продуктов массового потребления, в частности хлебобулочных и мучных кондитерских изделий, разработанными обогатителями;
- третье – включало выполнение мероприятий по организации производства таких продуктов, обладающих повышенной пищевой ценностью и профилактической направленностью, для населения радиоактивно загрязненных территорий.

Эти исследования выполнялись за счет средств Программы совместной деятельности по преодолению последствий чернобыльской катастрофы в рамках Союзного государства и завершены в 2010 году внедрением разработанных обогатителей и технологий обогащения в условиях Хойникского хлебозавода. Это предприятие расположено на территории г.Хойники, Гомельской области, которая относится к радиоактивно загрязненным районам. В результате освоен промышленный выпуск 16 наименований новых функциональных продуктов, из них 5 видов хлебов, 5 видов булочных изделий и 6 видов мучных кондитерских изделий. На все перечисленные изделия разработаны рецептуры и технологические инструкции. Показано, что новые виды хлебобулочных и мучных кондитерских изделий характеризуются улучшенным минеральным составом, сбалансированы по кальцию, фосфору, йоду, селену, витамину Д, а, следовательно, обладают повышенной пищевой ценностью и профилактической направленностью.

Таким образом, выполненный комплекс теоретических и экспериментальных исследований позволил создать не только БАД к пище нового поколения, но и обосновать целесообразность и эффективность их широкого применения в пищевой промышленности, прежде всего, в качестве обогатителей пищевых продуктов массового использования, с целью повысить пищевую (питательную) и биологическую ценность готовой продукции, а также придать ей оздоровительную направленность.

# МУЛЬТИПЛЕТНОЕ БИОЛОГИЧЕСКОЕ ДЕЙСТВИЕ РАДИОПРОТЕКТОРОВ НА ОСНОВЕ ПРОИЗВОДНЫХ ТИАЗИНА, ТИАЗОЛИНА И ТИОМОЧЕВИНЫ

*М.А.Орлова*[1,2], *Т.П.Трофимова*[1,2], *А.П.Орлов*[2], *М.В.Филимонова*[3]

[1]Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, Москва, Россия, orlova.radiochem@mail.ru

[2]Федеральный научно-клинический центр детской гематологии, онкологии и иммунологии им. Дмитрия Рогачева, Москва, Россия,

[3]Медицинский радиологический научный центр Минздрава РФ, Обнинск, Россия.

Тенденцией современного развития лекарственных средств является использование препаратов многопланового воздействия, а также применение апробированных лекарств в условиях новых для них заболеваний. В этом отношении известные радиопротекторы имеют большие перспективы. Мы рассмотрели новые производные давно открытых радиопротекторов на основе тиомочевины, тиазолина и тиазина, некоторые из которых, имея незначительную общую токсичность и высокое радиопротекторное действие, могут рассматриваться, как компенсирующие препараты при лучевой терапии. Однако помимо этого многие из этих соединений являются эффекторами различных изоформ NO-синтазы (NOS), фермента, отвечающего за производство важной сигнальной молекулы NO, которая является участником регуляции многих сигнальных путей апоптоза: JAK-STAT, Wnt/β-катенин, PI3K/Akt и др. Взаимосвязь этих свойств соединений вызвана тем, что при радиационнойм воздействии происходит увеличение экспрессии индуцибельной NOS (iNOS), концентрации NO и пероксинитрита, а в сыворотке крови растет концентрация нитрат-ионов. Особенно ярко радиационный ответ в виде роста iNOS и NO проявляется в печени, мозге, кишках и крови. NO способен оказывать существенное влияние на антиоксидантные системы организма за счет модуляции эффектов оксидативного и нитрозативного стрессов. Одновременно известно, что экзогенные NO-доноры могут угнетать пролиферацию различных субпопуляций клеток костного мозга (КМ) человека и подавлять образование миелоидных и эритроидных колоний, но при этом NO способен и защищать некоторые клетки от апоптоза (в частности, через прямое S-нитрозилирование каталитического цистеина в сигнальных белках). В целом, в зависимости от условий NO может проявлять противоположные свойства по отношению к различным клеткам.

Поскольку в случаях острого миелоидного лейкоза (ОМЛ) однозначно зафиксировано повышение экспрессии iNOS и продуктов оксидативного стресса, что отчасти роднит это заболевание с лучевым поражением, в нашей работе мы провели сравнение радио- и NOS – эффекторной (в основном, ингибиторной) активности ряда соединений этих классов с их цитотоксичностью по отношению к лейкемическим клеточным линиям разной природы (HL-60, K-562, MOLT-4) и клеткам костного мозга пациентов с острым В-лимфобластным лейкозом (В-ОЛЛ). Были определены *in vivo* (на мышиной модели) ингибирующая активность по отношению к iNOS и радиоэффекторные свойства соединений, а также *ex vivo* на лейкемических клетках крови определяли величины $LC_{50}$ методом МТТ-теста в сравнении с контролем - лимфоцитами здоровых доноров. Мы не нашли прямой зависимости между остаточной активностью NOS *in vivo* и $LC_{50}$ изученных препаратов, хотя в большинстве случаев с уменьшением ингибирующей активности величины $LC_{50}$ в случае здоровых доноров были выше (в пределах изученных концентраций препаратов). Наиболее показательной для сравнения величиной является отношение $LC_{50}$(контроль)/$LC_{50}$(клеточная популяция). Наибольшие значения для неё наблюдались в случае производных тиазина, особенно, когда в качестве противоиона использовался салицилат, усиливающий антилейкемическое воздействие. Другим усиливающим фактором являлось добавление фенильного заместителя и карбонильной группы. Такие соединения, помимо NO-ингибирующей активности, по своей структуре могут проявлять свойства ингибиторов тирозинкиназ, повышающая регуляция которых является характерным проявлением острых лейкозов.

# АНТИОКСИДАНТНЫЕ ЭФФЕКТЫ МЕЛАТОНИНА ПРИ ОДНОКРАТНОМ γ-ОБЛУЧЕНИИ В ЭКСПЕРИМНТЕ

*Л.В. Пикалова, В.А. Горбунов*
Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова, Санкт-Петербург, Россия,
pikalova_lidiya@mail.ru

В настоящее время опубликованы работы, подтверждающие, что мелатонин снижает проявления оксидативного стресса при образовании свободных радикалов или радикальных продуктов. В связи с этим целью настоящего исследования явилось изучение влияния синтетического аналога эпифизарного гормона мелатонина на свободно-радикальное окисление, индуцированное γ-облучением.

Исследование проведено на 3-месячных крысах-самцах. В работе использовали мелатонин (НПЦ «Фармзащита ФМБА России») в дозе 50 мг/кг. Препарат разводили 0,9% раствором натрия хлорида и вводили внутрибрюшинно в объеме 0,1 мл на 100 г массы тела за 30 мин до облучения. В качестве источника ионизирующего излучения использовали установку для облучения животных «Игур-1» с изотопом Cs-137; кожно-фокусное расстояние 1 м; облучение двустороннее боковое. Животных подвергали внешнему острому однократному общему облучению в дозе 4 Гр, мощность дозы – 1 Гр/мин. Через сутки животных выводили из опыта методом цервикальной дислокации.

Определяли величину общей антиоксидантной активности (ОАА) и общей оксидантной активности (ООА) сыворотки крови экспериментальных животных.

Сразу после облучения в сыворотке крови экспериментальных животных наблюдалось усиление процессов свободно-радикального окисления (СРО) и активности антиоксидантной системы по показателям хемилюминесценции на 12–13%, а по показателям ООА и ОАА – на 14–17%. Через 1 ч после облучения интенсивность процессов СРО, по показателю хемилюминесценции, увеличивалась на 15% на фоне повышения активности антиоксидантной системы на 34%. При этом в сыворотке крови экспериментальных животных отмечалось увеличение уровня ООА на 19% и снижение ОАА на 10%, что свидетельствует о развитии у них признаков оксидативного стресса.

Применение мелатонина у необлученных животных способствовало повышению активности антиоксидантной системы в сыворотке крови у крыс по показателю хемилюминесценции на 12%, что свидетельствует о стимулирующей метаболической активности на организм.

Мелатонин, введенный за 30 мин до облучения, увеличивал активность антиоксидантиной системы на 10%, а также снижал уровень ООА на 10 % при увеличенном уровне ОАА на 11%. Через 1 ч после облучения у крыс, которым профилактически вводили мелатонин, продолжалось снижение уровня ООА до 25%, а ОАА, наоборот, увеличивалась на 28% в сравнении с группой контрольного облучения. Обращает внимание тот факт, что профилактическое введение мелатонина приводило к снижению активности антиоксидантной системы в плазме крови экспериментальных животных по показателю хемилюминесценции на 27% по сравнению с группой контрольного облучения.

В целом полученные данные свидетельствуют о стимулирующем влиянии мелатонина на антиоксидантную систему организма необлученных животных, а применение препарата за 30 мин до облучения предотвращает или ослабляет развитие в организме постлучевого оксидативного стресса.

# ВЛИЯНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО СТРЕССА НА РАДИОЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ ПОДОПЫТНЫХ БИООБЪЕКТОВ

*В.Н. Полубояринов*
ФГКУ «12 Центральный научно-исследовательский институт Минобороны России»
PVN-posad@yandex.RU

Формирование адаптационного синдрома во многом зависит от исходного состояния организма и регуляторных механизмов, обеспечивающих его устойчивость к неблагоприятным внешним воздействиям. Известно, что стресс вызывает изменение гуморального и клеточного иммунитета, состояние которого определяет реакцию организма на ионизирующее излучение.

Целью исследования была оценка радиочувствительности подопытных биообъектов, находящихся в различных стадиях экспериментального стресса.

В эксперименте с использованием 400 белых нелинейных крыс определяли смертность и динамику гибели биообъектов, а также их физическую работоспособность после облучения на фоне стресс- воздействия.

Стресс-воздействие заключалось в ежедневном нагружении биообъектов одновременно звуковыми, световыми и электроболевыми раздражителями в течение 3 часов на протяжении 15 суток.

Облучение биообъектов в различных дозах производили на установке «ИГУР» при мощности дозы 0,03 Гр/с с последующим вычислением среднелетальной дозы ($LD_{50/30}$) методом регрессионного анализа.

Физическую работоспособность оценивали с применением плавательной пробы.

В результате исследований выявлено, что $LD_{50/30}$ животных, облученных в стадии тревоги (1-3 сутки) стресса уменьшалась с 8,4 Гр до 8,1 Гр и в стадии резистентности (5-10 сутки) оставалась на одном уровне. В стадии истощения (15 сутки) среднелетальная доза оценивалась значением 7,7 Гр.

Средняя продолжительность жизни павших животных с 16 суток в облученном контроле уменьшалась до 14, 13 и 10 суток соответственно.

Физическая работоспособность подопытных биообъектов в стадии тревоги увеличивалась на 20-40% с последующим ее постепенным снижение до 50% к 15 суткам эксперимента относительно контрольного уровня.

Таким образом, можно ожидать, что и у человека, выполняющего свои профессиональные обязанности в условиях хронического стресса, изменение устойчивости к дополнительному воздействию неблагоприятных факторов среды обитания, в том числе ионизирующему излучению, будет определяться состоянием адаптационных процессов. В этой связи актуальной становиться оптимизация психологической подготовки специалистов экстремальных профессий к деятельности в особо опасных условиях с учетом возможных нарушений психики и эффективности мероприятий медико-психологической коррекции состояния организма.

# ОЦЕНКА ПРОТИВОЛУЧЕВОЙ ЛЕЧЕБНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЦИТОКИНОВ И ИХ КОМБИНАЦИИ НА МЫШАХ, ПОДВЕРГНУТЫХ ОСТРОМУ РЕНТГЕНОВСКОМУ ОБЛУЧЕНИЮ

*А.В.Пчелка, К.Ю.Трубицина, Л.М.Рождественский*
ГНЦ РФ - Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И.Бурназяна ФМБА России, Москва, Россия
pchelka.a@mail.ru

Цель работы: Оценить противолучевую эффективность комбинированного лечебного применения цитокинов в сравнении с их однократным применением. Эксперименты проводили на мышах обоего пола F1(CBAxC57Bl) массой 20-24 г., облучение - на рентгеновской установке РУСТ-М1, при мощности дозы 1,1-1,2 Гр/мин, в дозах от 6 до 9 Гр. В качестве противолучевых препаратов использовали: Беталейкин (рч ИЛ-1β, ИОЧБ СПб) 50 мкг/кг, Тромбопоэтин (рчТПО, ProSpec_Tany TechnoGene) 15 или 25 мкг/кг, Лейкостим (рч Г-КСФ, Биокад, Россия) 50 мкг/кг. Все препараты вводили внутрибрюшинно, ИЛ-1β и ТПО однократно, в интервале 30-60 минут после облучения, Лейкостим 2 раза в сутки в течение 5 дней. При комбинированном применении указанных цитокинов, для препаратов однократного применения (Беталейкин и ТПО) соблюдались те же условия, а курс Лейкостима начинался на следующий день после облучения и длился 3-4 дня.

Эффект облучения и действия препаратов оценивали по показателям клеточности костного мозга (ККМ) и эндогенных колоний в селезенке через 9 суток после облучения (КОЕс), а также 30-суточной выживаемости и средней продолжительности жизни павших мышей.

Достоверность различий между сравниваемыми показателями устанавливали по критериям: Манна-Уитни, Стьюдента, точному критерию Фишера.

Все препараты дали положительный достоверный эффект по сравнению с контролем по показателю ККМ и КОЕс. Отмечен более высокий положительный результат при применении комбинации, однако достоверных различий по сравнению с остальными препаратами не обнаружено.

По показателю выживаемости достоверный эффект был получен только для комбинации цитокинов ($p=0,01$, повышение выживаемости на 45% по сравнению с контрольной группой). Более слабый эффект получен для остальных препаратов (повышение выживаемости от 25 до 35 % при $p = 0,06-0,2$).

Кроме того, нами начато исследование препарата револейд (элтромбопаг, Glaxo Operations, Великобритания), взаимодействующего с трансмембранным доменом человеческого рецептора ТПО, стимулятора пролиферации и дифференцировки клеток мегакариоцитарного ростка. Препарат применяли перорально, 1,25 мг/кг, в интервале 30-40 минут после облучения в дозах 6 и 8,5 Гр. Был получен достоверный положительный эффект его применения по показателю ККМ через 9 суток.

Вывод: отмечено слабое или умеренно выраженное повышение эффективности совместного применения средств экстренной (беталейкин и ТПО) и длительной, курсовой (лейкостим) противолучевой терапии по сравнению с их раздельным применением. Требуются дальнейшие исследования и поиск оптимальных доз и способов комбинирования цитокинов для применения после острого однократного облучения. Будет продолжено изучение револейда, как перспективного препарата не только для стимуляции тромбопоэза, но и для экстренной противолучевой терапии, к тому же в отличие от рчТПО доведенного до статуса медицинского препарата.

# АНТИОКСИДАНТНЫЕ СВОЙСТВА РАДИОЗАЩИТНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПРИ ЛУЧЕВОМ ВОЗДЕЙСТВИИ РАЗЛИЧНОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ

*Л.Н.Расина*[1], *О.Н.Чупахин*[2]

[1]Институт экологии растений и животных УрО РАН, Екатеринбург, Россия, rasina@ipae.uran.ru

[2]Уральский федеральный университет им. Б.Н.Ельцина, Екатеринбург, Россия, Chupakhin@ios.uran.ru

Широкий спектр возможных вариантов радиационных воздействий на человека и биоту обусловливает диапазон необходимых фармакологических средств защиты организма и популяций. В механизмах формирования радиорезистентности ведущая роль отводится процессам перекисного окисления липидов (ПОЛ) и антиоксидантной (АО) системе (Бурлакова и др.,1985, 2001, Кудряшов, 2004).

При остром внешнем лучевом воздействии с мощностью дозы излучения порядка 1 Гр/мин высокий радиозащитный эффект (до 90 %) новых гетероциклических соединений при однократном профилактическом введении мышам линий BALB и СВА выражался в локализации первичной фармакологической реакции на уровне клеток критических тканей организма за счет высокой в них концентрации, в результате предупреждая образование значительного количества свободных радикалов и препятствуя резкому подъему продуктов ПОЛ. Развитие гипоксии на фоне умеренного снижения потребления организмом кислорода характеризует участие в радиозащитном эффекте не только антиоксидативных механизмов радиорезистентности (Расина, Чупахин, 1999; Расина, Чарушин, 2013).

С увеличением продолжительности лучевого воздействия до двух месяцев и снижении мощности дозы в 40 раз многократное в течение первых 30 суток введение гетероциклических соединений способствовало поддержанию более высокого АО статуса организма за счет активности ферментов АО защиты, подавляемой пролонгированным радиационным воздействием, и более низкой концентрации продуктов ПОЛ. Увеличивалась средняя полулетальная доза добавочного облучения как характеристика функциональных резервов резистентности к внешним воздействиям, на 3-5 месяцев увеличивалась средняя продолжительность жизни животных.

При курсовом введении мелким млекопитающим, отловленным в зоне Восточно-Уральского радиоактивного следа (ВУРС) с загрязнением почвы по $^{90}Sr$ до 16,7 МБк/м$^2$ (451 Ки/км$^2$) и средней концентрацией $^{90}Sr$ до 160 Бк/г сырой костной ткани (Позолотина и др. 2008, Стариченко, 2004) и откалиброванным на базе функционально-онтогенетического подхода (Grigorkina, Olenev, 2011), радиозащитные соединения нивелировали прооксидантный эффект малых доз радиации, способствуя нормализации АО статуса клеток и тканей, повышая устойчивость структуры биологических мембран, нейтрализуя нейроэндокринные механизмы активации патогенетических процессов.

Различия в пусковых механизмах АО действия противолучевых соединений с изменением мощности дозы излучения (роль в купировании первичных радиобиологических эффектов при высокой мощности, в коррекции отдаленных последствий и профилактике патогенетических нарушений при увеличении продолжительности и снижении мощности) необходимо учитывать при направленном синтезе и разработке фармакологических средств профилактики и защиты организма от негативных последствий радиационных воздействий.

# ВЛИЯНИЕ ИНТЕРЛЕЙКИНА-1β НА ТЕЧЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО КОМБИНИРОВАННОГО РАДИАЦИОННО-МЕХАНИЧЕСКОГО И МЕХАНО-ХИМИЧЕСКОГО ПОРАЖЕНИЯ

*Д.В. Ремизов, Ю.В. Юркевич, В.П. Федонюк*
Военно-медицинская академия им.С.М. Кирова, Санкт-Петербург, Россия,
r_dmv@mail.ru

Интерлейкин-1β (ИЛ-1β) – ключевой медиатор «цитокиновой сети», важнейший регулятор пролиферации стволовых клеток, обладающий стимулирующим действием на восстановительные процессы кроветворения. Препарат ИЛ-1β позволяет существенно снизить летальность экспериментальных животных при лейкопении лучевой, а также химической этиологии и рассматривается в качестве перспективного средства профилактики и раннего лечения поражений ионизирующим излучением и высокотоксичными веществами цитостатического действия. В тоже время модифицирующие эффекты ИЛ-1β при радиационном и химическом поражениях, осложненных механической травмой изучены недостаточно. Цель работы заключалась в оценке влияния ИЛ-1β в радиотерапевтических дозах на тяжесть проявлений механического компонента комбинированного радиационного (КРМП) и химического поражения (КМХП). Мышей линии (CBA*C57BL)F1 подвергали общему однократному гамма-облучению в дозах, близких к среднелетальным. Через 15 мин после облучения животным наносили компрессионную травму задних конечностей ($LD_{30}$-$LD_{40}$). Моделирование химического компонента КМПХ осуществляли путем подкожного введения мышам дихлордиэтилсульфида (ДХДЭС) в $LD_{16}$-$LD_{50/30}$ с последующим нанесением компрессионной травмы. Препарат рекомбинантного ИЛ-1β вводили внутрибрюшинно однократно в дозе 0,05 мг/кг через 0,5-72 ч после воздействия. Установлено, что в условиях изолированного облучения ИЛ-1β обеспечивал защиту 30-40% животных. Введение ИЛ-1β в дозе, эффективной для раннего лечения острого лучевого поражения, напротив, существенно отягощало течение и исход КРМП (гибель животных в течение первых 7 сут увеличивалась с 50% до 80-90%). Применение ИЛ-1β после изолированной компрессионной травмы, также как и при комбинированном поражении, значительно снижало выживаемость животных. Аналогичная направленность эффекта ИЛ-1β установлена в ранний период интоксикации ДХДЭС на фоне компрессионной травмы. Введение ИЛ-1β в ранние сроки после травмы и отравления увеличивало число летальных исходов на 20-30%, а также вдвое сокращало продолжительность жизни погибших животных. Применение цитокина только при интоксикации ДХДЭС повышало выживаемость мышей на 20-25%. Последующие исследования показали, в условиях механической травмы, облучения и их комбинированного воздействия ИЛ-1β обеспечивал мобилизацию лейкоцитов в системную циркуляцию. Одновременно наблюдались выраженные изменения активности фактора некроза опухоли (ФНО). При введении ИЛ-1β через 6 ч после механической травмы у облученных и необлученных мышей активность ФНО-α в сыворотке крови достигала значений, более чем в 2 раза превышающих уровень у пораженных животных, не получавших препарат. Таким образом, реализация лейкоцитмобилизующей активности ИЛ-1β в условиях исследуемых вариантов комбинированных поражений нивелируется одновременной индукцией провоспалительных цитокинов, что имеет непосредственное отношение к патогенетическим механизмам отягощения рассматриваемых вариантов комбинированных поражений.

# ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ КЛАССИФИКАЦИИ ПРОТИВОЛУЧЕВЫХ МЕДИКАМЕНТОЗНЫХ СРЕДСТВ

*Л.М.Рождественский*
ГНЦ Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И.Бурназяна ФМБА России, Москва, Россия,
lemrod@mail.ru

Классификация противолучевых средств (ПЛС) представляет серьезные трудности из-за обилия этих средств. Приемлемой была бы такая классификация ПЛС, которая связывала бы какие-то объективные характеристики ПЛС с вызываемыми ими фармакологическими и противолучевыми эффектами.

Попытки использования какого-то одного классифицирующего признака (химического, механизменного, фармакологического, временного, эффективности, прикладного использования) приводили обычно к подразделению ПЛС на различные, часто перекрещивающиеся группы. Это позволяло структурировать необозримую совокупность ПЛС для удобства их представления и описания, не более того. В настоящее время наиболее распространено подразделение медикаментозных ПЛС (от внешнего воздействия) на 3 группы. Это – 1. радиопротекторы (только за короткий срок до облучения); 2. вещества ранней терапии (в 1-е сутки); 3. вещества многократного применения до или после облучения, с весьма слабым эффектом.

Рассмотрим все классы органических веществ в порядке возрастания их молекулярной массы (мол.м.). В мономерных органических соединениях расположены практически все радиопротекторы. Они представлены производными от 5 аминокислот (с возрастанием мол.м.): цистеина (ациклические меркаптоамины), гистидина, фенилаланина, тирозина, триптофана (циклические амины). Для всех них постулируется механизм действия, связанный с вмешательством в самую раннюю радиационно-химическую стадию - ослабление окислительного действия радиации за счет увеличения концентрации восстановителей и/или снижения концентрации $O_2$. При этом все они осуществляют защиту опосредованно, через взаимодействие с биосубстратом. Только для аминотиолов рецепция состоит во взаимодействии со смешанными дисульфидами белков, а для циклических аминов – во взаимодействии уже с рецепторами клеток. Лишь для меркаптоамина амифостина (наибольшая мол.м.) подозревают появление клеточного рецептора на пути передачи сигнала.

Далее с повышением мол.м. появляются ПЛС - пептиды. Однако характер их противолучевого действия меняется с протекторного на, условно говоря, модификаторное (отсроченное профилактическое и лечебное), т.е. связанное уже с вмешательством в биохимическую и клеточную стадии процесса. Наиболее эффективными предстают полипептиды, к которым относятся разнообразные цитокины (Г-КСФ, ИЛ-1, -3, -6) и индукторы цитокинов (флагеллин/CBLB502, сюда же примыкают и другие высокомолекулярные соединения – ЛПС, глюкан, хитозан) Уступая протекторам в силе защиты, радиомодификаторы (РМ) превосходят их в длительности противолучевого действия и существенно меньшей нагруженности нежелательными эффектами. Получаются 2 разнородные по характеру и механизму действия группы (РП и РМ). Однако есть нечто общее, объединяющее их. Это рецепторный характер действия для большинства ПЛС. Только рецепторы и передаваемые сигналы разные. Для низкомолекулярных РП, моделирующих внешнюю угрозу, это рецепторы стресса. Для высокомолекулярных РМ, моделирующих угрозу внедрения чужеродного биологического начала, это рецепторы иммунитета.

Ведущими классифицирующими признаками становятся мол.м., тип рецептора, вся цепочка передачи сигнала вплоть до транскрипционных факторов и эффекторов.

# ПОИСК ПРОТИВОЛУЧЕВЫХ СРЕДСТВ И ИНДИКАТОРОВ ИХ ЭФФЕКТИВНОСТИ НА МОДЕЛИ ПРОЛОНГИРОВАННОГО ОБЛУЧЕНИЯ МЫШЕЙ С НИЗКОЙ МОЩНОСТЬЮ ДОЗЫ

*Л.М.Рождественский, В.Ф.Михайлов, Т.Г.Шлякова, Н.Ф.Раева, Р.А.Щеголева, Ж.М.Шагирова, Н.И.Лисина, Л.В.Шуленина, В.В.Зорин, А.В.Пчелка, К.Ю.Трубицина*
ГНЦ Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И.Бурназяна ФМБА России, Москва, Россия,
lemrod@mail.ru, vfmi@mail.ru

Условия пролонгированного низкомощностного радиационного воздействия остаются медикаментозно менее обеспеченной областью противолучевой защиты, чем острое облучение. Если для сценария Чернобыль (острая фаза аварии) номинальные противолучевые препараты известны, то для сценария Фукусима (поздняя стадия) их нет. Имеющиеся экспериментальные наработки в этом направлении на уровень клинических испытаний еще не вышли. Трудности, возникающие на этом пути, связаны как со слабостью доказательной базы самого противолучевого эффекта при низкомощностном излучении, так и с отсутствием надежных индикаторов повышенной радиорезистентности (ИПР) в отношении организма/ткани, необходимых для II стадии клинических испытаний.

В опытах на мышах-самцах F1 (CBAxC57Bl), подвергавшихся в естественных условиях обитания пролонгированному (21 ч) низкомощностному (10 мГр/мин) гамма-облучению в дозе 12,6 Гр от 2-х оппозитных цезиевых источников, установлен статистически достоверный радиозащитный эффект предварительного введения цитокина ИЛ-1β (рч беталейкина) в вариантах 3 мкг/кг за 22 ч или, особенно, 50 мкг/кг за 2 ч до начала воздействия по показателям, отражающим степень сохранности стволовых кроветворных клеток (клеточность костного мозга., эндогенные колонии селезенки). В этих же условиях облучения оказались неэффективными антиоксидант феноксан, антигипоксант лимонтар, нуклеозид рибоксин.

По показателю 30-сут выживаемости, проявившемуся лишь при увеличении дозы облучения до 16-17,5 Гр (экспозиция 27-29 ч), отмечена на небольшом материале лишь тенденция к проявлению радиозащитного эффекта препарата. Снижение эффективности беталейкина, относящемуся к классу радиомодификаторов (не протекторов) при таком увеличении дозы было ожидаемым.

В качестве возможных индикаторов повышенной радиорезистентности исследовали в костном мозге интактных мышей к началу облучения экспрессию генов белков теплового шока (БТШ) с массой 25, 70 и 90 кДа, генов-онкосупрессоров p53 и p21, генов iap1 и iap2, кодирующих белки-ингибиторы апоптоза.

Отмечены разнонаправленные колебания экспрессии генов БТШ, что явно дискоррелировало с постоянно воспроизводимым радиозащитным эффектом беталейкина по клеточно-тканевым показателям. Выявленная в 2-х последовательных опытах в период аномальной жары высокая экспрессия генов БТШ всех трех видов через 24 ч после введения беталейкина в варианте 50 мкг/кг за 24 ч сопровождалась негативным эффектом по радиозащитной эффективности, что подтвердило высокую реактивность БТШ на стресс. Из остальных генов было выявлено достоверное угнетение экспрессии p53, что предполагает активацию сигнального пути с транскрипционным фактором NF-kB, направленную на усиление пролиферации. Это, в частности, совпадает с известным по литературе активирующим влиянием на NF-kB полипептида флагеллина/ CBLB502/энтолимода, осуществляющего свое противолучевое действие через TLR5 (toll like receptor 5), близкородственный рецептору ИЛ-1. Поиск ИПР среди эффекторов транскрипционных факторов сигнального пути ИЛ-1 NF-kB и cJun/cFos представляется перспективным. Исследуется влияние активации NF-kB сигнального пути на возможность развития в отдаленные сроки нестабильности генома в клетках кроветворной системы.

# ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ РЕКОМБИНАНТНОГО ИНТЕРЛЕЙКИНА-1 БЕТА ЧЕЛОВЕКА В КАЧЕСТВЕ РАДИОЗАЩИТНОГО И АНТИТОКСИЧЕСКОГО СРЕДСТВА.

*Симбирцев А.С., А.В.Петров*
Государственный НИИ особо чистых биопрепаратов ФМБА России,
Санкт-Петербург, Россия,
simbirtsev@hpb-spb.com

Как показали многочисленные исследования в России и за рубежом, интерлейкин-1 бета (ИЛ-1) обладает радиозащитным действием, которое направлено главным образом на активацию костно-мозгового кроветворения. Благодаря плейотропному типу биологической активности. ИЛ-1 стимулирует развитие защитных реакций организма при внедрении патогенов и воздействии различных неблагоприятных факторов окружающей среды, включая токсические вещества и ионизирующее излучение. Согласно экспериментальным данным ИЛ-1 обладает противолучевым действием у линейных мышей, крыс и беспородных собак. В этих исследованиях продемонстрировано, что в основе радиозащитного действия ИЛ-1 лежит активация постлучевых восстановительных процессов и костномозгового кроветворения, начиная с уровня стволовых кроветворных клеток. Генно-инженерный препарат рекомбинантного интерлейкина-1 бета человека под названием Беталейкин зарегистрирован в РФ в качестве гемостимулирующего, иммуностимулирующего и радиозащитного средства. Беталейкин стимулирует костномозговое кроветворение и увеличивает функциональную активность клеток иммунной системы. В клинических исследованиях у онкологических больных, перенесших высокодозную радиационную и химиотерапию, выявлена мобилизация стволовых кроветворных клеток в кровь уже после однократного введения Беталейкина, что является косвенным подтверждением способности препарата оказать раннее противолучевое лечебное действие. Согласно инструкции по рименению препарата, утвержденной МЗ РФ, Беталейкин рекомендуется для подкожного введения пострадавшим от острых тотальных и субтотальных аварийных облучений в дозах выше 0,5-1 Гр в течение 2-х часов после лучевого воздействия. Дальнейшие исследования направлены на разработку препарата индивидуального применения в форме шприца-тюбика на основе субстанции рекомбинантного интерлейкина-1 бета как средства экстренной терапии при острых аварийных облучениях человека. В упомянутых клинических исследованиях Беталейкин защищал организм человека при воздействии химиопрепаратов, подавляющих кроветворение, т.е. может быть использован не только как радиозащитное средство, но и в качестве средства борьбы с последствиями поражения токсическими веществами. Механизмы защитного действия при отравлениях ядами различной природы подробно изучены в экспериментальных моделях у лабораторных животных. Разработанный препарат может быть использован в армии в качестве табельного индивидуального средства экстренной защиты от лучевого поражения, а также на объектах, связанных с использованием ядерной энергии. Использование Беталейкина при чрезвычайных ситуациях может привести к существенному увеличению числа людей, спасенных от гибели после воздействия радиоактивного излучения и отравляющих веществ.

# ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ФИЗИЧЕСКИХ И ХИМИЧЕСКИХ АГЕНТОВ НА МЫШЕЙ, ОБЛУЧЕННЫХ МАЛЫМИ ДОЗАМИ НИЗКОИНТЕНСИВНОГО ПЛОТНОИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ

*Сорокина С.С.*[1], *Заичкина С.И.*[1], *Розанова О.М.*[1], *Романченко С.П.*[1], *Смирнова Е.Н.*[1], *Дюкина А.Р.*[1], *Пелешко В.Н.*[2], *Маевский Е.И.*[1], *Гришина Е.В.*[1]

[1] Институт теоретической и экспериментальной биофизики РАН, Пущино, Россия, sv0723@yandex.ru

[2] ГНЦ РФ – Институт физики высоких энергий НИЦ «Курчатовский институт», Протвино, Россия.

Целью настоящей работы являлось изучение действия агентов различной физической и химической природы: иммуномодуляторы (ИМ), сукцинат содержащая композиция (СДК), глутапирон, инфракрасный свет (ИКС) и Х-лучи - на радиочувствительность костного мозга и тимуса и рост асцитной карциномы Эрлиха (АКЭ) у мышей, облучённых плотно- и редкоионизирующими излучениями.

В экспериментах использовали 2х-месячных самцов белых мышей линии SHK. Животных облучали низкоинтенсивным плотноионизирующим излучением (НПИ) в дозах 3 и 22 сГр (1 сГр/сут) за верхней бетонной защитой ускорителя заряженных частиц с энергией 70 ГэВ (Протвино) и редкоионизирующим излучением на установке РУТ (1 Гр/мин; Пущино). Уровни продукции активных форм кислорода (АФК) оценивали в цельной крови методом люминол-зависимой хемилюминесценции, цитогенетических повреждений - методом «микроядерный тест» в костном мозге, массу тимуса - по отношению среднего абсолютного веса органа к среднему весу животного в группе, скорость роста опухоли - по ее размеру в течение 30 дней после перевивки.

При исследовании комбинированного действия облучения НПИ в дозах 3 и 22 сГр и модифицирующих агентов было обнаружено: 1) увеличение количества цитогенетических повреждений в клетках костного мозга по сравнению со спонтанным фоном; 2) восстановление веса тимуса до контрольного значения при совместном действии ИКС и СДК как до, так и после облучения в дозе 22 сГр; 3) увеличение продукции АФК при облучении в дозе 22 сГр, а при сочетанном действии агентов как до, так и после облучения уровень АФК не отличался от контрольного значения; 4) отсутствие радиационного адаптивного ответа в клетках костного мозга и тимуса мышей, облучённых НПИ как на фоне ИМ и ИКС, так и без них, однако, на фоне СДК адаптивный ответ появлялся только в клетках костного мозга; 5) снижение уровня продукции АФК при облучении мышей обеими дозами на фоне ИКС и СДК при дополнительном облучении в дозе 1.5 Гр; 6) динамика роста АКЭ у мышей зависела от величины дозы и режима совместного действия агентов.

Таким образом, впервые была показана возможность модификации радиочувствительности мышей при сочетанном действии малых доз НПИ и различных физических и химических агентов как до, так и после облучения, в зависимости от дозы и метода регистрации повреждений.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 14-04-32222.

# ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА РАДИОЗАЩИТНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОТЕЧЕСТВЕННОГО РЕКОМБИНАНТНОГО ФЛАГЕЛЛИНА

(предварительные результаты)

*Г.А.Софронов[1, 2], И.В.Духовлинов[2], Н.В.Аксенова[1], Е.В.Мурзина[1]*

[1]Военно-медицинская академия им.С.М.Кирова, Санкт-Петербург, Россия,

[2]Научно-исследовательский институт экспериментальной медицины СЗО РАМН, Санкт-Петербург, Россия.

Флагеллины представляют собой группу белков, являющихся основным структурным компонентом бактериальных жгутиков. Флагеллины – агонисты специфического рецептора на клетках иммунной системы TLR-5, активация которого сопровождается мощным иммуностимулирующим действием. В публикациях зарубежных исследователей сообщается о высоком радиозащитном действии флагеллина и его производных.

Целью настоящего исследования явилась экспериментальная оценка радиозащитной эффективности отечественного препарата – рекомбинантного флагеллина, синтезированного в ФГБУ «Научно-исследовательский институт экспериментальной медицины» СЗО РАМН (Санкт-Петербург, Россия).

Исследования выполнены на 130 белых беспородных мышах-самцах массой тела 18-20 г, полученных из питомника лабораторных животных «Рапполово» (Ленинградская область). Животных подвергали общему равномерному однократному рентгеновскому облучению на установке «РУМ-17» при напряжении 180 кВ, силе тока 10 мА, с фильтром 0,5 мм Cu + 1,0 мм Al, при направлении облучения «голова – грудь» на расстоянии 50 см, с мощностью экспозиционной дозы 0,206 мА/кг (32,8 Р/мин).

Флагеллин вводили в дозе 1 мг/кг внутрибрюшинно. Радиозащитную эффективность флагеллина оценивали как при профилактическом введении препарата (до облучения за 24 ч; за 2 ч; за 30 мин), так и при введении препарата в лечебных целях (после облучения через 30 мин; через 2 ч; через 24 ч; через 30 мин и 4-х кратно каждые 24 ч). Анализ выживаемости облученных животных проводили за период наблюдения 30 суток по методу Каплана-Мейера с использованием пакета прикладных программ Statistica 8,0. Оценивали динамику гибели мышей в экспериментальных группах, процент выживших мышей, среднюю продолжительность жизни погибших от облучения животных. Сравнение выживаемости мышей в группах проводили с помощью двустороннего критерия Лог Ранка.

Установлено, что при облучении мышей в дозе 7,5 Гр флагеллин проявляет наибольшую радиозащитную эффективность в условиях профилактического применения за 30 мин и за 2 ч до воздействия ионизирующего излучения. Выживаемость мышей в данных экспериментальных группах возросла до 67% в каждой, в то время как в контрольной группе она составила 36%. При введении флагеллина за 24 ч до радиационного воздействия выживаемость облученных мышей составила 40%. Во всех изученных схемах терапии радиационных поражений противолучевого эффекта выявлено не было: при введении флагеллина через 30 мин после облучения и 4-х кратно каждые 24 ч выживаемость мышей составила 40%; при введении препарата через 30 мин и через 24 ч после облучения – по 27%. При введении флагеллина через 2 ч после радиационного воздействия отмечено снижение выживаемости животных до 13%. При этом во всех схемах профилактики и терапии радиационных поражений введение флагеллина не оказало существенного влияния на среднюю продолжительность жизни погибших от облучения мышей.

Результаты проведенного исследования свидетельствуют о перспективности дальнейшего изучения радиопротекторных свойств флагеллина.

# ИЗУЧЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПИРАЗИНАМИДА В КАЧЕСТВЕ СРЕДСТВА СОХРАНЕНИЯ ФУНКЦИЙ ЦЕНТРАЛЬНОЙ НЕРВНОЙ СИСТЕМЫ ПРИ ОБЛУЧЕНИИ В СВЕРХВЫСОКИХ ДОЗАХ

*А.В. Степанов, С.Ю. Краев, И.С. Драчёв*
Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова, Санкт-Петербург, Россия,
r.laboratory@yandex.ru

Известно, что воздействие ионизирующих излучений (ИИ) в высоких дозах приводит к развитию нарушений функции центральной нервной системы (ЦНС). Для сохранения работоспособности ряда специалистов (космонавты, персонал ядерных энергетических установок, личный состав спасательных служб и т.п.) в аварийных и экстремальных ситуациях, связанных с риском облучения организма ИИ, необходима фармакологическая коррекция нарушений функционирования ЦНС. В связи с этим одной из актуальных задач современной радиобиологии является поиск лекарственных средств, предназначенных для профилактики нарушений функций ЦНС при облучении в высоких дозах.

Цель работы — изучение эффективности применения препарата пиразинамид в качестве средства сохранения функций ЦНС при облучении в высоких дозах. Пиразинамид является официнальным аптечным лекарственным средством, предназначенным для лечения туберкулеза. Разовая доза пиразинамида для взрослых составляет 1,0—2,0 г, что соответствует расчетной радиозащитной дозе «церебральных» радиопротекторов. Аптечная форма выпуска пиразинамида представляет собой таблетки по 0,25 и 0,5 г, таким образом, радиозащитную дозу можно принять внутрь в виде 2—3-х таблеток.

Эксперименты, выполнены на беспородных крысах-самцах, облученных в дозе 200 Гр. Пиразинамид вводили в дозе 100 мг/кг внутрибрюшинно за 30 мин до радиационного воздействия. Эффективность препарата по сохранению функций ЦНС оценивали в тестах «Открытое поле», «Beam-walking» и «Ladder Rung Walking Task» сразу после облучения.

Результаты теста «Открытое поле» показали, что после облучения у крыс контрольной группы исследовательская активность уменьшается в 4,5 раза, тогда как у крыс с пиразинамидом — в 2,1 раза. Среднее время пересечения перекладины контрольными крысами при выполнении теста «Beam-walking» в 5 раз больше, чем у животных, которым ввели пиразинамид, а частота двигательных нарушений в контроле была увеличена вдвое. Введение пиразинамида облучённым крысам позволяет сохранить двигательную активность и координацию движений при выполнении теста «Ladder Rung Walking Task» на уровне до облучения.

Результаты проведенных экспериментов позволяют сделать вывод, что пиразинамид является эффективным средством профилактики нарушений функций ЦНС после облучения в высоких дозах. Механизм действия препарата, вероятно, связан с ингибированием процессов поли-АДФ-рибозилирования.

# ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ СИНТЕТИЧЕСКОГО ГЕНИСТЕИНА КАК СРЕДСТВА ПРОФИЛАКТИКИ ЛУЧЕВЫХ ПОРАЖЕНИЙ

*Р.А. Тарумов*
Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова, Санкт-Петербург, Россия,
tarumov_ra@mail.ru

В настоящее время работы по поиску, созданию, экспериментальному изучению безопасности, фармакодинамики и механизмов действия новых противолучевых лекарственных средств активно продолжаются.

Целью данного исследования явилась экспериментальная оценка фармакологических свойств синтетического генистеина и его радиозащитной эффективности при остром облучении.

Экспериментальные исследования выполнены на белых беспородных крысах обоего пола, самцах мышей первого поколения СВА х С57В1, а также самцах и самках белых беспородных мышей.

В качестве основного объекта исследования был генистеин – препарат, синтезированный во ФГУП «НПЦ «Фармзащита» ФМБА России.

Оценку острой токсичности генистеина проводили в соответствии с Руководством по экспериментальному (доклиническому) изучению новых фармакологических веществ. Фармакологические свойства препарата оценивали по его влиянию на показатели углеводного, белкового и липидного обменов, содержание в сыворотке крови крыс β-эстрадиола и цитокинов, антиоксидантной активности в опытах in vitro и in vivo. Для изучения противолучевых свойств препарат в дозе 200 мг/кг вводили животным за 1 сут, 1 ч до или через 1 ч после облучения, а также курсом 1 раз в день в течение 5 сут после воздействия радиации.

Установлено, что $LD_{50}$ для синтетического генистеина при внутрибрюшинном введении составила 8292±1247 мг/кг, что позволяет отнести это соединение к малотоксичным веществам. Генистеин в дозе 200 мг/кг не вызывал значимых изменений форменных элементов в периферической крови, показателей углеводного, белкового и липидного обмена, эмоционального статуса животных. В опытах *in vitro* генистеин обладал антиоксидантной активностью, сопоставимой с активностью аскорбиновой кислоты, но выраженной слабее, чем у кверцетина. Через 4 ч после введения крысам генистеина концентрация восстановленного глутатиона повышалась на 73,8%, а спустя 1 сут – на 85%. Через 1 ч после введения генистеина содержание β-эстрадиола повышалось более чем в 2 раза, ИЛ-1 – на 26%, ИЛ-6 – на 14%.

Генистеин обладал радиозащитной активностью при введении мышам за 1 ч до облучения в дозах $СД_{50\text{-}90/30}$, при этом значение ФИД составило 1,23. Кроме того, на фоне введения генистеина число колоний, выявленных в методике эндогенного колониеобразования на селезенках облученных мышей, было в 1,8-2,7 раза больше, чем в контроле. Профилактическое применение генистеина позволяло также в 1,5 раза увеличить число определенных в методике экзогенного колониеобразования $КОЕ–С_9$ после облучения мышей в дозе 2 Гр, в 1,7 раза – после облучения в дозе 4 Гр, в 2,7 раза – после облучения в дозе 6 Гр. У облученных в крыс, защищенных генистеином, через 1 сут после радиационного воздействия уровень лейкоцитов превышал показатели контрольной группы в 1,3 раза, а к 7 сут – в 1,5 раза. На 3 и 7 сут исследования регистрировали повышение количества тромбоцитов в 2,2 и 2,3 раза, соответственно, по сравнению с животными контрольной группы. Введение крысам генистеина позволяло уже через 5 мин. после лучевого воздействия на 25% по сравнению с контролем снизить уровень малонового диальдегида, а через 24 ч – на 26% увеличить содержание восстановленного глутатиона в эритроцитах периферической крови облученных крыс.

Таким образом, отечественный синтетический генистеин может рассматриваться как перспективное средство профилактики радиационных поражений.

# БАЗИДИОМИЦЕТЫ КАК ПЕРСПЕКТИВНЫЕ СРЕДСТВА ПРОФИЛАКТИКИ И ЛЕЧЕНИЯ РАДИАЦИОННЫХ НАРУШЕНИЙ

*Н.И.Тимохина*[1]*,С.Н.Сушко*[1]*, Е.М.Кадукова*[1] *,С.В.Гончаров*[1]*, В.В.Трухоновец*[2]
[1]Институт радиобиологии НАН Б, Гомель, Беларусь, irb@mail.gomel.by
[2]Гомельский государственный университет им.Ф.Скорины, Гомель, Беларусь, trukhanavets@tut.by

С целью создания новых препаратов на основе натурального сырья для профилактики и лечения заболеваний, связанных с нарушениями иммунной системы, вызванными радиоактивным и другими загрязнениями окружающей среды, проведены исследования радиопротекторной и противоопухолевой активности водных экстрактов культивированных грибов и их мицелия.

В сравнительном аспекте исследовали противоопухолевую и радиозащитную активность водных экстрактов (ВЭ) плодовых тел герициума шиповатого (Hericium erinaceus) и мицелия щелелистника обыкновенного (ВЭМ, *Shizophillum commune*) на самцах мышей линии Af. Оценка радиозащитной эффективности ВЭ грибов–базидиомицетов (250 мг/кг) дана по выживаемости мышей после воздействия гамма-излучения в дозе 7 Гр (ЛД $_{50/30}$) и последующего употребления грибного экстракта. Выполнен анализ противоопухолевой резистентности потомства линейных мышей, экспонированных на территории Полесского государственного радиационно-экологического заповедника (ПГРЭЗ, н.п. Масаны) в течение 2 месяцев (мощность дозы 3,3 мкЗв/ч) после приема ВЭ грибов с использованием перевиваемой асцитной карциномы Эрлиха (АКЭ, 6 млн/мышь). Исследованы также выживаемость и интенсивность опухолевого роста при интраперитонеальной перевивке АКЭ лабораторным мышам и различных схемах применения (профилактическом, терапевтическом) ВЭМ *Shizophillum commune*. Асцитная карцинома Эрлиха (АКЭ) является широко используемой моделью для изучения динамики опухолевого роста при воздействии на организм различного рода факторов.

Анализ радиозащитных свойств ВЭ грибов показал, что применение ВЭ щелелистника и герициума после облучения в дозе 7 Гр повышает выживаемость на 25,3 и 10,1 % соответственно по сравнению с облученными животными, не получавшими ВЭ. Установлено увеличение противоопухолевой резистентности потомства мышей, экспонированных в зоне ПГРЭЗ в течение 2 месяцев при приеме ВЭМ щелелистника и гериция: поступление экстракта Shizophillum commune и Hericium erinaceus снижает скорость роста АКЭ соответственно на 55 и 38 %.

Оценка выживаемости мышей после прививки АКЭ и приема Shizophillum commune выявила наибольшую эффективность применения ВЭМ щелелистника в профилактическом режиме. На 16 сутки после прививки АКЭ число выживших животных составляло 33 %, тогда как в остальных группах наблюдалась гибель всех животных. Динамика опухолевого роста после прививки АКЭ и употребления Shizophillum commune свидетельствовала о торможении роста опухоли при всех схемах поступления ВЭМ с максимальной эффективностью профилактического приема ВЭМ, при котором средняя масса опухоли была более чем вдвое снижена по сравнению с группой мышей с имплантацией клеток АКЭ без употребления грибного экстракта.

Результаты исследований позволяют сделать заключение, что исследованные грибные экстракты обладают противоопухолевыми и радиозащитными свойствами и могут служить источником для создания лечебно-профилактических препаратов. Представляются перспективными дальнейшие исследования изученных грибов в качестве дополнительного компонента в комплексном лечении злокачественных новообразований.

# ВЛИЯНИЕ ОБЛУЧЕНИЯ В ВЫСОКИХ ДОЗАХ НА ПОКАЗАТЕЛИ СОСТОЯНИЯ ГАМК-ЕРГИЧЕСКИХ И БЕНЗОДИАЗЕПИНОВЫХ РЕЦЕПТОРОВ ГОЛОВНОГО МОЗГА

*П.В. Тихомиров, А.Ю. Кондаков, В.Ф. Магира*
Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова, Санкт-Петербург, Россия,
alexkondakov@list.ru

В основе физиологического функционирования центральной нервной системы (ЦНС) лежит сбалансированность работы нейромедиаторных систем. Согласно современным представлениям, в работе нейронов головного мозга важная роль принадлежит ГАМК-бензодиазепиновым медиаторам, играющим ключевую роль в тормозных процессах ЦНС. Данные литературы также указывают на их возможную роль в патогенезе лучевого ЦНС-синдрома, возникающего при воздействии ионизирующих излучений в сверхвысоких дозах. Показано, что такое облучение сопровождается существенными нарушениями в состоянии ГАМК-ергической системы, обусловленными как прямым действием радиации, так и блокадой ГАМК-диазепинового комплекса продуктами распада пуриновых нуклеотидов, в частности ксантинов и гипоксантинов.

Целью настоящей работы являлось изучение состояния ГАМК-ергических и бензодиазепиновых рецепторов головного мозга при воздействии сверхвысоких доз радиации. Эксперименты поставлены на крысах облученных в дозе 150 Гр. Для оценки влияния облучения на состояние ГАМК-ергических и бензодиазепиновых рецепторов головного мозга использован метод, основанный на способности связывания меченых лигандов с соответствующими рецепторами клеточных мембран. Комплекс «лиганд-рецептор» отделяется быстрым фильтрованием на нитроцеллюлозные фильтры с последующим подсчетом радиоактивности связавшейся метки.

Результаты проведенных исследований показывают, что радиационное воздействие в сверхвысокой дозе вызывает практически полное (до 90 %) снижение сродства ГАМК-рецепторов к меченому лиганду. Спустя 1 ч после облучения происходит частичное восстановление функционального состояния ГАМК-рецепторного аппарата, однако полностью чувствительность рецепторов к лиганду в эти сроки не восстанавливается. Воздействие ионизирующих излучений также сопровождается существенным нарушением связывания 3-Н диазепама синаптосомальными мембранами головного мозга. Так, спустя 5 мин после облучения, сродство рецепторов к 3-Н диазепаму у облученных крыс снижалось более чем на 50 % и сохранялось на этом уровне в течение 1 ч.

Таким образом, воздействие сверхвысоких доз радиации приводит к существенному снижению сродства ГАМК-рецепторов к меченому лиганду и нарушению связывания 3-Н диазепама синаптосомальными мембранами головного мозга, что вероятно играет важную роль в патогенезе постлучевого ЦНС-синдрома. В пользу этого предположения свидетельствует и тот факт, что спустя 1 ч происходит частичное восстановление чувствительность рецепторов к лиганду, что клинически проявляется в восстановлении работоспособности.

# РАДИОЗАЩИТНЫЕ СВОЙСТВА МОДИФИКАТОРОВ ЭНДОГЕННОГО СИНТЕЗА ОКСИДА АЗОТА

*М.В. Филимонова, Л.И. Шевченко, В.М. Макарчук, Е.А. Чеснакова, Г.А. Лушникова*
Медицинский радиологический научный центр Минздрава РФ, Обнинск, Россия.

Экспериментально доказанная и детально исследованная роль оксида азота (NO) в регуляции сосудистого тонуса и периферической гемодинамики позволяет рассматривать модификацию эндогенного синтеза NO фармакологическими средствами как один из подходов для временного изменения радиочувствительности биологических тканей. В данном исследовании изучалось влияние на гемодинамику и радиомодифицирующее действие ингибиторов синтаз оксида азота (NOS) и доноров NO при их изолированном и сочетанном применении.

**Методы исследований**. В качестве ингибиторов NOS в работе использован ряд оригинальных N,S-замещённых производных изотиомочевины с доказанным NOS-ингибирующим действием, синтезированных в лаборатории радиационной фармакологии ФГБУ МРНЦ; в качестве донора NO использован фармакопейный нитропруссид натрия. Влияние исследуемых соединений на гемодинамику проведено на самцах крыс Wistar. Радиационные эффекты оценивались при воздействии γ-излучения по тесту 30-суточной выживаемости мышей-гибридов $F_1$.

**Результаты**. Все исследованные ингибиторы NOS оказывали длительное вазопрессорное действие. Быстрое повышение тонуса сосудов при их введении в высоких дозах (1/8-1/2 $ЛД_{50}$) вызывало у опытных животных резкую барорефлекторную реакцию, приводившую к продолжительному снижению на 35-55% системного кровотока. Донор NO вызывал противоположный отклик гемодинамики – быструю вазодилятацию, сопровождавшуюся повышением кровотока на 15-20%.

Ингибиторы NOS проявляли свойства гипоксических радиопротекторов – их введение за 15 минут до радиационного воздействия повышало выживаемость животных, облучённых в дозе 10 Гр, а применение после облучения не влияло на радиационный эффект. В исследованном ряду наиболее выраженное и стабильное противолучевое действие проявляло соединение Т1023, которое при дозах 1/5-1/3 $ЛД_{50}$ не уступало защитному действию цистамина. Причём, в отличие от аминотиолов, эффективные радиозащитные дозы которых находятся в области максимально переносимых, соединение Т1023 проявляло эффективную защиту при менее токсичных дозах – в области 1/4 $ЛД_{16}$ (75 мг/кг), а при более высоких дозах наблюдалась тенденция к снижению защитного действия. ФИД для Т1023 в дозе 75 мг/кг составил 1,3-1,6, а для цистамина в дозе 225 мг/кг (1/2 $ЛД_{50}$) – 1,2-1,5.

Хотя доноры NO способны усиливать системный кровоток и перфузию периферических тканей, введение нитропруссида натрия как до, так и после радиационного воздействия в дозе 0,7 мг/кг не оказывало значимого влияния на выживаемость облучённых животных. В этой связи в значительной мере неожиданной явилась достоверная синергичность сочетанного действия Т1023 и нитропруссида натрия – введение донора NO после радиационного воздействия на 30% повысило радиозащитный эффект Т1023, введённого перед облучением. Природа этого явления неясна. Возможно, в данном случае стимуляция периферической гемодинамики донором NO облегчает миграцию и «расселение» стволовых клеток костного мозга, сохранивших жизнеспособность на фоне гипоксии, вызванной ингибитором NOS.

**Выводы**. Модификаторы эндогенного синтеза оксида азота (ингибиторы NOS и доноры NO) способны оказывать противолучевое действие на уровне, значимом для радиационной защиты и медицинской радиологии. И, в этой связи, вопросам их практического применения должно быть уделено пристальное внимание.

# ИЗМЕНЕНИЕ СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ МОЛЕКУЛЫ СЫВОРОТОЧНОГО АЛЬБУМИНА И ВЫХОДА МИКРОЯДЕР У ОБЛУЧЕННЫХ ЖИВОТНЫХ ПРИ ПЕРОРАЛЬНОМ ПРИЕМЕ ВОДНОГО ЭКСТРАКТА МИЦЕЛИЯ ГЕРИЦИЯ ГРЕБЕНЧАТОГО (HERICIUM ERINACEUS)

*Шафорост А.С., Чикунова К.Н.*
Институт радиобиологии НАН Б, Гомель, Беларусь.

В связи с увеличением антропогенной нагрузки на окружающую среду и облучения населения вследствие катастроф на атомных электростанциях в Чернобыле и Фукусима-1 возникает необходимость в разработке радиозащитных препаратов нового поколения. Использование для этого веществ, полученных из природных источников, представляющих собой целый комплекс действующих агентов, позволяет выйти за рамки классического понятия «радиопротектор».

Целью данной работы является оценка эффективности радиозащитного действия водного экстракта (ВЭ) плодовых тел гериция гребенчатого при различных схемах приема.

Объектом исследования были лабораторные мыши линии Af, подвергавшиеся облучению в полулетальной дозе (7 Гр) и принимавшие водный экстракт гериция гребенчатого – группы гериций 1 (профилактико-терапевтический прием), гериций 2 (профилактический прием). Суть профилактико-терапевтического приема препарата состоит в том, что животные получали с питьем ВЭ гериция в течение месяца до (1 г/л) и после облучения (1 г/л). В случае профилактического приема животные получали препарат только до облучения в концентрации 2 г/л.

Количество микроядер в клетках костного мозга подсчитывали по стандартной методике. Измеряли эффективную (ЭКА) и общую (ОКА) концентрацию альбумина в сыворотке крови, рассчитывали РСА (резерв связывания альбумина).

Наблюдаются достоверное повышение частоты микроядер (%) среди облученных (0,97±0,10) и получавших водный экстракт мицелия животных (группы гериций 1 и гериций 2) по сравнению с контролем (0,12±0,03). Анализ изменения выхода микроядер при облучении и различных схемах приема препарата показывает достоверное увеличение значения рассматриваемого параметра в группе гериций 2 (1,1±0,05) по отношению к группе гериций 1 (0,85±0,13) и отсутствие достоверных отличий между этими группами и облученными животными. У облученных животных наблюдается некоторое снижение значения величины РСА (резерв связывания альбумина – ЭКА/ОКА*100%) (65,67±2,84) по сравнению с контролем (68,56±1,86). Анализ результатов применения различных схем приема изучаемого препарата, показал наличие достоверного увеличения величины РСА по сравнению с контролем. Данный факт свидетельствует об увеличении количества доступных мест связывания лигандов в молекуле альбумина. При этом различия между профилактико-терапевтическим (74,95±3,41) и профилактическим (79,21±0,75) способом приема не являются достоверными. Признаки нарушения структурной целостности генома клеток костного мозга сохраняются и через месяц после воздействия, а эффект некоторого снижения частоты микроядер при приеме ВЭ гериция гребенчатого не является достоверным. Увеличение величины РСА в группах, в которых животные принимали водный экстракт и затем подвергались облучению, свидетельствует об увеличении количества свободных мест связывания в молекуле альбумина и, опосредованно, о снижении интоксикации организма. Этот факт может свидетельствовать о возможном радиопротекторном действии препарата ВЭ плодовых тел гериция гребенчатого.

# ЭКСПРЕССИЯ ГЕНОВ, КОНТРОЛИРУЮЩИХ КЛЕТОЧНЫЙ ГОМЕОСТАЗ, В КЛЕТКАХ ЧЕЛОВЕКА, ОБРАБОТАННЫХ РАСТИТЕЛЬНЫМИ ПЕПТИДАМИ И СИНТЕТИЧЕСКИМ АНТИМУТАГЕНОМ, ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ИОНИЗИРУЮЩЕЙ РАДИАЦИИ

*А.А.Шишкина[1], В.Ф.Михайлов[1], Л.В.Шуленина[1], Е.А.Рогожин[2], Н.Ф.Раева[1], И.М. Васильева[3], Г.Д.Засухина[3].*

[1]ГНЦ РФ - Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна ФМБА России, Москва, Россия,
sagittarius1112@yandex.ru, vfmi@mfil.ru

[2]Институт биоорганической химии им. ак.М.М. Шемякина и Ю.А. Овчинникова РАН; Москва, Россия,
rea21@list.ru

[3]Институт общей генетики им. Н.И. Вавилова РАН; Москва, Россия,
Zasukhina@vigg.ru

Исследование посвящено изучению экспрессии генов, контролирующих клеточный гомеостаз, в частности, процессы онкогенеза, в клетках цельной крови человека и опухолевых клетках рабдомиосаркомы (линия RD) и Т-лимфобластных клетках Jukart, обработанных пептидами и краун-соединением ($C_{18}H_{26}N_2O_7$), ранее охарактеризованными как антимутагены-антиканцерогены (Г.Д.Засухина и др.,2008-2013, Т.И.Одинцова и др.,2011, M.Krali,2008, и др.). Клетки, обработанные пептидами и краун-соединением, подвергались облучению в дозе 3Гр на установке «РУСТ-М1». Уровень экспрессии генов оценивали по содержанию их мРНК в клетках. Количественное определение экспрессии генов проводили методом ПЦР в реальном времени.

Был исследован ряд генов, контролирующих превращение нормальных клеток в злокачественные (p53, kRas и др.), регуляторов генной активности (зрелые микроРНК 21, 34), а также генов, необходимых для функционирования опухолевых клеток (семейство MMP, RHO и др.).

В качестве природных антимутагенов были исследованы β-пуротионин, выделенный из проростков пшеницы, и тионин NsW2, полученный из семян чернушки полевой (Nigella sativa). Было показано, что исследуемые нами препараты ингибировали экспрессию генов, необходимых для функционирования иммортализованных клеток, почти не влияя на экспрессию этих генов в клетках крови. Самая высокая степень ингибирования экспрессии (в десятки раз) была отмечена в клетках RD, обработанных тионином чернушки. При этом было показано, что выживаемость клеток RD, обработанных тионином чернушки в эффективной концентрации, снижалась почти на 90%, тогда как уровень выживаемости клеток крови в этих же условиях не изменялся. Следовательно, тионин NsW2 может быть отнесен к классу пептидов – антиканцерогенов.

При облучении клеток RD и крови наблюдалось ингибирование экспрессии исследованных генов, также наиболее выраженное в опытах с тионином NsW2.

Таким образом, впервые показано, что пептиды некоторых растений, экстракты которых обладают антимутагенной и антиканцерогенной активностью, могут быть в дальнейшем перспективны для профилактики и лечения опухолей, а также снижения повреждающего действия мутагенов (радиации, химических мутагенов).

# СЕКЦИЯ 5.

# РАДИОБИОЛОГИЯ ТЯЖЕЛЫХ ИОНОВ. КОСМИЧЕСКАЯ РАДИОБИОЛОГИЯ.

# РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ КАЛИБРОВКИ БИОДОЗИМЕТРА ДЛЯ КОСМИЧЕСКИХ ПОЛЕТОВ

*С.С. Бартенева, В.М. Петров*
ГНЦ РФ ─ Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия,
cveta00@mail.ru

Для получения калибровочной кривой в качестве исходных данных использовались моноэнергетические пучки протонов и протоны с энергетическим спектром в диапазоне от 50 МэВ до 645 МэВ. Методика калибровки разрабатывалась исходя из калибровочных кривых для 4х значений энергий протонных пучков. Процесс получения калибровочной кривой биодозиметра делится на два основных этапа: получение калибровочных кривых для монолиний и получение калибровочной кривой с использованием весовых коэффициентов.

Ввиду того, что потери энергии протонов не описываются в аналитическом виде во всем используемом энергетическом диапазоне, а представляются в табулированном виде, процесс разработки методики представлен в виде графических зависимостей. На первом этапе получаем необходимое количество линий зависимости выхода хромосомных аберраций от энергии для определенной дозы в диапазоне доз от 0,05 Гр до 1,3 Гр. Далее с помощью интерполяции получаем из этого графика зависимость выхода хромосомных аберраций от дозы для промежуточных значений энергии протонов во всем энергетическом диапазоне. На втором этапе находим вклад в общую дозу от каждого моноэнергетического интервала. Затем на графике калибровочных кривых для различных энергий протонов находится вклад в выбранную дозу от соответствующего энергетического интервала. Находим вычисленную дозу на графике и для нее на соответствующей монолинии находим число хромосомных аберраций с помощью линейной интерполяции. Данный алгоритм проделывается для всех энергий для выбранной дозы, потом суммируются полученные значения хромосомных аберраций и на координатную сетку «доза-эффект» наносится точка с координатами выбранная доза и полученное значение хромосомных аберраций. Аналогичная процедура повторяется для остальных значений доз. В конечном итоге получается необходимая калибровочная кривая.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ОБМЕНА МОНОАМИНОВ В СТРУКТУРАХ ГОЛОВНОГО МОЗГА КРЫС В РАЗНЫЕ СРОКИ ПОСЛЕ ОБЛУЧЕНИЯ УСКОРЕННЫМИ ИОНАМИ $^{12}$C

*К.В. Белокопытова*[1], *О.В. Белов*[1], *Е.А. Красавин*[1], *Г.Н. Тимошенко*[1], *В.С. Кудрин*[2], *А.С. Базян*[1,3]

[1]Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия, *kseniabeloc@jinr.ru*
[2]НИИ Фармакологии им. В.В. Закусова РАМН, Москва, Россия,
[3]Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН, Москва, Россия.

Изучение действия тяжёлых заряженных частиц на молекулярные механизмы центральной нервной системы является одной из актуальных задач, связанных с оценкой радиационного риска при планировании межпланетных полётов. Исследования последних лет, выполненные на ускорителях заряженных частиц, выявили ряд эффектов, свидетельствующих о нарушении функций поведения и памяти у лабораторных животных в отдалённые сроки после облучения тяжёлыми ядрами. Однако многие молекулярные механизмы, лежащие в основе обнаруженных нарушений, остаются неясными. В настоящей работе выполнено исследование обмена моноаминов в различных структурах головного мозга крыс в разные сроки после облучения ускоренными ионами $^{12}$C с энергией 500 МэВ/нуклон и линейной передачей энергии (ЛПЭ) 10,6 кэВ/мкм. Оценено изменение уровня норадреналина (НА), дофамина (ДА) и его метаболитов – 3,4-диоксифенилуксусной кислоты (ДОФУК), гомованилиновой кислоты (ГВК), 3-метокситирамина (3-МТ), серотонина (5-ОТ) и его метаболита – 5-гидроксииндолуксусной кислоты (5-ОИУК) в префронтальной коре, гиппокампе, стриатуме, прилежащем ядре и гипоталамусе животных после тотального облучения в дозе 1 Гр. Дополнительно проанализированы отношения концентраций веществ ДОФУК/ДА, ГВК/ДА, 5-ОИУК/5-ОТ. Определение концентрации моноаминов выполнено методом высокоэффективной жидкостной хроматографии высокого давления с электрохимической детекцией. Наиболее выраженные эффекты обнаружены через 24 ч после облучения. В большинстве исследованных отделов мозга получено однонаправленное уменьшение концентрации всех исследуемых веществ. При этом интенсивные изменения наблюдались в трёх структурах: префронтальная кора, прилежащее ядро и гиппокамп. Однако значимые изменения были выявлены только в префронтальной коре (по НА, ДОФУК, 5-ОИУК и 5-ОТ) и более слабые – в прилежащем ядре (по ДА). В более поздние сроки после облучения, составлявшие 30 и 90 суток, изменения в уровнях моноаминов и их метаболитов были не столь однонаправленными, как через 24 часа. Через 30 суток после облучения в префронтальной коре не было выявлено значимых изменений по исследуемым веществам и отношениям их концентраций. При этом в гиппокампе наблюдалась тенденция к уменьшению соотношения 5-ОИУК/5-ОТ, в прилежащем ядре – достоверное понижение 5-ОИУК. В стриатуме прослеживалась тенденция к уменьшению соотношения ГВК/ДА. Анализ, выполненный на 90-е сутки после облучения, выявил достоверное понижение НА в прилежащем ядре. В остальных структурах мозга значимых изменений выявлено не было. Таким образом, на 30-е сутки после облучения наиболее выраженные изменения наблюдались в прилежащем ядре, более слабые – в гиппокампе и стриатуме. Через 90 суток существенные изменения сохраняются в прилежащем ядре, тогда как в других структурах они становятся менее заметными. Результаты, полученные при заданном значении ЛПЭ, могут свидетельствовать о высокой реактивности префронтальной коры в ранние сроки после облучения и повышенной чувствительности прилежащего ядра в отдалённые периоды.

# INDUCTION OF THE HPRT MUTANTS IN THE CHINESE HAMSTER CELLS AFTER IRRADIATION WITH HEAVY IONS

*Bláha P.*[1,2], *Koshlan I.V.*[1], *Koshlan N.A.*[1], *Govorun R.D.*[1], *Elsha D.*[1], *Sidorina J.J.*[1], *Bogdanova J.V.*[1]

[1]Laboratory of Radiation Biology, Joint Institute for Nuclear Research, Dubna, Moscow Region, Russia,

pavel.blahax@gmail.com

[2]Faculty of Nuclear Sciences and Physical Engineering, Czech Technical University in Prague, Prague, Czech Republic.

Mutant fractions have been measured in the HPRT gene of the Chinese hamster cells line V79 after the exposure to accelerated heavy ions. In the course of experiments, the cells were irradiated under 4 different irradiation conditions. The accelerated ions were: B-11, O-18, and Ne-20 (two different energies). The linear energy transfer (LET) values were in the interval 50 - 153 keV/μm. The dependence of the mutant fraction on expression time (the incubation period of the cells from the end of irradiation until reseeding on a selective medium containing 6-thioguanine for the isolation of HPRT mutants) was measured for the doses: 0.5, 1, and 2 Gy.

The dependence expressed non-linear progression under all conditions. It was observed that mutant fraction was rising with the expression time; reaching a maximum; and decreasing again. For the high-LET radiation, the mutant fraction reached its maximum in various expression times depending on the LET. If the culture of cells was exposed to higher LET radiation the position of the maximum was shifted towards longer expression times. After this peak, the value of mutant fraction was falling down with increasing expression time, until reaching the levels typical for spontaneous (non-irradiated) mutants – in the region of 35 - 50 days (75 – 95 cell generations) after irradiation. No clear dependence on the dose was found.

# ГЕМАТОЛОГИЧЕСКИЙ СТАТУС И ДВИГАТЕЛЬНАЯ АКТИВНОСТЬ МЫШЕЙ, ОБЛУЧЕННЫХ ПРОТОНАМИ С РАЗЛИЧНЫМ УРОВНЕМ ЛПЭ

*Т.М. Булынина[1,2], А.Н. Абросимова[1,2], С.В. Ворожцова[1,2], Ю.С. Северюхин[2,3], А.Г. Молоканов[3]*

[1]ГНЦ РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия,
[2]ГНЦ РФ – Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна ФМБА России, Москва, Россия
[3]Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия,
taisiabulinina@mail.ru

Протоны широкого энергетического спектра с большим диапазоном ЛПЭ являются основной компонентой галактического и солнечного космических излучений. Воздействие радиации во время космического полета может немедленно повлиять на успешное завершение миссии или может привести к отдаленным последствиям радиационного поражения у космонавтов. В виду этого является актуальным исследование радиобиологических эффектов протонов с различным уровнем ЛПЭ.

Эксперименты проводились на аутбредных самках мышей CD-1 и самцах C57Bl6. Тотальное облучение мышей проводили пучком протонов с энергией 171 МэВ в дозах 1,0; 2,5 и 5,0 Гр на фазотроне ОИЯИ, использующемся для терапии пациентов. ЛПЭ протонов-171 МэВ составила 0,49 кэВ/мкм, мощность дозы 0,37 Гр/мин. Спектр энергии замедленных протонов – 0-30 МэВ. Мощность дозы 0,8 Гр/мин. Среднее значение ЛПЭ в пике Брэгга составляет 1,6 кэВ/мкм. В спектре ЛПЭ вклад в поглощенную дозу протонов с низкой ЛПЭ составил около 67%, с ЛПЭ 25-50 кэВ/мкм составил 23 % и с высокой ЛПЭ (50-100 кэВ/мкм) 10%. Животных облучали в двух точках глубинного дозного распределения – на входе пучка протонов в объект или в области модифицированного пика Брэгга, расширенного с помощью гребенчатого фильтра. Для сравнения было проведено облучение γ-квантами $^{60}$Co на аппарате для дистанционной лучевой терапии РОКУС-М МТК ОИЯИ в тех же дозах. Средняя мощность дозы 1 Гр/мин. ЛПЭ γ-квантов $^{60}$Co составила 0,3 кэВ/мкм.

Для изучения влияния протонного излучения на поведенческие реакции экспериментальных животных был проведен тест «открытое поле» с регистрацией таких показателей, как стойка на задних конечностях, пересечение секторов и центра арены, груминг, исследование «норок».

Проведенные эксперименты показали, что через 24 часа после облучения протонами с высоким уровнем ЛПЭ наблюдается отчетливое дозозависимое поражение костно-мозгового кроветворения более глубокое по сравнению с протонами на входе пучка протонов в объект. Восстановление клеточности костного мозга, к 8 суткам после облучения, также было сниженным у мышей, облученных в области пика Брэгга. После облучения в дозе 5,0 Гр в области пика Брэгга отмечено более значительное поражение цитогенетического аппарата клеток костного мозга и замедленная элиминация хромосомных аберраций по сравнению с протонами на входе в объект и γ-квантами $^{60}$Co. Различия в поражении и восстановлении числа лейкоцитов в периферической крови, тимуса и селезенки носили более сложный характер.

В ранние сроки после облучения отмечено разнонаправленное действие протонов с различным уровнем ЛПЭ на спонтанную двигательную активность экспериментальных животных: тенденция к повышению под влиянием протонов с высоким уровнем ЛПЭ и снижению при облучении протонами с низким уровнем ЛПЭ.

# ЦИТОГЕНЕТИЧЕСКИЕ ПОВРЕЖДЕНИЯ У МЫШЕЙ ПОСЛЕ ПОЛЕТА НА БИОСПУТНИКЕ «БИОН-М1»

*О.В. Дорожкина, Е.А. Довгополая*
ГНЦ РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия,
dorozhkina88@mail.ru

Освоение человеком космического пространства неразрывно связано с проведением исследований в области космической биологии и физиологии, в том числе на борту пилотируемых и беспилотных космических аппаратов. 19 апреля 2013 года космический биоспутник «БИОН-М1» был выведен на околоземную орбиту. Полет космического аппарата «БИОН-М1» проходил по околокруговой орбите высотой 575 км. Угол наклонения орбиты составлял $64{,}9^0$ (Сычев В.Н., Ильин Е.А., Ярманова Е.Н. и др., 2014). Отставленный наземный контрольный эксперимент, в котором были воспроизведены условия содержания и среды обитания на биоспутнике, проходил с 26 июля по 26 августа 2013 г. В ходе этого эксперимента группу животных содержали в блоках «БИОС-МЛЖ», использованных в полетном эксперименте (Андреев-Андриевский А.А., Шенкман Б.С., Попова А.С. и др., 2014). Целью нашей работы явилось исследование цитогенетических эффектов в клетках костного мозга мышей, экспонированных на биоспутнике «БИОН-М1», в сопоставлении с соответствующим наземным экспериментом.

Длительность полета биоспутника «БИОН-М1» составила 30 суток на околоземной орбите. Размещение животных было по три в каждом отсеке. Эвтаназия осуществлялась спустя 12 часов с момента посадки спутника методом цервикальной дислокации. В эксперименте анафазным методом был определен уровень аберрантных митозов в клетках костного мозга берцовой кости (tibia) мышей-самцов линии C57Bl6. Дозиметрическое сопровождение осуществляли с помощью сборок пассивных термолюминесцентных детекторов, размещаемых внутри спускаемого аппарата.

Уровень аберрантных митозов у мышей виварного контроля составил 1,75 ± 0,6% и 1,8 ± 0,45%, а митотический индекс 1,46 ± 0,09% и 1,53 ± 0,05%. Различия не достоверны.

Содержание животных в наземном эксперименте с бортовой аппаратурой привело к некоторому увеличению аберрантных митозов (2,3 ± 0,4%) и снижению митотического индекса (1,37 ± 0,02%).

В полетном эксперименте «БИОН-М1» отмечено статистически достоверное повышение уровня аберрантных митозов (30 ± 4%), в основном за счет появления фрагментов – 21± 3%, и снижение митотического индекса (0,74 ± 0,07%).

В отдельном наземном эксперименте нами было установлено, что двадцатипроцентный выход аберрантных митозов достигается при $\gamma$-облучении в дозе, превышающей 2 Гр. В то же время следует отметить, что по данным физической дозиметрии за время полета животные получили дозы облучения порядка 50 мГр.

Полученные данные обсуждаются в сопоставлении с данными по цитогенетическим повреждениям у грызунов после полета на аппарате «Фотон-М3», а также с цитогенетическими эффектами ускоренных тяжелых ионов.

# ИНДУКЦИЯ ГЕННЫХ МУТАЦИЙ γ-ЛУЧАМИ И ТЯЖЕЛЫМИ ИОНАМИ В ГАПЛОИДНЫХ КЛЕТКАХ ДРОЖЖЕЙ

*Жучкина Н. И., Шванева Н. В., Колтовая Н. А.*
Объединенный институт ядерных исследований, 141980 Дубна, Россия,
zny_varvar@rambler.ru

Для изучения количественных закономерностей индукции генных мутаций (мутации сдвига рамки считывания, замены пар нуклеотидов, прямые мутации в гене *CAN1*) было использовано несколько генетических тестерных систем. Мутации сдвига рамки считывания тестировали с помощью штаммов, несущих мутации сдвига рамки считывания *lys2Δ-Bgl* в гене *LYS2*, реверсии в которых возникают в результате выпадения нуклеотидов в трэках 5A или 4C у мутанта *lys2Δ-Bgl*, (*Tishkoff et al., 1997*). Серия штаммов, с заменами нуклеотидов в кодоне критической аминокислоты глутамина Glu50 в гене *TRP5* (*Williams et al., 2005*), позволяет тестировать все типы замен пар оснований, транзиции и трансверсии. Тотальную совокупность генных мутаций изучали, используя мутации резистентности к канаванину, возникающие в гене *CAN1*.

Клетки облучали γ-лучами $^{60}$Co (0,25 кэВ/мкм) и тяжелыми ионами ($^{7}$Li – 17 кэВ/мкм; $^{11}$B – 60 кэВ/мкм; $^{20}$Ne – 121 кэВ/мкм, $^{18}$O – 170 кэВ/мкм) в диапазоне доз до 100 Гр. Выживаемость описывается экспоненциальной функцией для всех используемых штаммов. В соответствии с хорошо известной зависимостью для летальных повреждений ОБЭ от ЛПЭ в виде кривой с максимумом при 100 кэВ/мкм, мы получили следующие значения ОБЭ: 2,2 для $^{7}$Li (17 кэВ/мкм), 2,3 для $^{11}$B (60 кэВ/мкм), 2,5 для $^{20}$Ne (121 кэВ/мкм) и $^{18}$O (170 кэВ/мкм). Для мутаций сдвига рамки считывания ОБЭ составляет 1,7 для $^{11}$B (60 кэВ/мкм) и 0,4 для $^{18}$O (170 кэВ/мкм). Наблюдалась линейная зависимость частоты генных мутаций от дозы облучения γ-лучами или тяжелыми ионами. Как и ожидалось, тотальная частота мутаций в гене *CAN1* существенно превышает частоту мутаций сдвига рамки считывания и замены пар оснований. γ–излучение вызывало в первую очередь GC-AT транзиции, хотя наблюдалось увеличение частоты всех видов замен пар оснований. Первые предварительные результаты показали, что ионы $^{11}$B (60 кэВ/мкм) индуцировали замены пар оснований с той же эффективность, что и гамма-излучение (ОБЭ=1,01), а для мутаций сдвига рамки считывания ОБЭ составляло 1,7 для $^{11}$B (60 кэВ/мкм). Однако тотальный мутагенез, определяемый по возникновению мутаций резистентности к канаванину, значительно уменьшился (ОБЭ=0,2). Таким образом, с увеличением ЛПЭ изменилось соотношение различных индуцированных мутаций. В дальнейшем планируется уточнить форму кривой зависимости ОБЭ от ЛПЭ для всех типов генных мутаций.

# ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИНДУКЦИИ И РЕПАРАЦИИ КЛАСТЕРНЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ ДНК ПРИ ДЕЙСТВИИ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ РАЗНОГО КАЧЕСТВА

*Заднепрянец М.Г.[1,2], Борейко А.В.[1,2], Буланова Т.С.[1], Валентова О.[3], Давидкова М.[5], Йежкова Л.[1,3], Козубек С.[4], Красавин Е.А.[1,2], Круглякова Е.А.[1,2], Фальк М.[4], Фалькова И.[4]*

[1] Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия,
[2] Международный университет природы, общества и человека «Дубна», Дубна, Россия,
[3] Институт химических технологий, Прага, Чешская Республика,
[4] Институт биофизики Академии наук ЧР, Брно, Чешская Республика,
[5] Институт ядерной физики Академии наук ЧР, Прага, Чешская Республика,
marysaveleva@mail.ru

Природа повреждений ДНК, вызванных действием ускоренных ионов, существенно отличается от повреждений, индуцированных γ-излучением. Характерной особенностью действия тяжелых заряженных частиц является образование кластерных повреждений ДНК. Несмотря на то, что в последние десятилетия сформировалось достаточно полное представление о клеточных процессах и повреждениях, индуцированных действием γ-квантов, знания о возникновении кластерных повреждений ДНК и процессах их репарации при действии плотноионизирующих видов излучений довольно фрагментарны.

Методом иммуноцитохимического окрашивания и конфокальной микроскопии были получены трехмерные изображения ядер фибробластов человека, облученных γ-квантами $^{60}$Co (ЛПЭ = 0,3 кэВ/мкм) и ускоренными ионами $^{11}$B (ЛПЭ = 135 кэВ/мкм) в дозе 1 Гр. Для исследования кинетики репарации повреждений ДНК при действии ионов $^{11}$B облучение образцов проводилось фронтально относительно клеточного монослоя. Облучение образцов под малым углом (10°) направления пучка позволило проанализировать формирование и структуру кластерных повреждений ДНК вдоль трека прохождения частицы. Для количественной оценки индукции и репарации повреждений ДНК проводился подсчет γH2AX и 53BP1 фокусов, являющихся маркерами двунитевых разрывов ДНК (ДР ДНК).

Показано, что при действии ускоренных ионов $^{11}$B в фибробластах человека формируется приблизительно в три раза больше γH2AX/53BP1 фокусов, чем при действии γ-квантов $^{60}$Co. Максимум выхода радиационно-индуцированных фокусов при γ-облучении достигается через 1 ч (~25 фокусов/клетку) после облучения и через 4 ч большая часть фокусов (~80%) элиминируется. Наибольший выход γH2AX/53BP1 фокусов при облучении ионами $^{11}$B наблюдается через 45 мин пострадиационной инкубации (~ 72 фокуса/клетку). В отличие от действия γ-квантов $^{60}$Co при облучении ионами $^{11}$B через 4 ч происходит уменьшение числа фокусов лишь на 45%, а элиминация 80% достигается только через 24 ч. Более 80% повреждений, вызванных действием ионов $^{11}$B, формируют кластеры, состоящие из нескольких индивидуальных фокусов, репарация которых существенно замедленна по сравнению с γ-индуцированными повреждениями. Показано, что кластерные повреждения ДНК формируются вдоль трека прохождения частицы уже в первые минуты после облучения. В течение пострадиационного периода наблюдалось увеличение размера кластеров, включающих в себя от 2 до 17 индивидуальных близко расположенных γH2AX/53BP1 фокусов. Данное изменение, по-видимому, связано с накоплением белков-маркеров в сайтах репарации ДР ДНК, обусловленное постепенной деконденсацией хроматина и формированием энзиматических ДР ДНК.

# БИОМЕДИЦИНСКИЕ ЭФФЕКТЫ КОСМИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ: ПОЛЁТНЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ И НАЗЕМНАЯ ИМИТАЦИЯ

*А.А. Иванов*[1,2,3], *Е.А. Красавин*[3]

[1]ГНЦ РФ - Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия,
[2]ГНЦ РФ - Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна ФМБА России, Москва, Россия,
[3]Объединённый институт ядерных исследований, Дубна, Россия,
a1931192@mail.ru

Среди факторов космического полёта, оказывающих вредное влияние на организм космонавтов, радиационный фактор является наиболее значимым. В ходе полёта, на космонавтов могут действовать различные источники излучений: галактические космические лучи, излучения солнечных вспышек, нейтронное и гамма-излучение, возникающее в ядерных взаимодействиях первичного космического излучения с веществом космического аппарата и биологической тканью, излучения от ядерно-энергетических или каких - либо других радиоизотопных установок. При разных сценариях полётных программ – орбитальных или полётах вне магнитосферы Земли, радиационная обстановка в космических аппаратах является весьма различной. В связи с этим необходимы и различные подходы к оценке риска радиационного воздействия на экипажи кораблей в условиях орбитальных и межпланетных полётов. С учётом этого крайне важными являются сравнительные оценки радиобиологических эффектов ионизирующих излучений разного качества, полученных в натурных условиях при экспонировании объектов на борту космических аппаратов, и полученных в наземных экспериментах на ускорительных установках.

В докладе представлены результаты цитогенетических исследований периферической крови космонавтов в послеполётный период и цитогенетических нарушений у мышей, экспонированных на биоспутнике БИОН-М1. В лимфоцитах крови космонавтов в послеполётный период отмечено статистически достоверное увеличение числа хромосомных аберраций, коррелирующее с дозой облучения на Международной космической станции и работой в открытом космосе. В ходе экспериментов на мышах на спутнике БИОН-М1 также отмечено повышение числа аберрантных митозов в клетках костного мозга. Наблюдаются отчётливые тенденции увеличения числа хромосомных аберраций в периферической крови, костном мозге, роговице глаза.

В экспериментах на ускорителях заряженных частиц с использованием протонов с различной величиной линейной передачи энергии, а также ускоренных ионов углерода, бора и неона при облучении клеток млекопитающих и человека в широком диапазоне доз, определены значения относительной биологической эффективности (ОБЭ) заряженных частиц по различным критериям радиационного воздействия. В экспериментах по облучению протонами и ускоренными ионами углерода экспериментальных животных наблюдали выраженные соматические эффекты и изменения поведенческих реакций животных, отличные от повреждающего действия редкоионизирующего излучения. В свете этих данных отмечено переменный характер ОБЭ в зависимости от диапазона доз облучения, сроков наблюдения и критериев радиобиологического эффекта.

Получены и обсуждаются данные о противолучевых свойствах классических радиопротекторов, вакцин, антиоксидантов, легкоизотопной воды и др. в условиях имитации космической радиации.

# METEORITES CATALYZED PREBIOTIC SYNTHESIS OF BIOMOLECULES FROM FORMAMIDE UNDER RADIATION CONDITIONS

*M. I. Kapralov[3], E. E. Solovova[3], E. Carota1, R. Saladino1, E. Di Mauro[2]*
[1]University of Tuscia, Viterbo, Italy
[2]University La Sapienza, Rome, Italy
[3]Laboratory of Radiation Biology, Joint Institute for Nuclear Research, Dubna, Russia.

Specialists of the Sapienza University of Rome and Viterbo University, Italy, and the Laboratory of Radiation Biology of the Joint Institute for Nuclear Research jointly performed experiments on 170 MeV proton irradiation of samples of formamide - a widespread compound - in combination with samples of different meteorites. Preliminary results suggest that different complicated prebiotic macromolecules - up to nucleosides, which are the main fragments of informational macromolecules - are formed in the reaction mixture exposed to radiation.

# ИНДУКЦИЯ СТРУКТУРНЫХ МУТАЦИЙ γ-ЛУЧАМИ И ТЯЖЕЛЫМИ ИОНАМИ В ГАПЛОИДНЫХ КЛЕТКАХ ДРОЖЖЕЙ

*Кокорева А. Н., Колтовая Н. А.*
Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия,
aleksandras@inbox.ru

Для изучения количественных закономерностей возникновения структурных хромосомных мутаций использовали инвертированные повторы, локализованные на II хромосоме и позволяющие наблюдать гомологичную рекомбинацию в гаплоидных клетках дрожжей, в том числе сопровождающуюся делециями (*Jin et al., 2001*). Плазмидная система позволяет тестировать репарацию двунитевых разрывов ДНК путем негомологичного воссоединения концов, сопровождающуюся выпадением участка ДНК (*Tsukamoto et al., 1997*). Представлены результаты изучения индукции делеций и гомологичной рекомбинации под действием γ-излучения ($^{60}$Co – 1,17 МэВ, 0,7 Гр/мин) и ускоренных ионов $^{11}$B (45 и 60 кэВ/мкм), $^{17}$Li (17 кэВ/мкм), $^{20}$Ne (121 кэВ/мкм) в диапазоне доз до 100 Гр. Во всех случаях выживаемость клеток описывается экспоненциальной функцией. С увеличением ЛПЭ излучения жизнеспособность клеток снижалась, так при ЛПЭ 17 кэВ/мкм, 45 кэВ/мкм, 60 кэВ/мкм, 121 кэВ/мкм относительная биологическая эффективность (ОБЭ) составляла 2.0, 2.5, 3.6 и 1,4, соответственно.

Под действием γ-излучения и ускоренных ионов бора зависимость мутагенеза от дозы облучения описывается линейно-степенной функцией для внутрихромосомной рекомбинации, в том числе сопровождающейся делециями. При воздействии ионов $^{11}$B рекомбинация индуцировалась значительно эффективнее, чем при γ-облучении. Частота образования делеций в плазмидной ДНК описывается линейной функцией, при воздействии ускоренных ионов эффективность возрастала с увеличением ЛПЭ, так при ЛПЭ 17 кэВ/мкм, 45 кэВ/мкм, 60 кэВ/мкм, 121 кэВ/мкм ОБЭ составляет соответственно 1.7, 15.5, 30.2 и 41,5. В необлученных клетках большую часть составляют делеции, захватывающие два маркера (70-90%), доля мутантов с делециями, захватывающими четыре маркера, составляла не более 1.0%. С увеличением дозы доля мутаций с более протяженными делециями возрастала до 30% при γ-облучении, при облучении тяжелыми ионами индукция была менее эффективной.

# МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РЕПАРАЦИИ ДВУНИТЕВЫХ РАЗРЫВОВ ДНК ПРИ ДЕЙСТВИИ ИЗЛУЧЕНИЙ РАЗНОГО КАЧЕСТВА

*М.С. Ляшко*[1], *О.В. Белов*[1], *Е.А. Красавин*[1], *М. Батмунх*[1,2], *Н.Х. Суэйлам*[3]
[1]Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия,
lyashkom@jinr.ru
[2]Монгольский государственный университет, Улан-Батор, Монголия,
[3]Кафедра математики, Каирский университет, Каир, Египет.

Изучение репарации ДНК, протекающей в клетках живых организмов после воздействия ионизирующих излучений, является актуальной задачей современной количественной радиобиологии. К настоящему времени накоплен значительный объём экспериментальных данных, характеризующих молекулярные механизмы восстановления радиационно-индуцированных двунитевых разрывов (ДР) ДНК в клетках эукариот. У млекопитающих и человека к таким механизмам относятся, прежде всего, восстановление путём негомологичного воссоединения концов (NHEJ), репарация путём гомологичной рекомбинации (HR) и однонитевой отжиг по прямым повторам (SSA).

В настоящей работе предложена математическая модель, описывающая три основных пути репарации ДР ДНК, реализуемых в клетках млекопитающих и человека после воздействия ионизирующих излучений разного качества, включая достаточно широкий спектр ускоренных тяжёлых ионов. Описание механизма NHEJ выполнено с учётом фаз распознавания повреждения, обработки концов и лигирования. На первом этапе учитывается связывание комплекса Ku70/80 с ДР, вовлечение каталитической субъединицы ДНК-зависимой протеинкиназы, формирование ДНК-зависимой протеинкиназы с последующим аутофосфорилированием и образованием «моста» между двумя концами ДР. Фаза обработки концов формализована с учётом активности эндонуклеазы Artemis, полинуклеотидкиназы PNK, ДНК-полимераз μ и λ. Заключительный этап NHEJ представлен работой лигазного комплекса XRCC4/LigIV. Процесс HR описан в рамках трёх основных стадий – пресинаптической, синаптической и постсинаптической. В пресинаптической стадии учтено распознавание повреждения комплексом MRN, резекция и расчистка последовательности ДНК вблизи повреждения, формирование свободных однонитевых концов, связывание белка RPA и его замещение белком Rad51. Синаптическая стадия характеризуется в модели формированием D-петли. Постсинаптическая стадия формализована с учётом различных способов миграции цепей ДНК. Начальные этапы SSA описаны в модели аналогично таковым в HR, поскольку распознавание повреждения в ходе этих путей репарации происходит идентичным образом. Модель SSA учитывает отжиг (спаривание) двух повторяющихся последовательностей, где ключевую роль играет белок Rad52, последующую застройку брешей, образованных после удаления однонитевых концов, и сшивание с помощью ДНК-лигазы.

В ходе работы определены кинетические параметры, характеризующие скорости взаимодействия ключевых белковых комплексов репарационных систем. Показано, что модель корректно воспроизводит временные характеристики индукции фокусов, специфичных для ключевых этапов воссоединения ДР при действии ионизирующих излучений в широком диапазоне значений линейной передачи энергии (0,2–236 кэВ/мкм). В частности, количественно описана кинетика связывания комплекса Ku70/80, изменение уровня фосфорилированной ДНК-зависимой протеинкиназы, фокусов RPA, Rad51 и γ-H2AX в клетках различных организмов. Продемонстрирована возможность применения модели для описания восстановления ДР в клетках, содержащих дефекты в одной из трёх репарационных систем.

# ЦИТОГЕНЕТИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ В СЕМЕНАХ САЛАТА, ОБЛУЧЕННЫХ БЫСТРЫМИ НЕЙТРОНАМИ С ЭНЕРГИЕЙ 1,6 МЭВ

*Платова Н.Г.*
ГНЦ РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия,
nataliaspl@inbox.ru

Нейтронное излучение вносит значительный вклад в радиационную обстановку при орбитальных и межпланетных полётах. Вклад в общую поглощённую дозу вторичных нейтронов широкого спектра энергий увеличивается с увеличением толщины защиты. Семена салата используются в космических радиобиологических экспериментах для оценки действия космической радиации. Модельные эксперименты по облучению на Земле позволяют оценить реакцию организмов на отдельные параметры факторов космического полёта. Полученные данные представляют также интерес для оценки возможности выращивания растений в космической оранжерее. Семена салата Lactuca sativa L. облучали на биологическом оборудовании Будапештского исследовательского реактора нейтронами с энергией 1,6 МэВ с мощностью дозы 14,2 мГр/с в дозах 1 Гр, 10 Гр и 25 Гр. Представлены данные по первичным ростовым процессам и цитогенетическим эффектам в анафазах и телофазах первого митоза в корневой меристеме семян салата. Изменение частоты хромосомных аберраций – это универсальный критерий, позволяющий оценить степень радиационного поражения клетки. Наблюдение за прорастанием семян осуществлялось в течение 7 суток. Проросшими считались семена, имеющие корешок 2 - 3 мм, что соответствует первому митозу в корневой меристеме. Затем эти семена фиксировали для дальнейшего цитогенетического анализа. К 72 часам энергия прорастания всех исследуемых образцов составила 99 – 100 %. При цитогенетическом анализе отмечено резкое снижение количества делящихся клеток в облучённых вариантах. При этом возрастает частота хромосомных аберраций и клеток с множественными аберрациями. При облучении в дозе 1 Гр при незначительном, на 2 %, понижении среднего количества клеток в стадиях анафазы и телофазы частота хромосомных аберраций увеличивается в 6 раз, а множественных аберраций в 10 раз. Семена, облучённые в дозе 10 Гр, характеризуются снижением количества делящихся клеток в 2 раза по сравнению с контролем и увеличением частоты хромосомных аберраций в 13 раз, а множественных аберраций в 22 раза. При дозе облучения 25 Гр более, чем в 36 и в 135 раз соответственно, а количество делящихся клеток падает в 45 раз.

# БИОЛОГИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ КОРОТКОПРОБЕЖНЫХ ТЯЖЕЛЫХ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ

*В.И. Потетня, Е.В. Корякина, Е.В. Исаева, Н.Г. Болдуева, М.Н. Кузнецова*
Медицинский радиологический научный центр Минздрава РФ, Обнинск, Россия,
potetnya@yandex.ru

В недавней статье M.Durante (2013), посвященной новым задачам в радиобиологии частиц высоких энергий, одной из первых называется уточнение ОБЭ тяжелых заряженных частиц для оценки как рисков возникновения рака вследствие межпланетных полетов, так и биологической эквивалентной дозы при ионной терапии. В последнем случае необходимо исследовать закономерности изменения ОБЭ ионов по объёму распределенного пика Брэгга, и, в частности, в дистальной его области, где наблюдаются максимальные значения ОБЭ, обусловленные действием частиц с максимальными значениями ЛПЭ, но крайне малой величиной пробега, 2-5 мкм.

В работе исследовали ОБЭ короткопробежных ионов ядер отдачи H,C,N,O по тесту выживаемости, используя метод облучения монослоя клеток нейтронами с энергией 14 МэВ на нейтронном генераторе НГ-14 (ВНИИ автоматики, Москва) в условиях отсутствия протонного равновесия. Для этого клетки облучали либо через стеклянную подложку (клетки млекопитающих), либо через пленку майлара толщиной 10 мкм (клетки бактерий), либо в составе поверхностного слоя кожи крыс без болюсов. Поглощённые дозы и состав поля излучения в неравновесных условиях рассчитывали методом Монте Карло с помощью программного комплекса GEANT4. Использовали перевиваемые культуры клеток китайского хомячка линий CHO-K1 и V-79, клетки мышиной меланомы B-16, клетки бактерий E.Coli дикого штамма WP2 и радиочувствительного мутанта $B_{S-1}$. Во всех экспериментах наблюдали одинаковые закономерности: а) дозовые кривые выживаемости в условиях отсутствия протонного равновесия (в зависимости от кермы нейтронов) лежали неизменно выше кривых в «стандартных» равновесных условиях, указывая на меньшую величину поглощенной дозы в монослое клеток; б) в зависимости от поглощенной дозы дозовые кривые для неравновесных условий лежали неизменно ниже кривых для равновесных условий, указывая на большую эффективность излучения в данном случае. Хотя поглощенные дозы составляли соответственно 18-20% и 25-32% равновесных значений для клеток бактерий и млекопитающих, величина выживаемости снижалась лишь до 25 и 40-60%, указывая на определённую зависимость от вида биологического объекта. В экспериментах in vivo кожные реакции у крыс были заметно снижены по сравнению с ожидаемыми на основе кермы нейтронов, подтверждая защитный эффект отсутствия полного протонного равновесия при облучении нейтронами высоких энергий. С учетом поглощенных доз величины ОБЭ излучения в неравновесных условиях, когда основной вклад в дозу дают короткопробежные частицы (около 65%), составили на уровне выживаемости 10% 1,5–2,2 для клеток млекопитающих. Среднедозовая ЛПЭ в неравновесных условиях составила около 400 кэВ/мкм, и ожидаемая ОБЭ не должна была бы значительно превышать 1,0, исходя из данных для быстрых длиннопробежных частиц. Аналогичные выводы о более высоких значениях ОБЭ короткопробежных частиц следуют из результатов экспериментов с клетками меланомы B-16 и E.Coli.

Таким образом, результаты проведенных экспериментов указывают на важность исследования ОБЭ короткопробежных частиц, поскольку она не следует из результатов экспериментов с быстрыми тяжелыми заряженными частицами. Особую значимость таким исследованиям придает тот факт, что указанные частицы дают заметный вклад в поглощенную дозы в дистальных областх распределенного пика Брэгга и соответственно в биологический эффект.

# ПРОБЛЕМЫ РАДИАЦИОННОЙ НЕЙРОБИОЛОГИИ ДАЛЬНИХ КОСМИЧЕСКИХ ПОЛЕТОВ

*А.О. Сапецкий*
Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН, Москва, Россия,
sapetsky@yandex.ru

Самой важной задачей при осуществлении дальних космических полетов является сохранение необходимого уровня функциональной стабильности в деятельности человека-оператора, на всем протяжении выполнения космической миссии: во время полета к объекту исследования, при выполнении поставленных научно-исследовательских и иных задач в ходе исследования объекта, и по пути следования обратно.

Это подразумевает высокую степень его радиационной защиты от различных видов ионизирующих излучений при длительном нахождении в условиях космического пространства для обеспечения высокого уровня сохранности когнитивных способностей, а также устойчивого психофизического и эмоционального состояния оператора.

По этой причине, проведение комплексных исследований в области радиационной нейробиологии являются крайне актуальными в ходе подготовки к осуществлению дальних космических полетов, а также в процессе планирования научных исследований космических объектов - при составлении программ проведения исследований и экспериментов, а также выборе наиболее адекватных поставленным задачам целей и методов исследований. Прежде всего, это предполагает исследование сочетанного влияния различных видов ионизирующих излучений разной длительности и интенсивности на функциональное состояние оператора в условиях длительного нахождения в космическом пространстве.

Таким образом, перед радиационной нейробиологией стоят три фундаментальные проблемы, решение которых позволит выполнить основное условие осуществления дальних космических полетов - сохранение необходимого уровня функциональной стабильности в деятельности человека-оператора:

1. Моделирование и анализ влияния различных видов ионизирующих излучений разной длительности и интенсивности на центральную нервную систему оператора, путем многопараметрической оценки изменений в процессах восприятия, памяти, внимания, ситуационной оценки, представления информации, логического мышления, принятия решений и другое.

2. Моделирование и анализ воздействия различных видов ионизирующих излучений разной длительности и интенсивности на периферическую нервную систему оператора, связанных с изменением внешней рецепции, координации движения, регуляции сознательно контролируемых движений, стрессоустойчивости, цикла сна-бодрствования, работы пищеварительной и мочеполовой систем и другое.

3. Моделирование и анализ кооперативных эффектов, возникающих при одновременном воздействии различных видов ионизирующих излучений разной длительности и интенсивности на центральную и периферическую нервную систему, которые определяют функциональное состояние оператора. Разработка на этой основе методических и практических рекомендаций по созданию безопасной среды жизнедеятельности людей, совершающих длительные космические переходы.

Дальние космические полеты могут и должны быть осуществлены, но они должны быть реализуемы с соблюдением основополагающей ценности гуманизма - сохранение человека как личности, какие бы выгоды это не сулило самому человечеству.

# ПАТОЛОГО-МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛЕТОК ПУРКИНЬЕ В КОРЕ МОЗЖЕЧКА КРЫС ПОД ДЕЙСТВИЕМ ИОНИЗИРУЮЩЕЙ РАДИАЦИИ РАЗЛИЧНОГО КАЧЕСТВА

*Ю.С. Северюхин, Н.Н.Буденная, К.Н.Ляхова*
Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия,
yucucumber@mail.ru

Человечество активно осваивает космическое пространство. На данный момент существует проблема обеспечения радиационной безопасности космических полетов. Наименее изучено повреждающее действие радиации на центральную нервную систему. Во время орбитальных и межпланетных космических полетов на космонавта действуют галактические космические лучи, которые состоят из ядер различных химических элементов.

Анализ патолого-морфологических изменений клеток Пуркинье в мозжечке является хорошим методом оценки степени повреждающего действия ионизирующей радиации и в частности тяжелых заряженных частиц.

В докладе будут представлены данные о влиянии ионизирующего излучения (ионы углерода $C^{12}$ с энергией 500 МэВ/нуклон и γ-кванты) в дозе 1 Гр на морфологические изменения клеток Пуркинье в мозжечке крыс на 30 и 90 сутки после облучения.

Для получения количественных данных было проанализировано состояние коры мозжечка. Определялось процентное соотношение неизменных нейронов, нейронов с легкообратимыми (морфо-функциональными и компенстароно-приспособительными признаками) и дистрофических нейронов. Показателем тяжести дистрофических процессов являлось количество нейроцитов с дистрофическими изменениями.

Полученные данные свидетельствуют о существенном увеличении числа очагов деструкции в коре мозжечка крыс при действии тяжелых ионов углерода. Подобные дегенеративные изменения могут оказать пагубное влияние на координацию.

# СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПОДХОДОВ К РАДИАЦИОННОМУ НОРМИРОВАНИЮ В КОСМОСЕ И ОПРЕДЕЛЕНИЮ РАДИАЦИОННОГО РИСКА ДЛЯ КОСМОНАВТОВ ПРИ ДЛИТЕЛЬНЫХ ОРБИТАЛЬНЫХ ПОЛЕТАХ И МЕЖПЛАНЕТНЫХ ЭКСПЕДИЦИЯХ.

*Ушаков И.Б., Шафиркин А.В., Щуршаков В.А.*
ГНЦ РФ - Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия,
a.v.shafirkin@mail.ru

/

В условиях космического полета (КП) космонавты подвергаются принципиально отличному от условий на Земле сложному характеру радиационного воздействия от различных источников космических излучений. Это высокоэнергетические галактические космические лучи (ГКЛ): сложные по составу потоки атомных ядер со спектром линейной передачи энергии (ЛПЭ) до $10^4$ КэВ/мкм, энергией до $10^{19}$ эВ, отличающиеся высокой биологической эффективностью, которые слабо ослабляются защитой космических аппаратов (КА), вызывают вторичные потоки нейтронов. Кроме того на космонавтов воздействуют протоны радиационных поясов Земли (РПЗ), а также стохастически распределенные во времени потоки протонов солнечных космических лучей (СКЛ) во время развития солнечных протонных событий (СПС). Воздействие протонов осуществляется в широком диапазоне мощностей доз, характеризуется также сложным пространственно-временным распределением доз по телу космонавтов. Оно в значительной степени зависит от различной защищенности различных отсеков космических аппаратов и циклограммы работы космонавтов во время длительных полетов.

С точки зрения решения вопросов радиационного нормирования возникает необходимость максимально точной оценки уровней доз и ограничения уровней облучения на все тело и на отдельные критические органы с целью недопущения снижения работоспособности космонавтов и их жизнеспособности в процессе полетов и сохранения их здоровья и работоспособности в отдаленном послеполетном периоде. Сложный характер радиационного воздействия в условиях космического полета обуславливает необходимость использования специального дозового функционала – обобщенной дозы H, которая рассчитывается путем суммирования эквивалентных среднетканевых доз от различных источников космических излучений, умноженных на ряд коэффициентов, учитывающих величины мощности дозы и характер распределения дозы во времени, пространственное распределение эквивалентных доз по телу космонавтов. Дополнительное сенсибилизирующее действие нерадиационных факторов учитывается специальным коэффициентом модификации радиационного ответа организма КМ в дозовом выражении.

В работе на основе моделей формирования радиационного поражения с учетом восстановительных процессов и модели радиационной скорости смертности млекопитающих представлены расчетные оценки радиационного риска для космонавтов в процессе длительных межпланетных полетов и суммарного радиационного риска в течение всей жизни космонавтов. Оценены уровни радиационного риска развития опухолей и возможное сокращение продолжительности жизни при различных длительностях орбитальных и межпланетных полетов за различными толщинами защиты (КА). Эти данные легли в основу при обосновании нормативного документа МУ 2.6.1.44-03-2004. «Ограничение облучения космонавтов при околоземных космических полетах» (ООКОКП – 2004). М. 2004 и новой его редакции 2014 г., которые сопоставляются с нормативами США, Японии и др.

# ПРОБЛЕМЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ КОМБИНИРОВАННОГО ДЕЙСТВИЯ РАДИАЦИОННОГО И НЕРАДИАЦИОННЫХ ФАКТОРОВ КОСМИЧЕСКОГО ПОЛЕТА НА ФУНКЦИИ ЦЕНТРАЛЬНОЙ НЕРВНОЙ СИСТЕМЫ В НАЗЕМНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТАХ НА ЖИВОТНЫХ

*И.Б.Ушаков, А.С.Штемберг*
ГНЦ РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия,
andrei_shtemberg@mail.ru

Проблема комбинированных воздействий различных факторов космического полета (ФКП) на центральную нервную систему (ЦНС) чрезвычайно сложна и пока еще далека от решения. Вместе с тем, чрезвычайная актуальность этой проблемы очевидна, поскольку в реальности всегда имеет место сочетание воздействующих на организм космонавта факторов. Идеология изучения комбинированных воздействий ФКП на ЦНС, с нашей точки зрения, должна заключаться, во-первых, в моделировании длительного воздействия ионизирующих излучений при помощи гамма-излучателей в сочетании с облучением животных на ускорителях тяжелых ионов; во-вторых, в сочетании радиационного воздействия с воздействием нерадиационных ФКП, моделируемых в наземных условиях, в первую очередь гравитационного фактора (гипо- и гипергравитация). При этом необходимы исследования на разных видах животных: мелких лабораторных животных и приматах, а также исследования высших функций ЦНС на всех уровнях ее организации – нейрохимическом, функциональном и интегративном.

В наших экспериментах было показано, что при комбинированном воздействии разных форм двигательной депривации и гамма-излучения лишь наиболее высокая дозовая нагрузка (8,5 Гр) оказывает заметное модифицирующее влияние на эффект 30-суточной гипокинезии, а модифицирующий эффект гипокинезии на условнорефлекторную деятельность облученных животных даже в большей степени проявляется при более низких дозах радиационного воздействия (3,5 и 5 Гр). При синхронном комбинированном воздействии длительного фракционированного гамма-облучения в суммарной дозе 3 Гр, антиортостатического вывешивания (АнОВ) на структуру поведения, дискриминантное обучение и обмен моноаминов в различных структурах мозга крыс.после экспериментальных воздействий у животных достаточно быстро восстанавливалась двигательная и ориентировочно-исследовательская активность при тестировании их в «открытом поле». В целом исследованные экспериментальные воздействия незначительно влияли на когнитивную деятельность животных, что соответствовало слабо выраженной модификации концентрации моноаминов в когнитивных и эмоционально-мотивационных структурах мозга. Наблюдавшиеся изменения поведения животных были связаны скорее с изменениями в эмоционально-мотивационной сфере, нежели с когнитивными функциями. Наиболее выраженные изменения были зарегистрированы в двух ключевых структурах мозга – гиппокампе и префронтальной коре. Гиппокамп, помимо того, что он является зоной нейрогенеза, ответственен за пространственную память, а префронтальная кора формирует и контролирует эмоционально-мотивационные состояния, а также играет ключевую роль в когнитивных процессах.

Таким образом, необходимы дальнейшие исследования комбинированных эффектов космической радиации и нерадиационных ФКП, моделируемых в наземных экспериментах, на различных животных. В экспериментах на мелких лабораторных животных возможно использование модели АнОВ; в экспериментах на приматах – моделей антиортостатической гипокинезии и водной иммерсии.

# ВЛИЯНИЕ ЛПЭ ИЗЛУЧЕНИЯ НА ФОРМИРОВАНИЕ ДВУНИТЕВЫХ РАЗРЫВОВ ДНК В ПОСТРАДИАЦИОННОМ ПЕРИОДЕ В ЛИМФОЦИТАХ КРОВИ ЧЕЛОВЕКА

*В.Н. Чаусов*[1], *А. В. Борейко*[1,2], *М. М. Кондратьева*[1,2], *Е.А. Красавин*[1,2], *Е. А. Кузьмина*[1], *С. И. Тиунчик*[1]

[1]Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия,

[2]Международный университет природы, общества и человека «Дубна», Дубна,

chausov@jinr.ru

Ионизирующие излучения индуцируют широкий спектр повреждений ДНК клеток. Одновременное нарушение целостности двух нитей ДНК является наиболее тяжёлым повреждением генетических структур, приводящим к гибели клеток, формированию различных поломок хромосом, инициирующим злокачественную трансформацию клеток. Двунитевые разрывы (ДР) ДНК образуются либо в результате прямого разрыва двух комплементарных участков (прямые ДР) вследствие передачи энергии локальному участку ДНК и приводящему к нарушению её целостности, либо могут сформироваться из других повреждений в процессе клеточного восстановления как «издержки репарации» (энзиматические ДР). Репарация ДР ДНК осуществляется различными путями. При этом точная безошибочная репарация ДР зависит от многих факторов, но, в значительной степени, от характера сформировавшегося повреждения: особенностей концевых групп ДР, степени кластеризации (например, одновременного нарушения целостности двух нитей ДНК и повреждения ковалентных связей оснований в различных комбинациях и т.д.), плотности распределения повреждений, специфики работы различных путей репарации.

Для изучения особенностей индукции и репарации повреждений ДНК при действии ионизирующих излучений разного качества и вклада энзиматических ДР ДНК использовали ингибиторы арабинозидцитозин (АраЦ) и гидроксимочевину (ГМ), в концентрациях 20μM и 2 mM, соответственно. Как известно, данные ингибиторы проявляют наибольшую эффективность при одновременном использовании, блокируя репарацию поврежденного участка нити ДНК.

Для выявления ДР ДНК использовали «нейтральный» метод «ДНК-комет». Облучение γ-квантами (ЛПЭ ~ 0,3 КэВ/мкм) проводили на установке Рокус-М – Лаборатории ядерных проблем им. В.П. Джелепова, ускоренными тяжелыми ионами $^{11}$B с E ≈ 35 МэВ/нуклон, ЛПЭ ≈ 40 кэВ/мкм и с E ≈ 22 МэВ/нуклон, ЛПЭ ≈ 89 КэВ/мкм - на установке У-400М Лаборатории ядерных реакций им. Г.Н. Флерова ОИЯИ. Для визуализации ДНК использовался флуоресцентный микроскоп AxioScope A1 фирмы Carl Zeiss с CCD-камерой AxioCam ICc3. Обработка результатов производилась с помощью программ Casp и Origin 8.0.

Установлено, что при действии ускоренных тяжёлых ионов $^{11}$B наблюдается больший выход ДР ДНК, значительно превышающий индукцию данного типа повреждений при гамма-облучении. Величина ОБЭ по данному критерию составляет 1,6 и 2,8 для частиц с ЛПЭ 40 и 89 кэВ/мкм, соответственно. Определена величина фактора изменения дозы (ФИД) в пострадиационный период в нормальных условиях и при действии ингибиторов. Показано, что в процессе репарации количество ДР ДНК снижается как после облучения γ-квантами так и ускоренными ионами $^{11}$B. Однако в условиях влияния ингибиторов отмечаются значительные различия в репарации ДР ДНК. При облучении γ-квантами в пострадиационном периоде наблюдается увеличение выхода ДР ДНК. Это связано с формированием энзиматических ДР из однонитевых разрывов (ОР) ДНК при действии АраЦ и ГМ.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕЙСТВИЯ ГАЛАКТИЧЕСКОГО КОСМИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ РЕАКЦИИ ЦЕНТРАЛЬНОЙ НЕРВНОЙ СИСТЕМЫ В НАЗЕМНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТАХ НА УСКОРИТЕЛЯХ

*А.С.Штемберг, М.И. Матвеева, В.С. Кохан, К.Б. Лебедева-Георгиевская, А.С. Базян, В.С.Кудрин*
ГНЦ РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия,
andrei_shtemberg@mail.ru

Целью исследования было моделирование в наземных экспериментах на ускорителях заряженных частиц некоторых компонентов галактического космического излучения (ГКИ) на интегративные функции центральной нервной системы (ЦНС). При межпланетных полетах, связанных с выходом корабля за пределы магнитосферы Земли, ионизирующие излучения становятся одним из основных факторов, лимитирующих возможность осуществления таких полетов. При этом основную опасность представляет ГКИ, существенными компонентами которого являются высокоэнергетические протоны и тяжелые ионы. Следует отметить, что, в отличие от стохастических эффектов воздействия ионизирующих излучений, возможность нарушений интегративных функций ЦНС представляет реальную угрозу срыва полетного задания и гибели космонавтов непосредственно в полете.

В связи с этим исследовали эффекты воздействия высокоэнергетических протонов (энергия 170 МэВ) на пролете (дозы 1,5 и 3 Гр) и в пике Брэгга (дозы 1 и 2 Гр) и ионов углерода $^{14}C$ (доза 1 Гр) на поведение крыс и обеспечивающие его нейрохимические механизмы (обмен монаминов и их метаболитов в различных структурах мозга). Использовали методики «открытого поля», Y- и T-образных лабиринтов, условных рефлексов пассивного избегания (УРПИ). Концентрацию моноаминов и их метаболитов определяли методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (HPLC).

Было показано, что воздействие на мозг протонов на пролете вызывает достоверное однонаправленное дозозависимое снижение активных компонентов поведения крыс в «открытом поле». Изменения в скорости обучения и когнитивных функциях были незначительны, что согласовалось с достаточно слабыми изменениями обмена моноаминов в структурах мозга, отвечающих за процессы обучения и памяти. Эффект, по-видимому, был связан в большей степени с изменениями в эмоционально-мотивационной сфере. В то же время воздействие протонов в пике Брэгга приводило к достоверному снижению скорости обучения животных в T-лабиринте, сопровождавшееся изменениями в обмене моноаминов в префронтальной коре, гиппокампе и стриатуме. Воздействие же более плотноионизирующего излучения - ионов углерода $^{14}C$ вызывало существенные изменения активности дофаминергической и серотонинергической систем мозга. Наиболее выражено снижение концентрации дофамина и его метаболитов в гиппокампе, гипоталамусе и префронтальной коре мозга. Префронтальная кора вообще отличается наиболее высокой чувствительностью к внешним воздействиям, что проявлялось и в эффектах других видов излучений. Это существенно, поскольку она играет ключевую роль в формировании когнитивных функций. В гиппокампе находится одна из зон нейрогенеза, а стриатум осуществляет моторный контроль.

Таким образом, в целом подтверждена зависимость нейрорадиобиологических эффектов моделируемых компонентов ГКИ от линейной передачи энергии (ЛПЭ). С возрастанием ЛПЭ наблюдаются более существенные нарушения интегративных функций ЦНС, могущие представлять определенную опасность для работоспособности космонавтов.

# СЕКЦИЯ 6.

# РАДИОБИОЛОГИЯ НЕИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ. БИОЛОГИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ. ЭКОЛОГИЯ, ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ И НОРМИРОВАНИЕ.

# ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ ПЕРЕКИСНОГО ОКИСЛЕНИЯ ЛИПИДОВ В СЫВОРОТКЕ КРОВИ КРЫС В РЕЗУЛЬТАТЕ ОБЛУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ПОЛЕМ МЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА

*В.В. Алабовский*[1], *С.Ю. Перов*[2], *О.В. Маслов*[1], *Е.В. Богачева*[1]
[1]Воронежская государственная медицинская академия им. Н.Н. Бурденко,
Воронеж, Россия, elenav567@gmail.com
[2]Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,
Москва, Россия,
perov1980@mail.ru

Поддержание баланса между процессами свободнорадикального и перекисного окисления и состоянием антиоксидантной защиты является одной из наиболее распространенных биохимических реакций, протекающих в организме человека и обеспечивающих его жизнедеятельность. Однако сравнительно мало изучены те изменения, которые происходят в организме с процессами перекисного окисления липидов (ПОЛ) и действием электромагнитных полей (ЭМП) метрового диапазона. В особенности это относится к условиям облучения в ближней зоне источника излучения, что в практике встречается наиболее часто.

Все эксперименты проводились в двух сериях на беспородных крысах-самцах массой 200 г. Облучение животных опытной группы проводилось в ближней зоне источника излучения на частоте 171 МГц при одинаковой во всех сериях величине напряженности электрического поля 160 В/м. В первой серии экспериментов (10 крыс) облучение животных осуществлялась однократно в течение 9 минут, с 30 секундными перерывами в облучении каждые 3 минуты. Во второй серии условия экспозиции были идентичны, однако облучение животных (12 крыс) проводилось в течение 5-ти дней по 30 минут ежедневно. В каждой из серий облучения были свои контрольные группы с мнимым воздействием по 10 и 12 животных в каждой серии соответственно.

Оценка состояния процессов ПОЛ при действии ЭМП проводилась по количественному содержанию продуктов перекисного окисления - малонового диальдегида, диеновых конъюгатов, кетодиенов и карбонилов в сыворотке крови животных. Забор крови у животных опытной и контрольной групп проводился путем декапитации. Определение концентраций продуктов ПОЛ проводилось на спектрофотометре СФ-46 по коэффициентам экстинкции в максимумах поглощения (длинны волн 205, 233 и 268 нм) против холостой пробы. Статистическая обработка результатов проводилась с применением однофакторного дисперсионного анализа (t-критерий Стьюдента).

Анализ результатов экспериментальных серий показал, что в зависимости от времени экспозиции уровень продуктов ПОЛ в сыворотке крови облученных крыс изменяется по сравнению с ложнооблученной группой. Во второй серии экспериментов выявлено достоверное снижение концентрации диенновых конъюгатов ($p<0,01$) 8,85±0,94 мкмоль/л у опытной группы, по сравнению с контрольной 13,56±1,25 мкмоль/л, а также достоверное увеличение кетодиенов ($p<0,05$) 4,28±0,70 мкмоль/л у опытной группы, по сравнению с контрольной 2,51±0,47 мкмоль/л. Помимо этого, отмечено статистически достоверное повышение содержания малонового диальдегда 1,40±0,09 мкмоль/л ($p<0,05$) как при малом времени облучении, так и при более длительном 1,15±0,06 ($p<0,01$). Полученные результаты свидетельствуют, что облучение крыс ЭМП частотой 171 МГц с напряженностью 160 В/м оказывает влияние на состояния процессов ПОЛ в сыворотке крови животных.

# К НАУЧНО-ИСТОРИЧЕСКОЙ ПЕРИОДИЗАЦИИ ИССЛЕДОВАНИЙ БИОЭФФЕКТОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ В РОССИИ

*В.А. Алексеева*[1], *О.А. Григорьев* [1,2]

[1]ГНЦ РФ - Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна ФМБА России, Москва, Россия,

[2]Центр электромагнитной безопасности, Москва, Россия,

73912@mail.ru

Для анализа истории формирования научных представлений о биологических эффектах электромагнитного поля (ЭМП) предложена периодизация исследований в соответствующей области знаний, выполнявшихся в России с конца XIX века по настоящее время. Выделено шесть этапов.

В качестве критериев для выделения периодизации выбраны:

- общие цели и задачи научных исследований;
- наличие публикаций, обобщающих результаты исследований по направлению;
- типичные параметры основных источников ЭМП;
- общность в характерных условиях воздействия ЭМП.

Первый этап: последнее десятилетие XIX века - начало 20-х годов XX века. Первые исследования по влиянию электромагнитных полей на биообъекты. Показано прямое действие на нервную систему. Сформулированы начальные теоретические представления о механизмах биоэффектов. Работают разрозненные научные группы. Первая публикация по влиянию ЭМП на работающих.

Второй этап: середина 20-х годов - середина 40-х годов. Биофизическая характеристика механизмов, выделение тепловых и нетепловых эффектов. Развитие физиотерапевтических приложений. Исследования в рамках плановой тематики. Первые нормативы для физиотерапевтических кабинетов (10 мкВт/см$^2$).

Третий этап: конец 40-х годов - середина 60-х годов. Доминируют задачи производственной гигиены. Начало работ с СВЧ; формирование фундаментальных представлений о биоэффектах. Симптомо-комплекс при хроническом и остром воздействии. Разработка норм для работающих с источниками ЭМП.

Четвертый этап: конец 60-х годов - середина 80-х годов. Исследования в целях разработки норм для населения. Выделение фундаментальных радиобиологических закономерностей в различных условиях облучения. Развитие методологии гигиенического нормирования, построение теории эксперимента. Принятие ГОСТ ССБТ для работающих и базового комплекса санитарных норм для населения.

Пятый этап: конец 80-х годов – начало 2000. Начало работ по комплексной межведомственной программе. Окончание централизованного планирования исследований в области биоэффектов ЭМП. Адаптация базового комплекса санитарных норм к условиям воздействия новых источников (компьютеры, сотовая связь). Международная программа ВОЗ и задача гармонизации норм безопасности.

Шестой этап: середина двухтысячных – по настоящее время.

Этапы охватывают временные отрезки 25-30 лет, их продолжительность обусловлена:

- цикличностью процесса развития техники, как источников ЭМП, так и техники научно-технического обеспечение экспериментальных исследований;
- социальными обстоятельствами и потребности общества, государства и промышленности;
- циклами формирования и угасания научных групп.

# ВЛИЯНИЕ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ РАЗНОГО ДИАПАЗОНА НА КАРРАГИНАН-ИНДУЦИРОВАННОЕ ВОСПАЛЕНИЕ КОЖИ КРЫС

*А.А. Байжуманов, М.Я. Ахалая, Л.К. Трофимова, Н.Н. Родионова, Г.В.Максимов*
Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,
биологический факультет, Москва, Россия,
adilbayzhumanov@biophys.msu.ru

В последнее время широко стали использовать лазерную терапию в медицине не только в качестве неинвазивного хирургического средства, но и для лечения разных кожных заболеваний, характеризующихся развитием воспалительного процесса. Одной из широко используемых моделей, благодаря которой можно за короткое время оценить влияние разного диапазона лазерных излучений на процессы восстановления в коже, является развитие отёка (в течение 4-х часов), индуцированного подкожным введением полисахарида каррагинана в лапу животных.

В настоящей работе было изучено влияние синего (450 нм), красного (658 нм) и инфракрасного (ИК) (810 нм) лазерных излучений в дозе 6 Дж/см$^2$ на воспалительный процесс, индуцированный подкожным введением 0.1 мл 3% раствора каррагинана в заднюю лапу крыс. В наших экспериментах через 4 часа после подкожного введения каррагинана наблюдалось увеличение толщины конечности на 22% по сравнению со здоровой лапой животного.

Показано, что из исследуемых в наших экспериментах разных диапазонов лазерных излучений лишь ИК (810 нм) излучение оказывало лечебное действие и в 1.3-1.5 раза подавляло развитие отёка через 4 часа после введения каррагинана.

Известно, что механизмам индуцированного лазерным излучением повышения уровня оксида азота (NO) придаётся большое значение из-за того, что данное соединение выступает в качестве медиатора вазодилатации, что существенно для улучшения микроциркуляции крови на локальном уровне. Так как NO является лигандом для гемоглобина (Гб) нами были изучены методом спектроскопии комбинационного рассеяния некоторые показатели, характеризующие функциональное состояние гемоглобина после облучения крови синим (в качестве сравнения) и ИК лазерами. Полученные нами результаты о дозозависимом (6-15 Дж/см$^2$) увеличении содержания оксиГб и способности Гб выделять кислород после действия ИК-излучения указывают на возможность лучшей оксигенации ткани после действия данного лазера. Кроме того, наблюдаемое нами снижение содержания комплексов Гб-NO после действия ИК лазера, по-видимому, свидетельствует о высвобождении NO из комплекса Гб-NO, что положительно может повлиять на микроциркуляцию крови из-за способности NO расширять сосуды. При использовании синего лазера с различными параметрами работы ни один из показателей гемоглобина крови не изменился.

Таким образом, можно предположить, что положительный биологический эффект ИК лазерного излучения может быть обусловлен его действием на способность гемоглобина крови связывать и освобождать лиганды, что может способствовать лучшей оксигенации, микроциркуляции крови и стимуляции восстановительных процессов в ткани.

# АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ РЕПРОДУКТИВНОЙ, ЭНДОКРИННОЙ И КРОВЕТВОРНОЙ СИСТЕМ ОРГАНИЗМА КРЫС-САМЦОВ ПОСЛЕ ДЛИТЕЛЬНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭМИ В ДИАПАЗОНЕ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ

*Г.Г. Верещако*[1], *А.Д. Наумов*[1], *В.И. Шалатонин*[2], *Г.А. Горох*[1], *Н.В. Чуешова*[1], *Д.В. Сухарева*[1]

Институт радиобиологии НАН Беларуси, Гомель, Беларусь, irb@mail.gomel.by

Белорусский государственный университет информатики и радиотехники, Минск, Беларусь.

Стремительное распространение мобильной связи вызывает обоснованное беспокойство по поводу последствий воздействия электромагнитного излучения базовых станций и сотовых телефонов на состояние организма. **Цель работы**: изучить последствия длительного воздействия электромагнитного излучения мобильного телефона на состояние крови, эндокринной и репродуктивной систем организма и 1-го поколения его потомства. Исследования проводили на белых крысах-самцах (исходный возраст 1 мес), подвергнутых влиянию ЭМИ сотового телефона. Источником ЭМИ являлась установка мобильной связи, изготовленная в БГУИР (Минск), позволяющая имитировать сигнал мобильного телефона (900 МГц) в режиме разговора. Плотность потока энергии в клетке находилась в пределах 2,0 − 20,0 мкВт/см$^2$. Облучение животных проводили 8 ч/день на протяжении 2 мес. Животных брали в опыты в различные сроки после прекращения воздействия. Затем часть облученных самцов и самок спаривали для получения потомства (1-е поколение). Крыс-самок на протяжении всего периода беременности и их потомство продолжали облучать при вышеуказанном режиме. Крыс-самцов 1-го поколения брали в опыты при достижении ими возраста 2, 4 и 6 мес. Перед опытом животных взвешивали, после декапитации собирали кровь для определения ряда гематологических показателей и содержания гормонов, извлекали семенники с придатками. Определяли относительную массу семенников и эпидидимисов. Ткань семенников использовали для получения клеточной суспензии, в которой проводили количественный анализ различных типов сперматогенных клеток методом ДНК-проточной цитометрии. Из эпидидимиса выделяли сперматозоиды, подсчитывали их количество и определяли жизнеспособность. Содержание тестостерона и кортикостерона в сыворотке крови определяли с помощью ВЭЖХ.

Показано, что в различные сроки после длительной электромагнитной экспозиции (1 и 2 мес) происходит умеренное снижение числа лейкоцитов и лимфоцитов, изменение процесса программированной гибели лимфоцитов (апоптоз), возникает диспропорция количественного состава различных типов половых клеток в тестикулярной ткани и уменьшение продукции зрелых половых клеток в эпидидимисе. Выраженные изменения в сыворотке крови облученных животных содержания кортикостерона и тестостерона свидетельствуют о стресс реакции организма на электромагнитное воздействие и дисгормональных последствиях регуляции сперматогенеза, которое носит гетерохронный характер. Количество животных 1-го поколения, полученного от облученных родителей и развитие которых продолжалось в условиях воздействия ЭМИ было значительно ниже чем в контроле (64 в опыте, 86 в контроле). У животных 1-го поколения выявляются разнонаправленные отклонения количества клеток лейкоцитарного ряда, повышение числа апоптотических лимфоцитов. Для репродуктивной системы облученных самцов характерно ускорение полового созревания, снижение жизнеспособности зрелых половых клеток. Изложенное свидетельствует о высоком риске возникновения нарушений в крови и репродуктивной системе развивающегося организма при длительном воздействии ЭМИ мобильного телефона.

# ЗАВИСИМОСТЬ РАДИОЗАЩИТНЫХ ЭФФЕКТОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ КРАЙНЕ ВЫСОКИХ ЧАСТОТ ОТ ПАРАМЕТРОВ ВОЗДЕЙСТВИЯ

*А.Б.Гапеев*[1,2], *Н.А.Лукьянова*[1,2], *С.В.Гудков*[2,3]
[1]Институт биофизики клетки РАН, Пущино, Россия,
[2]Пущинский государственный естественно-научный институт, Пущино, Россия,
[3]Институт теоретической и экспериментальной биофизики РАН, Пущино, Россия,
gapeyev@icb.psn.ru

В современной радиобиологии вопрос о роли неионизирующих электромагнитных излучений (ЭМИ) в изменениях неспецифической резистентности и реализации радиобиологических эффектов исследован недостаточно. Предполагается, что неионизирующие ЭМИ и низкие концентрации активных форм кислорода могут изменять резистентность клеток к воздействию ионизирующего излучения и модифицировать вызванные им повреждения ДНК в клетках. С целью проверки этого предположения исследовано комбинированное действие ЭМИ крайне высоких частот (ЭМИ КВЧ) с различными параметрами и рентгеновского излучения (РИ) на индукцию повреждений ДНК в лейкоцитах цельной крови мышей линии Kv:SHK.

Периферическую кровь собирали в пробирки с антикоагулянтом, разводили в 10 раз и готовили из полученной суспензии препараты-слайды с лейкоцитами, иммобилизованными в 0.5% агарозу. Клетки в составе агарозных слайдов облучали ЭМИ КВЧ в течение 20 мин при различных параметрах излучения до или после облучения РИ в дозе 4 Гр. Повреждения ДНК анализировали с помощью экспресс метода молекулярной генотоксикологии "комета-теста".

Обнаружено, что облучение лейкоцитов крови мыши импульсно-модулированным ЭМИ КВЧ (42.2 ГГц, 0.1 мВт/см$^2$, экспозиция 20 мин) с частотами модуляции 0.1, 1, 16, 32 и 50 Гц перед воздействием РИ в дозе 4 Гр снижает уровень повреждений ДНК в клетках в среднем на 25%. Непрерывное или амплитудно-модулированное ЭМИ КВЧ с теми же частотами модуляции было неэффективно. При действии импульсно-модулированного ЭМИ КВЧ через 5 мин после облучения клеток РИ величина радиозащитного эффекта снижалась в среднем до 10-15%. Таким образом, показано, что импульсное ЭМИ КВЧ обладает как защитным, так и терапевтическим действием. Обнаружено, что радиозащитное действие ЭМИ КВЧ зависит от несущей частоты и от интенсивности излучения. Эффект имеет характерную *S*-образную зависимость от интенсивности излучения, полувеличина эффекта наблюдается при интенсивности около 50 мкВт/см$^2$. Установлено, что величина радиозащитного эффекта ЭМИ КВЧ не зависит от дозы РИ в диапазоне доз 1-8 Гр. Полученные результаты показывают, что величина радиозащитного эффекта ЭМИ КВЧ зависит от несущей частоты, частоты и типа модуляции, интенсивности, уровня повреждений ДНК и последовательности воздействий.

Установлено, что импульсно-модулированное ЭМИ КВЧ вызывает в физиологическом растворе продукцию перекиси водорода в наномолярных концентрациях. Концентрация образующейся перекиси водорода зависит от интенсивности ЭМИ КВЧ, длительности экспозиции, несущей и модулирующей частот. Эти результаты дают основания полагать, что механизмы радиозащитных эффектов ЭМИ КВЧ связаны с индукцией адаптивного ответа низкими концентрациями активных форм кислорода, образующимися под действием импульсно-модулированного излучения.

# ВЛИЯНИЕ УФ-В РАДИАЦИИ НА БИОХИМИЧЕСКИЕ РЕАКЦИИ И ПРОДУКТИВНОСТЬ ЯЧМЕНЯ

*Л. И. Гончарова, В.М. Рачкова*
Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии ФАНО, Обнинск, Россия,
riarae@riar.obninsk.org

Среди глобальных экологических факторов, оказывающих дестабилизирующее влияние на биоту, особое место занимают повышенные уровни ультрафиолетового излучения (УФИ), обусловленные трансформацией озонного слоя стратосферы. В связи с образованием весной 2011 года, ранее небывалой арктической «озоновой дыры», на современном этапе биосферных явлений тенденция сокращения озона может усиливаться. Варьирующие уровни УФ-В радиации (280-320 нм) могут существенно влиять на продуктивность сельскохозяйственных культур.

В вегетационном опыте изучали действие хронического УФ-В облучения на ячмень сорта Зазерский 85. Схема опыта включала 3 варианта с УФ-В облучением при суточных биологически эффективных дозах соответственно: 2,7; 3,4; 4,0 кДж/м$^2$ и контроль без облучения. Критериями оценки действия УФ-В излучения на растения служили биохимические (содержание хлорофиллов, каротиноидов и флавоноидов), ростовые показатели (площадь листьев и биомасса) на 30-е сутки вегетации и конечный урожай зерна.

УФ-В радиация оказала негативное действие на формирование фотосинтетических пигментов в листьях ячменя. Наиболее сильное уменьшение количественного содержания хлорофиллов *а и б* в среднем на 30% отмечено при средней дозе УФИ - 3,4 кДж/м$^2$ . При дозах УФ-В излучения 2.7 и 4,0 кДж/м$^2$ негативный эффект по хлорофиллу *а* составил в среднем 15%, аналогичное снижение хлорофилла *б* выявлено при дозе 4,0 кДж/м$^2$.

В отличие от пластидных пигментов, УФ-В излучение способствовало активному продуцированию фенольных веществ – флавоноидов, выполняющих защитную роль от негативного действия УФ радиации. Установлено, что в области доз 2,7-3,4 кДж/м$^2$ достоверное увеличение в содержании флавоноидов составило в среднем на 68%, а при экспозиции УФИ - 4,0 кДж/м$^2$ превышение над контролем в аккумуляции флавоноидов достигло почти в 2 раза ($P \leq 0{,}001$).

Установлено, что хроническое УФ-В облучение растений обусловило независимое от дозы воздействия снижение ростовых показателей. В диапазоне доз УФИ 2,7-3,4 кДж/м$^2$ уменьшение биомассы и площади листьев растений на 30–е сутки вегетации составило в среднем соответственно на 35%, а при дозе 4,0 кДж/м$^2$ - на 17% .

Неблагоприятное действие УФ-В излучения на ростовые процессы, выявленное в начале вегетации, негативно отразилось на формировании зерновой продуктивности ячменя. В области доз УФИ 2,7-3,4 кДж/м$^2$ недобор урожая зерна составил в среднем на 40%, а при экспозиции 4,0 кДж/м$^2$ – на 18% ($P \leq 0{,}01$).

Анализ структуры урожая показал, что снижение массы зерна обусловлено достоверным уменьшением озерненности колоса главного стебля в среднем на 36% ($P \leq 0{,}001$) и снижением полновесности зерна (массы 1000 зерен).

Отмеченные в опыте особенности формирования биохимических и ростовых показателей ячменя под влиянием УФ-В радиации отражают различную реакцию растений на стресс. Уменьшение выработки фотосинтетических пигментов и увеличение содержания флавоноидов под влиянием УФИ, по-видимому, связано с биологическими особенностями данного сорта. Существенные отклонения от контроля площади листьев и биомассы при воздействии УФ-В излучения свидетельствуют о повышенной чувствительности данных показателей к стрессовым факторам. Неблагоприятное действие УФИ на зерновую продуктивность обусловлено существенной редукцией цветков в колосе в период их закладки и стерильностью пыльцы.

**ТРАНСГЕНЕРАЦИОННАЯ ПЕРЕДАЧА АДАПТИВНЫХ ЭФФЕКТОВ К УФ-В ОБЛУЧЕНИЮ У РАСТЕНИЙ *Arabidopsis thaliana***

*Н.И.Гуща, Ю.В. Шилина, А.П.Дмитриев*
Институт клеточной биологии и генетической инженерии НАН Украины,
Киев, Украина,
m.guscha@gmail.com

Приведены доказательства существования трансгенерационной передачи адаптивных эффектов к УФ-В облучению у растений *A. thaliana* разных генотипов, которые отличаются по функционированию салицилатной и жасмонатной сигнальных систем.

Эксперименты проводили на растениях *A. thaliana* дикого типа (экотип Columbia - Col-0) и трансгенных растениях, неспособных накапливать салициловую кислоту (NahG ) и нечувствительных к метилжасмонату (*jin1*). Стерильные семена высевали в чашки Петри на агаризованной среде Лэнгриджа-Квитко и после 3 сут стратификации в холодильнике проращивали при 22-25$^{o}$C (фотопериод - 16 ч , темнота - 8 ч). Проростки в возрасти 3-5 дней облучали УФ-В (3 лампы Philips TL 20W/RS , $\lambda$ = 280-320 нм , 11,7 Вт/м$^2$). Эффект оценивали по относительной скорости роста корней проростков через 3-5 суток после облучения.

В другой серии опытов растения *A. thaliana*, выращенные на почве, облучали в дозах 0,1-0,5 кДж/м$^2$ начиная с трехдневного возраста и до начала генеративной фазы один раз в сутки ежедневно или с интервалом 2-3 суток. Через трое суток после последнего адаптирующего облучения растения облучали повреждающей дозой 6 кДж/м$^2$. Влияние УФ-В облучения оценивали по количеству стручков, образовавшихся в Fo, а также по длине корней проростков в $F_1$.

Полученные результаты свидетельствуют, что облучение 3-5-ти дневных проростков *A. thaliana* дикого типа (Col-0) в дозе 170 Дж/м$^2$ приводит к существенному уменьшению скорости роста корня в течение последующих трех суток. Предварительное облучение проростков малой дозой (35 Дж/м$^2$) вызывает адаптивную реакцию уже через 3 часа. При этом ингибирующий эффект последующего облучения (170 Дж/м$^2$) существенно уменьшается.

Установлено, что периодическое многократное облучение растений *A. thaliana* малыми дозами УФ-В до начала генеративной фазы онтогенеза приводит к гормезисным эффектам и формированию адаптивного ответа (по количеству стручков). Выраженность эффекта меняется в зависимости от дозы, генотипа и возраста растений. В диапазоне доз 100-500 Дж/м$^2$ наблюдали преимущественно рост генеративного потенциала.

Адаптирующее облучение растений Fo всех трех генотипов приводит к стимуляции роста корней у проростков следующего ($F_1$) необлученного поколения. Выраженность эффекта зависит от возраста и генотипа облучаемых растений и дозы облучения. Облучение в дозе 10000 Дж/м$^2$ оказывало меньшее повреждающее воздействие на проростки $F_1$, которые сформировались из семян в вариантах, подвергшихся адаптирующему облучению в Fo у всех трех генотипов.

Таким образом, УФ-В облучение растений в малых дозах в течение вегетации в Fo приводит к формированию и трансгенерацийной передаче гормезиса и адаптивного ответа. Степень проявления исследованных эффектов зависит от возраста растений и функционирования у них жасмонатной и салицилатной сигнальных систем.

Стимуляция и адаптивный эффект к УФ-В уменьшается с увеличением возраста растений, обучаемых адаптивной дозой.

# ВЛИЯНИЕ СОЧЕТАННОГО ХИМИЧЕСКОГО И ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ НА БИОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЧВ ЮГА РОССИИ

*Т.В.Денисова, М.С.Мазанко, С.И. Колесников*
Академия биологии и биотехнологии Южного федерального университета,
Ростов-на-Дону, Россия,
denisova777@inbox.ru

Загрязнение почв в настоящее время одна наиболее острых экологических проблем. Тяжелые металлы, накапливающиеся в почве, способны привести к изменению как биологических, так и физических почвенных свойств. К тому же, связываясь с почвенными компонентами, они способны надолго оставаться в почве. Исследованию их влияния на почву посвящено значительное количество работ. Нефтяное загрязнение так же отрицательно влияет на почвенные свойства, снижает численность микроорганизмов и активность ферментов, нарушает структуру и аэрацию почвы. Влияние нефти на почвенные свойства является одним из приоритетных направлений исследований. Электромагнитные поля оказывают воздействие на все уровни организации жизни, их действие связано с работой многих механизмов, в основе которых лежит процесс поглощения и преобразования энергии излучения. В связи с тем, что количество источников электромагнитных полей постоянно возрастает, актуальность электромагнитного загрязнения становятся все более острой.

Существует большое количество работ, посвященных воздействию вышеперечисленных загрязнителей как самостоятельных факторов, в тоже время работ, посвященных их сочетанному влиянию на биологические объекты значительно меньше. А исследований, посвященных влиянию сочетанного загрязнения на почвенные свойства, практически нет.

Цель работы - установить закономерности изменения биологических свойств почв под влиянием сочетанного воздействия химическими загрязнителями и электромагнитными полями различной природы.

Сочетанное химическое и электромагнитное воздействие, как правило, вызывало снижение значений биологических показателей, таких как численность аммонифицирующих, грамотрицательных, спорообразующих, нефтеокисляющих, амилолитических бактерий, актиномицетов, обилие почвенных микромицетов, общая микробная биомасса, активность ферментов: каталазы и дегидрогеназы и фитотоксичность. В то же время, в отдельных случаях сочетанного загрязнения при малых дозах химических загрязнителей (концентрации свинца 100-500 мг/кг и концентрации нефти 2% от массы почвы) в сочетании с переменным магнитным полем 300-1500 мкТл наблюдался стимулирующий эффект. В большинстве случаев действие химических и электромагнитных факторов было синергетическим, однако в некоторых случаях (при мощности СВЧ-излучения 850 Вт, индукции магнитного поля 300 мкТл) наблюдалось антагонистическое действие электромагнитного и химического загрязнения. Доля совместного действия факторов при сочетанном воздействии свинца и СВЧ-излучения (в среднем 33%) выше, чем для воздействия нефти и СВЧ-излучения (в среднем 25%). Вклад переменного магнитного поля в изменение биологических свойств почвы при сочетанном загрязнении выше (19-44%), чем вклад СВЧ-излучения в тех же условиях (0-25%).

При сочетанном загрязнении переменным магнитным полем и химическим загрязнителем основной вклад в изменения свойств вносил именно фактор химического загрязнения (до 83%). Биологические показатели отличались разной степенью чувствительности к сочетанному загрязнению, среди наиболее чувствительных можно выделить активность каталазы, численность аммонифицирующих и амилолитических бактерий, почвенных микромицетов. Чернозем обыкновенный и бурая лесная почва имеют сходную устойчивость к сочетанному загрязнению, устойчивость серопесков ниже.

# ИЗУЧЕНИЕ КЛЕТОЧНЫХ РЕАКЦИЙ У МЫШЕЙ, ОБЛУЧЕННЫХ НИЗКОИНТЕНСИВНЫМ КРАСНЫМ И БЛИЖНИМ ИНФРАКРАСНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ *IN VIVO*

*А.Р. Дюкина*[1], *С.И. Заичкина*[1], *О.М. Розанова*[1], *С.П. Романченко*[1], *С.С. Сорокина*[1], *Н.Б. Симонова*[1], *Д.Т. Закржевская*[1], *В.И. Юсупов* [2]

[1]Институт теоретической и экспериментальной биофизики РАН, Пущино, Россия,
[2]Институт проблем лазерных и информационных технологий РАН, Троицк, Россия,
Dyukina@rambler.ru

В задачу настоящей работы входило изучить влияние низкоинтенсивного красного и ближнего инфракрасного излучений от светодиодных матриц (650 нм и 850 нм) и HeNe лазера (633 нм) на активацию резерва естественной защиты организма при облучении мышей *in vivo* по уровню продукции активных форм кислорода (АФК) в клетках крови, индукции цитогенетического адаптивного ответа (АО) в клетках костного мозга, тимуса и селезенки и скорости роста солидной формы асцитной карциномы Эрлиха. В экспериментах использовали двухмесячных самцов мышей линии SHK. Животных облучали инфракрасным светом (ИКС) от светодиодной матрицы (850 нм), модулированной частотой 101 Гц, (22 мВт/см$^2$) 10 мин, низкоинтенсивным красным светом (КС) от светодиодной матрицы (650 нм) 30 с и HeNe лазером (633 нм, 0.16 мВт/см$^2$) 1, 3, 5, 30, 100, 120 и 300 с. Для индукции цитогенетического АО, облученные животные через 24 ч подвергались облучению выявляющей дозой 1.5 Гр рентгеновского излучения (РИ). В качестве положительного контроля животных облучали РИ по схеме радиационного АО (0.1 Гр + 1.5 Гр). Уровни продукции АФК оценивали в цельной крови методом люминол-зависимой хемилюминесценции, цитогенетических повреждений с помощью микроядерного теста в костном мозге, индекс тимуса и селезенки - по отношению среднего абсолютного веса органа к среднему весу животного в группе, скорость роста опухоли - по ее размеру в течение 30 дней после перевивки.

Было обнаружено, что: 1) обработка животных ИКС, КС и HeNe лазером в течение 1, 3, 5, 30 с, также как и РИ в дозе 0.1 Гр и последующим облучением в дозе 1.5 Гр индуцирует цитогенетический АО в клетках костного мозга, а облучение HeNe лазером в течение 100, 120 и 300 с не индуцирует его; 2) предобработка животных ИКС, КС и HeNe лазером в течение 1, 3, 5, 30 с, также как и РИ в дозе 0.1 Гр снижает уровень продукции АФК в крови мышей, а предобработка HeNe лазером в течение 100, 120 и 300 с не влияет на уровень АФК по сравнению с группой животных облученных только в дозе 1.5 Гр; 3) облучение животных в дозе 1.5 Гр через 0.5 ч после адаптирующих воздействий ИКС, КС, HeNe лазером и РИ индуцировало максимальный уровень продукции АФК, а при 5-часовом интервале (начало индукции цитогенетичского АО) продукция АФК снижалась до контрольного значения; 4) предобработка животных ИКС, КС и дозой 0.1 Гр защищала тимус от уменьшения клеточности после облучения в дозе 1.5 Гр, а предобработка HeNe лазером в течение всех интервалов не защищала, в то время как предобработка животных всеми видами излучений не влияла на массу селезенки; 5) предобработка животных всеми видами излучений приводила к торможению скорости роста опухоли.

Полученные экспериментальные данные выявили взаимосвязь между продукцией АФК у мышей облученных ИКС, КС, HeNe лазером и РИ *in vivo* индукцией цитогенетического АО, и могут быть использованы для мониторирования факторов, активирующих естественную защитную систему организма.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 14-02-00808.

# К ВОПРОСУ РЕГУЛЯЦИИ ЭРИТРОПОЭЗА У ЖИВОТНЫХ

*А.С. Зенкин, Н.Ю. Калязина, А.И. Свитин*
Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева,
Аграрный институт, Саранск, Россия,
zenkin50@mail.ru

Известны разные способы лечения и профилактики анемий животных, но все они сводятся к стимуляции кроветворения в основном или лекарственными препаратами (например железа, кобальта, меди) или к внутримышечному или подкожному введению стабилизированной аллогенной или гетерогенной крови, а так же неспецифического глобулина и полиглобулина. Недостатками указанных способов лечения анемий, анемических синдромов и профилактики анемических состояний животных являются: сложность схемы применения препаратов; дороговизна лекарственных препаратов и комплексного лечения ими; некоторые противопоказания и ограничения к применению.

Целью наших исследований являлась разработка более простого в применении и экономичного способа стимуляции эритропоэза у животных. Поставленная цель достигается применением подкожного введения цереброспинальной жидкости (ЦСЖ, ликвор), облученной ультрафиолетовыми лучами (УФ-лучами) в область биологически активных точек (БАТ) отвечающих за кроветворение.

Применение ЦСЖ в качестве лечебно-профилактического средства для коррекции кроветворения при анемиях, анемических синдромах и профилактики анемических состояний животных введенного в область БАТ, отвечающих за кроветворение (область лопатки с левой стороны), обоснованно тем, что она содержит большое количество биологически активных веществ. Препараты ЦСЖ быстро всасываются при парэнтеральном введении, не обладают токсичностью в рекомендуемых эффективных дозах, они бактерицидны и не содержат микробов.

Авторы статьи для профилактики и лечения анемий, анемических синдромов и профилактики анемических состояний животных предлагают использовать ЦСЖ, введенную подкожно в область БАТ отвечающих за кроветворение, а также облученную ЦСЖ крупного рогатого скота, непосредственно перед введением животным, ультрафиолетовыми лучами, т.к. известно, что ультрафиолетовое облучение жидких лекарственных форм повышает их фармакологическую активность.

Таким образом, простой в применении и экономичный способ стимуляции эритропоэза у животных достигается применением подкожного введения цереброспинальной жидкости крупного рогатого скота, облученную ультрафиолетовыми лучами, в область биологически активных точек отвечающих за кроветворение.

**ЭФФЕКТЫ МОДИФИКАЦИИ ПРИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОМ ОБЛУЧЕНИИ**

*С.Н. Золотарева, С.А. Кособуцкая*
Воронежская государственная медицинская академия им. Н.Н. Бурденко,
Воронеж, Россия,
z. vorontsova@mail.ru

В экспериментальном исследовании на 150 белых лабораторных половозрелых крысах-самцах с начальным возрастом 4 месяца изучали морфофункциональное состояние слизистой оболочки тощей кишки по состоянию митотической активности (МА) эпителиоцитов крипт, толщине базальной мембраны (БМ) эпителиальной выстилки, соотношению общего числа тучных клеток (ОЧТК) и их активных форм – дегранулированных (Дг) и вакуолизированных (Вк). Животных распределяли учетом временной динамики и факторам воздействия на 21 группу и подвергали изолированному и комбинированному воздействию электромагнитного излучения СВЧ диапазона (ЭМИ), гипоксической газовой смеси, содержащей 8%$O_2$ и 92%$N_2$ (ГГС) и нормобарического кислорода 99% $O_2$ (НК),. Взятие материала осуществляли через 1,7;5;24;72 часа после воздействия.

Применение ЭМИ проявлялось истончением БМ эпителия ворсинок слизистой оболочки тощей кишки через 1,7 и 72 после воздействия ($p<0,05$). Показатель МА эпителиоцитов крипт был снижен на протяжении первых суток, и превышал контрольные значения спустя 72 часа. Наблюдалось усиление лизиса гранул тучных клеток на фоне снижения ОЧТК в динамике эксперимента ($p<0,05$), что свидетельствовало о нарушении функциональных и обменных процессов в слизистой оболочке. Однократное изолированное применение как ГГС, так и НК вызывало незначительные изменения исследуемых морфологических критериев слизистой оболочки через 1,7 и 5 часов, которые нормализовывались спустя трое суток после воздействия.

Комбинированное применение ЭМИ и ГГС проявлялось незначительным восстановлением толщины базальной мембраны в динамике эксперимента ($p<0,05$). Пролиферативная активность снижалась через 1,7 часа, а спустя 5 часов и до конца эксперимента превышала контрольные значения ($p<0,05$). В хронодинамике первых суток эксперимента наблюдалось снижение ОЧТК с достоверными значениями через 1,7 и 24 часа, спустя трое суток - повышалось по сравнению с контролем ($p<0,05$). Дегрануляция тучных клеток уменьшалась в хронодинамике эксперимента($p<0,05$), а лизис гранул изменялся разнонаправлено, снижаясь через 5 и 24 часа и повышаясь через трое суток ($p<0,05$). Модифицирующий эффект ГГС проявлялся в адаптивных изменениях за счет активации биологически активных веществ высвобождаемых тучными клетками спустя трое суток по отношению к воздействующему СВЧ. Комбинированное применение ЭМИ и НК вызывало незначительную десинхронизацию реагирования морфологических критериев, проявлявшуюся истончением БМ эпителия энтероцитов. Наблюдалось повышение числа митозов по всем срокам эксперимента ($p<0,05$). ОЧТК снижалось в хронодинамике эксперимента и достоверно снижалось число Дг форм в первые часы с восстановлением до уровня контроля спустя 72 часа. Число Вк тучных клеток повышалось через 1,7 часа, а спустя 5 и 24 часа резко снижалось ($p<0,05$) и восстанавливалось до показателей контроля спустя трое суток.

Таким образом, эффект гипоксической газовой смеси и нормобарического кислорода можно считать радиопротекторным в связи с активизацией внутренних адаптивных механизмов предопределяющих радиорезистентность на воздействие электромагнитного излучения.

# ОБРАЗОВАНИЕ ПЕРЕКИСИ ВОДОРОДА В БЕЛКОВЫХ РАСТВОРАХ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ТЕПЛА

*В.Е. Иванов, Н.Р. Попова, О.Э. Карп, С.В. Гудков, В.И. Брусков*
Институт теоретической и экспериментальной биофизики РАН, Пущино, Россия,
iwe88@rambler.ru

Изменение содержания $H_2O_2$ под действием различных физических факторов может быть важным фактором лечебного воздействия и адаптации организма к влиянию неблагоприятных факторов среды в результате сигнально-регуляторных процессов.

Тепловые воздействия широко используются в медицинской практике для различных лечебных процедур. Однако биологические механизмы их лечебного влияния остаются малоисследованными. В связи с этим актуальным является исследование возможности длительной генерации $H_2O_2$ долгоживущими активными формами белка (ДАФБ) после воздействия тепла. Это может быть одним из механизмов активации защитных клеточных механизмов, способствующих преодолению болезни.

Ранее в нашей лаборатории было установлено, что в растворах бычьего сывороточного альбумина (БСА), гамма-глобулина (ГГ) при умеренной гипертермии образуются ДАФБ, которые генерируют АФК, также исследована зависимость образования $H_2O_2$ от времени после воздействия тепла (45$^o$C, 2 ч) в этих растворах.

В данной работе впервые исследовано образование $H_2O_2$ в растворах (0,4 г/л) казеина (КАЗ), гидролизата казеина (ГК) и желатина (ЖЕЛ) под действием тепла (45°C, 2 ч). Образование $H_2O_2$, индуцированное ДАФБ в растворах КАЗ, ГК и ЖЕЛ под влиянием тепла, измеряли методом усиленной хемилюминесценции в системе люминол – пара-йодофенол – пероксидаза.

На первом этапе была исследована зависимость образования $H_2O_2$ от времени воздействия (45$^o$C, нагревание в течение 1 ч, 2 ч, 4 ч и 6 ч). Установлена линейная зависимость образования перекиси водорода – максимальная концентрация $H_2O_2$ наблюдалась при 6 ч – для раствора казеина 90 нМ, желатина – 150 нМ и гидролизата казеина – 300 нМ, в контрольном фосфатно-солевом буфере – [$H_2O_2$] составляла около 10 нМ. В дальнейшем измеряли содержание $H_2O_2$ в течение 23 ч после теплового воздействия (45$^o$C, 2 ч). В контрольном растворе без белка концентрация $H_2O_2$ составляла около 10 нМ и уменьшалась к 23 ч до 2,5 нМ. В растворе КАЗ наблюдалось плавное увеличение концентрации $H_2O_2$ в течение 3 ч, а затем плавное ее уменьшение к 23 ч. В случае ГК происходил рост ее концентрации до 2 ч с последующим уменьшением. Можно полагать, что в течение времени полужизни ДАФБ (около 3 ч) происходит интенсивная генерация $H_2O_2$, приводящая к росту ее концентрации для казеина в течение 3 ч и 2 ч в случае гидролизата казеина, с последующим распадом.

Образование ДАФБ, индуцированных теплом, заведомо не должно ограничивается только этим белкам, а быть присуще, по крайней мере, подавляющему большинству клеточных белков, как это имеет место в случае рентгеновского излучения. Они могут являться компонентами системы антиоксидантной защиты, приводящей к инактивации синглетного кислорода, образующегося при воздействии УФ-излучения, видимого света и тепла.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант 13-04-00730-а).

# ТРАНСГЕНЕРАЦИОННЫЕ ЭФФЕКТЫ НИЗКОИНТЕНСИВНОГО РАДИОЧАСТОТНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ И АНАЛИЗ ЦИТОТОКСИЧНОСТИ

*Иголкина Ю.В., Ускалова Д.В., Сарапульцева Е.И.*
ИАТЭ НИЯУ МИФИ, Обнинск, Россия,
helen-bio@yandex.ru

Ранее нами показано зависимое от плотности потока энергии (ППЭ = 5-50 мкВт/см$^2$) снижение двигательной активности простейших *Spirostomum ambiguum,* а так же выживаемости и репродуктивного потенциала беспозвоночных *Daphnia magna* в низкоинтенсивном электромагнитном поле (НИ ЭМП) с частотой мобильной связи (1 ГГц) и спутникового телевещания (10 ГГц).

В данной работе нами применен метод прижизненной компьютерной морфометрии для оценки морфологических изменений у спиростом и МТТ-метод для оценки цитотоксичности НИ ЭМИ на дафниях.

Для морфометрического анализа использован комплект оборудования, включающий USB-видеокамеру MYscope 300M, вмонтированную на окуляр микроскопа МБС-10 и соединенную с компьютером Pentium IV и пакет программного обеспечения «Морфометр «Image-Pro 3,5». Цитотоксический анализ проведен стандартным методом на планшетном иммуноферментном анализаторе «StatFax-2100» (США).

Суспензию спиростом с плотностью посадки 30–50 особей/мл облучали в открытых пластиковых чашках Петри лабораторным генератором Г4-109 (10 ГГц) с ППЭ 50 мкВт/см$^2$ и экспозицией от 10 мин до 1 ч. Изменение морфологии оценивали в динамике в течение 3 недель после воздействия. 1-Суточных дафний по 20 особей на пробу облучали на той же установке с экспозициями 12 и 24 ч. Цитотоксичность ЭМИ оценивали сразу после воздействия. Проведено 3-5 серий экспериментов. Данные обработаны в программе «Statistic 6.0» по критерию $\chi^2$.

В норме спиростома имеет до 1 мм в длину и 30-50 мкм в ширину. Для нее характерны спонтанные сжатия «в каплю», которые составляют не более 6% для лабораторной популяции. Нами обнаружено значимое увеличение морфологических отклонений после нахождения спиростом в НИ ЭМП после 10-минутной экспозиции уже на первые сутки. Эффект сохранялся на уровне 40% отклонения от контроля при увеличении экспозиции до 1 ч. Эффект прослежен до 21 суток, т.е. у необлученных потомков 5-7 поколения. Клеточный цикл спиростом составляет 2-3 суток.

При проведении анализа на цитотоксичность за основу были взяты данные, полученные нами ранее при облучении дафний гамма-квантами в малых дозах. По нашему мнению, высокая цитотоксичность была индуцирована свободно-радикальными реакциями, что, по-видимому, повлияло на снижении выживаемости у дафний в облученных гамма-квантами образцах. Мы предположили, что обнаруженное нами снижение выживаемости и репродуктивного потенциала дафний после 24-часового нахождения в НИ ЭМП может иметь ту же природу. Поэтому опытный образец, облученный гамма-квантами, был использован как отрицательный контроль. Однако, негативный цитотоксический эффект НИ ЭМП обнаружен не был. Следовательно, необходимо искать другие возможные механизмы.

Полученные нами данные по действию НИ ЭМИ согласуются с результатами ряда других авторов. Кроме того, модифицированный нами в данной работе метод прижизненной компьютерной морфометрии для простейших позволяет расширить диапазон информативных количественных показателей, характеризующих биологическую эффективность низкоинтенсивного электромагнитного излучения радиочастотного диапазона.

# ПОВЕДЕНЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ КРЫС-САМОК ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ИОНИЗИРУЮЩЕГО И ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЙ

*Е.М. Кадукова*[1], *Д.Г. Сташкевич*[1], *Ф.И. Куц*[1], *И.И. Ефременко*[2], *Г.И. Наумова*[2]
[1]Институт радиобиологии НАН Беларуси, Гомель, Беларусь,
[2]Витебский государственный университет им. П.М. Машерова, Витебск, Беларусь,
helena.kad@mail.ru

В последние годы приобретает особую актуальность проблема неблагоприятного воздействия на экосистемы и организмы неионизирующих излучений и, в частности электромагнитных излучений радиочастотного диапазона (ЭМИ РЧ).

В реальном окружении ЭМИ взаимодействуют между собой и со средовыми факторами иной природы, что может приводить к различным эффектам, которые невозможно оценить на основе однофакторных экспериментов.

Цель иследования – оценить воздействие ЭМИ РЧ и острого однократного облучения в дозах 0,5 и 1,0 Гр на одну из наиболее чувствительных к их действию систему организма – центральную нервную систему.

Эксперимент был проведен на крысах-самках (6 мес) массой 235–250 г, содержавшихся в стандартных условиях вивария при естественном освещении, со свободным доступом к воде и пище. В опыт отбирались только особи с устойчивым эстральным циклом, синхронизированные по его стадиям. Крыс подвергали раздельному и сочетанному воздействию внешнего ионизирующего излучения (ИИ) в дозах 0,5 и 1,0 Гр ($^{137}$Cs, 46,2 сГр/мин), и действию ЭМИ на экспериментальной установке, имитирующей сигнал мобильной связи с несущей частотой электромагнитного поля – 900±3 МГц ежедневно по 8 ч фракциями (16×30 мин с интервалом в 5 мин) в течение 15 суток, начало экспозиции через сутки после воздействия радиации. Контролем служили крысы-самки аналогичного возраста, не подвергавшиеся воздействию ИИ и ЭМИ. Каждая экспериментальная группа состояла из 10 особей. Эмоциональную реактивность, двигательную и исследовательскую активность животных изучали в тесте «Открытое поле» (ОП) в течение 5 минут. Рассчитывали интегральную оценку параметров поведения в ОП по методике, описанной Бессаловой Е.Ю., 2011. На основании проведенных расчетов вычисляли интегральные уровни тревожности и исследовательской активности.

Установлено, что воздействие ЭМИ РЧ модифицировало ответную реакцию облученных ИИ крыс-самок, оцениваемую по изменению поведенческих паттернов в предъявляемом им ОП. Так, интегральный уровень тревожности у облученных в дозе 1,0 Гр крыс после дополнительного воздействия ЭМИ был максимальным и на 156,7 %, и 271,8 % превышал уровень контроля и воздействия дозы ИИ 1,0 Гр соответственно. После действия ЭМИ на крыс, облученных в дозе 0,5 Гр, уровень тревожности был также выше, чем у крыс группы «ЭМИ», оставаясь на уровне тенденции (+ 98,3 % и + 30,3 % к уровню контроля и значению группы «ЭМИ» соответственно).

Изменение исследовательской активности после воздействия ЭМИ в раздельном и сочетанном с ИИ режиме имело свои особенности: если после воздействия в раздельном режиме ЭМИ и облучения в дозе 1,0 Гр исследовательская активность крыс-самок повышалась (на 7,6 % и 32,5 % соответственно), после облучения в дозе 0,5 Гр имела тенденцию к снижению (на 16,0 %), то после воздействия ЭМИ на облученных в дозе 1,0 Гр крыс была снижена на 30,6 % и на 47,6 % по сравнению со значением в контроле и в группе «1,0 Гр».

Таким образом, воздействие ЭМИ РЧ на облученных в дозах 0,5 и 1,0 Гр крыс-самок нарушало структуру ориентировочно-исследовательского поведения и сопровождалось повышением их эмоционально-тревожного состояния.

# ОСОБЕННОСТИ ВОЗДЕЙСТВИЯ ОПТИЧЕСКИХ ИЗЛУЧЕНИЙ ЧЕРЕЗ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫЕ ТОЧКИ НА ГЕМАТОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ КРОЛИКОВ

*Н.Ю. Калязина, А.И. Свитин*
Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева,
Аграрный институт, Саранск, Россия,
rty125555@rambler.ru.

Современные пути решения проблем коррекции костномозгового кроветворения у животных требуют применения новых методов воздействия на организм животных. Они должны быть просты в исполнении, эффективны и экономически выгодны. К числу таких методов и относится квантовая терапия животных.

Разнообразные методы квантовой терапии используются как в качестве самостоятельного метода профилактики и лечения, так и в комплексе с лекарственными средствами. Первоначально, именно на животных отрабатывалось применение квантовых методов в медицинской практике. Поэтому методы воздействия квантовой терапии (КТ) на животных и их высокая эффективность имеют под собой твердую научно-практическую основу. Они обеспечивают снижение уровня лекарственной агрессии, повышение иммунитета, активацию неспецифической резистентности организма.

Квантовый терапевтический аппарат ветеринарный «РИКТА-01»(М2В) предназначен для лечения и стимуляции животных путем непосредственного воздействия на рефлексогенные зоны, на области проекции внутренних органов и биологически активные точки на теле животных.

Воздействие на организм животных проводится одновременно несколькими физическими факторами определенным образом модулированными, например импульсным инфракрасным излучением, лазерным воздействием и магнитным полем.

В данной серии опытов изучали влияние локального воздействия лазерно-инфракрасного излучения и магнитного поля при помощи квантового терапевтического аппарата для ветеринарной практики «РИКТА-01» (М2В) в биологически активных точках (БАТ), отвечающих за кроветворение на показатели крови кроликов.

Подопытными животными были самки кроликов в возрасте 1 год, массой тела около 3-х кг. Зона для локального воздействия лазерно-инфракрасного излучения выбиралась исходя из наибольшего скопления биологически активных точек, отвечающих за кроветворение, т.е. в области лопатки с левой стороны.

Воздействовали на выбранную зону контактным методом, с помощью специальной для этого насадкой квантового терапевтического аппарата для ветеринарной практики «РИКТА-01» (М2В), частотой 50 Гц, в течение 3-х минут.

Исследование крови и пунктата костного мозга проводили на 3-и, 10-е и 30-е сутки и сравнивали с данными, полученными от контрольной группы.

Таким образом, после локального воздействия лазерно-инфракрасным излучением в области точек БАТ у кроликов отмечены следующие изменения в периферической крови: увеличение количества лейкоцитов на 3-и сутки исследований, что обусловлено в основном за счет повышения уровня лимфоцитов, так же на 3-и сутки отмечено резкое увеличение количества эритроцитов и отсутствие молодых форм нейтрофилов. Остальные показатели ведут себя достаточно стабильно.

# ВЛИЯНИЕ ПРЕДПОСЕВНОГО УФ ОБЛУЧЕНИЯ СЕМЯН НА МОРФОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПРОРОСТКОВ ЯЧМЕНЯ

*А.Е. Крюков, П.Н. Цигвинцев, Л.И.Гончарова*
Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии ФАНО, Обнинск, Россия,
CCCP.85@list.ru

Урожайность сельскохозяйственных культур в значительной степени зависит от посевных качеств семян. Поэтому наряду с совершенствованием технологии выращивания и уборки растений, большое значение должно уделяться разработке и внедрению экологически чистых способов, направленных на улучшение посевных качеств семян и повышение продуктивности. Одним из таких способов является обработка посевного материала ультрафиолетовым излучением. При предпосевной обработке семян ультрафиолетовым излучением может достигаться улучшение жизнеспособности, ускоренное и интенсивное прорастание семян и повышение продуктивности, обусловленное более полной реализацией биологического потенциала растений с одновременным губительным действием на фитопатогены. Также в данной работе особое внимание было уделено в нахождении спектрально-энергетических параметров УФ-А, УФ-В, УФ-С излучений, оказывающих стимулирующее влияние на процессы прорастания семян ячменя сорта Зазерский 85 для улучшения посевных качеств и повышения продуктивности. В качестве источника УФ-А излучения использовались лампы Black Light BLUE фирмы Philips, для области УФ-В брали лампы ЛЭР-40 фирмы ОАО "Лисма-ВНИИИС" им. А.Н.Лодыгина г. Саранск. В качестве источника УФ-С излучения применялись безозоновые лампы TUV PL-L-36W фирмы PHILIPS для исключения влияния на эксперимент озона, который образуется при работе часто используемых ламп ДРТ 400 Спектры ламп и мощность облучения определяли с помощью спектрофотометра AvaSpec 2048 и программного обеспечения AvaSoft 6.2. Схема опыта включала: контроль без облучения, варианты с УФ облучением семян (для области УФ-А и УФ-С) в дозах 2, 5, 10, 25, 50 кДж/м$^2$, и в дозах 4, 10, 20, 50, 100 кДж/м$^2$ - для УФ-(В+А), при этом, в вариантах с облучением половина дозы формировалась УФ-В, и половина – УФ-А облучением. Повторность трехкратная. Критериями оценки действия УФ радиации на посевные качества семян служили всхожесть и ростовые показатели проростков (длина ростков и корешков) на 5 сутки проращивания. Тестирование семян осуществляли рулонным способом при температуре 25$^0$С по ГОСТ 12036-84 в трехкратной повторности, в каждой партии по 100 семян. Достоверность различий вариантов опыта устанавливали на основе двухвыборочного t-теста для средних.

ВЫВОДЫ

1. Обработка семян ячменя УФ излучением может приводить к эффектам как стимуляции, так и угнетения всхожести и параметров роста проростков. Выраженность эффекта обусловлена спектрально-энергетическими характеристиками облучения.
2. Максимальный стимулирующий эффект ростовых показателей 5 суточных проростков достигается при УФ-С облучении семян ячменя в дозе 5 кДж/м², при энергетической освещенности 4,5 Вт/м².
3. При одинаковой энергетической освещенности, для получения выраженного стимулирующего эффекта УФ-В и УФ-А облучения семян необходимы дозы, соответственно, в 2 и 5 раз выше, чем для УФ-С облучения.

# БИОЛОГИЧЕСКОЕ ДЕЙСТВИЕ СВЕРХНИЗКОЧАСТОТНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

*Ю.Б. Кудряшов, А.Б.Рубин*
Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия,
bkudr@yanjdex.ru

Феномен биологического действия слабых излучений **(0-300 кГц)**, наличие которого в свое время отвергалось как физически невозможное, подтверждается все большим количеством фактов. Уже сейчас мы видим, что это обычное явление для любой живой системы, любого уровня ее организации.

Обнаружено, что сверхнизкочастотные электрические и магнитные поля **(СНЧ Э и МП)** выполняют для отдельных организмов функции «биологических часов», «компаса», «навигатора» при ориентации в геомагнитном поле; влияют на рост и развитие растений; вызывают различные генетические и другие **специфические изменения…** Прослежена также и общая стандартная неспецифическая реакция биологических объектов и систем, свидетельствующая о **стрессорном ответе** на действие СНЧ**.**

Трудным для объяснения оставался так называемый **парадокс kT-** причины появления биологических изменений от действия ничтожно малых (слабых) энергий СНЧ. Для выяснения этого энергетического парадокса предлагалось множество моделей-гипотез, которые, однако, не смогли решить данную проблему *на молекулярном уровне*.

Вопрос о биологической рецепции слабого СНЧ излучения оказывается решаемым *на более чувствительном – свободнорадикальном уровне*.

Известно, что **под действием слабых полей меняется состояние спина неспаренного электрона и тем самым изменяется активность свободного радикала.** Особенно это относится к цепным реакциям свободнорадикального окисления, постоянно протекающих в живой клетке. В докладе представляются схемы таких реакций – **биофизического механизма слабых излучений.**

На магнитные спиновые взаимодействия свободных оксирадикалов расходуется значительно меньше энергии по сравнению с молекулярным тепловым движением. В связи с этим не существует противоречия между ничтожно малой величиной энергии спиновых воздействий СНЧ ЭМП и энергии оксирадикальных спиновых изменений, приводящих к дальнейшим биологическим эффектам.

Тонко отрегулированная скорость образования продуктов окисления липидов в цепной свободнорадикальной реакции в живой системе высоко чувствительна к действию внешних СНЧ полей.

Таким образом для спиновых свободнорадикальных окислительных процессов парадокс *kT* может быть обойден.

# СОЧЕТАННОЕ ДЕЙСТВИЕ НИЗКОИНТЕНСИВНОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ КРАЙНЕ ВЫСОКИХ ЧАСТОТ И ГЕНОТОКСИЧЕСКИХ АГЕНТОВ

*Н.А.Лукьянова, А.Б.Гапеев*
Институт биофизики клетки РАН, Пущино, Россия,
Пущинский государственный естественно-научный институт, Пущино, Россия,
nromanova_11@mail.ru

В настоящее время биологические системы подвергаются воздействию большого числа потенциально генотоксических факторов окружающей среды, в том числе химических веществ, ионизирующих и неионизирующих электромагнитных излучений (ЭМИ). Многие из этих факторов обладают цитотоксическими, канцерогенными и генотоксическими свойствами или сами по себе или в комбинации с другими агентами. При сочетанном действии этих факторов могут наблюдаться аддитивные, синергические, антагонистические и потенциирующие эффекты; может существовать сильная зависимость от последовательности воздействий и от исходного функционального состояния биологической системы. Защита живых организмов от повреждающего действия ЭМИ является одной из актуальных и чрезвычайно сложных проблем современной электромагнитной биологии и радиобиологии. В связи с этим изучение механизмов комбинированного действия неионизирующих ЭМИ и генотоксических агентов на живые организмы представляет особый интерес.

Цель работы состояла в определении особенностей сочетанного действия физических и химических факторов (агентов окислительного стресса, неионизирующих и ионизирующих ЭМИ) на целостность клеточной ДНК лейкоцитов крови мышей линии Kv:SHK. Периферическую кровь собирали в пробирки с антикоагулянтом, разводили в 10 раз и готовили из полученной суспензии препараты-слайды с лейкоцитами, иммобилизованными в 0.5% агарозу. Клетки облучали ЭМИ крайне высоких частот (ЭМИ КВЧ, 42.2 ГГц, 100 мкВт/см$^2$, экспозиция 20 мин) при различных параметрах излучения и/или рентгеновским излучением (РИ) в дозе 4 Гр в составе агарозных слайдов при комнатной температуре. Обработку клеток перекисью водорода в различных концентрациях и алкилирующим агентом метилметансульфонатом (ММС) проводили в течение 10 мин при 37$^o$С. Повреждения ДНК анализировали с помощью экспресс метода молекулярной генотоксикологии "комета-теста".

Обнаружено, что предварительное облучение лейкоцитов крови импульсно-модулированным ЭМИ КВЧ снижает генотоксический эффект ИР в дозе 4 Гр, ММС в концентрации 2.5 мМ и перекиси водорода в концентрации 20 мкМ в среднем на 20-30%. Импульсное ЭМИ КВЧ оказывает радиозащитный эффект и при облучении клеток после воздействия РИ. Ранее было установлено, что под действием импульсно-модулированного ЭМИ КВЧ в физиологическом растворе наблюдается продукция перекиси водорода в наномолярных концентрациях. Показано, что предварительная инкубация лейкоцитов крови в присутствии наномолярных концентраций перекиси водорода приводит к снижению уровня повреждений ДНК, индуцируемых высокими концентрациями генотоксических агентов (перекиси водорода и ММС), а также РИ в дозе 4 Гр. Полученные результаты дают основания полагать, что механизмы защитных эффектов низкоинтенсивного ЭМИ КВЧ от повреждающего действия генотоксических факторов связаны с индукцией адаптивного ответа низкими концентрациями активных форм кислорода.

# БИОЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ГОЛОВНОГО МОЗГА В УСЛОВИЯХ ДЕЙСТВИЯ НИЗКОИНТЕНСИВНЫХ ЭМП РАДИОЧАСТОТ (АНАЛИЗ СОБСТВЕННЫХ МНОГОЛЕТНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ)

*С.Н. Лукьянова*
ГНЦ РФ - Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна ФМБА России, Москва, Россия,
lukyanovasn@yandex.ru

Многочисленные эксперименты на кроликах свидетельствуют о возможности проявления значимых изменений в спонтанной и вызванной биоэлектрической активности нейронов, структур и мозга в целом на кратковременное действие ЭМП радиочастот с ППЭ≤300мкВт/см$^2$. Показано определяющее значение исходного фона в проявлении этих реакций, отсутствие прямопропорциональной зависимости от ППЭ в пределах низких значений (30-500мкВт/см$^2$), возможность развития кумуляции при повторных воздействиях и стимулирующее влияние дополнительной нагрузки. Специально проведенная серия экспериментов доказывает превалирующую роль непосредственного действия ЭМП на ткань мозга в соответствующем нейрофизиологическом механизме. Совокупность полученного материала, постоянное сопоставление с ответами на свет и звук пороговой величины и, конечно, данные литературы - позволяют рассматривать изучаемое воздействие как подпороговый раздражитель для ЦНС. Такой подход к анализу соответствующих реакций ЦНС может помочь в трактовке и прогнозировании ответов на ЭМП при решении различных практических задач науки, медицины, экологии.

# ОЦЕНКА БИОЛОГИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ GSM 905 МГЦ НА МОДЕЛИ БАКТЕРИАЛЬНОЙ БИОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ

*И.М.Пархоменко, А.П.Зарубина, А.Я.Байжуманов, Л.И.Деев, Л.А.Новоселова*
Биологический факультет Московского государственного университета им. М.В.Ломоносова, Москва, Россия.

Понимание закономерностей и механизмов действия слабых ЭМИ, в том числе и устройств мобильной связи стандарта GSM (Global System for Mobile Communications), работающих в диапазоне 850-1900 МГц, на биологические объекты и, в частности, на организм человека, совершенно необходимо для их безопасного использования. Для выявления экологических последствий действия ЭМИ важно использовать достаточно простые биологические тест-системы. Биотестирование с использованием клеток светящихся бактерий позволяет количественно оценить токсичность химических и физических факторов по их влиянию как на биолюминесценцию, так и на весь клеточный метаболизм.

В нашей работе оценивали возможность применения бактериального сенсора тест-системы «Эколюм-08» на основе бактерий *Escherichia coli* K12 TG1 с созданным светящимся фенотипом, полученным при клонировании гибридной плазмиды, включающей полный lux-оперон из светящихся почвенных бактерий *Photorhabdus luminescens* ZM1, для тестирования и анализа биологических эффектов ЭМИ. Тест-система «Эколюм» разработана на кафедре микробиологии биологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова. Следует отметить, что методики измерений интегральной токсичности воды, почв воздушной среды, химических материалов и изделий с помощью биосенсора «Эколюм» имеют свидетельство о метрологической аттестации, зарегистрированы в Департаменте Государственного санитарно-эпидемиологического надзора РФ и Государственном комитете по экологии.

Влияние ЭМИ изучено как на бактериях, выращенных в жидкой питательной среде до начала log-фазы роста, а затем высеянных на агаризованную питательную среду и выращиваемых в оптимальных условиях, так и на регидратированных лиофильновысушенных бактериях в экспрес-методе. В качестве источника ЭМИ применяли «тестовый мобильный телефон» GSM900 (модель GF337, Ericsson, Швеция). Мощность сигнала составляла 2 Вт, частота 905 МГц. Изменения интенсивности биолюминесции регистрировали количественно на люминометре «Биотокс» (Россия).

При использовании экспресс-метода обнаружено, что однократное облучение в течение 1 и 2 часов приводит в ранние сроки после облучения к некоторой стимуляции биолюминесценции, за которой следует ее выраженное подавление на 25-30%. Параллельно наблюдается снижение интенсивности потребления кислорода. Это может свидетельствовать о нарушении функционирования электрон-транспортной цепи, работой которой обусловлено и дыхание, и генерация кванта света в люминесцентной системе. В экспериментах с бактериями, находящимися в условиях, оптимальных для роста, регистрируемые изменения интенсивности биолюминесценции связаны, по-видимому, не только с изменениями метаболизма, ведущими к нарушению функционирования биолюминесцентной системы, но и с отмеченным нами подавлением клеточного деления. Модификация радиационных эффектов ЭМИ экзогенными донорами оксида азота может свидетельствовать об участии активных форм кислорода в генерации изменений, регистрируемых при электромагнитном облучении.

Таким образом, тест-система, основанная на регистрации бактериальный люминесценции, отвечает выраженными количественными изменениями на ЭМИ-облучение. Ряд характеристик этой системы (высокая чувствительность, воспроизводимость эффектов, простота осуществления анализов) делает эту систему перспективной для первичной санитарно-гигиенической оценки повреждающего действия ЭМИ.

# ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ АКТИВНОСТЬ НАДПОЧЕЧНИКОВ КРЫС ПРИ ДЕЙСТВИИ РАДИОЧАСТОТНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ НИЗКИХ ИНТЕНСИВНОСТЕЙ

*С.Ю.Перов*[1], *Ю.Б.Кудряшов*[1], *Е.Н.Макарова-Землянская*[2]
[1]Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия,
perov1980@mail.ru
[2]Московский государственный университет путей сообщения (МИИТ), Москва, Россия,
helen456@mail.ru

Отсутствие специфических биологических реакций на действие электромагнитных полей радиочастотного диапазона (ЭМП РЧ) низких интенсивностей заставляет рассматривать влияние на отдельные процессы, в том числе и нейроэндокринные реакции стрессорного характера, где ведущая роль отводится надпочечникам. Характер эндокринной реакции организма на стресс представляется целесообразным оценивать не по абсолютному содержанию глюкокортикоидов в крови, а по динамике их концентрации в процессе действия исследуемого фактора. Используя указанные критерии можно оценить степень и характер стрессорного влияния ЭМП РЧ и проследить их развитие во времени.

В выполненных исследованиях оценивалось действие немодулированного ЭМП РЧ частотой 170 МГц для трех уровней экспозиции (15; 25 и 35 В/м) при облучении лабораторных животных, исходя из функционального состояния надпочечников. Эксперимент проводился на 96 беспородных крысах-самцах массой 200-220 г, которые были разделены на две равные группы: 48 опытная и 48 контрольная. Животные в радиопрозрачных метаболических клетках облучались ЕНК ориентации в течение 15 дней в камере, в которой распространялась плоско поляризованная электромагнитная волна (ТЕМ-камера). Контрольные крысы содержались в идентичных условиях, но без включения ЭМП (ложное облучение).

Перед проведением экспериментальной части исследований была разработана численная модель классической по Crowford ТЕМ-камеры с помощью программного продукта SEMCAD X 14.8 (SPEAG AG, Швейцария). В модели были созданы требуемые уровни экспозиции. После оптимизации модели, в области рабочей зоны ТЕМ-камеры размещались численные фантомы крыс, и проводилась оценка удельной поглощенной мощности (УПМ) животных.

Оценка функционального состояния надпочечников животных (глюкокортикоидная функция) выполнялась путем определения уровней суточной экскреции кортикостерона в моче. Полученные данные показывают статистически значимое ($p<0,05$) увеличение концентрации кортикостерона в моче уже на 8 сутки при экспозиции 25 В/м и средней УПМ 19,38 мВт/кг, а при 35 В/м и средней УПМ 37,98 мВт/кг изменение концентрации кортикостерона регистрировалось уже на 4 сутки облучения. Однако к 15-м суткам экспозиции содержание кортикостерона не отличалось от контрольных значений для всех трех уровней ЭМП. Облучение при 15 В/м и средней УПМ 6,97 мВт/кг не оказывало достоверного влияния на исследуемые показатели в течение всего срока экспозиции.

Таким образом, на основании полученных данных, экспозиция немодулированным ЭМП частотой 170 МГц при интенсивности 25 В/м и выше оказывает влияние на функцию надпочечников, причем при облучении с уровнем 35 В/м на 15 сутки наблюдается устойчивая адаптация к воздействующему фактору.

# РОЛЬ АКТИВНЫХ ФОРМ КИСЛОРОДА И ПРОЦЕССА ПОЛ ПРИ ДЕЙСТВИИ НАНОМАТЕРИАЛОВ НА ПЛАЗМАТИЧЕСКИЕ МЕМБРАНЫ МАКРОФАГОВ

*С.К. Пирутин[1,2], В.Б. Туровецкий[1], Ю.Б. Кудряшов[1]*
[1]Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова,
биологический факультет, Москва, Россия,
[2]Институт экспериментальной и теоретической биофизики РАН, Пущино, Россия,
pirutin@yandex.ru

В работе изучено повреждающее действие гидроксилированного фуллерена $C_{60}(OH)_{25}$ и наночастиц серебра препарата «Повиаргола» на мембраны перитонеальных мышиных макрофагов. Работа проведена с использованием микрофлуориметрическаго метода анализа животной клетки.

В работе показано, что выраженность повреждающего действия гидроксилированного фуллерена $C_{60}(OH)_{25}$ на мембраны перитонеальных мышиных макрофагов возрастает при увеличении его концентрации в среде инкубации (от 0,005 до 0,5 мг/мл), температуры инкубации (от 22°С до 37°С) и времени инкубации (от 30 до 90 мин). В условиях $H_2O_2$ – индуцированного повреждения мембран фуллерен в концентрации 0,05 мг/мл повышает эффективность повреждающего действия $H_2O_2$, а в концентрации 0,5 мг/мл снижает ее. При УФ – индуцированном повреждении клеточных мембран мембранотропное действие излучения возрастало при предварительном добавлении наночастиц $C_{60}(OH)_{25}$ в среду инкубации и снижалось при добавлении их после окончания облучения.

Проведенные исследования также показали, что повреждающее действие наночастиц «Повиаргола» наблюдается, начиная уже с его концентрации 2 мкг/мл, достигая максимальных значений при концентрации 10-12 мкг/мл. Снижение температуры инкубации от 30 до 4ºС приводит к усилению мембранотропного эффекта препарата. Однако, в интервале от 37 до 30ºС наблюдается обратная зависимость. Повреждающее действие «Повиаргола» усиливается при повышении pH среды инкубации до 8,4, а также при возрастании концентрации ионов кальция в среде до 8 ммоль/л. Эффект повреждения снижается при уменьшении pH среды до 6,3, а также при действии радиопротектора серотонина.

В работе обсуждается важность участия АФК (активных форм кислорода) и процессу ПОЛ (перекисного окисления липидов) в механизмах реализации повреждающего действия исследованных наночастиц на мембраны перитонеальных мышиных макрофагов.

# ОЦЕНКА УРОВНЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЧАСТОТЫ 50 ГЦ ВБЛИЗИ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕТКРОПЕРЕДАЧИ В МОСКОВСКОМ РЕГИОНЕ ПО КРИТЕРИЯМ IARC

*А.С.Прокофьева[1,2], О.А.Григорьев[1]*

[1]ГНЦ РФ - Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна ФМБА России, Москва, Россия,

[2]Испытательная лаборатория «Центр электромагнитной безопасности», Москва, Россия,

nashome@mail.ru

В 2002 г. Международное агентство по исследованию рака (IARC) классифицировало магнитное поле (МП) промышленной частоты (ПЧ) как возможный канцероген класса 2 В. Лимитирующим значением стал диапазон 0,3-0,4 мкТл. В 2007 г. Всемирной организацией здравоохранения (ВОЗ) выпустила рекомендации, в которых подтверждала лимитирующие значения величины МП ПЧ, предложенные IARC. В то же время на территории Российской Федерации начал действовать гигиенический норматив ГН 2.1.8/2.2.4.2262-07, по которому безопасный уровень МП ПЧ для населения при хроническом облучении определялся 5 мкТл, что в 17 раз больше рекомендованного уровня ВОЗ и IARC.

Таким образом, является актуальной задача оценки и анализа риска возможной заболеваемости людей подверженных хроническому воздействию МП ПЧ с интенсивностью 0,4-5,0 мкТл. Эта задача особо остро стоит в условиях прогрессирующей тенденции приближения жилой застройки к воздушной линии электропередачи (ВЛЭП) и изменения трассировки ВЛЭП в Московском регионе.

В данной работе представлены результаты многолетнего мониторинга вблизи ВЛЭП напряжением 110 кВ, 220 кВ и 500 кВ в Московском регионе. Измерения выполнены в 1098 точках, общее количество измерений – 1244. Измерения проводились по трассам, которые были направлены перпендикулярно к проводам ВЛЭП. Длина трасс составила от 25 м до 90 м. Для проведения измерений МП ПЧ использовался прибор EFA-3, имеющий государственный калибровочный сертификат. Датчик располагался на высоте 1,8 м от земли. Представленные результаты измерений учитывают положительную погрешность прибора.

Для ВЛЭП каждого класса были определены максимальные, минимальные и средние значения плотности магнитного потока (с доверительным интервалом). Приводятся графики распределения значений плотности магнитного потока для ВЛЭП каждого класса напряжения, изменения плотности магнитного потока в зависимости от расстояния от провода для ВЛЭП 220 и 500 кВ, распределение расстояния от проекции крайнего провода при значении плотности магнитного потока 0,2 мкТл для 110 кВ, 220 кВ и 500 кВ.

При применении критерия IARC ширина полосы селитебной территории со значениями МП ПЧ 0,2-5,0 мкТл составляет от 15 до 85 м в зависимости от класса напряжения ВЛЭП. Санитарно-защитная зона, полученная по СанПиН 2971-84, во всех случаях находится внутри зоны со значениями МП ПЧ 0,2-5,0 мкТл. В среднем граница территории со значениями МП ПЧ не менее 0,2 мкТл больше СЗЗ в 2 раза. Зона жилой застройки в современных условиях Московского региона фактически может располагаться в полосе селитебной территории со значениями 0,2-5,0 мкТл.

# РАДИОЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ СТРУКТУРНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ ТОНКОЙ КИШКИ В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ ИМПУЛЬСОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

*О.А. Свиридова*
Воронежская государственная медицинская академия им. Н.Н. Бурденко,
Воронеж, Россия,
z.vorontsova@mail.ru

Экспериментальная модель эквивалентная условиям работы персонала обслуживающего испытательные установки по выявлению воздействующих импульсов электромагнитных полей (иЭМП) была выполнена на 350 лабораторных крысах-самцах в течение 5, 7 и 10 месяцев. Плотность наведенных токов (ПНТ) в теле животных, сопоставимая уровням токов в теле человека при его профессиональной деятельности, составила 0,37; 0,7; 0,8 и 2,7 кА/м2 с периодичностью 50, 100 и 500 импульсов в неделю (И/н) независимо от их дробности ультракороткой длительностью 15 ÷ 40 нсек. При извлечении фрагмента тощей кишки после декапитации на гистологических срезах подсчитывали митотически делящиеся недифференцированные эпителиоциты крипт, определяли светооптическую плотность кислой и щелочной фосфатаз исчерченной каемки энтероцитов, а также подсчитывали общее число тучных клеток собственной пластинки слизистой оболочки тощей кишки с идентификацией их морфофункциональных типов. Анализ изменений гистоэнзиматических показателей, выявил их достоверную зависимость от всех параметров иЭМП. Активность внутриклеточного метаболизма, оцениваемая по ферменту кислая фосфатаза, обеспечивающему не только пищеварительную, но и защитную функцию, в условиях эксперимента достоверно зависела от ПНТ и продолжительности воздействия иЭМП. Изменение активности щелочной фосфатазы, определяющей процессы всасывания и являющейся системой трансмембранного переноса, достоверно зависела только от времени и имела обратную направленность. На митотическую активность недифференцированных эпителиоцитов крипт слизистой оболочки тощей кишки, относящегося к обновляющейся клеточной популяции и используемого в качестве одного из критериев оценки радиочувствительности, из совокупности действующих параметров иЭМП наиболее существенно влияли только продолжительность воздействия и ПНТ, эффекты которых имели обратную зависимость, приводя к снижению уровня пролиферации во временной динамике. Радиочувствительность популяции тучных клеток, принимающих участие в регуляции тканевого гомеостаза, а также реакциях адаптации на изменения условий внутренней и внешней среды, напрямую зависела от продолжительности воздействия иЭМП и ПНТ, причем их биоэффекты были однонаправленными. Морфофункциональные типы тучных клеток имели разнонаправленный характер изменений от всех параметров иЭМП, с увеличением числа недегранулированных тучных клеток, эквивалентных неактивным, определяющим состояние покоя формам, в хронодинамике и обратным эффектом для ПНТ.

Таким образом, вариабельность формирования биотропного эффекта иЭМП в радиочувствительности морфологических эквивалентов функционального состояния слизистой оболочки тощей кишки, позволила выявить гиперчувствительность тучноклеточной популяции и щелочной фосфатазы исчерченной каемки энтероцитов, показав их избирательную чувствительность, а также предположить реализацию «время-эффект», позволяющего оценить риск хронического облучения для некоторых морфоэнзиматических показателей от всех воздействующих параметров иЭМП.

# О ПЕРСПЕКТИВАХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОПТИЧЕСКИХ ИЗЛУЧЕНИЙ В ЖИВОТНОВОДСТВЕ

*А.И. Свитин, Н.Ю. Калязина*
Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева,
Аграрный институт, Саранск, Россия,
rty125555@rambler.ru.

Для улучшения качества жизни животных и обеспечения рождения здорового потомства необходимо применение новых методов лечения. К числу таких методов и относится квантовая терапия животных, обеспечивающая снижение уровня лекарственной агрессии, повышение иммунитета, активацию неспецифической резистентности организма и увеличению продолжительности детородного возраста.
Известно, что изучение оптического диапазона спектра является одним из наиболее тонких и действенных инструментов воздействия на вещество и живые организмы.

Физиотерапевтический подход с применением квантовой терапии к лечению заболеваний и реабилитации животных значительно расширяет возможности врачей-практиков в ветеринарии. Малые мощности энергетического воздействия, применяемые в квантовой терапии, абсолютно безопасны. Квантовое воздействие запускает скрытые резервные адаптационные возможности организма, как на уровне отдельной клетки, так и всей биологической системы в целом, повышая иммунитет и мобилизуя защитные силы организма на активное сопротивление возникшим отклонениям в функционировании живого организма. Применяемые для лечения электромагнитные воздействия, находятся в резонансе с энергоинформационными процессами живых организмов.

Таким образом, современный подход с применением квантовой терапии к лечению заболеваний и реабилитации животных значительно расширяет возможности врачей-практиков в ветеринарии. Квантовая медицина основана на целенаправленном воздействии малых доз электромагнитных излучений (квантов) для лечения, диагностики, профилактики и реабилитации пациентов. Квантовая терапия находит все большее применение при лечении таких болезней, как онкологические заболевания, сердечно-сосудистые заболевания, заболевания опорно-двигательного аппарата, мочекаменной болезни, аллопеций и бесплодия.

# МОДИФИКАЦИЯ СВОЙСТВ ЛЕКАРСТВЕННЫХ СРЕДСТВ ВОЗДЕЙСТВИЕМ НИЗКОИНТЕНСИВНОГО ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

*Б.П.Суринов, В.Г.Исаева, А.Н.Шарецкий, Л.П.Жовтун*
Медицинский радиологический научный центр Минздрава РФ, Обнинск, Россия,
surinov@mrrc.obninsk.ru

Изучали влияние низкоинтенсивного лазерного излучения (мощность источника 5mW, длина волны 650 nm) на свойства иммуномодулирующих препаратов, оцениваемые по влиянию на тимусзависимый гуморальный иммунный ответ лабораторных мышей линии СВА. Показатели исследуемых эффектов - рекомендуемые для доклинических испытаний клеточность лимфоидных органов и содержание антителообразующих клеток в селезенке после введения эритроцитов барана, определяемое по методу Каннингема.

Установлено, что воздействие в течение двух минут лазерным излучением на образцы субстанций арбидола или дексаметазона, помещенных на нейтральной подложке изменяет свойства подложки - полипропиленовой пластины (в качестве подложки могут быть использованы CD- или DVD-диски). Такая подложка приобретает способность влиять на свойства физиологического раствора, помещаемого на нее в стеклянном сосуде на 15-20 минут. В результате физиологический раствор приобретает иммуномодулирующую активность, соответствующую препарату, который был обработан лазерным излучением на данной подложке. Так, физиологический раствор, экспонированный на подложке, на которой предварительно облучили арбидол, при введении лабораторным мышам с пострадиационным иммунодефицитным состоянием повышает иммунную реактивность почти до нормы. Подложка, на которой облучили субстанцию иммунодепрессанта дексаметазона, индуцирует у физиологического раствора способность угнетать иммунную реактивность. Подобные же результаты были получены в опытах с иммуностимулирующим средством галавит и с обладающими такими же свойствами L-тироксином и препаратом гидратированного фуллерена $C_{60}$.

Во всех случаях представленные результаты получены слепым методом не менее чем в двух независимых сериях наблюдений. Среди них особое внимание привлекает воспроизведение с помощью использованных здесь приемов противоположных свойств субстанций арбидола и дексаметазона, которые обладают, соответственно, иммуностимулирующей и иммуносупрессивной эффективностью. Такие же свойства, но с несколько меньшей активностью, проявляли и образцы физиологического раствора экспонирования на подложках, активированных указанным способом соответствующими препаратами.

Представленные результаты объективно подтверждают сведения о наличии у химических, биологических веществ и лекарственных препаратов сверхслабого электромагнитного излучения, специфичного для конкретного вещества. Природа такого излучения допускает возможность его переноса/воспроизведения на нейтральном носителе, включая воду, и даже дистанционной его передачи.

В настоящее время уже имеется достаточное количество о воспроизводимых в разных условиях данных, подтверждающих объективность такого явления. Эти сведения вызывают закономерную критику, так как остаются неясными некоторые физические механизмы эффекта. Тем не менее, такие эффекты привлекательны с точки зрения практического использования, различные аспекты которого нашли отражение в международных и российских заявках на изобретения (PCT/RU2012/000033 и RU №2013141233). Отдельные технические приемы этих заявок и были применены в опытах, результаты которых рассматриваются в данной работе.

# ДЕЙСТВИЕ γ-, УФ- И СВЧ-ОБЛУЧЕНИЯ НА КЛУБНИ КАРТОФЕЛЯ

*А.В. Тихонов, А.Е. Крюков*
Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии
ФАНО, Обнинск, Россия,
ti_@list.ru

Разработка новых технических приемов использования электромагнитного излучения разных диапазонов для создания экологически чистых энергосберегающих технологий в возделывании и хранении картофеля и других сельскохозяйственных культур является современной агротехнологической проблемой. Для сохранения сельскохозяйственной продукции используются различные химические средства, опасные для здоровья человека и окружающей среды. Фунгицидная обработка овощей и фруктов эффективна и увеличивает сроки их хранения. Однако такая обработка становится со временем менее действенной, так как патогены развивают иммунитет к ней. В связи с этим нами были исследованы возможности разработки экологически чистых технологий, использующих физические факторы, а именно - ионизирующее излучение и электомагнитные излучения УФ- и СВЧ-диапазонов.

В вегетационном опыте использовались клубни картофеля сорта «Сантэ», которые отбирали согласно ГОСТ 7001-66 по массе от 35 до 100 г (стандарт 1 класса). Перед посадкой клубни картофеля были рассортированы по поражению фитопатогенами: паршой обыкновенной, паршой серебристой и кольцевой гнилью. Изучение влияния предпосевного ЭМИ на рост, развитие, зараженность фитопатогенами, урожай проводили в условиях мелкоделяночного полевого эксперимента на поле ГНУ ВНИИСХРАЭ.. Дозы облучения клубней картофеля перед посадкой составили для УФ 10 кДж/м2, СВЧ1 5 кДж/м2, СВЧ2 10 кДж/м2, гамма 10 Гр. Агротехника возделывания картофеля общепринятая для данного региона. Урожай учитывали на каждой делянке. Определяли количество и массу клубней в общем урожае каждого варианта. После уборки в поле проводили анализ клубней полученного урожая на пораженность фитопатогенами.

Результат воздействие предпосевного ЭМИ на картофель зависит как от характера облучения (Уф, СВЧ, гамма), так и от вида фитопатогена. На снижение распространенности заболевания клубней в урожае для различных фитопатогенов оказывают влияние различные диапазоны ЭМИ. В условиях нашего эксперимента предпосевное УФ-облучение клубней в дозе 10 кДж/м2 достоверно ($p<0,05$) по сравнению с контролем снизило на 23% распространенность и на 40% степень развития парши обыкновенной в урожае, и на 75% распространенность фитофтороза. Предпосевное СВЧ-облучение клубней в дозе 10 кДж/м2 достоверно ($p<0,05$) снизило на 35% распространенность кольцевой гнили в урожае. Предпосевное гамма-облучение в дозе 10 Гр не оказало достоверного влияния на пораженность клубней картофеля изучаемыми фитопатогенами.

# ПСИХОФИЗИЧЕСКОЕ ЗДОРОВЬЕ ДЕТЕЙ-ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗЬЮ: РЕЗУЛЬТАТЫ ЛОНГИТЮДНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

*Хорсева Н.И.*
Институт биохимической физики им. Н.М.Эмануэля РАН Москва, Россия,
Институт космических исследований РАН, Москва, Россия,
sheridan1957@mail.ru

Цель данного исследования – изучить влияние электромагнитного излучения мобильных телефонов (МТ) на психофизическое здоровье детей и подростков.

На базе Лицея 10 г. Химки московской области, в период с 2006 по 2012 гг с помощью автоматизированного рабочего места психофизиолога проведена комплексная диагностика 237 человек (6 – 15 лет), из которых 156 детей находились под наблюдением более 2 лет Контрольная группа - 67 детей, тестовая (дети-пользователи) – 170; исторический контроль – 370 детей (6-15 лет). Далее, с 2012 года по настоящее время осуществлялась фронтальная диагностика когнитивной сферы учащихся с помощью авторской программы LUM («Локальный универсальный мониторинг» Рег. № 2012660066 от 08.11.2012).) (850 учащихся начального звена Лицея).

Результаты комплексной диагностики указывают на мультивариантность возможного воздействия излучения мобильных телефонов на нервную систему детей:

- увеличивается время реакции на звуковой и световой сигнал при достижении определённого суммарного времени пользования ребёнком мобильным телефоном (в частности для детей 7 лет оно составило 360 и 730 мин соответственно);
- у всех детей зарегистрировано увеличение числа нарушений фонематического восприятия: у детей 7-8-летнего возраста, как правило, проявляется контралатеральный, а у детей старше 8 лет – ипсилатеральный эффект;

Установлено, что у 7-летних детей-пользователей мобильной связью (по сравнению с контрольной группой):

- выявлена тенденция к снижению показателя «продуктивность» выполнения теста, при этом показатели точности находились в пределах возрастной нормы
- изменение показателей смысловой памяти имеют следующие закономерности:

при длительности пользования 0,5 года:

- если нагрузка не превышала 2 мин/день - увеличение показателей точности и уменьшением времени выполнения задания, что может объясняться стресс - реакцией на излучение МТ;
- если нагрузка более 20 мин/день – уменьшение показателей точности на 30% и увеличении времени выполнения задания в 1,4 раза.

при длительности пользования 1 год:

- если нагрузка не превышала 2 мин/день – увеличение времени выполнения задания в 1,3 раза;
- если нагрузка более 20 мин/день – увеличение времени выполнения в 1,69 раза и снижение точности на 20%.

Подобные изменения выявлены для учащихся и других возрастных групп.

В целом по всем возрастным группам установлено, что в 39,7% случаев было зарегистрировано увеличение показателя утомляемости, причем в 30,3% случаев это увеличение было значительным. Показатели работоспособности снижались в 50,7% случаев.

Таким образом, пользование МТ может негативно влиять на психофизическое здоровье детей и отразиться на их успешности при обучении в образовательном учреждении.

# ОТВЕТНАЯ РЕАКЦИЯ ПРОРОСТКОВ ПОДОРОЖНИКА СРЕДНЕГО НА ДЕЙСТВИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЧАСТОТЫ (50 Гц)

*М.М. Шашурин, А.Н. Журавская*
Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, Якутск, Россия,
inwertaza@mail.ru

Целью настоящего исследования являлось изучение ответных физиолого-биохимических и цитологических реакций проростков подорожника среднего при действии электромагнитных полей промышленной частоты (50 Гц) с различными параметрами напряженности электрического и индукции магнитного поля.

Тестовым объектом являлись проростки подорожника среднего (*Plantago media* L.). Семена проращивали в чашках Петри на фильтровальной бумаге при температуре 20–24$^0$С и 16 ч световом периоде, по 50 шт. в четырех повторностях. В течение 7 дней семена прорастали при постоянном воздействии ЭМП промышленной частоты (50Гц).

Экспериментально показано, что действие ЭМП (электромагнитных пролей) в диапазоне Е=350÷1800 В/м и В=550÷2000 нТл вызывало снижение в 1.2 - 1.5 раз всхожести семян *P. media* и в 1.6 – 3.9 раз митотической активности апикальной меристемы корешков проростков относительно контроля. При действии ЭМП с параметрами Е=500÷1000 В/м и В=800÷1150 нТл наблюдалось увеличение в 1.3 раза длины корешка проростка относительно контроля.

Содержание МДА (малоновый диальдегид) и НМАО (низкомолекулярные антиоксиданты) при 500-1000 В/м и 800-1150 нТл повышалось в 1.6 и 1.3 раза в клетках тканей проростков *P. media* соответственно, что указывает на одновременную интенсификацию про- и антиоксидантных процессов. При этом данные показатели снижались в 2.7 (МДА) и 3.2 (НМАО) раза при Е=1800 В/м и В=2000 нТл относительно контрольного значения.

Изменение активности фермента СОД (супероксиддисмутаза) при действии ЭМП в диапазоне Е=12÷1800 В/м и В=50÷2000 нТл носило аналогичный характер, что указывает на синхронное изменение параметров низкомолекулярных и ферментативных систем антиоксидантной защиты в тканях проростков *P. media*.

Таким образом, электромагнитные поля промышленной частоты (50 Гц) с параметрами Е=230÷1800 В/м и В=350÷2000 нТл способны вызывать изменения физиолого-биохимических и цитологических характеристик проростков семян *P. media*. Установлено, что по мере увеличения значений напряженности электрического и индукции магнитного поля наблюдалось снижение на 10—30% интенсивности протекания процессов биосинтеза ДНК и белка в тканях корешков по сравнению с контролем, что указывает на негативное действие ЭМП в изученном диапазоне. В то же время наблюдалась интенсификация в 1.2–1.6 раза биосинтеза фотосинтетических пигментов при действии ЭМП во всем изученном диапазоне интенсивностей суммарного содержания зеленых пигментов (хл. a+b) и в 1.3–1.6 раза – содержания каротиноидов, относительно контроля. Сопоставление данных физиологических и биохимических исследований показало прямую взаимосвязь между длиной корешка и работой прооксидантно–антиоксидантных систем *P. media* на начальных этапах онтогенеза.

# ЭФФЕКТЫ ВОЗДЕЙСТВИЯ НЕИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА РЕПРОДУКТИВНУЮ ФУНКЦИЮ САМОК ПРИ РАЗНЫХ МОДЕЛЯХ ЭКСПЕРИМЕНТА

*Д.З. Шибкова, Т.В. Шилкова, А.В. Овчинникова*
Челябинский государственный педагогический университет, Челябинск, Россия,
shibkova2006@mail.ru

При исследовании эффектов воздействия электромагнитного излучения радиочастотного (ЭМИ РЧ) диапазона на биологические объекты, по мнению многочисленных отечественных и зарубежных ученых одним из доминирующих показателей отдаленных последствий является состояние репродуктивной функции и особенности развития потомства облученных животных. Целью данного исследования было проведение модельного эксперимента по выявлению биологических эффектов воздействия ЭМИ РЧ на репродуктивную функцию экспериментальных животных, течение эмбрионального и постэмбрионального периодов развития потомства от облученных родителей и использование результатов для экстраполированного прогнозирования негативного влияния исследуемого фактора на здоровье человека.

В эксперименте были использованы самцы и самки линии СВА и их потомство. Опытную группу беременных самок, а также группу не спаренных самцов и самок подвергали воздействию ЭМП РЧ диапазона с интенсивностью 1,2 мВт/см² по 10 минут в течение 5 дней. Аналогичные группы контроля подвергались «ложному облучению». После облучения проводилось спаривание самцов и самок контрольной и опытной групп. Анализировали изменения репродуктивной функции и морфофункционального состояния потомства облученных животных на протяжении 3-х поколений. Была проведена сравнительная оценка эффекта воздействия исследуемого фактора при двух моделях облучения: первая – самки, облученные в период беременности; вторая - самки и самцы, облученные до спаривания. В ранее проведенных нами исследованиях эффекта негативного воздействия ЭМИ РЧ на течение беременности и развитие потомства облученных животных было установлено достоверное снижение количества родивших самок на 26% ($p \leq 0,05$), а также отмечалось сокращение общей численности потомства на 33% ($p \leq 0,05$) в опытной группе животных по отношению к контрольной. Потеря способности к размножению в ходе исследования репродуктивной функции потомства облученных самок в динамике трех поколений не была выявлена, однако отмечено снижение выживаемости детенышей до 30-ти суточного возраста на 12% (I поколение), 22% (II поколение) по сравнению с группой ложнооблученных животных. По результатам настоящего исследования влияния ЭМП РЧ диапазона на репродуктивную функцию самцов и самок мышей СВА, подвергшихся облучению до спаривания, установлено сокращение количества нормальных родов у самок на 20% ($p \leq 0,05$), что привело к уменьшению общей численности потомства на 18% ($p \leq 0,05$) по сравнению с контрольной группой животных. Следует отметить, что наличие повышенной гибели детенышей на первых неделях жизни привело к изменениям коэффициента сохранности потомства к 30-ти суточному возрасту и составило в группе «ложное облучение» 72,6% и в экспериментальной группе 56,5% ($p \leq 0,05$) соответственно. Оценка морфометрических показателей потомства, появившегося от 2-х экспериментальных групп по отношению к контрольным группам, показала, что достоверных различий по показателям массы и размеров плодов до 30-ти суточного возраста не выявлено. Сравнительный анализ результатов, полученных в ходе проведения двух модельных экспериментов, показал, что наибольший эффект негативного влияния исследуемого фактора проявился у самок, облученных в период беременности.

# СЕКЦИЯ 7

# РАДИОЭКОЛОГИЯ

# ВКЛАД $^{90}$Sr В ДОЗУ ОБЛУЧЕНИЯ НАСЕЛЕНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

*В.С. Аверин, К.Н. Буздалкин, Е.В. Копыльцова, Е.К. Нилова, Э.Н. Цуранков*
Институт радиологии МЧС Республики Беларусь, Гомель, Беларусь,
buzdalkin@tut.by

На территории радиоактивного загрязнения Республики Беларусь дозы облучения населения формируются, в основном, за счет потребления продуктов питания местного производства и лесной продукции (природные источники облучения не учитываются). В среднем по республике вклад $^{90}$Sr в индивидуальную эффективную дозу облучения порядка 1%.

Основу рациона населения наряду с молоком, картофелем и мясом составляет овощная продукция. Информация по содержанию $^{90}$Sr в овощных культурах по Республике Беларусь практически отсутствовала, что было связано с тем, что данный вид продукции по $^{90}$Sr не нормировался. Однако после вступления Беларуси в Таможенный Союз были приняты единые нормативы по содержанию $^{90}$Sr в овощной продукции. Институт радиологии исследовал процессы миграции $^{90}$Sr из почвы в овощные культуры с учетом гранулометрического состава почв, показателей почвенного плодородия, системы применения удобрений. Была выполнена оценка вклада различных компонент рациона в дозу внутреннего облучения.

Установлено, что в ряде населённых пунктов, расположенных вблизи 30-км зоны отчуждения Чернобыльской АЭС, вклад $^{90}$Sr в индивидуальную дозу может достигать 20%, а в дозу внутреннего облучения – 50%. До 60% дозы внутреннего облучения от $^{90}$Sr дети школьного и дошкольного возраста могут получать за счет потребления овощей, выращиваемых в хозяйствах административных районов их проживания. Оставшиеся 40% дозы формируется пищевой продукцией из приусадебных участков и потреблением молока.

За счет более высокого перехода $^{90}$Sr из почвы в растения при сопоставимых уровнях загрязнения территории $^{137}$Cs и $^{90}$Sr ($Бк{\cdot}м^{-2}$), содержание $^{90}$Sr в пищевой продукции в ряде случаев превышает содержание $^{137}$Cs. Дозовый коэффициент ($Зв{\cdot}Бк^{-1}$) $^{90}$Sr больше, дозы внутреннего облучения от стронция могут превышать дозы от цезия. Вклад от стронция зависит от соотношения содержания этих радионуклидов в почве и уже при равной плотности загрязнения стронцием и цезием определяет радиационно-гигиеническую обстановку в населённом пункте.

Вклад в дозу внутреннего облучения отдельных продуктов питания местного производства должен определять выбор защитных мероприятий. Резервы по снижению содержания $^{90}$Sr в молоке за счет создания окультуренных пастбищ и сенокосов, подбора наиболее подходящих участков практически себя исчерпали. В качестве эффективного и малозатратного мероприятия по снижению доз облучения критической группы населения (детей) в населенных пунктах, где уровни загрязнения $^{90}$Sr значительны, предлагается закупка продуктов питания и продовольственного сырья школами и дошкольными учреждениями в менее загрязненных регионах.

За последние 17 лет не произошло снижения содержания $^{90}$Sr в картофеле, молоке и овощах, производимых в личных подсобных хозяйствах большинства загрязненных районов Гомельской области (несмотря на процесс радиоактивного распада). Этот факт должен учитываться при долгосрочном прогнозе доз внутреннего облучения населения $^{90}$Sr и планировании защитных мероприятий. В дозиметрической модели заложено резкое экспоненциальное снижение уровней загрязнения $^{90}$Sr продуктов питания в отдалённый поставарийный период, которое должно быть скорректировано.

# ПЕРЕХОД ТРАНСУРАНОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В МОЛОКО КОЗ ИЗ ПОЧВЕННОЙ КОМПОНЕНТЫ РАЦИОНА

*В.С. Аверин, А.Б. Кухтевич, С.А. Тагай, А.А. Царенок*
Институт радиологии МЧС Республики Беларусь, Гомель, Беларусь,
office@rir.by, lanabuz@tut.by

Продолжительные периоды полураспада α-излучающих трансурановых элементов ТУЭ – $^{241}$Am и $^{238,239+240}$Pu чернобыльского генезиса определяют высокую радиоэкологическую актуальность их потенциального вовлечения в биологический круговорот. Перенос ТУЭ в сельскохозяйственной сфере в конечном итоге оказывает воздействие и на самого человека. Среди продуктов животноводства к числу «критических» по радиационному фактору относится молоко. За пастбищный период мелкий и крупный рогатый скот потребляет с травой около 75 и 600 кг почвы, соответственно. С учетом невысоких переходов $^{241}$Am и изотопов Pu в травяные корма, почвенная компонента может обусловить основной вклад в загрязнение молока этими радионуклидами.

Проведены физиологические опыты на 12 лактирующих козах, получавших $^{241}$Am и $^{238,239+240}$Pu чернобыльского происхождения в форме почвенной затравки (минеральная почва – 6 коз и органогенная почва- 6 коз) в течение двух сроков скармливания – 80 и 160 суток. Суммарная активность ТУЭ, которую потребляли подопытные животные с минеральной и органогенной почвой, составляла около 300 и 1400 Бк·сутки$^{-1}$, соответственно.

Впервые получены параметры перехода – $\boldsymbol{F_m}$*(сутки·л$^{-1}$)*-коэффициент перехода, ***CR***-концентрационное отношение америция и изотопов плутония в молоко коз из почвенной компоненты рациона. Параметры рассчитаны с учетом рекомендаций МАГАТЭ (TRS-472, TECDOC-1616).

Установлено, что параметры $\boldsymbol{F_m}$ и ***CR*** америция и плутония для молока коз не являются постоянными величинами, а зависят от длительности поступления загрязненной этими элементами почвенной компоненты. Это обусловлено тем, что равновесие $^{241}$Am и $^{238,239+240}$Pu в организме животных не наступает в течение всей их продуктивной жизни. На 160 сутки скармливания органогенной почвенной затравки $\boldsymbol{F_m}$ $^{241}$Am и $^{238,239+240}$Pu в молоко увеличился до 4-х и 3-х раз, соответственно, по сравнению с $\boldsymbol{F_m}$ этих радионуклидов на 80 сутки. Средние значения коэффициентов перехода $\boldsymbol{F_m}$ $^{241}$Am и $^{238,239+240}$Pu в молоко коз из органогенной почвы за каждый период 80 и 160 суток превышают до 1,5 раз таковые параметры за аналогичный период из минеральной почвы. Вместе с тем, размеры перехода $^{241}$Am в молоко коз для двух типов почвенной компоненты сопоставимы и находятся в одном порядке величины с данными справочника МАГАТЭ TRS-472, в котором по этому радионуклиду имеется только 2 записи для коз. Размеры перехода $^{238,239+240}$Pu в молоко коз за периоды 80 и 160 суток получены впервые и находятся в одном порядке величины с $^{241}$Am $\boldsymbol{-10^{-5}\text{-}10^{-6}}$ *сутки·л$^{-1}$,* что составляет тысячные доли процента от суточного поступления этих радионуклидов в составе рациона.

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют, что переход трансурановых элементов $^{241}$Am и $^{238,239+240}$Pu чернобыльского генезиса из почвенной компоненты рациона в молоко коз зависит в большей степени от длительности поступления, чем от типа почвенной матрицы-носителя ТУЭ.

# К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ТЕРМИНА «БИОЛОГИЧЕСКАЯ ДОСТУПНОСТЬ ПОЧВЕННОГО ВЕЩЕСТВА»

*Автушко М.И.*
Институт радиологии МЧС Республики Беларусь, Гомель, Беларусь.

Термин «биологическая доступность» часто используется при описании условий и количественных оценок накопления (поглощения, усвоения) радионуклидов растениями из почвы. Между тем, определение (дефиниция) этого термина, характеризующее его содержание и смысл, в научной литературе отсутствует, и это словосочетание обычно выступает лишь в виде вспомогательного словесного конструкта, не имеющего определенного значения. Поэтому многие исследователи в своих работах, при описании условий и количественных характеристик поглощения растениями химических компонентов из почвы, предпочитают использовать термины «*биологическая подвижность*», «*поступление радионуклидов из почвы в растения*» «*накопление радионуклидов растениями*», сознательно или интуитивно избегая термина «*биологическая доступность*» ввиду его неясности и неопределенности. Однако то, что не детерминировано (не определено, не названо), в гносеологическом отношении не существует и, следовательно, не может являться предметом или объектом исследования.

На основании результатов собственных многолетних биогеохимических и агроэкологических исследований автор предлагает следующую формулировку определения термина (и соответствующего ему понятия) «*биологическая доступность*»: ***биологическая доступность почвенного вещества (почвенного химического компонента) – это способность компонента быть поглощенным корнями растения в течение вегетационного периода***.

В контексте задач радиоэкологических, биогеохимических или агрохимических исследований это определение относится к неорганическим ионам (радионуклидам, компонентам питания растений, тяжелым металлам), находящимся в почве в физико-химических состояниях («формах»), из которых они могут поглощаться растениями агроценоза в процессе их роста, и к ионам, высвобождаемым за этот промежуток времени из органических соединений, подвергшихся химической деструкции. Растение может поглотить ион химического элемента из почвы, если он будет находиться в почве в состоянии, доступном корням, если он может двигаться к корням, и если скорость этого движения достаточна, чтобы достигнуть корня за время его жизнедеятельности. Термин «*биологическая доступность*» в принятом понимании ограничивает понятие доступности процессами, которые связаны с корневым снабжением растений питательными веществами, протекают при непосредственном участии растений – под влиянием их корней, и вне этого влияния реализованы быть не могут. Параметрами биологической доступности являются коэффициенты перехода компонента из почвы в растения (относительные параметры), и оценки суммарного количества компонента в почве, потенциально способного быть поглощенным корнем за время его жизнедеятельности (абсолютные параметры). Для оценки абсолютных параметров биологической доступности почвенного компонента можно использовать методы истощения почв, методы проростков, или извлечение компонента из почвы кислотными или солевыми экстрагентами. Обязательным требованием к таким оценкам является их тесная статистически достоверная количественная связь с содержанием соответствующего компонента в растении, которая будет свидетельствовать, что количество компонента, составляющее оценку абсолютного параметра его биологической доступности, характеризует его нахождение в тех же позициях в составе почвенного вещества, из которых он извлекается и поглощается корнем растения.

# ВЛИЯНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ И ХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СОСТОЯНИЯ ПОЧВ НА ПОДВИЖНОСТЬ И БИОЛОГИЧЕСКУЮ ДОСТУПНОСТЬ $^{60}$CO И $^{65}$ZN И ИХ СТАБИЛЬНЫХ АНАЛОГОВ

*В.С. Анисимов, И.В Кочетков, Д.В. Дикарев, Л.Н. Анисимова, Ю.Н. Корнеев*
Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии ФАНО, Обнинск, Россия,
vsanisimov@list.ru, ikochetkoff@gmail.com

В настоящем исследовании мы попытались, применив подходы В.Б. Ильина – Г.Я. Ринькиса, исходя из природного разнообразия физико-химических свойств разных типов и видов некарбонатных и карбонатных почв Европейской части России, установить количественные связи между показателями, отражающими физико-химические свойства почв и, показателями, характеризующими биологическую доступность «природного» цинка и радиоактивного цинка.

На основании исследования зависимости между основными физико-химическими свойствами почв и накоплением в надземной части ячменя $^{65}$Zn и $^{60}$Co была оценена способность почв ограничивать подвижность радионуклидов (РН) в системе почва – растение. Определена роль каждого из выбранных показателей состояния почв в процессе накопления РН растениями и произведено их ранжирование по степени воздействия на данный процесс. Также определена роль рассмотренных показателей состояния почв в накоплении природных Zn и Co растениями.

Для этого была проведена многоэтапная процедура. Сначала с помощью факторного анализа (метода главных компонент) количество входных переменных (физико-химических показателей состояния почв) было редуцировано: взаимозависимые переменные были представлены в виде ортогональных (независимых) факторов, представляющих собой их линейные комбинации. В итоге было отобрано 5 ортогональных переменных, две из них являлись сложными и были обозначены как фактор 1 и фактор 2. Это позволило использовать модель множественной линейной корреляции между физико-химическими показателями состояния почв и коэффициентом накопления (КН) $^{65}$Zn ($Zn_{стаб}$), равно как и $^{60}$Co ($Co_{стаб}$). Результаты, полученные с помощью регрессионных моделей, были использованы для ранжирования выбранных физико-химических показателей состояния почв по степени влияния на величину коэффициента накопления ячменем:

- ($^{65}$Zn): свободные карбонаты (Ca и Mg) > Zn (подв.) > Fe (подв.) > качественный и количественный состав гумусовых веществ > кислотность > подвижный фосфор;
- (Zn): свободные карбонаты (Ca и Mg) > качественный и количественный состав гумусовых веществ > Fe (подв.) > подвижный фосфор ≈ кислотность.

Анализ КН (Zn/$^{65}$Zn) позволил заключить, что доля доступного растениям Zn от количества металла в подвижной форме (1 М HCl - вытяжка) для исследованных почв составляет, в среднем, 55%, а от валового количества Zn в почвах – всего 12%.

Аналогичное ранжирование физико-химических показателей состояния почв было проведено и в варианте с $^{60}$Co:

качественный и количественный состав гумусовых веществ > кислотность > подвижный фосфор > свободные карбонаты (Ca и Mg) > Fe (подв.)

Влияние природного Co на снижение корневого поглощения $^{60}$Co в результате конкурентного взаимодействия соответствующих ионов в системе почва – растение не выявлено. Установлено, что значительная часть стабильного Co в почвах зафиксирована в недоступном растениям состоянии, а потенциально доступные его количества (извлекаемые с помощью 1 М HCl вытяжки) составляют около 35 % от валового количества.

# ВНУТРИ- И МЕЖГОДОВАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ АНОМАЛИЙ В РАЗВИТИИ ПОТОМСТВА ДИКОРАСТУЩИХ РАСТЕНИЙ ИЗ ЗОНЫ ВУРСа

*Е.В.Антонова*[1], *В.Н.Позолотина*[1], *Э.М.Каримуллина*[1,2]
[1]Институт экологии растений и животных УрО РАН, Екатеринбург, Россия,
selena@ipae.uran.ru, pozolotina@ipae.uran.ru
[2]Университет Калифорнии, Департамент развития и клеточной биологии, Ирвайн, США, ekarimul@uci.edu

Обобщены данные по частоте встречаемости аномалий на ранних стадиях развития растений из зоны Восточно-Уральского радиоактивного следа (ВУРСа). Радионуклидное загрязнение данной территории сформировалось в 1957 г. в результате аварии на ПО «МАЯК» (Челябинская область). Вторичное загрязнение площадок произошло спустя 10 лет в результате сдува радиоактивного ила и песка с обмелевшего оз. Карачай. Современные дозовые нагрузки на материнские растения и зародыши семян на буферных участках превышают фоновые значения в 2–5 раз, а на импактных – в 43–110 раз (Karimullina et al., 2013). Эти значения соответствуют малым дозам для растительных объектов.

Результаты многолетних наблюдений свидетельствуют о генетическом грузе, проявляющемся в повышении частоты мутаций и морфозов в облучаемых популяциях 20 видов растений: одуванчика (*Taraxacum officinale* s.l.), подорожников (*Plantago major* L. и *P. media* L.), дремы (*Melandrium album* Mill.), звездчатки (*Stellaria graminea* L.), костреца (*Bromopsis inermis* (Leyss.) Holub), бодяка (*Cirsium setosum* (Willd.) Bess.), василька (*Centaurea scabiosa* L.), горошка (*Vicia cracca* L.), икотника (*Berteroa incana* (L.) DC.), клевера (*Trifolium medium* L.), лопуха (*Arctium lappa* L.), подмаренника (*Galium aparine* L.), пустырника (*Leonurus quinquelobatus* Gilib.) и т.д. Так, у бодяка щетинистого, расселившегося в зоне ВУРСа очень широко, на наиболее загрязненном участке до 80% растений несут мутацию типа **albina**. В импактных выборках дремы белой обнаружены растения с обоеполыми цветками, в то время как в норме у этого двудомного вида четко выражен половой диморфизм (Антонова и др., 2013). Исследование $F_1$-поколения этих растений выявило такие же фенотипические признаки, следовательно, они наследуются. Аналогичным образом проявился эффект гигантизма, присущий хронически облучаемым популяциям подорожника большого.

На примере одуванчика показано увеличение внутригодовой изменчивости проявления мутации типа **monopteros** (0–9.6%, x=3.7%) в импактной популяции по сравнению с буферной (0–3%, x=0.8%) и фоновой (0–2.9%, x=1%) выборками. При этом в разные месяцы наблюдалась асинхронность в проявлении аномалии в фоновых и хронически облучаемых выборках, что было характерно и для других видов растений.

Установлено, что в разные годы спектр морфозов в выборках менялся. В хронически облучаемых популяциях дремы доля проростков с некрозами корней и нарушениями формы семядолей ($\chi^2$=30.0–32.8, $df$=3, $p$<0.01, 2005 г.) и с нарушением гелиотропизма ($U$-тест, $n_1$=16, $n_2$=8; $p$=0.048, 2007 г.) значительно превышала фоновый уровень. Доля проростков с некрозами корней в фоновой популяции составила в среднем 7%, а в выборках ВУРСа – 56% ($n_1$=9, $n_2$=27; $p$=0.024, 2008 г.). Дополнительное облучение выявило скрытые повреждения: число проростков с хлорофильными аномалиями семядолей в буферной популяции ($n$=10; $p$=0.002) и с некрозами корней в импактных выборках увеличилось в 1.5–3 раза ($n$=10; $p$=0.007–0.023) относительно собственного необлученного контроля.

Работа выполнена при финансовой поддержке системы ведущих научных школ (проект НШ-2840.2014.4).

# СОВРЕМЕННАЯ РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ СИТУАЦИЯ В КИЕВЕ

*И.В. Белименко, И.Н. Гудков*
Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины, Киев,
ingudkov@ukr.net

Киев с почти 3-миллиннным населением официально не считается городом, загрязненным радиоактивными веществами. Хотя расположенный всего в 100 км от Чернобыльской АЭС, он был подвергнут существенному загрязнению. Радиоактивные облака, возникшие во время аварии, которые 30 апреля–3 мая двигались на юг, стали основным источником радиоактивных выпадений на город. И радиационный фон в различных районах Киева в первые дни мая достигал 1000–3000 мкР/ч.

Площадь Киева составляет около 84 тыс. га. Более половины ее занимают лесопарковые хозяйства, парки, скверы. Обладая огромной листовой поверхностью, такие экосистемы играют важнейшую роль в задержании и ограничении от дальнейшего распространения различных загрязнителей окружающей среды, в т.ч. и радионуклидов. Но при этом они становятся их аккумуляторами. Именно поэтому загрязнение местности радиоактивными веществами под многолетними древесными насаждениями может во много раз превышать загрязнение открытых территорий и сохранятся на протяжении долгих лет, т.к. в лесопарковых системах практически отсутствует поверхностный сток, вынос радиоактивности с продукцией, как на лесохозяйственных угодьях. Радионуклиды, проникающие вглубь почвы, через корни снова поступают в листья, а с листопадом возвращаются под полог леса. Именно высокорослые зеленые насаждения Киева первыми приняли радиоактивные выпадения на город. Особенно деревья 1000-гектарного Голосеевского леса, расположенного на самом высоком месте южной части города, массив которого в отдельных местах возвышается почти на 100 м над уровнем Днепра. В июле 1986 г. уровень общей радиоактивности листьев липы в пределах города достигал 400 000, березы – 100 000, игл хвойных пород – 70 000 Бк/кг. Уровень загрязнения территории Киева в 1986 г. по $^{134+137}$Cs варьировал в пределах 0,55–200 кБк/м$^2$ при среднем уровне около 50 кБк/м$^2$, или 1,35 Ки/км$^2$. Это несколько превышает установленную границу, разделяющую загрязненные и условно чистые территории – 37 кБк/м$^2$, или 1 Ки/км$^2$. То есть, радионуклидное загрязнение Киева в среднем соответствовало зоне усиленного радиоэкологического контроля (зона 4). Более того, даже в 1989 г. на территории Голосеевского леса выявляли «пятна» загрязнения по радиоцезию уровней 150–200 кБк/м$^2$. А это уже соответствовало зоне добровольного гарантированного отселения (зона 3). Загрязнение по $^{90}$Sr варьировало от 0,2 до 30 кБк/м$^2$.

С распадом короткоживущих радионуклидов мощность радиационного фона быстро снижалась, и в настоящее время на территории города она варьирует в пределах 10–22 мкР/ч. Радиоактивность почвы по $^{137}$Cs варьирует в пределах 0,2–50 кБк/м$^2$ при среднем значении ниже 37 кБк/м$^2$ и по $^{90}$Sr – 0,1–10 кБк/м$^2$ при среднем около 3 кБк/м$^2$. Содержание $^{137}$Cs в растениях, отобранных в лесопарковых зонах, в основном варьирует в пределах 10–100 Бк/кг, т.е. значительно ниже действующего допустимого уровня (ДУ) для лекарственных растений – 200 Бк/кг. В то же время содержание $^{90}$Sr у большинства видов превышало ДУ (100 Бк/кг). Радиоактивность в свежесобранных грибах в целом соответствует ДУ (500 Бк/кг). Хотя и отмечаются случаи его превышения в 2–3 раза. Радиоактивность воды в открытых водоемах на территории города по обоим радионуклидам не превышает 0,2 Бк/л при ДУ 2 Бк/л. Радиоактивность рыбы по $^{137}$Cs не превышает 2, а по $^{90}$Sr – 10 Бк/кг при ДУ, соответственно, 150 и 35 Бк/кг.

И сейчас в отношении радиоактивного загрязнения Киев нельзя назвать «чистым городом». Хотя в принципе столица Украины вполне пригодна для нормальной жизни

# ИЗМЕНЕНИЕ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ И ЦИТОГЕНЕТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ У РЯСКИ МАЛОЙ (LEMNA MINOR) ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ОСТРОГО ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ

*И.С. Боднарь, В.Г. Зайнуллин*
Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, г. Сыктывкар, Россия,
bodnar@ib.komisc.ru

Ряска малая используется как тест-объект при биотестировании качества природных вод при химическом и радиационном загрязнении природных вод. Она чувствительна к среде обитания, обладает высокой скоростью вегетативного размножения, кроме того, ряска малая является космополитом, нетребовательна к условиям культивирования в лабораторных условиях.

Цель работы: изучение реакций лабораторной культуры ряски малой (Lemna minor) при действии острого гамма-излучения.

Первым этапом работы стало получение асептической культуры ряски. В водоемах вблизи г. Сыктывкара были отобраны колонии ряски малой. Далее они были обработаны гипохлоритом натрия в различных концентрациях и временем воздействия. Наиболее эффективной оказалась обработка растений из природной среды 0,5 % гипохлоритом натрия в течение 2 минут. Выжившие растения использовались для посева новых культур. Вторым этапом стало исследование влияния острого гамма-излучения по лабораторную популяцию ряски. Облучение проводили на базе Института биологии Коми НЦ УрО РАН (г. Сыктывкар) на установке «Исследователь» ($^{137}$Cs). Острое облучение проводилось в дозах 10 Гр, 30 Гр, 60 Гр, 90 Гр, 120 Гр. На 7, 14, 21, 30 день проведена оценка количественных и морфологических показателей. Вычислено изменение удельной скорости роста, изменение площади листовой пластины, мутабильность по уровню и характеру повреждения фрондов. Проведена оценка уровня повреждений ДНК методом «ДНК-комет».

При действии острого γ-излучения на лабораторную популяцию ряски малой в дозах 10-120 Гр через 7 дней происходит снижение удельной скорости роста. Обнаружена прямая зависимость между дозой и удельной скоростью (темпом) роста популяции (r=-0,84). Средняя удельная скорость роста снижается при облучении в дозе 60 Гр и 120 Гр в 1,3 и 3,1 раза соответственно по сравнению с контролем. Через месяц после облучения был произведен подсчет повреждений фрондов, хлорозов и некрозов. Доля некротических фрондов в отдельных образцах, облученных в дозе 120 Гр, составляла 100 %, все фронды стали одиночными вследствие повреждения гиалиновой нити. У растений, облученных в меньшей дозе, встречались повреждения фрондов только в виде хлорозов. Отмечается уменьшение площади фрондов по сравнению контролем. Цитогенетический анализ показал увеличение уровня повреждений ДНК с ростом дозы облучения.

Работа выполнена при финансовой поддержке Интеграционного проекта Уральского отделения РАН (12-И-4-2006).

# СРАВНЕНИЕ БИОДОСТУПНОСТИ УРАНА И ТЕХНОГЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ В ЭКОСИСТЕМЕ РЕКИ ЕНИСЕЙ

*А.Я. Болсуновский, М.Ю. Медведева*
Институт биофизики СО РАН, Красноярск, Россия,
radecol@ibp.ru

Река Енисей является одной из крупнейших рек мира, которая более 50 лет подвергается радиационному воздействию в результате деятельности Горно-химического комбината (ГХК) Росатома в г.Железногорске, производящего оружейный плутоний. Донные отложения и пойма реки Енисей загрязнены техногенными радионуклидами, в том числе трансурановыми, не только вблизи комбината, но и на значительном расстоянии по течению реки. Наряду с техногенными радионуклидами с ГХК в Енисей поступают изотопы урана. Таким образом, бассейн реки Енисей является уникальным объектом, где можно одновременно исследовать миграционную способность, как изотопов урана, так и техногенных радионуклидов во всех звеньях водной экосистемы. Цель работы – сравнительный анализ биодоступности урана и техногенных радионуклидов в экосистеме реки Енисей.

В качестве объектов исследования использовали пробы воды, донных отложений и гидробионтов. Среди гидробионтов реки Енисей были погруженные водные растения, рыбы-бентофаги и зообентос. В сообществе погруженных водных растений (макрофитов) анализировали 5 видов: *Fontinalis antipyretica*, *Potamogeton lucens*, *Ceratophyllum demersum, Myriophyllum spicatum* и *Elodea canadensis*. Рыбы-бентофаги были представлены хариусом (*Tymallus arcticus*). Зообентос был представлен гаммарусом (*Philolimnogammarus sp.*), который является основным пищевым ресурсом хариуса. Пробы экосистемы р.Енисей отбирали во время экспедиционных исследований 2008-2012 года как в ближней зоне влияния радиоактивных сбросов ГХК, на расстоянии до 110 км по течению реки от г.Красноярска, так и выше по течению от ГХК. Для измерения радионуклидов применялся широкий спектр инструментальных методов: гамма-спектрометрия с использованием спектрометра “Canberra” (США), масс-спектрометрия с использованием спектрометра “Agilent” (США), нейтронно-активационный анализ и общая бета-альфа-радиометрия.

Из полученных данных следует, что в экосистеме реки Енисей в зоне влияния сбросов ГХК наряду с техногенными радионуклидами регистрируются и повышенные концентрации урана. Из всех исследованных видов гидробионтов, погруженные макрофиты накапливали в биомассе максимальные активности не только техногенных радионуклидов, но и урана. Наиболее интенсивно уран накапливался в биомассе водного мха (*Fontinalis antipyretica*) и при этом максимальный коэффициент накопления урана мог превышать коэффициенты накопления некоторых техногенных радионуклидов. В пробах гаммаруса и хариуса, отобранных вблизи ГХК, общий перечень радионуклидов и их активности, в том числе урана, были ниже, чем в макрофитах. Для хариуса выявлено разное содержание урана в отдельных частях биомассы (мышцы, кости, головы, жабры и т.д.). Миграционная способность урана в донных отложениях р.Енисей по данным последовательного химического фракционирования превышала миграционную способность таких радионуклидов как $^{137}$Cs и $^{60}$Co. Для оценки степени связывания радионуклидов с биомассой растений также использовали метод химического фракционирования. Доля прочно связанного с биомассой растений урана (в нерастворимом остатке биомассы) изменялась для разных видов растений и в разные сезоны развития в широком диапазоне значений. Все это свидетельствует о высокой миграционной способности и биодоступности урана, по сравнению с другими радионуклидами, в экосистеме реки.

# КЛИНИКО-ГЕМАТОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАЛЛЕЛИ У КУР И ПОТОМСТВА ПРИ ХРОНИЧЕСКОМ ПОСТУПЛЕНИИ ВНУТРЬ РОДИТЕЛЬСКОГО ОРГАНИЗМА $^{131}$I

*В.А.Бударков*
ГНУ Всероссийский научно-исследовательский институт ветеринарной вирусологии и микробиологии Россельхозакадемии Покров, Россия,
budarkovva@yandex.ru

Целью исследований являлось сопоставление выраженности клинико-гематологических изменений у кур и потомков 6 поколений при хроническом воздействии на родительский организм $^{131}$I.

Исследования проведены на курах русской белой породы и полученных от них потомках с использованием методик, приведенных А.А.Кудрявцевым и др.(1969). Родительское стадо было разделено на 4 подопытных (183 птицы) и 4 контрольные (150 птиц) группы. Всех кур содержали с петухами из расчета 1 петух на 10 кур. Подопытным птицам 1-,2-,3-,4-й групп ежедневно вводили внутрь в течение 30 суток равными порциями $^{131}$I в суточных количествах 0,11; 1,1; 2,1; 4,6 МБк/кг соответственно. Из яиц, снесенных курами, было получено 2573 подопытных и 2782 контрольных потомков семи поколений.

После введения курам $^{131}$I развивалось угнетение функциональной активности щитовидной железы и понижалась выживаемость. Это было выражено тем сильнее, чем большее количество изотопа поступало в организм. Потомство пораженных $^{131}$I кур имело пониженную скорость роста и привесы. Ювенальная линька в большинстве поколений ускорена. Функциональная активность щитовидной железы потомков от кур, получивших внутрь $^{131}$I в количествах 0,11 и 1,1 МБк/кг, до их полового созревания была повышенной, в последующем до 18 месячного возраста - пониженной; после введения родителям $^{131}$I в количествах 2,1 и 4,6 МБк/кг у суточных и месячных потомков - пониженной. С увеличением вводимого курам количества $^{131}$I возрастала смертность полученного от них потомства всех поколений, наиболее выраженная у месячных птиц. Независимо от количества изотопа, введенного родителям, потомки с 1-го по 6-е поколение имели пониженные скорость роста и привесы. В первых поколениях потомков это было выражено сильнее, чем в последующих.

Морфологический состав периферической крови кур под влиянием $^{131}$I характеризовался развитием анемии, тромбоцито- и лейкопении. Степень данных изменений находилась в прямой зависимости от количества поступившего внутрь организма изотопа. Изменения суммарного числа лейкоцитов происходили, преимущественно, за счет лимфоцитов. У подопытных потомков всех возрастов регистрировали пониженное содержание гемоглобина и эритроцитов, которые не зависели от количества $^{131}$I, введённого в организм родителей, и прослеживались до 5-го поколения. Изменения числа тромбоцитов и лейкоцитов у подопытных потомков проявлялись в пониженном содержании этих клеток в крови молодых птиц с последующим повышением к 12-18-месячному возрасту. Изменения числа лейкоцитов происходили, в основном, за счет лимфоцитов.

Полученные данные свидетельствуют о близкой направленности у кур и полученных от них потомков изменений клинико-гематологических показателей, которые были связаны с количеством $^{131}$I, поступившего в родительский организм, и проявлялись, в основном, пониженной выживаемостью птиц. Как у облученных кур, так и у их потомков, но только в молодом возрасте, изменения периферической крови характеризовалась анемией, тромбоцито- и лейкопенией, при этом они не были связаны с количеством веденного в организм родителей $^{131}$I.

# РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ В РЕЗУЛЬТАТЕ ТЕРРОРИСТИЧЕСКИХ И ВОЕННЫХ ДЕЙСТВИЙ НА АЭС СОПРЕДЕЛЬНЫХ ГОСУДАРСТВ

*К.Н. Буздалкин*
Институт радиологии МЧС Республики Беларусь, Гомель, Беларусь,
buzdalkin@tut.by

Исходными данными являлись сведения о типах реакторов, продолжительности эксплуатации, мощности и физической защите ядерных реакторов, в том числе реакторов - аналогов. Значения чернобыльских аварийных выбросов были приняты в качестве референтных, для расчётов принимались выводы международной конференции «Двадцать лет Чернобыльской катастрофы. Взгляд в будущее» (Киев, 2006 г). При расчётах учитывалось, что во время разрушения IV энергоблока Чернобыльской АЭС кратковременно выделилась энергия, эквивалентная освободившейся в результате взрыва 4 тонн тринитротолуола.

При оценке радиоэкологических последствий использовалось математическое моделирование последствий аварий на предприятиях атомной энергетики. Применялась методология, рекомендованная МАГАТЭ для расчёта распространения радиоактивной примеси, объёмной активности приземного слоя атмосферы и плотности загрязнения территории. Для моделирования переноса радионуклидов в атмосфере были выбраны сценарии метеоусловий, при которых уровни загрязнения сельскохозяйственной продукции на территории Республики Беларусь будут близки к максимально возможным.

Установлено, что риски от террористических и военных действий значительно (на порядки) превышают риски, заложенные в проектных решениях АЭС. Энергия, выделяющаяся при взрыве в результате падения авиалайнера или неядерной боевой части ракеты, по порядку величины близка к энергии парогазовой смеси чернобыльского выброса 1986 года. В результате таких событий возможно разрушение защитных барьеров АЭС и выброс в окружающую среду ядерного топлива, продуктов его деления и активированных материалов в газообразном состоянии. Наибольшие радиационные угрозы Республике Беларусь исходят от Смоленской и Ривненской АЭС.

С учётом модернизации энергоблоков с РБМК-1000 после Чернобыльской катастрофы, проведённой на Смоленской АЭС, в качестве референтного выброса в результате внешнего воздействия предлагается принять $10^{17}$ Бк $^{131}$I, что в 20 раз меньше чернобыльского выброса.

Смоленская АЭС находится на расстоянии 75 км от границы с Республикой Беларусь. На белорусском сегменте радиоактивного следа, который может сформироваться в результате взрыва реактора Смоленской АЭС, не исключается временное выведение из хозяйственного оборота до 50 тыс.га земель.

Удалённость Ривненской АЭС от белорусской границы – 70 км. 100-км зона станции включает территории 5 районов Брестской области. В этой зоне в результате военных действий или теракта в энергоблоке с ВВЭР-440 не исключается выведение из хозяйственного оборота до 30 тыс.га земель. Приведённые результаты соответствуют аварийному выбросу РАЭС $3{,}6 \cdot 10^{16}$ Бк $^{131}$I, что в 50 раз меньше Чернобыльского.

В результате военных и террористических действий, падения авиалайнера на АЭС сопредельных государств, на территории Республики Беларусь возможно превышение допустимых уровней содержания радионуклидов в продуктах питания и продовольственном сырье, действующих в Таможенном союзе. Должна быть обеспечена готовность национальной системы аварийного реагирования к чрезвычайным ситуациям с радиационным фактором и за пределами республики.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ВТОРИЧНОГО РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ РОССИИ, ПОСТРАДАВШИХ ОТ АВАРИИ НА ЧАЭС

*С.М. Вакуловский, Л.В. Колесникова, Э.Г. Тертышник, А.Д. Уваров, В.Н. Яхрюшин, Артемьев Г.Б.*
НПО «Тайфун», Обнинск, Россия.

Обследование населенных пунктов на территории Брянской области выявило наличие их вторичного загрязнения Cs-137. Рассмотрены основные факторы вторичного загрязнения 137Cs населенных пунктов. Были рассмотрены и оценены следующие факторы – вторичное загрязнение вследствие ветрового подъема с прилегающих территорий с более высокими уровнями загрязнения, многолетние использование загрязненных навоза и золы на приусадебных участках. На основе экспериментальных данных и модельных расчетов проведена оценка вторичного загрязнения Cs-137 шести населенных пунктов Брянской области за счет указанных факторов. Проведено ранжирование факторов вторичного загрязнения Cs-137. Представлен прогноз вторичного загрязнения Cs-137 шести населенных пунктов Брянской области за счет исследованных факторов в период 1986-2018 гг.

# ВЛИЯНИЕ ХРОНИЧЕСКОГО ОБЛУЧЕНИЯ И КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА ПОПУЛЯЦИИ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ ПРОИЗРАСТАЮЩИХ НА ТЕРРИТОРИЯХ С КОНТРАСТНЫМ УРОВНЕМ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ В БРЯНСКОЙ ОБЛАСТИ

*Васильев Д.В., Кузьменков А.Г., Дикарева Н.С., Гераськин С.А., Удалова А.А.*
Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии ФАНО, Обнинск, Россия.

Изучалась частота и спектр цитогенетических нарушений, морфологические и репродуктивные свойства семян, в природных популяциях сосны обыкновенной (Pinus sylvestris L.), населяющих радиоактивно загрязненные в результате аварии на ЧАЭС территории Брянской области (2003-2011 гг.).

Частота цитогенетических нарушений в корневой меристеме проростков семян сосны с загрязненных радионуклидами участков достоверно превышала контрольный уровень в течение всех девяти лет наблюдения.

Формирующееся в условиях хронического облучения семенное потомство сосны характеризуется высокой межгодовой изменчивостью морфологических и репродуктивных показателей.

Не выявлено определенной связи репродуктивных качеств семян с уровнем радиоактивного загрязнения участков или поглощенной в генеративных органах сосны дозой.

# АНАЛИЗ БИОЛОГИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ ХРОНИЧЕСКОГО РАДИАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ В ПОПУЛЯЦИЯХ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ

*Волкова П.Ю.*
Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии ФАНО, Обнинск, Россия,
volkova.obninsk@gmail.com

Авария на Чернобыльской АЭС предоставила исследователям уникальную возможность для изучения отдалённых последствий хронического радиационного воздействия на биоту. Даже спустя 20 лет после аварии на Чернобыльской АЭС в России, главным образом в Брянской области, сохранились участки, радиоактивное загрязнение которых значительно превышает фоновый уровень. В то время как биологические эффекты острого радиационного воздействия изучены относительно хорошо, механизмы влияния хронического низкодозового облучения на биологические процессы на настоящий момент до конца не ясны. Тем не менее, известно, что хроническое радиационное воздействие способно существенным образом изменять значения параметров, влияющих на судьбу популяции.

Было проведено комплексное исследование популяций сосны обыкновенной, включающее в себя анализ изоферментного полиморфизма ряда ферментных систем и активности ферментов-антиоксидантов в семенах экспериментальных сосен. Анализ изоферментного полиморфизма проводили посредством метода вертикального электрофореза, а изменения активности ферментов оценивали спектрофотометрически.

Показано увеличение темпов мутагенеза в исследованных ферментных локусах и увеличение числа полиморфных локусов при росте поглощённой генеративными органами растений дозы. Выявлено возрастание частоты мутаций в ген-ферментных локусах, увеличение генотипического разнообразия и доли редких аллелей. При этом хроническое низкодозовое воздействие не влияло на ферментативную активность изученных ферментов антиоксидантной системы.

Помимо этого, проведён анализ генетической структуры исследуемых популяций. Обнаружено незначительное превышение гетерозиготных генотипов в экспериментальных популяциях, оценен вклад каждого изученного локуса во внутрипопуляционную изменчивость, изучен вклад внутрипопуляционной и межпопуляционной изменчивости. Рассчитаны генетические расстояния между популяциями, показано, что популяции, характеризующиеся наибольшими и наименьшими значениями радиоактивного загрязнения, объединены в два различных кластера.

Таким образом, многолетнее хроническое воздействие в дозах до 130 мГр/год ведёт к увеличению частоты мутаций в изоферментных локусах в клетках семян сосны обыкновенной, но не оказывает воздействия на более высокие уровни биологической организации, в частности, физиологический уровень.

# ОТДАЛЕННЫЕ ЭФФЕКТЫ ХРОНИЧЕСКОГО ОБЛУЧЕНИЯ В ПОПУЛЯЦИЯХ РАСТЕНИЙ

*С.А. Гераськин*[1], *А.А. Удалова*[1,2], *П.Ю. Волкова*[1], *Д.В. Васильев*[1], *Н.С. Дикарева*[1], *А.Г. Кузьменков*[1], *Д.О. Помелова*[1]

[1] Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии ФАНО, Обнинск, Россия,
stgeraskin@gmail.com

[2] Обнинский институт атомной энергетики НИЯУ «МИФИ», Обнинск, Россия.

Исследования биологических эффектов в популяциях растений и животных, населяющих территории, контрастные по уровню и спектру дозообразующих радионуклидов, играют уникальную роль в развитии и обосновании принципов экологического нормирования. Особое внимание при этом следует уделять эффектам популяционного уровня, не сводимым к элементарным механизмам биологического действия радионуклидов, таким как феномен радиоадаптации, изменение половой, возрастной и генетической структуры популяций. В докладе представлены результаты многолетних полевых исследований биологических эффектов в популяциях растений, населяющих контрастные по климату, уровню радиоактивного загрязнения и спектру дозообразующих радионуклидов участки (30-км зона ЧАЭС (Украина), Республика Коми, Брянская и Ленинградская области России, Семипалатинский полигон (Казахстан)). Развивающиеся в условиях радиоактивного загрязнения популяции растений характеризуются повышенной частотой генных и хромосомных мутаций. Даже относительно низкие уровни техногенного воздействия способны увеличивать величину генетической изменчивости и нарушать присущие интактным популяциям закономерности саморазвития. Формирующееся в условиях хронического облучения семенное потомство характеризуется высокой межгодовой изменчивостью показателей жизнеспособности, которая в значительной степени определяется погодными условиями. В условиях техногенного воздействия в популяциях происходит модификация структуры эколого-генетической изменчивости, степень которой увеличивается с возрастанием техногенной нагрузки. В условиях экологического стресса в популяциях растений происходит отбор на повышение устойчивости к действующему фактору. Но скорость и сама возможность осуществления этого процесса может существенно различаться в разных радиоэкологических условиях.

# ВЛИЯНИЕ КОРЕННОГО УЛУЧШЕНИЯ СУХОДОЛЬНОГО ЛУГА НА ПЕРЕХОД $^{90}$Sr В ТРАВОСТОЙ

*И.В. Гешель, Д.В. Крыленкин*
Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии ФАНО, Обнинск, Россия,
igeshel@yandex.ru

На радиоактивно загрязненных территориях луговые экосистемы характеризуются интенсивными процессами миграции радионуклидов и накоплением в травостое. Проведение коренного улучшения лугов является эффективным приемом, обеспечивающим производство продукции животноводства, соответствующей санитарно-гигиеническим нормативам. Для изучения влияния различных агротехнических и агрохимических способов улучшения суходольного луга на снижение перехода $^{90}$Sr в травостой проведены полевые эксперименты на Новозыбковской Государственной сельскохозяйственной станции ВНИИА люпина.

Работа проводилась на суходольном лугу с дерново-подзолистой почвой, площадь делянок 3.5×5 м$^2$, плотность загрязнения по $^{90}$Sr 15 кБк/м$^2$. Схема эксперимента: контроль; дискование + вспашка; дискование + вспашка + известкование; дискование + вспашка + $N_{80}P_{60}K_{80}$; дискование + вспашка + известкование + $N_{80}P_{60}K_{80}$; дискование + вспашка + известкование + $N_{80}P_{60}K_{120}$.

Установлено, что применение агротехнических и агрохимических мероприятий привело к изменению агрохимических характеристик почвы, увеличению кислотности почвы, содержанию обменного калия и емкости катионного обмена.

В почвенном растворе увеличилось содержание катионов, особенно при комплексном применении известкования и $N_{80}P_{60}K_{120}$ на фоне дискования и вспашки. Так, содержание Ca увеличилось в 1.2 раз, Mg – в 1.7 раз, K – 2.25 раз по сравнению с контролем.

Анализ результатов показал увеличение продуктивности травостоя при внесении агромелиорантов, особенно при добавлении повышенной дозы калийных удобрений (в 2.9 раз) по сравнению вариантом применения агротехнической обработки в 1-й год, и в 1.2 раза - во второй.

Проведение агротехнических мероприятий, внесения минеральных и известковых удобрений способствовало снижению поступления 90Sr в травостой - коэффициент перехода (КП) 90Sr в многолетние сеяные травы были в 1.5-3.1 раза ниже, чем в травостой естественного луга. Применение агротехнических приемов в первый год привело к уменьшению КП 90Sr в 1.2 раза, а второй год в 1.8 раз по сравнению с контролем. На фоне дискования и вспашки внесение известковых удобрений снизило КП 90Sr в 1.3 раза на первый и второй год. Внесении полного комплекса удобрений N80P60K80 обусловило снижение КП 90Sr в первый год – 1.1 раза, и во второй – 1.5 раза по сравнению с вариантом применения дискования и вспашки.

Проведенные исследования позволяют сделать вывод о том, что коренное улучшение малопродуктивных естественных лугов, включающее комплекс агротехнических и агрохимических технологий, является эффективным приемом снижения перехода 90Sr в травостой с максимальным проявлением эффекта на второй год.

# ОСОБЕННОСТИ ВЕРТИКАЛЬНОЙ МИГРАЦИИ РАДИОНУКЛИДОВ В ПРОФИЛЕ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ ПОЧВ БЛИЖНЕЙ ЗОНЕ АВАРИИ НА ЧАЭС

*В.В. Головешкин, А.Н.Чудинов*
Полесский государственный радиационно-экологический заповедник, Беларусь,
goloveshkin.victor@yandex.ru

Оценка и прогнозирование радиационной обстановки в ближней зоне аварии на Чернобыльской АЭС, выявление факторов влияющих на ее изменение остаются в настоящее время весьма актуальными. Изучение миграции радионуклидов в почве позволяет оценить время нахождения радионуклидов в корнеобитаемом слое, скорость перемещения радионуклидов в грунтовые воды, изменение мощности экспозиционной дозы.

Целью наших исследований было изучение параметров вертикального распределения радионуклидов ($^{137}$Cs, $^{90}$Sr, $^{241}$Am) в профиле различных типов почв с учетом степени их увлажнения. Объектами исследований являлись почвы пяти типичных фитоценозов, характеризуемых различной степенью увлажнения. Фитоценоз 1 – березняк, почва дерново-подзолистая с расположенным под подстилкой оторфованным гумусовым горизонтом (5-15 см), гидроморфная. Фитоценоз 2 – черноольшанник, почва торфянисто-подзолисто-глеевая, гидроморфная. Фитоценоз 3 – дубрава, почва дерново-подзолистая глеевая, полугидроморфная. Фитоценоз 4 – залежь, почва дерново-подзолистая, супесчаная, слабооподзоленная, пахотная, автоморфная. Фитоценоз 5 – сосняк, почва дерново-подзолистая, песчаная, автоморфная.

Анализ данных исследований показал, что в настоящее время более быстро процесс миграции $^{137}$Cs в лесных фитоценозах происходит в почвах, формирующихся в условиях полугидроморфного и гидроморфного условий увлажнения, лесная подстилка, которых содержит меньшую долю радионуклида (4,9 – 13,7 %), чем 5-10 см слой почвы (12,4 - 25,6 %). Распределения $^{137}$Cs в автоморфных почвах составляет 16,4 %, и 11,8 % соответственно. Стронций-90 обладает большей подвижностью, что усиливается в условиях избыточного увлажнения почв. В верхнем пятисантиметровом слое минеральной части почвы сосредоточена основная доля $^{241}$Am (66,8 – 89,2 %) и $^{137}$Cs (36,3 – 74,6 %), а основная доля $^{90}$Sr сосредоточена в верхнем десятисантиметровом слое около 41,8 – 61,4 %.

В автоморфных почвах максимум концентрации $^{137}$Cs находится на глубинах 0,55 – 2,65 см, а в полугидроморфной и гидроморфных почвах на глубине 2,2 – 4,5 см.

Глубина проникновения 50 % $^{90}$Sr в почвах с избыточным увлажнением более высока и составляет 2,7 – 4,6 см, тогда как в автоморфных почвах 1,5 – 3,5 см. А вот положение центров запаса $^{241}$Am мало зависит от условий увлажнения и находится в пределах 0,25 – 3,2 см.

Максимальная плотность загрязнения радионуклидами в почвах лесных фитоценозов наблюдается в верхнем 0-1 сантиметровом слое: 13,8 – 33,5 % $^{137}$Cs, 6,9 - 25,9 % $^{90}$Sr и 16,6 - 48,2 % $^{241}$Am. В почве залежи наибольшая плотность загрязнения находится в слое 1-2 см: 20,0 % $^{137}$Cs, 22,2 % $^{241}$Am, а максимум $^{90}$Sr находится в слое 0-1см – 18,0 %. Во всех фитоценозах в слой 30-100 см мигрировало не более 2,8 % $^{137}$Cs и 16,4 %, $^{90}$Sr. $^{241}$Am в этих слоях почвы не обнаружен.

Таким образом, скорость вертикальной миграции для исследуемых радионуклидов составила: 0,10 – 1,00 см/год. Из них для $^{137}$Cs 0,1 – 0,53 см/год; $^{90}$Sr 0,13 – 1,0 см/год и $^{241}$Am 0,15 – 0,20 см/год.

# РОЛЬ ПОЛИВАРИАНТНОСТИ РАЗВИТИЯ МЕЛКИХ МЛЕКОПИТАЮЩИХ В ОЦЕНКЕ ПОСЛЕДСТВИЙ РАДИАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

*Григоркина Е.Б.*[1], *Оленев Г.В.*[1], *Тарасов О.В.*[2]
[1]Институт экологии растений и животных УрО РАН, Екатеринбург, Россия,
grigorkina@ipae.uran.ru
[2]ФГУП ПО «Маяк», Озерск, Россия.

Ранее (Оленев, 2002, 2004, 2009) с целью корректного анализа биологических характеристик в популяциях цикломорфных млекопитающих был разработан функционально-онтогенетический подход. В целом цикле работ было описано и проанализировано два альтернативных пути онтогенетического развития.

Цель работы – анализ отдаленных последствий радиационного воздействия и удельной скорости аккумуляции стронция-90 в костной ткани мышевидных грызунов альтернативных типов онтогенеза, отловленных в зоне Восточно-Уральского радиоактивного следа (ВУРСа). I тип онтогенеза – созревшие (в год рождения) сеголетки. Они имеют высокий уровень метаболизма и скорость старения, стресс-реакция выражена, поведение агрессивное, продолжительность жизни (ПЖ) – 3-6 месяцев, функция – наращивание численности популяции. II тип – несозревающие (в год рождения) сеголетки. Для них характерен низкий уровень метаболизма, низкая стресс-реактивность, ПЖ 13-15 месяцев, наиболее толерантны к широкому спектру неблагоприятных воздействий, являются своеобразным резервом популяции. Скорость процессов старения, как и физиологический возраст животных, почти в два раза ниже по сравнению с животными I типа, функция – пережить зиму, сохранив популяцию до весны следующего года.

Доказано, что реакция на острое и хроническое радиационное воздействие преломляется через функциональную структурированность популяции, т. е. через специфику двух типов онтогенетического развития. Выявлены специфические закономерности ответа животных альтернативных типов онтогенеза на острое и хроническое радиационное воздействие. Особи сходного хронологического возраста, но разного функционального статуса существенно различаются по анализируемым параметрам. При остром облучении наиболее резистентными ($ЛД_{50/30}$, смертность, ПЖ, степень повреждения и восстановления системы гемопоэза) являются особи II типа с низкой интенсивностью процессов обмена и старения. Напротив, удельная скорость депонирования $^{90}Sr$ в костной ткани зверьков II типа из зоны ВУРСа оказалась в два раза выше, чем у созревших сеголеток (I тип онтогенеза). Особо отметим, что в зоне ВУРСа преобладают особи I типа онтогенеза, что может приводить к ускорению микроэволюционных процессов за счет сдвигов в соотношении размножающейся и неразмножающейся частей популяции, в итоге, изменению ее численности.

Таким образом, радиорезистентность и удельная скорость аккумуляции радионуклидов детерминированы принадлежностью животных к тому или иному типу онтогенеза. При этом бивариантность развития является неспецифическим механизмом популяционной регуляции, основой структурно-функциональных перестроек, обеспечивающих популяции возможность адаптивного маневра не только в меняющихся условиях среды, но и на техногенно, в т. ч. на радиоактивно загрязненных территориях. Функциональный подход следует использовать в радиоэкологических исследованиях, т.к. он позволяет работать с однородными выборками грызунов из природных популяций и корректно оценивать последствия радиационного воздействия.

# РЕЗУЛЬТАТЫ ДОЛГОВРЕМЕННОГО РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ В ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ ЗОНЕ ОТЧУЖДЕНИЯ

*Д.И. Гудков*[1], *С.И. Киреев*[2], *С.М. Обризан*[2], *А.Е. Каглян*[1], *А.Б. Назаров*[2], *В.В. Беляев*[1], *В.Г. Кленус*[1], *К.Д. Ганжа*[1]

[1]Институт гидробиологии НАН Украины, Киев, Украина,
digudkov@gmail.com

[2]ГСП «Чернобыльский спецкомбинат» Государственного агентства Украины по управлению зоной отчуждения.

В период 1997–2013 гг. исследовали количественное содержание и динамику распределения $^{90}$Sr, $^{137}$Cs, а также трансурановых элементов (ТУЭ) $^{238}$Pu, $^{239+240}$Pu, $^{241}$Am и их физико-химических форм в главных компонентах водных экосистем различного типа, расположенных на территории Чернобыльской зоны отчуждения (ЧЗО). Основными полигонными водными объектами служили оз. Азбучин, Яновский затон, водоем-охладитель (ВО) ЧАЭС, водоемы левобережной поймы р. Припяти – озера Глубокое, Далекое, Вершина, Красненская старица (участки на одамбированной территории и за ее пределами), а также реки Уж (у с. Черевач) и Припять (у г. Чернобыля). Анализировали воду, сестон, донные отложения, а также гидробионтов различной таксономии – высшие водные растения (30 видов), моллюски (10 видов) и рыбы (18 видов).

Основное количество радионуклидов в озерных экосистемах левобережной поймы р. Припяти (озера Глубокое и Далекое) депонировано в донных отложениях: $^{90}$Sr – 89–95% (37–444 ГБк), $^{137}$Cs – 99% (52–962 ГБк), ТУЭ – почти 100% (1–26 ГБк) общего количества в экосистеме. Повышенная миграционная активность $^{90}$Sr определяет более высокое его содержание в водной компоненте – 4–10% (2–51 ГБк) по сравнению с $^{137}$Cs – 0,5–0,6% (0,2–6,2 ГБк) и ТУЭ – 0,03–0,04% (0,3–10 МБк) и, напротив, меньшее в сестоне – 0,15–0,16% (58–800 МБк) по сравнению с $^{137}$Cs – 0,25–0,30% (155–2471 МБк). Содержание $^{90}$Sr в биотической компоненте озер составляет 0,25–0,61% (96–3035 МБк), $^{137}$Cs – 0,14–0,47% (73–4598 МБк), ТУЭ – 0,07–0,16% (0,8–42 МБк) общего содержания в экосистеме. Изучение распределения радионуклидов в экосистеме ВО ЧАЭС показало, что 99,5% $^{90}$Sr (54 ТБк) и 99,9% $^{137}$Cs (266 ТБк) локализовано в донных отложениях, 0,42% $^{90}$Sr (227 МБк) и 0,08% $^{137}$Cs (196 МБк) – в воде и 0,08% $^{90}$Sr (46 ГБк) и 0,02% $^{137}$Cs (40 ГБк) – в биоте.

В воде всех исследуемых водных объектов ЧЗО отмечено закономерное снижение объемной активности $^{137}$Cs. Период полуочищения воды от $^{137}$Cs за анализируемый отрезок времени для различных водоемов составил 6,0–12,8 года. При этом вклад физического распада радионуклида в процессы самоочищение воды составил 22–43%. Период полуочищения водной компоненты от $^{90}$Sr составил 6,0–9,2 года, а вклад физического распада радионуклида в самоочищение воды – 21–33%. При этом достоверного снижения объемной активности $^{90}$Sr в воде озер одамбированного участка левобережной поймы р. Припяти, а также в ВО ЧАЭС за период исследований не зарегистрировано.

Доминирующей тенденцией в динамике содержания $^{137}$Cs и $^{90}$Sr в гидробионтах большинства исследуемых водоемов и водотоков ЧЗО является постепенное снижение удельной активности. Исключение составляют озера, расположенные на территории одамбированного участка левобережной поймы р. Припяти, а также ВО ЧАЭС, в которых, при продолжающемся снижении удельной активности $^{137}$Cs, с конца 1990-х годов происходит постепенное увеличение удельной активности $^{90}$Sr в тканях высших водных растений, моллюсков и рыб.

# ЭФФЕКТЫ ХРОНИЧЕСКОГО РАДИАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ У ГИДРОБИОНТОВ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ ЗОНЫ ОТЧУЖДЕНИЯ НА РАЗЛИЧНЫХ УРОВНЯХ ОРГАНИЗАЦИИ БИОСИСТЕМ

*Д.И. Гудков[1], Н.Л. Поморцева[1], Е.В. Дзюбенко[2], Н.Л. Шевцова[1], Н.К. Родионова[3], А.Е. Каглян[1], А.Б. Назаров[4]*

[1]Институт гидробиологии НАН Украины, Киев, Украина,
digudkov@gmail.com.ua

[2]Переяслав-Хмельницкий государственный педагогический университет, Переяслав-Хмельницкий, Украина,

[3]Институт экспериментальной патологии, онкологии и радиобиологии им. Р.Е. Кавецкого НАН Украины, Киев, Украина,

[4]ГСП «Чернобыльский спецкомбинат» Государственного агентства Украины по управлению зоной отчуждения, Чернобыль, Украина.

В период 1998–2013 гг. исследовали эффекты хронического радиационного воздействия у гидробионтов оз. Азбучин, Яновского затона, водоема-охладителя ЧАЭС, водоемов Красненской поймы р. Припяти – озер Глубокое, Далекое, Вершина, Красненской старице, а также в рек Уж (с. Черевач) и Припять (г. Чернобыль), расположенных на территории украинского участка Чернобыльской зоны отчуждения (ЧЗО). В качестве водоемов для сравнительных исследований использовали ряд озер с фоновым уровнем радионуклидного загрязнения, расположенных в г. Киеве и его окрестностях. Мощность поглощенной дозы для гидробионтов полигонных водных объектов ЧЗО в период исследований регистрировали в диапазоне $4{,}6 \cdot 10^{-3}$–3,4 Гр/год, в контрольных водоемах – до $1{,}7 \cdot 10^{-3}$ Гр/год. Максимальные уровни в ЧЗО отмечены для гидробионтов озер одамбированного участка левобережной поймы р. Припяти, минимальные – для проточных водных объектов.

Динамику и основные типы хромосомных аберраций на стадии ана- и телофазы митоза анализировали в апикальных меристемах корней тростника обыкновенного (*Phragmites australis*), телореза алоэвидного (*Stratiotes aloides*), манника большого (*Glyceria maxima*), сусака зонтичного (*Butomus umbellatus*), ежеголовника прямого (*Sparganium erectum*), рогоза узколистного (*Typha angustifolia*), стрелолиста стрелолистного (*Sagittaria sagittifolia*), а также в тканях эмбрионов пресноводного моллюска прудовика обыкновенного (*Lymnaea stagnalis*) на стадии трохофоры и велигера. У моллюсков исследовали также состав основных типов гемоцитов в мантийной жидкости половозрелых особей, а также ряд морфометрических и продукционных показателей, включая деформации раковин и тератогенные нарушения кладок. У доминирующих представителей ихтиофауны исследуемых водоемов анализировали лейкограмму и цитоморфологические нарушения эритроцитов периферической крови.

Установленные дозозависимые эффекты у гидробионтов ЧЗО свидетельствуют о поражении биологических систем на субклеточном, клеточном, органотканевом, организменном и популяционно-видовом уровнях в условиях радионуклидного загрязнения водных экосистем. Частота хромосомных аберраций в тканях гидробионтов замкнутых водоемов ЧЗО многократно превышает уровень спонтанного мутагенеза для водных организмов и может быть проявлением радиационно-индуцируемой генетической нестабильности.

Очевидным является необходимость комплексного и всестороннего изучения эффектов хронического радиационного воздействия на биоту – важной и необходимой составляющей системы мероприятий, связанных с анализом, прогнозированием и минимизацией последствий крупных радиационных аварий для окружающей среды.

# ОСНОВЫ РАДИОЭКОЛОГИИ ЧЕРНОГО МОРЯ

**(к 85-летию академика Г.Г. Поликарпова)**

*С.Б. Гулин, В.Н. Егоров*
Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского, Севастополь, Россия,
sergey.gulin.ibss.sevastopol@mail.ru

Изучение радиоактивности Черного моря было инициировано в 1956 г. Геннадием Григорьевичем Поликарповым – выдающимся ученым, всемирно известным создателем морской радиационной экологии, академиком НАН Украины, вице-президентом Международного Союза радиоэкологов, соучредителем Международного Союза экологической этики, членом редколлегий многих отечественных и зарубежных научных журналов: Journal of Environmental Radioactivity, Marine Ecology Progress Series, Journal of the Black Sea/Mediterranean Environment, Marine Biology, Радиобиология и радиоэкология, Доклады НАН Украины, Морской экологический журнал и др. Он основал отдел радиационной и химической биологии Института биологии южных морей им. А.О. Ковалевского (ОРХБ ИнБЮМ, Севастополь), главным направлением деятельности которого является научное обеспечение радиационной безопасности морских экосистем, а также радиохемоэкологическая оценка их способности противостоять антропогенному воздействию. В результате многолетних исследований ОРХБ ИнБЮМ была получена комплексная оценка поступления природных и искусственных радионуклидов в Черное море с атмосферными выпадениями и речным стоком, их трансформации в зонах смешения речных и морских вод, биоседиментации в водной толще и накопления в донных отложениях, выполнена первая геохронологическая реконструкция загрязнения Черного моря цезием-137, стронцием-90, трансурановыми радионуклидами, полихлорированными бифенилами и хлорорганическими пестицидами за весь период их поступления в окружающую среду. Это существенно расширило представления о многолетней динамике радиоактивного и химического загрязнения черноморского бассейна а также позволило разработать научно обоснованные критерии экологического нормирования антропогенного воздействия на окружающую среду. Результаты исследований ОРХБ ИнБЮМ были использованы при разработке Московского договора 1963 г. о запрещении испытаний ядерного оружия в открытых средах, Лондонской конвенции 1983 г. о международном моратории на удаление твердых радиоактивных отходов на дно океанов, государственных и международных программ по ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС, а также при подготовке решений МАГАТЭ по уменьшению рисков радиоактивного загрязнения окружающей среды в районе японской аварийной АЭС Фукусима-1.

# НАКОПЛЕНИЕ РАДИОНУКЛИДОВ МИЦЕЛИЕМ И ПЛОДОВЫМИ ТЕЛАМИ ГРИБОВ В ПРИРОДНЫХ И ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ

*Д.В. Дементьев, Н.С. Мануковский, Ю.В. Александрова*
Институт биофизики СО РАН, Красноярск, Россия,
dementyev@gmail.com

В пойменных почвах р. Енисей регистрируется широкий перечень техногенных радионуклидов, в том числе трансурановых, которые могут накапливаться живыми организмами. Грибы способны накапливать радионуклиды и тяжёлые металлы на порядки больше чем растения, что делает возможным использовать их для биоконцентрирования радионуклидов и тяжёлых металлов. В работе исследовали: видоспецифичность накопления техногенных радионуклидов макромицетами в радиоактивно загрязненных зонах поймы р. Енисей и интенсивность накопления техногенных радионуклидов, в том числе трансурановых, макромицетами в лабораторных условиях. Проведён анализ видоспецифичности накопления техногенных радионуклидов и урана макромицетами на участках в зоне влияния Горно-химического комбината (ГХК) ГК «Росатом». Многолетний мониторинг, проводимый с 2003 г., показал высокие межвидовые вариации в накоплении Cs-137 в грибах. В видах-биоиндикатарах *Suillus granulatus* и *S. luteus*, удельная активность Cs-137 достигала 10 кБк/кг сухой массы. Грибы видов *S. granulatus* и *S. luteus* являются аккумуляторами Cs-137, что следует из анализа рассчитанных коэффициентов накопления (КН), которые для данных видов составляют 0,7-16. Коэффициент накопления U-238 в плодовых телах грибов не превышал 0,11. Пойменные почвы р. Енисей содержат большой спектр трансурановых элементов, которые могут накапливаться в объектах окружающей среды. Были проведены лабораторные исследования накопления Am-241 мицелием из раствора и накопления Am-241 плодовыми телами грибов выращенных на почвоподобном субстрате. Получена высокая степень аккумуляции Am-241 (до 97%) из раствора мицелием грибов *Pleurotus ostreatus* и *Neonothopanus nambi* в лабораторных условиях. Это позволяет использовать данные виды для биоремедиации загрязнённых радионуклидами растворов. На субстрате из пойменных почв и донных отложений р. Енисей, содержащих Co-60, Cs-137, Eu-152 и внесённый Am-241, в лабораторных условиях были выращены плодовые тела *P. ostreatus*. В плодовых телах было зарегистрировано накопление только Cs-137 и Am-241. Максимальный коэффициент накопления Cs-137 в *P. ostreatus*, выращенных на субстрате из донных отложений (0,1) на порядок выше КН Cs-137 грибов, выращенных на почвенном субстрате (0,008), что вызвано различной биодоступностью Cs-137 в почве и донных отложениях. Также наблюдалось двукратное различие КН Am-241 в плодовых телах, выращенных на субстрате из донных отложений (0,005) и на почвенном субстрате (0,0026). Анализ полученных коэффициентов накопления показал, что в природных условиях интенсивность накопления Cs-137 в грибах на порядок больше, чем U-238. В лабораторных условиях накопление Cs-137 в плодовых телах на порядок больше, чем трансуранового радионуклида Am-241. Способность грибов аккумулировать техногенные радионуклиды позволяет их использовать для биоремедиации растворов и почв.

# ОСОБЕННОСТИ КОРМОПРОИЗВОДСТВА НА ЗАГРЯЗНЕННЫХ РАДИОНУКЛИДАМИ ЗЕМЛЯХ ГОМЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ

*Демидович С.А.*
РНИУП «Институт радиологии», Гомель, Беларусь.

В сельскохозяйственных организациях Гомельской области, расположенных на загрязненных радионуклидами землях, остро стоит проблема кормового белка. Это вызвано сокращением посевных площадей, занятых бобовыми культурами, в связи с их биологической особенностью накапливать радионуклиды в значительных количествах. Одним из путей решения данной проблемы является возделывание смешанных посевов бобовых и силосных культур. В связи с этим сотрудниками РНИУП «Институт радиологии» на протяжении 3-х лет проводились исследования, целью которых являлось изучить эффективность производства кормов на основе силосных культур, возделываемых в одновидовых и смешанных посевах на загрязнённых радионуклидами территориях с целью получения нормативно чистой продукции животноводства и снижения её себестоимости.

Полевые эксперименты проводились на дерново-подзолистой слабооподзоленной супесчаной почве в Брагинском районе Гомельской области. Плотность загрязнения пахотного горизонта $^{137}$Cs –1,3 Ки/км$^2$, $^{90}$Sr – 0,3 Ки/км$^2$. В качестве силосных культур использовались кукуруза, подсолнечник и сорго сахарное, бобовых – вика яровая. В смешанных посевах силосная культура высевалась в 100% от полной нормы высева культур в чистом виде, вика – 50%. Посев производился в два следа. Силосные культуры высевались широкорядно с шириной междурядий 70 см, вика – сплошным рядовым способом с шириной междурядий 15 см. Отбор проб зелёной массы осуществлялся с учетной площади 1 м$^2$. Содержание $^{137}$Cs в исследуемых образцах определяли на γ-спектрометрических комплексах фирмы Canberra и Oxford. Радиохимическое выделение $^{90}$Sr проводили по стандартной методике ЦИНАО с радиометрическим окончанием на аттестованном α-β счетчике Canberra-2400.

Совместное возделывание силосных культур с викой привело к оптимизации сахаро-протеинового отношения в зеленой массе и к увеличению обеспеченности кормовой единицы переваримым протеином (до 103-124 г). Наиболее продуктивными среди исследованных смесей, обеспечившими максимальный сбор сухого вещества (10 ц/га), кормовых единиц (96 ц/га), переваримого протеина (13 ц/га) и кормопротеиновых единиц (161 ц/га) являлись посевы подсолнечника и вики яровой, возделываемые на фоне минерального питания N60P60K100.

Максимальным накоплением $^{137}$Cs (6,0 Бк/кг и 8,2 Бк/кг) и $^{90}$Sr (49,0 Бк/кг и 104,0 Бк/кг), характеризовалась зеленая масса подсолнечника и вики яровой, минимальным (2,5-3,6 Бк/кг и 11,0-27,0 Бк/кг, соответственно) – зеленая масса кукурузы и ее смесей с викой. Ограничение по плотности загрязнения $^{90}$Sr дерново-подзолистой супесчаной почвы для производства зеленой массы со смешанных посевов подсолнечника и вики, идущей на корм дойному стаду для производства молока цельного составляет 0,1 Ки/км$^2$, для производства молока-сырья – 0,3-0,4 Ки/км$^2$, для смешанных посевов сорго и вики – 0,1 Ки/км$^2$ и 0,6-0,7 Ки/км$^2$, соответственно. Получение зеленой массы с посевов кукурузы и вики для производства цельного молока ограничивается плотностью загрязнения $^{90}$Sr 0,2-0,3 Ки/км$^2$, для производства молока-сырья – 1,1-1,4 Ки/км$^2$.

Полученные данные по экономической эффективности свидетельствуют о положительной рентабельности возделывания совместных посевов исследованных культур (59-129%).

# ДЕЙСТВИЕ БИОТИЧЕСКОГО И РАДИАЦИОННОГО СТРЕССА НА РАСТЕНИЯ В 30-КИЛОМЕТРОВОЙ ЗОНЕ ОТЧУЖДЕНИЯ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС

*Дмитриев А.П., Гродзинский Д.М., Гуща Н.И.*
Институт клеточной биологии и генетической инженерии НАН Украины;
dmyt@voliacable.com

Способность к адаптации — одно из важнейших свойств растительного организма, которое проявляется на разных уровнях его структурной организации. В процессе эволюции у растений возникли защитные механизмы, обеспечивающие устойчивость к действию биотических и абиотических стрессов. Вместе с тем в условиях крупных техногенных аварий у растений и их патогенов могут протекать микроэволюционные процессы, способные повлиять на экологический баланс в биоценозах.

Цель работы состояла в изучении влияния комбинированного стресса (биотического и радиационного) на растения в 30-километровой Зоне отчуждения ЧАЭС. Объектом исследований были выбраны растения пшеницы, ржи и кукурузы, а также возбудитель стеблевой ржавчины злаков гриб *Puccinia graminis* Pers., который относится к числу наиболее вредоносных патогенов.

Обнаружено, что хроническое облучение приводит к снижению болезнеустойчивости растений. Анализ естественной пораженности растений трех сортов пшеницы мучнистой росой или искусственно инфицированных бурой ржавчиной показал, что степень развития болезни у растений, выращенных из семян, собранных в зоне ЧАЭС, оказалась в 1.5–2.0 раза выше, чем у растений, выращенных из контрольных семян.

У растений, инфицированных спорами бурой ржавчины на различных участках в зоне ЧАЭС, отмечено усиление развития болезни у растений, выросших на участках с повышенным радиационным фоном. Анализ биохимической природы снижения устойчивости растений показал, что под влиянием малых доз облучения снижается удельная активность растительных ингибиторов протеиназ. Так, в зерне пшеницы и ржи их активность снижалась на 35-60 % по сравнению с контролем. Уменьшение активности этих ингибиторов могло приводить к снижению иммунитета растений.

Такое предположение подтвердилось в опытах с высоколизиновой *opaque*-мутантной формой кукурузы, которая обладает повышенной чувствительностью. Эту мутантную форму кукурузы, по аналогии с *waxy*-мутацией ячменя, можно рассматривать как перспективную тест-систему для оценки действия стрессовых факторов. Возбудитель стеблевой ржавчины злаков *P. graminis* был выявлен нами на злаках и дикорастущих злаковых травах в зоне отчуждения. Полученные данные свидетельствуют об активных формо- и расообразовательных процессах в зоне ЧАЭС, в результате которых происходят изменения структуры популяции *P. graminis.* Обнаружена «новая» популяция возбудителя стеблевой ржавчины с высокой частотой встречаемости более вирулентных клонов по сравнению с другими регионами Украины.

Таким образом, комбинированное действие биотического и радиационного стресса на растения представляет потенциальную опасность для окружающей среды по двум причинам. Во-первых, малые дозы хронического облучения могут снижать фитоиммунный потенциал, т.е. болезнеустойчивость растений. Во-вторых, они могут выступать в роли мутагенного фактора и вызывать усиление процессов расообразования у патогенных микроорганизмов, что может приводить к возникновению новых более вирулентных клонов.

# ОЦЕНКА ВКЛАДА $^{241}$Am В РАДИАЦИОННО-ЭКОЛОГИЧЕСКУЮ СИТУАЦИЮ В ЧЁРНОМ МОРЕ ПОСЛЕ АВАРИИ НА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС

*Дука М.С., Терещенко Н.Н.*
Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского, Севастополь, Россия,
max_22d@mail.ru

Основными источниками поступления α-излучающего радионуклида америция $^{241}$Am в Чёрное море были глобальные радиоактивные выпадений и радиоактивное загрязнение после аварии на Чернобыльской АЭС. Главной особенностью радиоэкологии данного радиоизотопа является то, что его содержание в окружающей среде продолжает увеличиваться вследствие распада материнского радионуклида плутония – $^{241}$Pu (период полураспада ≈ 14 лет), активность которого как в аварийном выбросе ЧАЭС, так и в радиоактивных выпадениях после испытаний ядерного оружия, была существенно выше суммарной активности альфа излучающих изотопов плутония.

Целью нашей работы было определение радиационно-экологических характеристик $^{241}$Am для оценки современного состояния и прогноза потенциально-возможных радиоэкологических ситуаций в черноморских экосистемах в широком диапазоне концентраций $^{241}$Am в водной среде.

В 1986 г. концентрация $^{241}$Am в поверхностной воде Чёрного моря равнялась 0.1-2.1 мкБк/л, а в 1999 г. – 0.7-1.7 мкБк/л, что указывало на отсутствие достоверного уменьшения концентрации $^{241}$Am в воде, несмотря на его значительную аккумуляцию донными осадками. Относительное постоянство концентрации $^{241}$Am в морской воде, длительный период его полураспада (432 года) и значительное накопление гидробионтами обуславливает хронический характер облучения организмов инкорпорированным $^{241}$Am. Для оценки радиоэкологического влияния $^{241}$Am на водные организмы мы применили концептуальную модель зональности хронического действия мощностей доз ионизирующих излучений в природе, разработанную академиком Г.Г. Поликарповым, использовав собственные и литературные данные по содержанию $^{241}$Am в морской воде, гидробионтах, а также коэффициенты накопления, рассчитав дозовые нагрузки на организмы.

Так как при современной радиационной ситуации в Чёрном море ожидаемые концентрации $^{241}$Am не должны превысить величины порядка $1 \cdot 10^{-5}$ Бк·л$^{-1}$, то прогнозный уровень воздействия мощностей доз $^{241}$Am на черноморскую биоту будет соответствовать т.н. «зоне радиационного благополучия» или «зоне неопределенности», т.е. не превысит мощность дозы природного радиационного фона. Но из полученных результатов следует, что при потенциально возможных концентрациях $^{241}$Am в морской воде, равных предельно допустимой концентрации радионуклида для питьевой воды, составляющей 0.69 Бк·л$^{-1}$, некоторые группы гидробионтов все же будут подвержены значительному радиационному действию. При такой ситуации для макрофитов и фитопланктона мощности доз от внутреннего облучения превысят нижний порог «зоны поражения экосистем», что связано с высоким уровнем накопления $^{241}$Am данными гидробионтами. Это свидетельствует о необходимости экоцентрического подхода при экологическом нормировании радиационного влияния радионуклидов на природные сообщества.

# К ОЦЕНКЕ РАДИАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ИОНИЗИРУЮЩЕЙ РАДИАЦИИ НА ОРГАНИЗМ ОВЕЦ

*В.Г. Епимахов, О.К. Власов, А.В. Васильев*
Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии ФАНО, Обнинск, Россия,
epimakhov.vg@gmail.com

Предлагается подход к оценке воздействия ионизирующей радиации на организм сельскохозяйственных животных. Данный подход не только рассматривает степень тяжести лучевого воздействия, но и позволяет оценить вклад исходного физиологического состояния животных (возраст и живая масса), их содержания в постлучевой период (рацион и уровень кормления), условий облучения (мощности дозы и длительности облучения) в формирование зависимости доза-эффект.

Основные положения подхода:

1) При воздействии ионизирующей радиации организм рассматривается как открытая энергетическая система.

2) Лучевое поражение организма приводит к нарушению его энергетического баланса с окружающей средой.

3) Восстановление нарушенного энергетического статуса в зависимости от степени и длительности лучевого воздействия осуществляется за счет энергетических затрат облученного организма. Данные затраты восполняются либо полностью за счет энергии потребляемых питательных веществ корма, либо, если этой энергии не достаточно, путем перехода на эндогенное питание, т.е. использование своих внутренних энергетических ресурсов (жиры, белки и углеводы).

4) Организм располагает ограниченными внутренними энергетическими ресурсами, которые позволяют ему поддерживать гомеостаз при воздействии ионизирующей радиации.

Вышеперечисленные положения легли в основу построения биолого-математической модели оценки снижения продуктивности овец при воздействии радиационного фактора. В модели рассматривается вероятностный характер формирования радиобиологических эффектов. Предварительно были выполнены расчеты, позволяющие оценить её адекватность с использованием большого объема экспериментального материала. Модель является имитационной. Количество численных экспериментов, которые могут быть выполнены на данной модели, в зависимости от поставленной задачи при вариации таких параметров как возраст, тип рациона, мощность дозы, длительность облучения, порода, продолжительность самого эксперимента позволяет получить достаточно устойчивую статистику и создать обширную базу данных, достаточную для решения вопросов теоретического и прикладного характера, связанных с установлением количественных закономерностей действия ионизирующего излучения на организм животных.

# ОЦЕНКА ТОКСИЧНОСТИ И ГЕНОТОКСИЧНОСТИ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ В ЗОНЕ РАДИАЦИОННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ Р.ЕНИСЕЙ С ПОМОЩЬЮ ВОДНЫХ РАСТЕНИЙ

*Т.А.Зотина, М.Ю.Медведева, Е.А.Трофимова, А.Я.Болсуновский*
Институт биофизики СО РАН, Красноярск, Россия,
t_zotina@ibp.ru

Донные отложения (ДО) являются средой обитания водных растений и животных, поэтому их качество во многом определяет функционирование экосистемы водоема в целом. В ДО р. Енисей накоплены высокие активности долгоживущих техногенных радионуклидов ($^{137}$Cs, $^{238,239,240,241}$Pu, $^{241}$Am), в результате работы Горно-химического комбината, производившего оружейный плутоний в течение более полувека (1958-2010), и другие ксенобиотики, попадающие в реку с коммунальными сбросами и стоками с территории водосбора. Техногенное загрязнение приводит к ухудшению качества ДО, как среды обитания водной биоты. Цель данной работы: оценить качество ДО (токсичность и генотоксичность) р. Енисей, отличающихся по содержанию техногенных радионуклидов и тяжелых металлов. Для оценки генотоксичности ДО *in situ*, использовали пробы корней водного растения *Elodea canadensis* (элодея канадская), которые отбирали в р. Енисей на разном удалении от источников техногенного загрязнения и в контрольном районе. Также проводили лабораторное тестирование проб корнеобитаемого слоя ДО р. Енисей с использованием элодеи канадской. В качестве индикаторов токсичности рассматривали показатели роста побегов и корней, генотоксичности – частоту встречаемости ана-телофазных клеток с аномалиями хромосом в апикальной корневой меристеме. В фоновых пробах ДО содержание техногенных радионуклидов ($^{137}$Cs) не превышало 1 Бк/кг. Содержание природного радионуклида $^{40}$K в пробах ДО, использованных для лабораторного тестирования, составило 240-330 Бк/кг сыр. массы, техногенных радионуклидов - $^{60}$Co - до 70 Бк/кг, $^{137}$Cs – до 1400 Бк/кг, $^{152,154}$ Eu - до 220 Бк/кг, $^{241}$Am - до 40 Бк/кг.

Минимальная частота клеток с цитогенетическими нарушениями (5 %) зарегистрирована в корнях природной популяции элодеи с фонового участка р. Енисей, максимальная (40 %) – на участке с самым высоким содержанием $^{137}$Cs в ДО (2000 Бк/кг). Выявлена положительная корреляция частоты аномальных клеток с содержанием радионуклидов, а также некоторых тяжелых металлов в корнеобитаемом слое ДО р.Енисей.

Лабораторное тестирование показало, что чувствительность параметров растений (% ингибирования относительно контроля) убывала в следующей последовательности: сухая масса (4) < длина побегов (26) < число корней (54) < длина корней (85). Таким образом, показатели роста корней оказались более чувствительными к изменению качества ДО, чем показатели побегов. В спектре аномалий хромосом присутствовали мосты, фрагменты, дезориентированные хромосомы, агглютинация и др.). Такие же типы аномалий зарегистрированы в природной популяции элодеи канадской, обитающей в зоне радиационного и химического загрязнения р. Енисей. Выявлена достоверная обратная корреляция длины побегов и положительная корреляция доли аномальных клеток с содержанием радионуклидов (суммарным, техногенных и $^{137}$Cs) в пробах ДО, хотя механизм этих эффектов пока неясен. На основе проведенных экспериментов можно заключить, что показатели роста элодеи обладают достаточной чувствительностью, что позволяет использовать это вид в качестве тест-объекта для контактного лабораторного тестирования токсичности и генотоксичности ДО. Элодея канадская может быть использована для исследования эффектов малых доз облучения в природных и лабораторных условиях.

# НАКОПЛЕНИЕ ТЕХНОГЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ ИХТИОФАУНОЙ р.ЕНИСЕЙ ДО И ПОСЛЕ ОСТАНОВКИ РЕАКТОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА НА ГОРНО-ХИМИЧЕСКОМ КОМБИНАТЕ

*Т.А.Зотина, Е.А.Трофимова, Д.В.Дементьев, А.Я.Болсуновский*
Институт биофизики СО РАН, Красноярск, Россия,
t_zotina@ibp.ru

Река Енисей загрязнена техногенными радионуклидами в результате полувековой работы реакторного и радиохимического производств оружейного плутония на Горно-химическом комбинате (ГХК), расположенном на 60 км ниже Красноярска по течению реки. Реакторное производство на ГХК было остановлено весной 2010 г., что привело к прекращению поступления в реку радионуклидов с наведенной активностью, однако в донных отложениях остались депозиты средне- и долгоживущих техногенных радионуклидов, в том числе трансурановых элементов. В данной работе исследовано накопление техногенных радионуклидов в промысловых рыбах и компонентах трофических сетей, ведущих к ихтиофауне, в последние годы работы и после остановки реакторного производства на ГХК (в 2005-2013 гг.); а также оценена эффективность переноса техногенных радионуклидов в трофических сетях р. Енисей, ведущих к рыбам. Для исследования использовали виды рыб, отличающихся по типу (хищные и мирные) и спектру питания: щука, налим, окунь, хариус, елец, карась; а также пищевые объекты мирных рыб (водные растениях, зообентос). Активность радионуклидов в пробах измеряли с помощью гамма-спектрометра с HPGe-детектором (Canberra, США).

Содержание радионуклидов с наведенной активностью в биомассе гидробионтов, в т.ч. представителях ихтиофауны ($^{51}$Cr, $^{54}$Mn, $^{58}$Co, $^{60}$Co, $^{65}$Zn, $^{141,144}$Ce, $^{152,154}$Eu, $^{239}$Np) снижалось после остановки реактора, тогда как снижения содержания $^{137}$Cs не наблюдалось. Величины удельных активностей $^{137}$Cs в мышцах рыб были значительно ниже установленных в РФ санитарных норм, как и во время работы проточных реакторов на ГХК. Выявлены отличия в накоплении $^{137}$Cs в мышцах рыб, отличающихся по типу питания: наибольшее содержание $^{137}$Cs отмечено в хищных рыбах (щуке); мирные рыбы–бентофаги (елец и хариус) и факультативный хищник (налим) накапливали $^{137}$Cs в меньшей степени. Оценены коэффициенты накопления радионуклидов компонентами трофических сетей из воды и в трофических парах.

Эффективность трофического переноса $^{137}$Cs в мышцы щуки из рыб-бентофагов очень высока (КН=2.0-9.4), что свидетельствует о биомагнификации этого радионуклида в трофической цепи. В мышцах налима возможно эффективное накопление $^{60}$Co (КН=1,7-3,3) из тел ельцов и хариусов. Накопление техногенных радионуклидов «мирными» рыбами-бентофагами р. Енисей из зообентоса неэффективно (КН<1). В мышцах ельцов и хариусов возможно эффективное накопление природного радионуклида $^{40}$K (КН=1.3-3.1).

Таким образом, в отличие от изотопов с наведенной активностью, содержание долгоживущего продукта деления - $^{137}$Cs в ихтиофауне р. Енисей не снижается со временем после остановки реакторного производства на ГХК, этот радионуклид может переноситься в трофических сетях и эффективно накапливаться в мышцах хищных промысловых рыб.

# ЕСТЕСТВЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ И ТЕХНИЧЕСКИЙ СПОСОБ РЕАБИЛИТАЦИИ ЗАГРЯЗНЕННЫХ ДОЛГОЖИВУЩИМИ РАДИОНУКЛИДАМИ ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ ГОМЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ

*А.В.Зубарева[1], А.Г.Кравцов[2], А.Н.Никитин,[1] С.В.Зотов[3]*
[1]Институт радиобиологии НАН Беларуси, Гомель, Беларусь,
alesyazubareva@mail.ru
[2]Гомельский филиал НАН Беларуси, Гомель, Беларусь,
[3]Институт механики металлополимерных систем им. В.А. Белого НАН Беларуси, Гомель, Беларусь.

Для Беларуси остается актуальной проблема загрязнения экосистем долгоживущими радионуклидами, в том числе трансурановыми элементами (ТУЭ). Водные экосистемы играют важную роль в перераспределении радиоактивных изотопов. Поиск путей реабилитации загрязненных водных объектов пока не привел к единому пониманию механизмов выведения радионуклидов из водоемов.

Нами проведены исследования особенностей накопления долгоживущих радионуклидов водоемами Гомельской области (оз. Персток, р. Припять, р. Словечна и р. Брагинка), расположенных вблизи или на территории Полесского государственного радиационно-экологического заповедника (ПГРЭЗ). Максимальные значения удельной активности (УА) радионуклидов из всех исследуемых водных объектов отмечаются в оз. Персток и составляют в воде по $^{90}$Sr–5,16 Бк/л, $^{137}$Cs–14 Бк/л, $^{239+240}$ Pu–2,02 Бк/л, $^{241}$Am–2,42 Бк/л, а в водной взвеси 0,02 Бк/кг, 0,013 Бк/кг, 0,06 Бк/кг, 1,96 Бк/кг соответственно. По трофическим цепям долгоживущие радионуклиды переходят в фито- и зоопланктон в водные макрофиты, гидробионты и донные отложения. Удельная активность долгоживущих радионуклидов и в высшей водной растительности и ихтиофауне достаточно высока и варьирует по$^{137}$Cs в пределах 3350–22000 Бк/кг, по $^{90}$Sr – 222–87223 Бк/кг, по ТУЭ 1,09–2,77 Бк/кг, а в донных отложениях по $^{137}$Cs в пределах 15700–187000 Бк/кг; по $^{90}$Sr – 4000–37900 Бк/кг, по ТУЭ – 84–270 Бк/кг. В ходе изучения способности водных объектов к самоочищению установлено незначительное снижение содержания долгоживущих радионуклидов: в оз. Персток в период 2002–2011 гг. вследствие реализации естественных механизмов самоочищения УА воды по $^{137}$Cs изменилась в пределах 5,64–3,11 Бк/л, по $^{90}$Sr–3,05–3,57 Бк/л. Однако УА поТУЭ существенно выросла (с 0,003 до 0,15 Бк/л). Высокая УА сохраняется в гидробионтах (по $^{137}$Cs до 22000 Бк/кг) и донных отложениях (по $^{137}$Cs до 187000 Бк/кг). Тем самым, можно утверждать о сохранении до настоящего времени значительного уровня загрязнения замкнутых водных экосистем в ПГРЭЗ и о медленном ходе процессов естественного самоочищения.

Актуальна необходимость поиска технических средств и способов очистки природных водоемов от радионуклидов. Авторами получен положительный эффект при очистке воды оз. Персток с помощью патентуемого в Беларуси комбинированного сорбента, включающего полимерный волокнисто-пористый носитель, импрегнированный гуминовой добавкой. В сорбенте осуществляется захват дисперсных частиц переплетенными волокнами микронных размеров, а добавки выполняют функцию специфического накопления долгоживущих радионуклидов. Эффективность сорбента (снижение УА отфильтрованной воды по $^{137}$Cs с 14до 2,45 Бк/л, по$^{239+240}$ Pu с 2,02 до 0,62 Бк/л, по $^{241}$Am с 2,42 до 0,27 Бк/л) обусловлена также электрической и магнитной активностью, приданной волокнам. Размещение подобных сорбентов, обладающих малой плотностью, на поверхности водоемов позволит внести вклад в реабилитацию последних.

# ВЛИЯНИЕ МИКРОФЛОРЫ ПОЧВЫ НА ПОСТУПЛЕНИЕ РАДИОНУКЛИДОВ В РАСТЕНИЯ

*В.В. Ильенко, Е.Ю. Паренюк, И.Н. Гудков*
Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины,
Киев, Украина,
ingudkov@ukr.net

Изучение влияния микроорганизмов на переход радионуклидов в звене почва–растение имеет чрезвычайно важное значение. Выяснив механизм этого процесса и роль, какую в нем играют микроорганизмы, можно эффективно использовать такой мощный фактор как микрофлора почвы для снижения или повышения накопления радионуклидов в растениях в зависимости от поставленной цели – получение чистой продукции растениеводства на загрязненной радионуклидами территории или, наоборот, снижение уровня радионуклидного загрязнения почвы путем ее фитодезактивации.

Объектами изучения стали отобранные в предварительных исследованиях штаммы микроорганизмов *Azotobacter chroococcum* 20А, *Azotobacter chroococcum* 9Т, *Bacillus megaterium* и *Agrobacterium radiobacter*. Их использовали для инокуляции семян растений рапса и пшеницы, которые в последующем выращивали на стерильном кварцевом песке, искусственно загрязненном $^{137}$Cs (удельная активность 4 Бк/г).

Среди вариантов с растениями рапса наибольшей удельной радиоактивностью, т.е. способностью к накоплению радионуклида, обладали инокулированные *A. chroococcum* 20А – 876,5±63,2 Бк на г воздушно-сухой биомассы, что в 1,5 превышало уровень контроля – 593,2±35,0 Бк. Минимальной способностью к накоплению $^{137}$Cs обладали растения, инокулированные *A. radiobacter*, удельная активность которых снижалась до 495,0±83,7 Бк/г, что в 1,2 раза ниже, чем у растений контроля. Оценка удельной активности воздушно-сухой биомассы растений пшеницы показала, что наибольшей радиоактивностью обладали растения, инокулированные *B. megaterium* – 302,5±75,8 Бк/г, что в 5 раз превышало уровень контроля (59,6±9,5 Бк/г). Минимальный уровень отмечали у растений инокулированных *A. radiobacter* – 86,8±14,9 Бк/г.

В целом, практически все отобранные штаммы микроорганизмов увеличивали переход $^{137}$Cs в растения рапса и пшеницы. Исключением был *A. radiobacter* который несколько уменьшал переход радионуклида в растения рапса. И это свидетельствует о том, что с помощью бактериальной флоры можно не только увеличивать накопление радионуклидов растениями во много раз, но и снижать. Несомненно, процесс перехода радионуклидов, не только $^{137}$Cs, но и других, зависит от штаммов микроорганизмов, видовой принадлежности растений, физико-химического состояния радионуклидов и ряда других факторов. Полученные данные позволяют утверждать, что возможно применение таких бактериальных препаратов, которые могли бы целенаправленно в зависимости от задачи снижать или повышать накопление радионуклидов растениями. Данный подход открывает определенные перспективы в разработке новых приемов в проблеме минимизации последствий загрязнения сельскохозяйственной сферы радиоактивными веществами вследствие радиационных аварий.

**ВЛИЯНИЕ РАДИОАКТИВНЫХ ВЫБРОСОВ АЭС «ФУКУСИМА-1» НА СРЕДУ ЕВРО-АРКТИЧЕСКОГО РЕГИОНА**

*Г.В. Ильин, Н.Е. Касаткина, И.С. Усягина, Г.Г. Матишов*
Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН, Мурманск, Россия,
ilyin@mmbi.info

Авария на АЭС «Фукусима-1» привела к значительной эмиссии искусственных радионуклидов в атмосферу и в морскую среду. Продукты ядерного деления были вскоре обнаружены в атмосферных выпадениях в отдаленных районах планеты. В атмосферных аэрозолях над Кольским полуостровом в марте-апреле следы аварийных выбросов обнаружены станциями МУГМС. Регистрировались изотопы $^{131}$I, $^{134}$Cs, $^{132}$Te, $^{137}$Cs. Возможность выпадения радионуклидов на морскую поверхность, включение их в био- и геохимические циклы определила важность изучения радиоэкологических угроз для Кольского п-ова и морей Западной Арктики. Исследования проведены весной, летом и осенью 2011 г.

Спектр радионуклидов в прибрежной зоне, где аккумулируются стоки с территории водосбора, не изменился по сравнению с периодом до аварии. В компонентах среды и в гидробионтах содержались лишь $^{137}$Cs и $^{90}$Sr. В воде и в донных осадках их активность не превышала фоновых величин последних лет.

Для литоральных макрофитов и тканей моллюсков характерны предельно низкие концентрации $^{137}$Cs и $^{90}$Sr. Очень низкой активность $^{137}$Cs была и в мышцах рыб (0.10 Бк/кг).

В удаленных от побережья районах моря в спектрах отсутствовали маркерные для выбросов АЭС изотопы, отмеченные в аэрозолях. Радиоэкологическое состояние среды по спектру нуклидов, по уровню активности и характеру их распределения не отличалось от состояния в 2005-2010 гг.

Ретроспективный анализ активности радионуклидов в пунктах постоянного наблюдения, показал, что в воде, в донных осадках и в биоте, сохраняется тенденция снижения активности. Эта тенденция как показатель самоочищения бассейна установилась в 1980-х гг.

Хотя следы выброса радионуклидов отмечались в атмосферных аэрозолях Западной Арктики, это не вызвало значимых изменений радиационного фона в регионе. Возможные сухие и влажные выпадения радионуклидов в водосборном бассейне и на морскую акваторию не повлияли на радиоэкологическую ситуацию в прибрежье и в открытых частях моря. Последствия аварии на АЭС в настоящее время не создают дополнительных угроз здоровью населения, состоянию морских и прибрежных экосистем, экономическому развитию региона.

Работа выполнена при поддержке международного проекта CEEPRA.

# ВЛИЯНИЕ ФЕРРОЦИНА И ПРЕМИКСА НА ПЕРЕХОД $^{137}$Cs В МОЛОКО КРС НА ТЕХНОГЕННО ЗАГРЯЗНЕННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ

*Н.Н. Исамов(мл.), П.Н. Цыгвинцев, О.С. Губарева*
Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии
ФАНО, Обнинск, Россия,
nizomis@yandex.ru

Одной из важнейших проблем, стоящих перед животноводством на территориях, загрязненных в результате аварии на Чернобыльской АЭС, остается проблема снижения перехода 137Cs из кормов в молоко сельскохозяйственных животных.

Применение ферроцинсодержащих препаратов является надежным и давно апробированным способом снижения поступления $^{137}$Cs в организм сельскохозяйственных животных. Однако на территории радиоактивного загрязнения, рационы животных часто не сбалансированы по минеральным элементам, что в свою очередь приводит к снижению продуктивности. Совместное применение минерального премикса и сорбента в рационе животных может снизить как эффективность сорбции радионуклидов, так и эффективность премикса за счет неспецифической сорбции ферроцином микроэлементов, содержащихся в премиксе.

Изучении эффективности применения ферроцина для снижения поступления $^{137}$Cs в молоко и мясо КРС при совместном использовании премикса в составе рациона выполнили в колхозе «Комсомолец» Новозыбковского р-на Брянской области при средней плотности загрязнения сельскохозяйственных угодий $^{137}$Cs 970 кБк/м$^2$. Исследования проводили на телятах (60 суток) и лактирующих коровах (90 суток) при стойловом содержании. В дополнение к хозяйственному рациону животные в разных группах получали ферроцин (доза 6 г/гол/сут) и (или) премикс ПКК 60-1 для коров, производства ЗАО «Витасоль» (дозы 200 и 600 г/гол/сут).
Содержание 137Cs в рационе животных составляло для телят 4,5; 3,4 и 1,9 кБк/сутки до начала и на 30 и 60 сутки эксперимента, соответственно; для коров 5,0; 7,5; 4,5 и 3,1 кБк/сутки до начала и на 30; 60 и 90 сутки эксперимента, соответственно.

Дисперсионный анализ не выявил влияния фактора использования премикса в разных дозах на снижение поступления 137Cs в молоко и мясо КРС. Эффективность ферроцина по группам не различалась достоверно и в среднем составила 30-40% снижения для мяса телят, 20-30% для мяса коров и 50% для молока коров.

Динамика среднесуточных привесов телят не зависела от применения ферроцина и составила в среднем за 2 месяца 618 г в сутки без добавления премикса в рацион. Введение премикса в рекомендованной дозе (150 г/гол/сут) способствовало повышению среднесуточных привесов телят до 905 г. На молочную продуктивность коров ферроцин также не оказал влияния, но применение премикса в дозах 200 и 600 г/гол/сут увеличило молочную продуктивность коров перед запуском. Использование ферроцина и премикса в разных дозах как совместно, так и раздельно, не оказало влияния на качественные показатели молока коров. Среднее по группе содержание жира в молоке колебалось в пределах 2,6-5,8 %; белка – 3,0-3,3 %; СОМО – 8,1-9,1.

В результате проведенных исследований установлено, что применение премикса на фоне недостаточности рациона по микроэлементам способствует повышению мясной продуктивности телят и молочной продуктивности коров не менее чем на 15 %. Добавление премикса и ферроцина одновременно в рацион КРС не влияет на эффективность сорбента в отношении 137Cs. На территории радиоактивного загрязнения 137Cs применение ферроцина рекомендуется совмещать с добавлением премиксов в рацион животных.

# СОВРЕМЕННЫЕ УРОВНИ РАДИОНУКЛИДНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ РЫБ ВОДОЕМОВ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ ЗОНЫ ОТЧУЖДЕНИЯ

*А.Е. Каглян[1], Д.И. Гудков[1], В.Г. Кленус[1], З.О. Широкая[1], А.Б. Назаров[2], Л.П. Юрчук[1]*
[1]Институт гидробиологии НАН Украины, Киев, Украина, alex_kt983@mail.ru
[2]ГСП «Чернобыльский спецкомбинат», Чернобыль, Украина.

Систематические радиоэкологические исследования ихтиофауны замкнутых и слабопроточных пойменных водоемов р. Припять в пределах украинского участка Чернобыльской зоны отчуждения (ЧЗО) выполняются Институтом гидробиологии НАН Украины с конца 1990-х годов. В 12 водоемах исследована удельная активность $^{90}$Sr и $^{137}$Cs для 15 видов рыб возрастом от 1 до 12 лет, относящихся к различным экологическим группам. Поскольку, большая часть выпадений $^{90}$Sr оказалась локализована на территории ЧЗО, то в рыбе водных объектов, находящихся за ее пределами, сравнительное содержание радионуклида также было невысоким, что способствовало формированию точки зрения о том, что $^{137}$Cs является основным дозообразующим радионуклидом в рыбе водоемов, загрязненных радионуклидами чернобыльского происхождения. Однако, как показали собственные исследования, в замкнутых и слабопроточных водоемах ЧЗО наблюдается совершенно иная ситуация. Благодаря особенностям гидрологического и гидрохимического режима, а также поступлению мобильных, биологически доступных форм $^{90}$Sr с территории водосбора, этот радионуклид играет доминирующую роль как в радионуклидном загрязнении, так и формировании дозовых нагрузок для биоты водных экосистем ЧЗО с ограниченным водообменом. В настоящее время содержание $^{90}$Sr у «мирных» видов рыб превышает содержание $^{137}$Cs в 2–8 раз, а в некоторых случаях – до 50 раз. Для хищных видов этот показатель составляет не более 2,5. Основными факторами, определяющими количественное содержание $^{90}$Sr и $^{137}$Cs в рыбе ЧЗО, является уровень и состав радионуклидного загрязнения водных объектов и их водосборных территорий, а также гидрологический и гидрохимический режим водоемов. Выявлены также отличия в динамике накопления радионуклидов «мирными» и хищными видами рыб с увеличением размерно-весовых характеристик. Наибольшими величинами удельной активности как $^{90}$Sr, так и $^{137}$Cs в рыбе характеризуются замкнутые водоемы левобережной и правобережной поймы р. Припять, несколько меньшие значения отмечены для водоемов с более высоким уровнем проточности и минимальные – для речных экосистем ЧЗО. Практически для всех исследованных водоемов зарегистрировано более высокое содержание $^{90}$Sr в рыбе по сравнению с $^{137}$Cs. Исключение составляют водные объекты с повышенным водообменом: водоем-охладитель ЧАЭС, являющийся полуприродным водоемом с системой искусственной подкачки воды из р. Припять, а также, непосредственно, русло р. Припять. Отдельно следует упомянуть оз. Вершина, находящееся в центре одамбированной территории Красненской поймы и характеризующееся максимальными уровнями содержания $^{90}$Sr в компонентах экосистемы среди исследованных нами водных объектов ЧЗО. В настоящее время удельная активность $^{90}$Sr в рыбе непроточных водоемов ЧЗО находится в пределах от 67 Бк/кг в водоеме-охладителе ЧАЭС до 101220 Бк/кг в оз. Вершина, что превышает допустимые уровни (ДУ) в 2–2892 раз, а $^{137}$Cs – от 350 Бк/кг в Новошепелическом затоне до 31800 Бк/кг в оз. Глубокое, что в 2–212 раз превышает ДУ, согласно принятым в Украине нормативам для рыбной продукции (35 Бк/кг для $^{90}$Sr и 150 Бк/кг для $^{137}$Cs). Что касается русловых участков речных экосистем, то в связи с повышенной проточностью и способностью к самоочищению, незначительные превышения ДУ были зарегистрированы в единичных случаях только для $^{137}$Cs и, в основном, у хищных видов рыб.

# ОСОБЕННОСТИ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НАКОПЛЕНИЯ РАДИОНУКЛИДОВ ($^{137}$Cs, $^{90}$Sr) ВЫСШЕЙ ВОДНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТЬЮ ОЗЕРА ПЕРСТОК ПОСЛЕ АВАРИИ НА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС

*С.А.Калиниченко*
Полесский государственный радиационно-экологический заповедник,
Хойники, Беларусь, s-a-k@list.ru

Анализ процессов динамики накопления и перераспределения радионуклидов, происходящих в водных биоценозах, связан со значительными колебаниями гомеостаза экосистемы и особенностями биологии водных организмов. При попадании в водные экосистемы радионуклиды неравномерно накапливаются отдельными компонентами экосистем, при этом особенности распределения радионуклидов по компонентам обусловлены характеристиками конкретного водоема.

В данных исследованиях был проведен анализ годовой и сезонной динамики содержания $^{137}$Cs и $^{90}$Sr в некоторых мониторинговых видах макрофитов пойменного озера Перстоk, расположенного на территории белорусского сектора зоны отчуждения ЧАЭС. Для изучения годовой динамики были взяты укорененные, с надводными листьями водные растения, относящиеся к прибрежно-водной экологической группе: тростник обыкновенный (*Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud.), аир болотный, обыкновенный *(Acorus calamus* L.*)* и рогоз узколистный (*Typha angustifolia* L.). На фоне общей тенденции к снижению накопления радионуклидов в высшей водной растительности (ВВР) наблюдается значительный диапазон внутривидовых колебаний значений удельной активности $^{137}$Cs и $^{90}$Sr по годам. Так, за 6 лет исследований максимальные колебания содержания радионуклидов составили у тростника обыкновенного 5 раз для $^{137}$Cs и 4,5 раза в отношении $^{90}$Sr. Для аира болотного данные значения составили соответственно 2,2 и 1,9 раза, для рогоза – 16,6 и 2,4 раза.

Объяснить данные колебания влиянием одного какого-либо фактора было бы не верно, так как на водную экосистему постоянно действуют целые группы биотических и абиотических факторов, изменяя как физиологические параметры водных организмов, так и состояние самой среды их обитания. При этом изменяются условия развития высших гидрофитов, микроклиматические параметры, гидрологический режим и др., что приводит к перераспределению благоприятных факторов роста и развития тех или иных видов растений. Это в конечном итоге может отражаться и на варьировании уровней накопления радионуклидов в растениях в разные годы и на перераспределении радиоактивных веществ между видами и экологическими группами ВВР. Кроме этого, необходимо учитывать и физико-химические процессы, происходящие с радионуклидами, находящимися в данной экосистеме. Скорость данных процессов может колебаться в зависимости от изменения биохимических параметров среды при старении водоема.

При оценке сезонной динамики удельной активности радионуклидов в ВВР отмечена тенденция увеличения содержания $^{137}$Cs и $^{90}$Sr к окончанию вегетационного периода и снижение к началу периода увядания (сентябрь) во всех экологических группах, кроме прибрежно-водной. У растений данной группы характерна обратная динамика $^{137}$Cs, а содержания $^{90}$Sr остается неизменным в течение всего вегетационного периода. Темпы поступления $^{90}$Sr в высшие водные растения, как правило, выше, чем $^{137}$Cs по сравнению с периодом начала роста. Тенденция увеличения содержания радионуклидов в ВВР в течение сезона связана с высокой меристематической активностью тканей растений в летний вегетационный период. Когда физиологические процессы замедляются, уменьшается и осмотический ток минеральных веществ, в том числе и поступление их радиоактивных аналогов, в ткани вегетирующих растений.

# ОСОБЕННОСТИ ЛАТЕРАЛЬНОЙ МИГРАЦИИ $^{137}$Cs, $^{90}$Sr, $^{241}$Am В ПОЧВЕ СОСНОВОГО ЛЕСА С НИЗКИМ УГВ НА ТЕРРИТОРИИ ЗОНЫ ОТЧУЖДЕНИЯ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС

*С.А.Калиниченко*
Полесский государственный радиационно-экологический заповедник,
Хойники, Беларусь, s-a-k@list.ru

Изучение миграции радионуклидов с учетом пространственно-временной структуры ландшафтов зоны отчуждения ЧАЭС на разных масштабных уровнях может служить для пространственной оценки и прогноза радиоэкологических ситуаций, являться основой радиологической экспертизы загрязненных территорий.

В результате проведенных исследований оценка содержания радионуклидов в почве показала, что максимальные плотности загрязнения выбранного полигона составили: для $^{137}$Cs – 5820,9 кБк/м$^2$ (157,3 Ки/км$^2$), для $^{90}$Sr – 2109,9 кБк/м$^2$ (57,0 Ки/км$^2$), для $^{241}$Am – 133,0 кБк/м$^2$ (3,6 Ки/км$^2$). Среднее значение мощности дозы γ-излучения (МД) на высоте 1 м составило 3,27 мкЗв/ч, на поверхности почвы – 3,99 мкЗв/ч. Проведенные измерения МД на высоте 1м на территории экспериментального полигона показали невысокую вариабельность, коэффициент вариации ($V$) составил 5,5%. На высоте 3-4 см от поверхности почвы $V$ составил 9,5%.

Проведенные нами исследования указывают на ряд общих закономерностей пространственного распределения радионуклидов в почве. Однако, не во всех исследуемых случаях параметры варьирования признака при латеральном перераспределении в верхнем 20-см слое схожи. Так, в отношение $^{90}$Sr был получен высокий коэффициент вариации (75,2 %) для экспериментального полигона, расположенного в сосновом лесу, более характерный для свежих радиоактивных выпадений, что, скорее всего, связано со структурной организацией экосистемы соснового леса. Коэффициенты вариации для $^{137}$Cs (25,7 %) и $^{241}$Am (31,9 %) на исследуемом участке являются характерными для отдаленного периода аварии и подтверждаются исследованиями российских и украинских ученых. Следует отметить, что существующие различия в варьировании латерального распределения радионуклидов в почве биогеоценозов ближней зоны ЧАЭС обусловлены не только характером и временем радиоактивных выпадений, но и ландшафтно-структурной организацией экосистем, изменением гидрологических и погодно-климатических условий, типом растительного сообщества и роющей деятельностью животных.

В целях выявления характера распределения $^{137}$Cs, $^{90}$Sr, $^{241}$Am в почве на территории экспериментального полигона нами был проведен вариационный анализ по основным статистическим параметрам. Показатели дисперсии и среднего квадратичного отклонения приемлемы для заданных условий имеющейся совокупности значений. Расчет значений доверительного интервала в большинстве случаев показал незначительное отклонение от величины средних значений при характерном для таких исследований уровне значимости ($P$≤0,05), что говорит о высокой достоверности проведенных наблюдений. При расчете параметров вариационных рядов были оценены показатели асимметрии и эксцесса, их ошибки и критерии достоверности. Для наших исследований при $N$ = 100, ошибки асимметрии и эксцесса составляют: $S_{As}$ = 0,24 и $S_{Ex}$ = 0,48. Расчет критериев достоверности этих оценок ($t_{As}$, $t_{Ex}$) показал, что в случае исследуемых нами параметров говорить о распределении эмпирических данных по нормальному закону нельзя. Это подтверждает и проверка по биометрическим таблицам. Практически во всех случаях нулевая гипотеза опровергается. Данные расчеты подтверждают теорию о логнормальном пространственном распределении Чернобыльских выпадений.

# НАКОПЛЕНИЕ РАДИОНУКЛИДОВ ($^{137}$Cs, $^{90}$Sr) ВЫСШИМИ ГИДРОФИТАМИ РАЗЛИЧНЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ГРУПП В УСЛОВИЯХ ЗОНЫ ОТЧУЖДЕНИЯ АВАРИИ НА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС

*С.А.Калиниченко*[1], *Ю.Д.Марченко*[1], *О.А.Шуранкова*[2]
[1]Полесский государственный радиационно-экологический заповедник, Хойники, Беларусь, s-a-k@list.ru
[2]ГНУ «Институт радиобиологии НАН Беларуси», Гомель, Беларусь.

Исследования распределения радионуклидов по компонентам водных экосистем в радиоэкологии отличаются своей сложностью, что связанно с многофакторностью процессов, протекающих в водной среде. Тем не менее, изучению путей миграции радионуклидов в пресных водах и, особенно в озерах, как системах более чувствительных к радиоактивному загрязнению, должно уделяться больше внимания.

Объектом исследования служили водные макрофиты 4-х экологических групп в зависимости от места их произрастания: I – плавающие по поверхности водоема, не укореняющиеся; II – укорененные, с плавающими на поверхности листьями; III – укорененные, погруженные в толщу воды; IV – укорененные, с надводными листьями. В качестве модельных водоемов были использованы пойменное оз. Персток, старица р. Припять и русло Погонянского канала в районе н.п. Борщёвка.

Проведенные нами исследования закономерностей перехода $^{137}$Cs и $^{90}$Sr в высшую водную растительность (ВВР) позволили установить ряд особенностей поведения их в водоемах зоны отчуждения:

Содержание радионуклидов в водных растениях зависит от нескольких факторов: степени загрязнения водоема (в первую очередь донных отложений), поглотительной способности видов, времени года, условий произрастания. Несмотря на некоторое ежегодное снижение общего содержания радионуклидов в ВВР, в перераспределении удельной активности по видам наблюдается некоторая флуктуация, что характерно для столь динамичной водной среды.

Наиболее высокие абсолютные величины содержания $^{137}$Cs и $^{90}$Sr в течение всего периода наших наблюдений были характерны для водокраса обыкновенного ($^{137}$Cs – 11,7 кБк/кг; $^{90}$Sr – 26,8 кБк/кг), принадлежащего к I экологической группе. Растения IV группы отличились наименьшими значениями: в отношении $^{137}$Cs – рогоз узколистный (0,41 кБк/кг), $^{90}$Sr – тростник обыкновенный (1,7 кБк/кг). В разные периоды высокую степень накопления показали растения III экологической группы (уруть, телорез), погруженные в толщу воды и водяной орех плавающий, относящийся ко II группе.

Установлены коэффициенты концентрирования ($K_к$) и дискриминации ($K_д$), и в зависимости от избирательной способности накапливать различные радионуклиды выделены виды концентраторы и антагонисты. Характер распределения $K_к$ в различных видах ВВР достаточно объективно позволяет оценить индивидуальные видовые особенности накопления радионуклидов. Сравнительный анализ коэффициентов концентрирования $^{137}$Cs и $^{90}$Sr доминирующими видами ВВР, проведенный для трех модельных водоемов, указывает на обратную зависимость $K_к$ от степени загрязнения донных отложений. По полученным данным $K_д$ для разных видов ВВР, произрастающих на водоемах ближней зоны радиоактивных выпадений, может различаться в десятки раз. Наименьшим значением $K_д$ (2,8) отличались водные макрофиты старицы р. Припять, наибольшим – растения Погонянского канала (5,6). На различных водоемах подтверждается избирательность накопления $^{90}$Sr рогозом узколистным. В зависимости от принадлежности растений к экологической группе различий в значениях $K_д$ не обнаружено, разница в приоритете накопления того или иного радионуклида определяется в большей степени видовыми особенностями.

# УРОВЕНЬ ПОВРЕЖДЕНИЯ И СКОРОСТЬ РЕПАРАЦИИ ДНК В КЛЕТКАХ ДОЖДЕВЫХ ЧЕРВЕЙ ИЗ ПОПУЛЯЦИЙ, ДЛИТЕЛЬНОЕ ВРЕМЯ ОБИТАЮЩИХ В ПОЧВЕ С ПОВЫШЕННЫМ СОДЕРЖАНИЕМ РАДИОНУКЛИДОВ И ДРУГИХ ХИМИЧЕСКИХ МУТАГЕНОВ

*А.В. Канева, Е.С. Белых, Т.А. Майстренко, Д.М. Шадрин, Я.И. Пылина, И.О. Велегжанинов*
Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, Россия,
vellio@yandex.ru

Проблеме изучения влияния малых доз ионизирующих излучений и химических токсических агентов на биологические системы на различных уровнях организации посвящено большое число научных исследований. В то же время крайне мало экспериментальных данных, позволяющих выявить молекулярно-клеточные механизмы адаптации к неблагоприятному воздействию факторов окружающей среды животных и растительных объектов из природных популяций. Целью настоящего исследования была оценка генотоксических эффектов у дождевых червей *Aporrectodea calliginosa Savigny* и *Lumbricus rubellus Hoffmeister* из популяций, в течение многих поколений заселяющих территории с техногенно повышенным содержанием в почвах тяжёлых естественных радионуклидов и тяжёлых металлов. Установлено, что детектируемые с помощью щелочной и нейтральной версии метода ДНК-комет уровни повреждения ДНК беспозвоночных, длительное время обитающих на загрязнённых территориях, не отличаются от спонтанного уровня таких нарушений у животных из контрольной популяции. В то же время скорость репарации повреждений ДНК, индуцированных в клетках особей *A. caliginosa* с загрязнённой территории дополнительным острым облучением была значительно выше, чем для червей с контрольных участков.

С помощью анализа полиморфизма длин амплифицированных фрагментов ДНК (AFLP) получены данные о генетическом разнообразии популяций *A. caliginosa,* обитающих на загрязнённых и контрольных участках. Результаты обсуждены в контексте микроэволюционных процессов, происходящих под действием хронического генотоксического воздействия.

Работа поддержана грантом РФФИ РБУ_а № 13-04-90351.

# ИСКУССТВЕННЫЕ РАДИОНУКЛИДЫ В СЪЕДОБНЫХ ДИКОРАСТУЩИХ ГРИБАХ И ЯГОДАХ МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ

*Н.Е. Касаткина, Д.А. Валуйская, Г.Г. Матишов*
Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН, Мурманск, Россия,
kasatkina@mmbi.info

Повсеместное распространение техногенных изотопов существенно повысило риск получения населением Российской Федерации и некоторых стран Западной Европы дополнительной дозы внутреннего облучения от потребления пищевых продуктов лесного происхождения.

Отбор проб почвы, мхов, лишайников, съедобных грибов и ягод проведен в 2011-2012 гг. в нескольких районах Мурманской области, наиболее посещаемых местным населением при сборе лесной продукции.

По данным проведенных исследований удельная активность $^{137}$Cs в верхнем слое почвы варьировала в диапазоне 11.6–113.0 Бк/кг. Лишайники сем. Cladoniaceae в среднем содержали 22.6 Бк/кг $^{137}$Cs и 3.2 Бк/кг $^{90}$Sr. Активность $^{137}$Cs на 1−2 порядка ниже, чем в 1990-е гг. Измеренные уровни также ниже средних значений загрязненности мохово-лишайникового покрова Севера Европейской территории России.

Исследования грибов семейств Boletaceae и Russulaceae выявили широкую вариабельность удельных активностей $^{137}$Cs. Наиболее популярные и часто встречающиеся съедобные грибы подосиновик желто-бурый (*Leccinum versipelle*) содержал $^{137}$Cs в количестве от 1.2−19.1 Бк/кг, сыроежка болотная (*Russula paludosa*) – от 6.2 до 49.4 Бк/кг. Удельная активность $^{90}$Sr во всех исследованных видах грибов значительно ниже, чем $^{137}$Cs.

Среднее содержание $^{137}$Cs в плодах ягодных кустарников сем. Ericaceae составляет 2.1 Бк/кг, при этом максимальная удельная активность радионуклида (7,1 Бк/кг) отмечалась в чернике обыкновенной *Vaccinium myrtillus*. Удельная активность $^{90}$Sr в ягодах всех исследованных видов не превышала 2.6 Бк/кг.

Современное содержание основных дозообразующих радионуклидов в грибах и в ягодах Мурманской области значительно ниже предельно допустимых уровней, регламентируемых СанПиН 2.3.2.1078-01. По сравнению с началом 1990-х гг. удельная активность $^{137}$Cs в грибах снизилась приблизительно в 10 раз, а в ягодах − в 4 раза.

Сравнение существующих уровней накопления $^{137}$Cs в съедобных дикорастущих грибах и ягодах с аналогичными данными, полученными финскими и норвежскими исследователями показало, что «продукты леса», произрастающие на территории Мурманской области, имеют более низкие уровни загрязнения по сравнению с аналогичными видами, собранными на севере Финляндии и Норвегии.

Расчет дозы внутреннего облучения человека от $^{137}$Cs и $^{90}$Sr при употреблении лесных ягод и грибов, выполненный для «условного потребления» − 1 кг в год, показал, что население Северной Финляндии получает несколько большие дозы техногенного облучения, что объясняется повышенным загрязнением территории финской Лапландии после аварии на Чернобыльской АЭС. Однако с точки зрения радиационной гигиены употребление в пищу продуктов леса безопасно, как для населения Мурманской области, так и для Северных регионов Норвегии и Финляндии.

Работа выполнена при поддержке международного проекта CEEPRA.

# ПРАКТИКА И ПОДХОДЫ ВОЗВРАЩЕНИЯ К НОРМАЛЬНЫМ УСЛОВИЯМ ЖИЗНИ РЕГИОНОВ, ПОСТРАДАВШИХ В РЕЗУЛЬТАТЕ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АВАРИИ В УКРАИНЕ

*В.А. Кашпаров*
Украинский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной радиологии Национального университета биоресурсов и природопользования Украины, Киев, Украина
vak@uiar.kiev.ua

В соответствии с законодательством Украины в 1990-1995 гг. 2293 населенных пункта (НП) в 72 районах 12 областей Украины были отнесены к четырем зонам радиоактивного загрязнения, где сейчас проживает более 2.15 миллиона человек. Не смотря на улучшение радиологической обстановки за все послеаварийные годы в Украине зонирование радиоактивных территорий не пересматривалось. Исключение составили только 6 сел Ровенской и Волынской областей, население которых отказалось переселяться, и которые в 2004 г. были переведены из зоны обязательного в зону добровольного отселения из-за необходимости легализации бюджетного финансирования.

В соответствии с Законом Украины к радиоактивно загрязненным территориям относятся территории, где среднегодовая эффективная доза (СГЭД) облучения населения может превышать 1 мЗв. По официальным данным, полученным даже с помощью очень консервативной методики (10 раз для внутренней СГЭД>0.5 мЗв), сейчас в Украине только 25 таких наслоенных пунктов, в которых основной вклад дает внутреннее облучение за счет потребления местных продуктов питания (средняя удельная активность $^{137}$Cs в молоке коров достигает 500 Бк/л). Высокие уровни загрязнения сельскохозяйственной продукции в этих насланных пунктах обусловлены аномально высокими КП радиоцезия в растительность на переувлажненных торфяниках. Без применения защитных мероприятий эффективный период полууменьшения КП $^{137}$Cs в данных условиях составляет 25-28 лет и не приходится ожидать улучшения радиологической ситуации в ближайшем будущем.

При определении среднегодовой дозы для представительной персоны, в соответствии с новым BSS МАГАТЭ и рекомендациями МКРЗ, число НП с превышением 1 мЗв будет менее 10. Показано, что при сравнительно небольших затратах применение защитных мероприятий (ферроцин и коренное улучшение лугов), направленных на уменьшение содержания $^{137}$Cs в молоке коров местного населения, позволяет снизить СГЭД во всех НП Украины, где проживает население, ниже 1 мЗв.

По результатам проведенной дозиметрической паспортизации последних 5 лет экспертной группой НКРЗУ были подготовлены заключения о том, что в соответствии с Законом в настоящее время 1730 НП могут быть выведены из зон радиоактивного загрязнения. Критериям существующего радиационного зонирования по данным последних 5 лет соответствует 433 НП, из них только 111 - критериям 3-й зоны добровольного отселения со СГЭД > 1 мЗв или плотностью загрязнения территории $^{137}$Cs> 555 кБк/м$^2$. В соответствии с Законом Украины экспертные заключения были направлены в областные Советы для принятия соответствующих решений. В настоящее время ни одного решения относительно пересмотра статуса населенных пунктов, отнесенных к зонам радиоактивного загрязнения, областными Советами не было принято из-за крайне негативного общественного мнения по этому вопросу.

Отчужденные после аварии на ЧАЭС территорий в настоящее время в Украине частично переведены (или переводятся) в природоохранные заповедники.

# НАКОПЛЕНИЕ $^{137}$CS В ЗЕРНЕ ГРЕЧИХИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СОРТОВОЙ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ

*Н.А. Кимаковская*
Украинский научно-исследовательский институт гражданской защиты,
Киев, Украина
kimakovskaya@i.ua

Через 28 лет после чернобыльской аварии по-прежнему актуальной остается проблема производства сельскохозяйственной продукции на радиоактивно загрязненных сельскохозяйственных угодьях Украины. В этот отдаленный послеаварийный период основная доза облучения населения формируется за сет $^{137}$Cs, именно его поступление по трофическим цепям человека представляет наибольший научный интерес.

В наших исследованиях в условиях полевого севооборота 2008-2010 гг., изучали накопление $^{137}$Cs в различных сортах гречихи. Были изучены сортовые различия в накоплении $^{137}$Cs гречихой восьми сортов (Зеленоквиткова, Астра, Крупинка, Омега, Лилия, Карадаг, Ника и Казачка).

Гречиху выращивали на исследовательском стационаре в с. Саливонки Васильковского района Киевской области в течение трех лет. Стационар представлен черноземом оподзоленным легкосуглинистым. В этой зоне эти почвы являются наиболее плодородными и хорошо обеспеченными всеми элементами питания. Среднее содержание азота, фосфора и калия составляло 18,3, 17,9, 16,5 мг/100 г почвы, соответственно. Концентрация $^{137}$Cs в почве стационара составляла 530 Бк/кг.

Известно, что в отличии от видовых особенностей сельскохозяйственных культур, различия в накоплении $^{137}$Cs между сортами значительно меньшие. В результате наших исследований получены данные о том, что различия в накоплении$^{137}$Cs в зерне восьми сортов гречихи не превышали двух раз. Наибольшим накоплением отличались сорта Лилия и Казачка (КП – коэффициенты пропорциональности составляли 0,20 и 0,25, соответственно), наименьшим накоплением – сорта Ника, Омега и Крупинка – КП варьировали от 0,12 до 0,13.

В связи с тем, что значения КП для зерна гречихи, являются одними из наибольших для всех зерновых культур значениями, можно рекомендовать снизить загрязнение $^{137}$Cs продовольственной гречневой крупы за счет варьирования сортами, при этом различия в накоплении этого радионуклида будут достигать двух раз.

# СОДЕРЖАНИЕ РАДИОНУКЛИДОВ В ПРОДУКЦИИ ПЧЕЛОВОДСТВА, ПОЛУЧЕННОЙ НА ТЕРРИТОРИЯХ ПОДВЕРГШИХСЯ РАДИОАКТИВНОМУ ЗАГРЯЗНЕНИЮ ПОСЛЕ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ КАТАСТРОФЫ

*Е.А. Клементьева, А.Н. Никитин*
Институт радиобиологии НАН Беларуси, Гомель, Беларусь
katya-klem@outlook.com

Белорусское Полесье традиционно отличается хорошо развитой отраслью пчеловодства. Однако сильный удар по ней нанесла катастрофа на Чернобыльской АЭС. В то же время, как показывает предварительный анализ накопленных данных, возможна заготовка экологически чистого меда, воска, прополиса и других продуктов даже в условиях сильного радиоактивного загрязнения территории – в Полесском государственном радиационно-экологическом заповеднике. Поэтому пчеловодство могло бы стать одним из перспективных направлений в стратегии устойчивого социально-экономического развития «чернобыльских» регионов.

Целью работы является выявление закономерностей перехода техногенных радионуклидов по цепи почва – растение – продукты пчеловодства. Исследования проводились на территории Полесского государственного радиационно-экологического заповедника, на пасеке н.п. Бабчин, используемой с целью заготовки меда. Содержание $^{137}$Cs в высушенных, но не озоленных, образцах определялось на γ-спектрометрическом комплексе фирмы "Canberra" (США) с использованием коаксиального германиевого детектора GX 2018 с расширенным энергетическим диапазоном. $^{90}$Sr определялся по дочернему изотопу - иттрию-90 после его выделения, накопления, очистки и высаждения в виде оксалата иттрия. Измерения β-активности $^{90}$Y проводились на α, β-радиометре LB-770PC («Berthold», Германия). Измерения активностей $^{241}$Am и изотопов $^{238,239,240}$ Pu в исследуемых образцах после радиохимического анализа проводили на α-спектрометре Alpha Analyst фирмы «Canberra» с полупроводниковым типом детектора. В качестве трассера использовались $^{242}$Pu и $^{252}$Cf.

Средняя удельная активность радионуклидов в почвах, отобранных в местах произрастания экспериментальных растений, составила по $^{137}$Cs 1640 Бк/кг, $^{90}$Sr – 240 Бк/кг, $^{238}$Pu – 1,50 Бк/кг, $^{239,240}$Pu – 0,74 Бк/кг, а $^{241}$Am – 3,53 Бк/кг. Результаты исследований свидетельствуют, что максимальное количество радионуклидов накапливается в стеблях и листьях многолетних растений, а генеративные органы (соцветия) накапливают меньше радионуклидов. Установлено, что на территории с относительно высоким уровнем загрязнения радионуклидами их содержание в медах, собранных с многолетних растений меньше, чем в медах, собранных с однолетних растений.

Проведен расчет коэффициентов перехода радионуклидов из почвы в пчелиный мед и обножку (пергу), которые зависят от медоноса, и позволяют дать прогноз содержания радионуклидов в меде и апипродуктах при организации производства на территориях, загрязненных радионуклидами.

Показано, что коэффициенты перехода радионуклидов в соцветия и меда собранные с многолетних и однолетних растений можно расположить в следующих возрастающих рядах:

Для соцветий: $^{241}$Am → $^{238,239,240}$Pu → $^{137}$Cs → $^{90}$ Sr;

Для медов: $^{137}$Cs → $^{241}$Am → $^{238,239,240}$Pu → $^{90}$ Sr.

Апипродукты по уровню загрязнения радионуклидами можно расположить в следующий возрастающий ряд: прополис → перга → воск.

# СОДЕРЖАНИЕ СВИНЦА-210 И ПОЛОНИЯ-210 В ПОЧВАХ ЮГО-ВОСТОЧНЫХ РЕГИОНОВ БЕЛАРУСИ

*Е.А. Клементьева*[1], *С.В. Овсянникова*[2]
[1]Институт радиобиологии НАН Беларуси, Гомель, Беларусь,
katya-klem@outlook.com
[2]Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь,
svetlanaosv@mail.ru

Миграция тяжелых естественных радионуклидов в биосфере суши является серьезной теоретической и практической проблемой, во многом еще не решенной современной наукой. В последние годы в литературе большое внимание уделяется изучению миграции естественных радионуклидов в почвах, в связи с тем, что интенсивное развитие атомной энергетики, а также значительный рост химизации земледелия неизбежно ведут к увеличению концентрации естественных радионуклидов в почвенном покрове. В первом случае это происходит в результате ветрового рассеяния промышленных отходов с повышенной концентрацией естественных радионуклидов, а во втором из-за повышенного содержания радионуклидов в фосфорных удобрениях при производстве их из фосфатов.

Цель исследования заключалась в оценке содержания естественных радионуклидов свинца-210 и полония-210 в почвах юго-восточных регионов Беларуси. Выявление закономерностей распределения естественных радионуклидов по почвенному профилю, а также факторов влияющих на распределение. Объектами исследования служили почвенные образцы, отобранные в период 2009-2013 годов на территории Гомельской и Могилевской областей. Содержание радионуклидов в почвенных пробах определялось по стандартным методикам. После радиохимической подготовки образцов, $^{210}$Pb осаждался на счетную мишень с применением в качестве носителя радионуклида стабильного свинца. Измерение счетных мишеней проводилось с помощью бета-радиометра LB-770PC («Berthold», Германия) определялась активность дочернего $^{210}$Bi, по которой оценивалась активность. $^{210}$Po осаждался на полированный медный диск из солянокислого раствора. Излучение $^{210}$Po регистрировалось альфа-спектрометром Alpha Analyst фирмы «Canberra» с полупроводниковыми детекторами типа A 450-20 AM Alpha Pips.

Содержание $^{210}$Pb в исследуемых почвах находилось в интервале 35 - 50 Бк/кг, а диапазон активностей для $^{210}$Po составил 12 – 40 Бк/кг. Распределение $^{210}$Pb и $^{210}$Po по почвенному профилю показало, что резкий максимум активности (до 70% от валового содержания) приходиться на первый органогенный горизонт почв (интервал 0–5 см). Это обусловлено преимущественным поступлением радионуклидов в виде аэрозольных выпадений продуктов распада $^{222}$Rn с атмосферными осадками и биогенным накоплением в верхней части горизонта. С глубиной отношение радионуклидов выравнивается до практически равновесных значений (в пределах аналитической погрешности). Так, например, в почвенном горизонте 30 - 40 см удельная активность $^{210}$Pb находилась в диапазоне 4 – 7 Бк/кг и удельная активность от 2 до 5 Бк/кг соответственно для $^{210}$Po.

Выявлено, что удельная активность радионуклидов $^{210}$Pb и $^{210}$Po почве находиться в линейной зависимости от содержания подвижного фосфора. Увеличению биологической доступности радионуклидов способствует повышение кислотности среды и относительного содержания $^{210}$Pb и $^{210}$Po в области расположения питающих корней, о чем свидетельствуют изменения коэффициентов перехода радионуклидов в растения.

# НАКОПЛЕНИЕ РАДИОНУКЛИДОВ $^{137}$CS И $^{90}$SR СОРТАМИ КАРТОФЕЛЯ НА ПОЧВАХ РАЗЛИЧНОГО ТИПА

*Л.И.Козлова*
РНИУП «Институт радиологии», Гомель, Беларусь.

При возделывании картофеля на загрязненных радионуклидами территориях главной задачей является получение продукции, соответствующей нормативным показателям по содержанию $^{137}$Cs и $^{90}$Sr. В соответствии с Республиканскими допустимыми уровнями (РДУ-99) и требованиями технического регламента Таможенного союза (ТР ТС 021/2011) содержание $^{137}$Cs в клубнях картофеля не должно превышать 80,0 Бк/кг, содержание $^{90}$Sr соответственно – 3,7 Бк/кг и 40,0 Бк/кг.

Для определения сортов картофеля отличающихся минимальным накоплением радионуклидов были выбраны 10 сортов белорусской селекции различных групп спелости: ранней – Лилея, Уладар, Дельфин; среднеранней – Бриз, Нептун; среднеспелой – Дубрава, Скарб, Криница; среднепоздней – Журавинка, Ветразь. Исследования проводились на протяжении трёх лет на территории Брагинского района Гомельской области на почвах различного типа (дерново-подзолистой связносупесчаной и среднемощной торфяной. По агрохимическим показателям почвы относились к средне окультуренным. Плотность загрязнения дерново-подзолистой связносупесчаной почвы $^{137}$Cs составляла 1,6 Ки/км$^2$, $^{90}$Sr - 0,4 Ки/км$^2$; торфяной – $^{137}$Cs - 2,3 Ки/км$^2$, $^{90}$Sr - 0,5 Ки/км$^2$.

На основании полученных результатов исследований установлено, что на дерново-подзолистой связносупесчаной и среднемощной торфяной почвах накопление $^{137}$Cs в клубнях картофеля не превышало требований РДУ-99 и ТР ТС 021/2011. Содержание $^{90}$Sr в клубнях картофеля, возделываемого на среднемощной торфяной почве, не превышало требований РДУ-99 и ТР ТС 021/2011. При возделывании картофеля на дерново-подзолистой связносупесчаной почве превышение РДУ-99 имели сорта Лилея, Уладар и Скарб. По требованиям ТР ТС 021/2011 все сорта картофеля накапливали $^{90}$Sr меньше допустимого значения.

На основании полученных результатов удельной активности радионуклидов в клубнях картофеля были рассчитаны предельные плотности загрязнения дерново-подзолистой связносупесчаной и торфяной почв $^{137}$Cs и $^{90}$Sr. При возделывании картофеля на дерново-подзолистой связносупесчаной почве наибольшее ограничение по плотности загрязнения $^{137}$Cs имеет сорт Дубрава – до 15 Ки/км$^2$. Сорт Уладар можно выращивать до 20 Ки/км$^2$, Криница до 25 Ки/км$^2$, остальные сорта до 30 Ки/км$^2$. При возделывании картофеля на среднемощной торфяной почве наибольшее ограничение (до 5 Ки/км$^2$) имеет сорт Криница. Сорта Уладар, Нептун, Бриз и Дубрава можно выращивать до 10 Ки/км$^2$; Дельфин, Скарб и Ветразь до 15 Ки/км$^2$, а сорт Журавинка до 20 Ки/км$^2$.

В соответствии с РДУ-99 ограничение по плотности загрязнения дерново-подзолистой связносупесчаной почвы $^{90}$Sr до 0,2 Ки/км$^2$ имеют сорта Лилея, Уладар, Дельфин, Дубрава. Сорта Нептун, Бриз, Скарб, Криница и Журавинка можно возделывать до 0,3 Ки/км$^2$, а сорт Ветразь до 0,4 Ки/км$^2$. При размещении посевов картофеля на среднемощной торфяной почве ограничение – до 0,5 Ки/км$^2$ имеет сорт Дубрава, остальные сорта можно выращивать до 1,0 Ки/км$^2$.

Согласно норматива ТР ТС 021/2011 предельная плотность загрязнения $^{90}$Sr дерново-подзолистой связносупесчаной и среднемощной торфяной почв для всех сортов превышает 3 Ки/км$^2$, что указывает на возможность возделывания картофеля на всех землях, разрешённых для использования в сельскохозяйственном производстве в Республике Беларусь для реализации его в странах Таможенного союза.

# КАМЕРНАЯ МОДЕЛЬ ТРАНСПОРТА ПОЛИДИСПЕРСНЫХ РАДИОАКТИВНЫХ ЧАСТИЦ В ПИЩЕВАРИТЕЛЬНОМ ТРАКТЕ КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА

*Г.В. Козьмин, В.Г. Епимахов*
Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии
ФАНО, Обнинск, Россия,
kozmin@obninsk.ru

Выполнен анализ экспериментальной информации, касающейся поступления в организм и транспорта радиоактивных частиц разных размеров в ЖКТ крупного рогатого скота.

При выпасе крупного рогатого скота на загрязненном пастбище дисперсный состав радиоактивных частиц, поступивших в организм животных, отличается от дисперсности выпадений и дисперсности частиц в надземной биомассе растительного покрова на момент выпаса. Отмеченное обстоятельство связано с зависимостью удержания растениями радиоактивных частиц от их размеров и вариациями соотношения двух основных путей поступления частиц в организм животных: с пастбищной растительностью или с комочками почвы, дернины и ветоши. Поступление частиц в организм животных снижается с увеличением их размера и для частиц фракции (400-800) мкм оно меньше по сравнению с мелкодисперсными (<100 мкм) примерно в 10 раз.

Разработана математическая камерная модель транспорта радиоактивных частиц в пищеварительном тракте крупного рогатого скота. Модель строили с использованием экспериментальных данных, характеризующих распределение частиц разных фракций в отделах ЖКТ. Так как продолжительность экспериментального выпаса была сопоставима с временем перемешивания кормовых масс в рубце (примерно 2 ч) и значительно меньше среднего времени пребывания содержимого в преджелудках, потребление животными частиц в течение экспериментального выпаса принимали за однократное поступление. На основании анализа полученных результатов были сделаны следующие основные выводы:

- Закономерности накопления и выведения из ЖКТ труднорастворимых полидисперсных частиц после однократного поступления с кормом в организм сельскохозяйственных животных можно описать с использованием математических моделей, в которых отделы пищеварительного тракта составляют отдельные камеры, последовательно связанные между собой транспортными коммуникациями.
- Выведение частиц с размерами до 40 мкм примерно аналогично выведению из ЖКТ жвачных животных кормовых масс, а для частиц с размерами более 40 мкм характерно замедление скорости транспорта в связи с оседанием частиц на фундальной поверхности отделов с жидким содержимым под воздействием сил гравитации, моторики рубца, сычуга и перистальтики кишечника.
- Снижение скорости транспорта радиоактивных частиц в отделах ЖКТ с увеличением их размеров приводит к существенному замедлению выведения частиц крупных фракций. Основными отделами, где происходит задержка или даже частичная фиксация радиоактивных частиц, являются вентральный мешок рубца, сетка и сычуг.
- Обращает на себя внимание значительное депонирование радиоактивных частиц на фундальной поверхности стенки вентрального мешка рубца и сетки. Именно в этих отделах ЖКТ крупного рогатого скота наблюдаются максимальные уровни облучения. Константа скорости выведения радиоактивных частиц из преджелудков существенно зависит от размеров частиц.

Камерные модели транспорта радиоактивных частиц в ЖКТ сельскохозяйственных животных позволяют проводить реконструкцию уровней внутреннего облучения при содержании животных на пастбище, загрязненном радиоактивными частицами в период ядерных испытаний, а также топливными частицами в результате тяжелых реакторных аварий.

Работа выполнена в рамках проекта МАГАТЭ по контракту 17988 «Effects of Radioactive Particles on Radionuclide Transfer and Dose Forming in Plants and Animals».

# МИГРАЦИЯ РАДИОНУКЛИДОВ ПОСЛЕ ПОЖАРОВ В РАДИОАКТИВНО ЗАГРЯЗНЕННЫХ ЛЕСАХ

*Г.А. Кононова*[1], *И.И. Марадудин*[2]
[1]Филиал ФБУ «Рослесозащита» - «Центр защиты леса Рязанской области», Рязань, Россия,
radiologi.ryazan@yandex.ru
[2]Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства и механизации лесного хозяйства, Москва, Россия,
info@roslesrad.ru

При лесных пожарах образуются твердые продукты сгорания в виде золы и недожога. В условиях радиоактивного загрязнения в них происходит концентрация радионуклидов. После пожара продукты сгорания оседают на поверхность почвы, меняя содержание в ней радионуклидов. В настоящей работе оцениваются изменения радиационной обстановки в загрязненных радионуклидами лесных экосистемах после прохождения пожара.

Исследования проводились на 20 участках леса Рязанской области, с плотностью загрязнения почвы цезием-137 до пожара около 1 Ки/км$^2$. Оценку радиационной обстановки проводили с помощью дозиметрических измерений и спектрометрического анализа. При определении радиационных параметров учитывался вида лесного пожара (верховой, низовой и подземный).

Анализ полученных результатов не выявил достоверного изменения мощности амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения на горельниках, при любом виде пожара. Отмечено увеличение удельной активности цезия-137 в минеральной части почвы в среднем на 40 %, в слое лесной подстилке – на 80%. Установлено различие в концентрации радионуклидов в почве в зависимости от вида пожара. При низовом пожаре происходит максимальное увеличение активности цезия-137 в слое лесной подстилке (в 2 раза) и минимальное в минеральной части почвы (в 1,4 раза). При данном виде пожара в большей степени сгорают органические соединения верхнего почвенного слоя и нижнего яруса леса. При подземном пожаре, наоборот, в большей степени увеличивается содержание радионуклидов в минеральной части почвы (на 90 %) и в меньшей в слое лесной подстилки (на 50 %), что говорит об интенсивном выгорании органических соединений, находящихся в минеральных слоях почвы, и в меньшей степени затрагиваются органические соединения лесной подстилки и напочвенного покрова.

Увеличение удельной активности цезия-137 в коре деревьев при ее обугливании происходит интенсивнее, чем в почве. У лиственных пород деревьев данный показатель в среднем увеличился в 4,6 раза по сравнению с допожарными значениями на тех же участках леса, у хвойных – в 2,4 раза.

Таким образом, установлено, что после лесных пожаров в условиях радиоактивного загрязнения при сохранении мощности амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения происходит увеличение удельной активности радионуклидов в почве. На интенсивность увеличения удельной активности цезия-137 влияет вид лесного пожара. Было высказано предположение что, повышение удельной активности радионуклидов в почве должно привести к увеличению содержания его в растительности. Значительное увеличение содержания радионуклидов в коре деревьев при ее обугливании, может создавать дополнительные ограничения в использовании леса с горельников, на территориях с высокой плотностью загрязнения почвы цезием-137.

# РЕЗУЛЬТАТЫ РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ РЯДА МАЛЫХ РЕК, ОТНОСЯЩИХСЯ К ОБЬ - ИРТЫШСКОМУ РЕЧНОМУ БАССЕЙНУ

*А.В.Коржавин*[1], *А.В.Трапезников*[1], *В.Н.Трапезникова*[1], *А.П.Платаев*[1], *Е.И.Попова*[2]

[1]Институт экологии растений и животных УрО РАН, Екатеринбург, Россия;
*BFS_zar@mail.ru*

[2]Тобольская комплексная научная станция УрО РАН, Тобольск, Россия,
*TBSRAS@Rambler.ru*

Речная экосистема Самсоновская-Лев-Вандрас расположена в южной части Ханты-Мансийского автономного округа - Югры. В работе представлены результаты радиоэкологических исследований воды, донных отложений, пойменных почв, а так же рыбы.

Показано, что пойма реки Самсоновская подвержена дополнительному радиоактивному загрязнению цезием-137 невыясненного пока генезиса. Содержание цезия-137 в пойме реки Самсоновская в 4,4 и 3,5 раза выше, чем в пойменных почвах рек Лев и Вандрас и в 6,6 раза выше, чем в пойме контрольной реки Демьянка. Содержание стронция – 90 в пойменных почвах реки Самсоновская также несколько выше, чем в поймах исследуемых рек данного региона: 2122 Бк/м$^2$ в пойме р. Самсоновская, 701 Бк/м$^2$ в пойме р. Лев, 1699 Бк/м$^2$ в пойме р. Вандрас и 896 Бк/м$^2$ в пойме контрольной реки Демьянка.

В воде рек Самсоновская, Лев, Вандрас содержание Sr-90 не существенно различалось между собой и составило, соответственно, 21 Бк/м$^3$, 19 Бк/м$^3$ и 13 Бк/м$^3$, в воде контрольной реки Демьянка 24 Бк/м$^3$. Более высокое содержание Cs-137 было отмечено в воде р. Самсоновская 10,4 Бк/м$^3$, В последующих реках наблюдается существенное снижение данного радионуклида до 4,1 Бк/м$^3$ в воде реки Лев, а в реке Вандрас содержание Cs-137 ниже минимально детектируемой величины. В воде контрольной реки Демьянка концентрация Cs-137 составила 2,4 Бк/м$^3$. Градиент снижения Cs-137 в воде после впадения реки Самсоновская в реку Лев равен 2,5.
Содержание цезия-137 в пробе окуня, выловленного в реке Самсоновская, составило 3,3 Бк/кг при допустимом уровне загрязнения не выше 130 Бк/кг. При этом, содержание цезия-137 в пробах окуня, выловленного в том же году в Иртыше, в среднем составило 0,95±0,13 Бк/кг.

Проводимые исследования имеют большое значение для понимания процессов, происходящих в Обь - Иртышской речной системе. Малые реки Западной Сибири, в конечном счете, оказывают существенное влияние на формирование радиоизотопного и химического состава воды основных водных магистралей, таких как Обь и Иртыш, экологическое состояние которых в последнее время вызывает серьезные опасения. Так, в период 2005-2008 гг. в воде Оби и Иртыша был отмечен рост объемной активности Sr-90 и Cs-137. В Иртыше содержание Cs-137 в воде возросло в 17 раз, Sr-90 - в 5,4 раза. В Оби объемная активность Cs-137 за три года увеличилась в 24 раза, а в створе ниже слияния Оби и Иртыша – в 62 раза.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Интеграционных проектов УрО РАН №№ 12-И-4-2045, 12-И-4-2006, проекта ОФИ УрО РАН №13-4-006-ЯЦ, проекта «Арктика» № 12-4-3-016.*

# ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ СОДЕРЖАНИЯ КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА НА ПЕРЕХОД ТУЭ В МОЛОЧНУЮ ПРОДУКЦИЮ

*Король Р.А.*
Институт радиобиологии НАН Беларуси, Гомель, Республика Беларусь.

Важнейшая проблема сельского хозяйства в условиях загрязнения почвы радиоактивными элементами состоит в максимально возможном снижении поступления этих веществ в растениеводческую продукцию и предотвращение накопление их в организмах сельскохозяйственных животных.

Целью проведенной работы было исследование влияния условий содержания крупного рогатого скота (КРС) на содержание трансурановых элементов (ТУЭ) в продукции животноводства. Основным объектом исследований явилась молочная продукция, производимая в КСУП «Стреличево» Хойникского района Гомельской области Беларуси.

Анализ содержания ТУЭ в почвах данного хозяйства свидетельствует о довольно высоких уровнях загрязнения (в среднем 7,1 Бк/кг по $Am^{241}$, 1,91 Бк/кг по $Pu^{238}$, 4,3 Бк/кг по $Pu^{239,240}$). Доля америция-241 составляет 53%, изотопов плутония - 47%. Исходя из полученных данных о содержании ТУЭ в почвенных образцах пастбищных агроценозов была рассчитана плотность загрязнения почв, которая составила 1,47±0,37 кБк/м$^2$ для $Am^{241}$, 0,4±0,1 кБк/м$^2$ для $Pu^{238}$, 0,89±0,23 кБк/м$^2$ для $Pu^{239,240}$.

В связи с тем, что поступление радионуклидов в организм крупного рогатого скота происходит в основном через потребление растительной пищи, было определено содержание ТУЭ в пастбищной растительности, которое составило 368,0 - 622,0 мБк/кг по $^{241}$Am, 1,0 - 10,8 мБк/кг по $^{238}$Pu, 2,4 - 18,4 мБк/кг по $^{239,240}$Pu.

Степень биологической подвижности радионуклида, т.е. возможность включения его в обменные процессы, эффективность миграции нуклида в цепи почва-растение зависит от коэффициента перехода (Кп) радионуклида из почвы в растение (корма). Исходя из удельной активности исследуемых радионуклидов, были рассчитаны коэффициенты перехода в доминантные луговые растения, составляющие основу пищевого рациона КРС при пастбищном содержании для $^{241}$Am, $^{238}$Pu и $^{239,240}$Pu, которые равны $0{,}267 \times 10^{-3}$, $0{,}014 \times 10^{-3}$, $0{,}012 \times 10^{-3}$ соответственно. По накоплению трансурановых радионуклидов в сухом веществе кормовых образцов, входящих в рацион питания КРС КСУП «Стреличево» установлен следующий возрастающий ряд: солома злаковых культур ($Am^{241}$ – 115,7 мБк/кг, $Pu^{238}$ – 1,43 мБк/кг, Pu $^{239,240}$– 2,93 мБк/кг) → сено одно- и многолетних злаковых трав ($Am^{241}$ – 154,8 мБк/кг, $Pu^{238}$ – 2,36 мБк/кг, Pu $^{239,240}$– 4,13 мБк/кг) → кормовая масса ($Am^{241}$ – 215,46 мБк/кг, $Pu^{238}$ – 3,11 мБк/кг, Pu $^{239,240}$– 5,63 мБк/кг).

Установлено, что при стойловом содержании КРС, когда рацион животных во многом определяется наличием сена, силоса, сенажа, комбикормов и овощей, содержание радионуклидов в молоке составляет для $Am^{241}$ 4,1 – 7,1 мБк/кг, для $Pu^{238}$ 1,4-2,4 мБк/кг, для $Pu^{239,240}$ 2,9-5,9 мБк/кг. Во время пастбищного содержания скота, когда основным компонентом рациона является травянистая пастбищная растительность (одно и многолетние травы) и зеленая масса, наблюдается постепенное нарастание удельной активности молока, которая достигает 5,2 – 8,8 мБк/кг для $Am^{241}$ (на 20% выше), 2,5-3,4 мБк/кг для $Pu^{238}$ (на 30% выше), 5,3-7,2 мБк/кг для $Pu^{239,240}$ (на 20% выше).

Коэффициенты перехода трансурановых радионуклидов в молочную продукцию составляют $2{,}79 \times 10^{-3}$ – $5{,}99 \times 10^{-3}$ для $Am^{241}$, $3{,}5 \times 10^{-3}$ - $8{,}5 \times 10^{-3}$ для $Pu^{238}$, $3{,}26 \times 10^{-3}$ – $8{,}09 \times 10^{-3}$ для $Pu^{239,240}$.

# РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ: ПРИНЦИПЫ, КРИТЕРИИ, ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ НОРМАТИВЫ

*И.И.Крышев, Т.Г.Сазыкина*
НПО «Тайфун» Росгидромета, Обнинск, Россия,
kryshev@rpatyphoon.ru

Проанализировано состояние проблемы в области радиационной безопасности окружающей среды на основе концепции академика В.И. Вернадского об эволюции биосферы. Рассмотрены принципы и методические подходы по ограничению радиационного воздействия на окружающую среду: эволюционной адаптации биосферы к радиационному фону, экологического порога, толерантности, функциональной интеграции, презумпции антропогенной опасности ионизирующей радиации, нормирования и экологического баланса радионуклидов. Проанализирован отечественный и международный опыт в области регулирования радиационной безопасности окружающей среды. Представлена методология оценки радиационного воздействия на референтные организмы биоты. Показано, что ограничение радиационного воздействия на человека и биоту основано на существенного различающихся парадигмах. Для обеспечения радиационной безопасности человека на практике используются нормативы базирующиеся на допущении стохастического беспорогового действия ионизирующего излучения, тогда как для биоты предлагается использовать принцип порогового действия радиации.

Для выбора референтных организмов в целях обеспечения радиоэкологической безопасности предлагается использовать следующие основные критерии: экологические (положение вида в экосистеме), доступность для мониторинга, дозиметрические (критические пути облучения), радиочувствительность, способность вида к самовосстановлению. В соответствии с рекомендациями МКРЗ предполагается, что результаты оценок для референтных организмов могут стать основой для анализа экологических рисков и регулирования радиационной безопасности окружающей среды.

Разработана база радиоэкологических данных и шкала радиационного воздействия на биоту в зависимости от мощности дозы хронического облучения. На основе анализа экспериментальных данных методами непараметрической статистики и метода бутстрап («bootstrap») определены пороговые уровни обнаружения детерминированных радиационных эффектов (заболеваемость, ухудшение репродукции, снижение продолжительности жизни) у позвоночных видов при хроническом низкоионизирующем излучении. В качестве референтных пороговых значений для ограничения радиационного воздействия на биоту предлагается использовать значения мощности дозы в диапазоне 1-10 мГр/сут.

Представлены проекты нормативно-методических разработок Росгидромета: методические рекомендации по оценке радиационно-экологического воздействия на природные объекты на основе данных мониторинга радиационной обстановки, методические рекомендации по расчету контрольных уровней содержания радионуклидов в морских водах на основе радиационно-гигиенических и экологических критериев.

Представлены примеры оценки воздействия объектов использования атомной энергии (урановых рудников, радиохимических заводов, АЭС) на дозы облучения референтных организмов биоты на основе данных мониторинга радиационной обстановки и радиоэкологических моделей, в том числе для Приаргунского производственного горно-химического объединения (Забайкальский край), ПО «Маяк» (Челябинская область), радиохимических заводов в Селлафильде (Великобритания) и Ля Аге (Франция), а также аварийной АЭС «Фукусима».

# СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА БИОХИМИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ В ТКАНЯХ МЫШЕВИДНЫХ ГРЫЗУНОВ НА СОВМЕСТНОЕ ДЕЙСТВИЕ ФИЗИЧЕСКИХ И ХИМИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ В МАЛЫХ ДОЗАХ

*А.Г. Кудяшева*[1]*., Н.Г. Загорская*[1] *., О.Г. Шевченко*[1]*, Л.Н. Шишкина*[2]
[1]Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар,
kud@ib.komisc.ru
[2]Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН, Москва, Россия.

Изучение адаптивных возможностей организма при совместном действии повреждающих факторов разной природы вызывает необходимость оценки состояния мембранной системы их тканей, поскольку наиболее ранние изменения выявляются в состоянии процессов перекисного окисления липидов (ПОЛ) и энергетического обмена, обусловливающих функционирование органа.

В работе обобщены результаты комплексных исследований действия низкоинтенсивного γ-излучения в малых дозах на параметры системы регуляции ПОЛ (состав фосфолипидов; содержание продуктов окисления, реагирующих с 2-тиобарбируровой кислотой; активность каталазы) и энергетического обмена (активность ферментов цикла Кребса и гликолиза) в функционально различных тканях мелких млекопитающих при дополнительных воздействиях физических и химических факторов в широком диапазоне доз. Для оценки адаптационных возможностей организма проведены следующие эксперименты:

1. хроническое γ-облучение полевок-экономок первого-третьего поколений, размноженных в условиях вивария от родителей с контрольного и радиевого участков: средняя мощность дозы источников $^{226}$Ra 645 мкР/ч, суммарная поглощенная доза при облучении в течение 3,5 и 6 мес составляла 1.62 и 2.78 сГр соответственно;
2. сочетанное и раздельное действие хронического γ-излучения в дозе 1.6 сГр и нитрата свинца в диапазоне концентраций от 0.003 до 0.3 г/кг на половозрелых мышей линии СВА;
3. совместное и раздельное действие хронического γ-излучения (30 сут, мощность экспозиционной дозы 2 мР/ч) и нитрата урана (30 сут, удельная активность 25 Бк/л) на половозрелых мышей линии СВА.

Обнаружено, что направленность и масштаб изменения изученных показателей имеют сложный нелинейный характер в зависимости от дозы γ-излучения и/или концентрации химического вещества, времени после воздействия, исходного значения показателей в тканях. Выявлено отсутствие нормализации параметров системы регуляции ПОЛ при сочетанном действии γ-излучения и нитрата свинца в отдаленные сроки после воздействия. Отмечено, что совместное действие физических и химических факторов в малых дозах способно инициировать окислительный стресс, обусловливающий дисбаланс процессов дегидрирования и нарушение взаимосвязей между параметрами системы регуляции ПОЛ. Совокупность представленных данных подтверждает участие окислительных процессов и энергетического обмена в перестройках организма на клеточном уровне и позволяют использовать исследованные показатели для оценки адаптационных возможностей организма при совместном воздействии факторов разной природы.

Работа выполнена при финансовой поддержке программы Президиума УрО РАН по направлению «Молекулярно-клеточная биология» (проект №12-П-4-1021) и Программы фундаментальных исследований Президиума РАН «Фундаментальные науки – медицине» (2012-2014 гг.).

# МОНИТОРИНГ НАЗЕМНЫХ (ПРИРОДНЫХ И АГРАРНЫХ) ЭКОСИСТЕМ В РЕГИОНЕ РАЗМЕЩЕНИЯ КУРСКОЙ АЭС

*Кузнецов В.К., Санжаров А.И., Прохорова Т.В., Салимова И.В.*
Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии
ФАНО, Обнинск, Россия,
kuzn@riar.obninsk.org

Развитие энергетики является непрерывным процессом. В 2012 году публикованы «Концептуальные положения стратегии развития ядерной энергетики России в XXI веке», в котором представлен анализ многолетнего опыта эксплуатации объектов ядерно-энергетического комплекса и определены перспективы гармоничного развития энергетического комплекса в целом. К числу первостепенных задач, от решения которых зависит будущее атомной энергетики, относятся, во-первых, безопасная эксплуатация действующих энергоблоков, во-вторых, безопасное и экономически целесообразное продление срока эксплуатации энергоблоков, выработавших регламентный ресурс. В-третьих, постепенное замещение действующих энергоблоков на установки третьего поколения. Ключевой проблемой развития ядерных технологий является обеспечение экологической безопасности радиационных объектов на социально приемлемом уровне. Одним из путей решения этой задачи является разработка и реализация систем мониторинга. В районах всех действующих АЭС в Российской Федерации проводится мониторинг, как источника выбросов (АЭС), так и объектов окружающей среды.

Радиоэкологический мониторинг наземных экосистем в регионе размещения Курской АЭС проводится в течение длительного периода времени. Контрольная сеть экологического мониторинга создана с учетом места размещения и зоны возможного воздействия источника загрязнения (КАЭС), преимущественного направления «розы ветров» в весенне-летний период (период вегетации с.-х. культур и пастбищного содержания животных), характера распределения существующего радиоактивного загрязнения, структуры землепользования, характеристик почвенного покрова, направленности отраслей сельскохозяйственного производства (животноводство, растениеводство и т.п.). Мониторинг проводится на основании регламента, который определяет виды наблюдений, их периодичность, перечень контролируемых параметров.

20-летниие наблюдения за радиационной обстановкой показали, что содержание радионуклидов в почвенном покрове находится на уровне фоновых значений. Мощности экспозиционных доз находятся в диапазоне фоновых значений 10-15 мкР/ч. Плотность загрязнения сельскохозяйственных угодий по 90Sr колеблется в пределах от 0,62 до 1,33 кБк/м2, а 137Cs – от 2,4 до 11,7 кБк/м2. Отмечено наличие небольших «пятен», в которых содержание 137Cs повышено в 2-3 раза, что связано с влиянием чернобыльских выпадений.

Различия в накоплении радионуклидов для одной и той же культуры в разные годы достигают 1,5 раз, что обусловлено влиянием почвенных, погодных условий, а также разными дозами внесения удобрений под культуры.

Минимальными коэффициентами перехода (КП) радионуклидов характеризуются овощные культуры, а максимальными – многолетние травы. Различия в КП между этими видами культур достигают 50 раз, а в среднем составляют 10-20 раз. Следует отметить, что все виды культур накапливают в среднем в 3-10 раз больше 90Sr по сравнению с 137Cs.

За весь период наблюдений не было зарегистрировано ни одного случая превышения содержания радионуклидов в местных продуктах питания.

# ВЛИЯНИЕ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ И ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА КАЧЕСТВО И РЕПРОДУКТИВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СЕМЯН СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ

*Кузьменков А.Г., Васильев Д.В.*
Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии ФАНО, Обнинск, Россия,
hakkep@mail.ru

Мировая ядерная промышленность продолжает развиваться, увеличивая загрязнение биосферы. В связи с этим неуклонно возрастает актуальность оценки отдаленных биологических последствий действия хронического облучения в природных сообществах. Среди глобальных экологических проблем, появившихся в последнее время, одной из актуальных является проблема мониторинга климатических полей и природных объектов, в частности, биоты.

Исследованы шесть популяций сосны обыкновенной *(Pinus sylvestris* L.*)*, произрастающих в наиболее загрязненных радионуклидами районах Брянской области: Новозыбковском, Клинцовском и Красногорском. Исследования проводятся с 2003 года и по настоящее время.

Сосна обыкновенная обладает высокой чувствительностью к воздействию ионизирующего излучения, особенно чувствительны к повреждающим воздействиям её репродуктивные органы, которые отличаются сложностью организации и длительным генеративным циклом (более двух лет).

В нашей лаборатории изучается широкий спектр показателей: изоферментный полиморфизм популяций сосны и ферментативная активность; выход цитогенетических нарушений в корневой меристеме проростков семян; репродуктивные характеристики семян и пыльцы.

Проведен анализ зависимости репродуктивной способности сосны обыкновенной от поглощенных генеративными органами доз ионизирующих излучений и метеорологических условий в период формирования семян.

На экспериментальных участках пробы (шишки) отбирались в конце ноября – начале декабря. На каждом участке шишки собирали с 15–29 деревьев в пределах гомогенного древостоя, по 30–50 шишек с каждого дерева, с высоты 1,5-2,0 метра. Шишки выдерживали до раскрытия и высыпания семян.

Показано отсутствие достоверной зависимости изучаемых параметров: всхожесть; энергия прорастания; среднее количество семян; процент нормальных, невыполненных и сухих семян от поглощенных генеративными органами доз ионизирующего излучения. При этом обнаружены достоверные корреляции: процент нормальных семян от суммы нормированных средних температур, средней эффективной температуры, суммы осадков и гидротермического коэффициента (ГТК) в период опыления (май); процент сухих семян от средней влажности и процент пустых от ГТК и суммы осадков в период опыления (май); процент недоразвитых семян от суммы нормированных средних температур и средней эффективной температуры за период развития семян (2 года); процент сухих семян от ГТК и от средней влажности за 2 года; всхожести от средней влажности за период развития семян; энергии прорастания от средней влажности и от средней эффективной температуры за 2 года.

Полученные данные свидетельствуют о меньшем влиянии поглощенных генеративными органами доз ионизирующих излучений на качество и репродуктивные характеристики семян по сравнению с метеорологическими условиями.

# ОЦЕНКА ДОЗОВЫХ НАГРУЗОК НА БИОТУ В РАЙОНЕ РАСПОЛОЖЕНИЯ БЕЛОЯРСКОЙ АЭС

*В.Э. Куртмулаева, Е.И. Карпенко, С.И. Спиридонов*
Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии
ФАНО, Обнинск, Россия,
lizard-v@live.ru

Белоярская АЭС им. И. В. Курчатова (БелАЭС), расположенная в городе Заречный Свердловской области, является единственной в России атомной станцией с энергоблоками различных типов. Источниками загрязнения атмосферы и водных объектов в районе расположения БелАЭС в настоящее время являются выводимые из эксплуатации энергоблоки №1 и №2 с реакторами на тепловых нейтронах и действующий энергоблок №3 с реактором на быстрых нейтронах. В течение 50-летнего периода работы БелАЭС в окружающую среду поступали продукты деления, в составе которых присутствуют долгоживущие радионуклиды, являющиеся источниками облучения природных организмов. Цель работы - оценка доз облучения компонентов природных экосистем на территории, прилегающей к БелАЭС.

На первом этапе выполнения работы были проанализированы результаты данных радиационного мониторинга за 2013 год в районе БелАЭС. При проведении оценки использовался консервативный подход, в рамках которого рассматривались наиболее загрязненные участки.

Дозовые нагрузки на биоту рассчитывались с помощью программного пакета ERICA, разработанного в рамках международного проекта Европейского союза, МКРЗ и МАГАТЭ. Компоненты биоты были выбраны из списка референтных организмов, предложенного МКРЗ. В качестве представителей наземных экосистем рассматривались: дождевой червь, крыса, пчела, травянистое растение, сосна. Референтные организмы водных экосистем - лягушка, утка, форель.

В результате расчетов дозовых нагрузок на представителей водных экосистем было установлено, что максимальному радиационному воздействию подвергается лягушка и форель. Мощности доз для этих компонентов биоты составляют 0,21 и 0,19 мкГр/ч соответственно. Основной вклад в суммарную дозовую нагрузку вносит внутреннее облучение. Наибольшее значение мощности дозы у представителей наземной биоты характерно для крысы (26 мкГр/ч). Оцененные мощности доз для наземных организмов значительно превышают аналогичные показатели, рассчитанные для водной биоты. Основной вклад в дозовую нагрузку для представителей как наземной, так и водной биоты вносит $^{137}$Cs (96-99%).

Как отмечено в документах МКРЗ, безопасные уровни облучения наземной растительности и водных животных составляют 416 мкГр/ч, а наземных животных – 41,6 мкГр/ч. Расчетные значения мощностей доз для рассматриваемых организмов значительно ниже указанных пределов. Наиболее жесткий дозовый стандарт для биоты, представленный в ERICA, составляет 10 мкГр/ч. Согласно указанному стандарту, дождевой червь и крыса являются незащищенными от воздействия ионизирующего излучения. Этот вывод не означает того, что на популяционном или организменном уровнях могут быть выявлены какие-либо негативные эффекты. В то же время, представляется целесообразным проведение цитогенетических исследований на территории, прилегающей к БелАЭС.

В целом, анализ полученных результатов позволяет сделать вывод о том, что компоненты биоты на территории, подвергавшейся радиоактивному загрязнению в течение 50-летнего периода работы Белоярской АЭС, не подвергаются значимому радиационному воздействию.

# ПРОБЛЕМЫ РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ ЭКОСИСТЕМ

*Ю.А. Кутлахмедов[1], И.В.Матвеева[2], В.В.Родина[1]*
[1]Институт клеточной биологии и генетической инженерии НАН Украины,
Киев, Украина
[2]Институт экологической безопасности Национального авиационного университета,
ecoetic@yandex.ru

Разработанные нами модели и теория радиоемкости экосистем, позволили ввести адекватный параметр – фактор радиоемкости, для определения состояния и надежности биоты экосистемы. Экспериментальными и теоретическим исследованиями нами установлено, что чем выше параметр радиоемкости биоты в экосистеме, тем выше уровень благополучия и надежности биоты в данной экосистеме. В частности, в исследованиях с растительными экосистемами, показано, что способность биоты накапливать и удерживать радионуклидный трассер - $^{137}Cs$ , аналог элемента минерального питания растений –К, отображает устойчивость и надежность биоты данной экосистемы. Установлено, что снижение показателя радиоемкости биоты в растительной экосистеме, при воздействии химических поллютантов и при гамма-облучении растений, четко отображает снижение благополучия и надежности биоты.

Можно утверждать, что параметры радиоемкости способны выступать в качестве меры надежности каждого элемента экосистемы, и экосистемы в целом. Чем выше фактор радиоемкости, и/или вероятность удержания трассера в каждом из элементов экосистемы, тем выше надежность составных элементов экосистемы, как поставщиков радионуклидов к человекуу. Используя эти параметры надежности элементов экосистемы, и зная структуру конкретной экосистемы, мы получаем возможность адекватно оценивать надежность всей экосистемы, через ее способность обеспечивать распределение и перераспределение трассера, что отображает ее устойчивое состояние.

На основе этого нового подхода к оценке надежности экосистем нам проведен расчет надежности на примере конкретных типов экосистем (склоновые, горные и аграрные экосистемы, пруды отстойники опасных производств и т.д.). Показано, что склоновые и горные экосистемы, в силу последовательного типа их организации, обладают невысокой устойчивостью и надежностью, в плане способности сдерживать миграцию поллютантов разного типа по данным экосистемам к человеку.

Предложено, используя следующие характеристики элементов ландшафта : уклоны, розу ветров, вид покрытия, тип почвы, скорости вертикального и горизонтального стока поллютантов, оценивать параметры радиоемкости и экологической емкости разных элементов ландшафта и всего ландшафта в целом.

Показана возможность использования аналитической ГИС технологии для оценки и моделирования динамики распределения и перераспределения поллютантов-$^{137}Cs$ в реальных ландшафтах и тем самым оценивать их параметры надежности и отображать их в картах территорий.

Тем самым показана перспективность использования разработанного нами надежностного метода анализа состояния экосистем не только для точечных (отдельное поле), линейных (склоновые, горные экосистемы и пруды –отстойники предприятий), но и пространственных ландшафтных экосистем.

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ АРЕАЛА И ПЛОЩАДИ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ТЕРРИТОРИИ В РЕЗУЛЬТАТЕ ПОСТУПЛЕНИЯ РАДИОНУКЛИДА SR-90 С ГРУНТОВЫМИ ВОДАМИ

*Лаврентьева Г.В., Мирзеабасов О.А.*
Обнинский институт атомной энергетики-филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», Обнинск, Россия,
Lavrentyeva_G@list.ru

В настоящее время в ядерно-промышленном комплексе сохраняются серьезные экологические проблемы. Особого внимания заслуживают хранилища радиоактивных отходов (РАО), введенные в эксплуатацию в 50 – 70-ые гг. прошлого столетия, которые, как правило, не отвечают современным требованиям по обращению с РАО. В отдельных случаях наблюдается утечка радионуклидов из емкостей хранилищ, поступление их в окружающую среду, активная миграция в компонентах окружающей среды. Подобная ситуация сложилась в бассейне р.Протва на севере Калужской области, где расположено региональное хранилище РАО. Аварийная ситуация на объекте привела к утечке радионуклидов из одной из емкостей хранилища. Установлено, что радиоэкологическая обстановка на территории размещения хранилища РАО и сопредельной территории обусловлена Sr-90.

Целью данной работы является определение ареала и площади радиоактивного загрязнения Sr-90 на территории размещения хранилища РАО с применением метода ГИС картирования.

Пробы почв отбирались послойно с помощью специализированного пробоотборника с шагом 5 см до 50 см и 10 см на глубину до 2-3 м. Всего было обработано 120 проб. Измерение активности проб проводили на сцинтилляционном спектрометре бета-излучения «БЕТА-01С» по стандартной методике определения содержания 90Sr по β-излучению его дочернего радионуклида Y-90. Для создания ГИС были использованы программы: ArcView, MapInfo, Surfer , а также программа R.

Результаты исследований показали, что загрязнение территории Sr-90 отличается значительной неравномерностью, а его максимальная удельная активность сконцентрирована за территорией объекта и достигает значений 1,6-1,7 кБк/кг грунта. Было выполнено ГИС картирование исследуемой территории для горизонтов почв до 25 см, где еще прослеживается изменение удельной активности Sr-90 в пределах отдельного слоя.

Следует отметить, что в настоящее время содержание техногенных радионуклидов в грунтах действующими санитарно-законодательными документами не нормируется, в качестве критерия для определения площади загрязнения территории Sr-90 мы приняли нормированное значение удельной активности Sr-90, при которых допускается неограниченное использование материалов - 1000 Бк/кг (ОСПОРБ-99/2010). Площадь радиоактивного загрязнения со значением, превышающим минимально значимый уровень активности 1кБк/кг для изученных слоев почвы с глубиной уменьшается и составляет: для 0-5 см слоя площадь загрязнения составила 1808 м$^2$, для 5-10 см – 302 м$^2$, для 10-15 см слоя – 181 м$^2$.

Работа выполнена при финансовой поддержки Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом» (Государственный контракт № Н.4б.43.9Б.14.1054)

# АККУМУЛИРОВАНИЕ ПОЛОНИЯ-210 ЧЕРНОМОРСКИМ МИКРОПЛАНКТОНОМ

*Г.Е. Лазоренко, В.С. Муханов, О.А. Рылькова, Д.Е. Пейдус*
Институт биологии южных морей, Севастополь, Россия,
g.e.lazorenko@@gmail.com

Основным источником поступления в морскую среду природного радионуклида $^{210}$Po, завершающего распад радиоактивного ряда $^{238}$U-$^{226}$Ra, служит атмосфера. К дополнительным его источникам относятся жидкие отходы предприятий по добыче и переработке руд, содержащих редкоземельные элементы, уран, торий и фосфорные соединения. Значительный вклад в повышение уровня содержания $^{210}$Po в морях принадлежит сбросным пластовым водам морских буровых платформ.

Внимание к изучению поведения этого радионуклида в морской среде и биоте обусловлено его физическими и химическими свойствами. Известно, что в морской среде $^{210}$Po ассоциируются с органическим взвешенным веществом, а его поступление в гидробионты происходит с пищей. Среди морских организмов наименее исследована аккумулирующая способность микропланктона в отношении $^{210}$Po. В настоящей работе представлены первые результаты определения этого радионуклида в черноморских микроорганизмах для оценки их роли в транспорте $^{210}$Po в Севастопольской бухте (Черное море).

Пробы микропланктона для радиоэкологических исследований отбирали маломерными судами дважды в месяц батометрами, воду из которых фильтровали через фильтры с размером пор 0,2 и 1,2 мкм. Фильтры обрабатывали с использованием радиохимического анализа. Измерение $^{210}$Po в пробах выполняли с использованием альфа–спектрометрического комплекса "EG&G ORTEC BERTHOLD–WALLAC" (OCTETE–PC 8–FOLD COMPLETE ALPHA SPECTROSCOPY SYSTEM). Численность и размерный спектр микроорганизмов определяли с помощью проточной цитометрии (гетеротрофный и фотоавтотрофный пико- и нанопланктон) и световой микроскопии (фитопланктон во фракции 20-200 мкм). Биообъем и биомассу организмов оценивали расчётным путём в размерных фракциях 0,2-1,0 и 1,0-200 мкм. Анализ проб проводили на берегу в условиях стационарной лаборатории с помощью проточного цитометра Cytomics$^{TM}$ FC 500 (Beckman Coulter, США), оборудованного 488 нм однофазным аргоновым лазером. Общую численность пико- и нанофитопланктона определяли в неокрашенных пробах с помощью гейтинга популяции клеток на 2-параметрических цитограммах прямого светорассеивания (FS) и автофлуоресценции в красной области спектра (FL4, 675 нм) на безразмерных логарифмических шкалах. Численность бактерий определяли в пробах, окрашенных SYBR Green I (Molecular Probes, США), с помощью гейтинга популяции клеток на 2-параметрических цитограммах прямого светорассеивания (FS) и флуоресценции SYBR Green I в зелёной области спектра (канал FL1, 525 нм) на безразмерных логарифмических шкалах.

Установлено, что способность микропланктона аккумулировать $^{210}$Po зависит от его размерного состава. Результаты радиоэкологического исследования черноморских микроорганизмов свидетельствуют о том, что для оценки их роли в транспорте природного радионуклида $^{210}$Po в экосистеме следует применять комплексный подход с использованием современных гидробиологических методов, позволяющих наиболее полно охарактеризовать количественный, качественный состав микропланктона и его экологическое состояние в условиях обитания.

# РАДИОАКТИВНЫЕ ОТХОДЫ И ПРОБЛЕМЫ РАДИОЭКОЛОГИИ

*И.И. Линге, С.С. Уткин*
Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН, Москва, Россия,
linge@ibrae.ac.ru, uss@ibrae.ac.ru

В докладе выделены и кратко рассмотрены несколько видений систем обращения с радиоактивными отходами, в том числе в экологических аспектах. Лучшие практики - поступление в окружающую среду радиоактивных веществ строго регламентировано в рамках допустимых сбросов и выбросов, а собственно РАО надежно изолируются. Эти практики уже реализованы в ряде стран. Однако в крупных ядерных державах, в том числе в США, России, Великобритании, Франции, Японии, вопросы обращения с РАО не могут рассматриваться в отрыве от проблем ядерного наследия, обусловленного реализацией ядерных оборонных программ или крупными авариями. Именно в этих случаях должны рассматриваться радиоэкологические аспекты.

В докладе кратко рассмотрены основные изменения в национальной системе обращения с РАО, которые произошли за последние десять лет и которые произойдут в ближайшие два десятилетия. Основные изменения связаны с двумя главными факторами: с 2008 г. в России действует первая государственная программа по ядерному наследию; в 2011 г. вступил в силу закон «Об обращении с радиоактивными отходами». Среди новых требований в рамках определенных Правительством РФ критериев отнесения РАО к особым (неудаляемым) РАО впервые установлено требование количественной и денежной оценки совокупного размера возможного вреда окружающей среде в случае захоронения таких радиоактивных отходов в месте их нахождения. Это требование стимулирует обоснование практических решений по давно обсуждаемым радиоэкологическим проблемам, связанным с оценкой дозообразования у представителей биоты по всем путям миграции радионуклидов и способам их воздействия на живые организмы.

Кратко рассмотрен способ решения задачи обоснования соответствия установленным критериям, в рамках которого применены так называемые экологически безопасные уровни облучения референтных объектов биоты. Планируется, что к концу 2015 года задача обоснования отнесения к особым РАО будет решена в отношении большинства таких объектов.

В целом, прогнозируется, что за 10-20 лет уровни облучения биоты в непосредственной близости от всех объектов размещения РАО будут многократно снижены, а возможности доступа животных к объектам размещения РАО с опасными концентрациями радионуклидов минимизирован. В отношении ряда водоемов-хранилищ РАО (ТКВ и др.) в докладе даны прогноз эволюции объекта и характеристика состояния биоты.

С позиций практических потребностей определен ряд перспективных радиоэкологических задач, требующих решения, среди которых:

формулирование количественно оцениваемых критериев радиоэкологической безопасности захоронения РАО в целом и долгоживущих РАО в особенности;

разработка подходов к периодичности и содержанию радиационного контролю пунктов захоронения РАО после их закрытия;

уточнение роли живых организмов (в особенности – микроорганизмов) в эволюции природно-техногенных объектов, которыми являются пункты захоронения РАО и радиационно загрязненные территории, в том числе реабилитированные, включая перенос радионуклидов в геологических средах.

# ВЛИЯНИЕ ПОЧВЕННЫХ СВОЙСТВ НА КОЭФФИЦИЕНТЫ КВАЗИДИФФУЗИИ РАДИОЦЕЗИЯ В СЕРЫХ ЛЕСНЫХ ПОЧВАХ

*Д.Н.Липатов, А.И.Щеглов*
Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, Москва, Россия,
dlip@soil.msu.ru shchegl@mail.ru

Вертикальный перенос техногенных радионуклидов в почвах характеризуется пространственной неоднородностью. При прогнозировании миграции радионуклидов важно учитывать пространственное варьирование почвенных показателей.

В работе использованы данные, полученные в Плавском и Арсеньевском районах Тульской области на серых лесных почвах, загрязненных в результате чернобыльских выпадений, представленных конденсационной компонентой. Расчет коэффициентов квазидиффузии $^{137}$Cs проводился за 15-летний период с использованием значений плотности загрязнения по отдельным слоям почвенного микропрофиля (горизонт А0, 0–5 см, 5–15 см) на основе приближенного решения уравнения диффузии при однократном поверхностном поступлении радионуклида.

Коэффициенты квазидиффузии $^{137}$Cs в исследованных серых лесных почвах составили 0,18–0,35 см$^2$/год, при этом нарастая в ряду биогеоценозов: сосняк < дубрава < березняк < пастбище. Проверка по критерию Уилка-Шапиро показала, что пространственное распределение коэффициентов квазидиффузии $^{137}$Cs удовлетворяло нормальному закону ($\alpha$=0,05) для почв всех исследованных участков.

Оценка влияния почвенных показателей на интенсивность заглубления $^{137}$Cs проводилась на основе корреляционного анализа. На всех лесных участках отмечена значимая ($\alpha$=0,05) отрицательная корреляция коэффициентов квазидиффузии с плотностью сложения почвы в слое 0–5 см. Точки с плотностью 0,75–0,90 г/см$^3$ в подподстилочном гумусовом горизонте А1 могут формироваться вследствие биотурбационных явлений, сопровождающихся разрыхлением, перемешиванием и, как следствие, переносом $^{137}$Cs в более глубокие слои почвы. В дубраве отмечается значимый положительный коэффициент корреляции (r=0,52*) между интенсивностью квазидиффузии и влажностью почвы. При этом выявленное увеличение вертикальной миграции $^{137}$Cs отмечено в узком диапазоне (16–21 %) полевой влажности почвы.

В темно-серой лесной оподзоленной почве сосняка зафиксирована положительная корреляция (r=0,59*) мощности лесной подстилки А0 и коэффициентов квазидиффузии $^{137}$Cs в верхних горизонтах А1 и АЕ. По-видимому, точки с повышенным запасом подстилки приурочены к приствольным повышениям, в которых интенсивность вертикальной миграции $^{137}$Cs нарастает вследствие активного влияния стволовых вод и других фитогенных факторов. В дубраве отмечается положительная корреляция (r=0,46*) коэффициентов квазидиффузии с содержанием гумуса в слое 0–5 см. Взаимосвязь коэффициентов квазидиффузии $^{137}$Cs с кислотно-основными свойствами отмечена в светло-серых лесных почвах пастбищного участка: значимые отрицательные корреляции с pHсол (r=–0,39*) и со степенью насыщенности основаниями (r=–0,41*) в слое 0–5 сантиметров. В условиях нейтральной реакции почвенной среды снижается доля подвижных форм радионуклида.

Результаты корреляционного анализа показывают, что влияние исследованных физических свойств серых лесных почв на интенсивность вертикальной миграции $^{137}$Cs выражено в большей степени, чем химических и физико-химических свойств. По итогам анализа корреляционных связей предложены уравнения линейной регрессии, отражающие пространственную взаимосвязь почвенных показателей и коэффициентов квазидиффузии. Эти уравнения могут применяться для уточнения прогнозных моделей вертикальной миграции $^{137}$Cs в серых лесных почвах различных биогеоценозов.

# РАДИАЦИОННЫЕ И ПОСТРАДИАЦИОННЫЕ ЭФФЕКТЫ ХРОНИЧЕСКОГО ГАММА-ОБЛУЧЕНИЯ СЕМЯН И ПРОРОСТКОВ *A. THALIANA* В МАЛЫХ ДОЗАХ

*Литвинов С.В.*
[1]Институт клеточной биологии и генетической инженерии НАН Украины,
Киев, Украина,
s_litvinov@mail.ru

Целью нашей работы было изучение действия хронического гамма-облучения в малых дозах *A. thaliana* на ранних стадиях онтогенеза (проростки и семена) на рост и развитие растений. Нами проведена серия опытов по исследованию радиационных и пострадиационных эффектов хронического облучения семян и проростков *A. thaliana*, линия Col 0, в гамма-поле пробирки с хлоридом $^{137}$Cs. Мощность дозы для семян составила 0,45 мГр/ч (28 суток), для проростков 0,18 мГр/ч (7 суток). Повторность опытов троекратная.

Между опытной и контрольной группой проростков выявлены статистически достоверные различия по показателям энергии прорастания, скорости развития (времени формирования первичной розетки), длине гипокотиля. Средние значения этих показателей больше для растений опытной группы ($p<0,01$). Различия между группами по длине корня статистически недостоверны. В пострадиационный период облучённые проростки и полученные из них вегетирующие растения не различались по фиксируемым нами показателям. В то же время между проростками из облученных и необлученных семян *A. thaliana* различий не обнаружено. Достоверные различия были выявлены позже, на границе вегетативной и генеративной фаз (начало цветения). Эти различия постепенно уменьшались по мере образования и созревания стручков. Растения из опытной группы опережали контрольные по скорости роста стебля, раньше зацветали и образовывали стручки, но они также имели в среднем более короткий вегетативный цикл и раньше отмирали. Несмотря на выраженное стимулирующее влияние хронического гамма-облучения семян *A. thaliana* на ростовые показатели, средняя сухая масса растений из опытной группы в конце вегетации была меньше. Также следует указать на нарушение кореллятивной связи между ростом стебля и накоплением сухой массы в группе растений, полученных из облучённых семян. Коэффициент вариации ряда признаков был выше в опытной группе по сравнению с контролем. Это касается длины и скорости роста стебля, среднего количества стручков на одном растении. Растения из опытной группы сльнее ветвились, стебли были в среднем тоньше, чем в контроле. Среди облученных растений выявлено несколько фенодевиантов (редуцированные органы, карликовость, стерильность стручков, изменение формы и цвета листьев), признаки которых не наследовались в следующем поколении.

Таким образом, нами показано влияние хронического гамма-облучения семян и проростков в малых дозах на рост и развите *A. thaliana*. Действие радиации на проростки проявляется непосредственно в период облучения, а в пострадиационный период быстро ослабевает. Действие облучения на семена наоборот проявляется не сразу, а в период перехода от вегетативного роста к началу цветения. Кроме того, облучение семян приводит к более устойчивым и длительным изменениям.

# МОДИФИЦИРУЮЩЕЕ ВЛИЯНИЕ РЕГУЛЯТОРОВ РОСТА РАСТЕНИЙ НА РАЗВИТИЕ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ В ПОЧВЕ, ЗАГРЯЗНЕННОЙ $^{137}$Cs И Cd

*Н.Н. Лой, Н.И. Санжарова*
Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии ФАНО, Обнинск, Россия,
loy.nad@yandex.ru

Результатом хозяйственной деятельности человека является увеличение техногенной нагрузки на агроэкосистемы и повышение концентраций загрязняющих веществ в почвах сельскохозяйственного назначения. В последнее время в растениеводстве все большее внимание уделяется использованию современных средств химизации, позволяющих сохранить стабильность агробиоценозов.

Широкое применение в растениеводстве различных средств защиты и регуляторов роста растений (РРР), в большинстве своем являющихся физиологически активными веществами, может приводить к изменению поглощения растениями радионуклидов (РН) и тяжелых металлов (ТМ).

Целью исследования являлось изучение влияния предпосевной обработки семян ярового ячменя сорта Нур регулятором роста «Мелафен» на ростовые процессы растений и урожай культуры при возделывании на почве с повышенным содержанием $^{137}$Cs и Cd.

Выращивание растений ярового ячменя сорта Нур (*Hordeum vulgare* L.*)* проводили в вегетационном опыте (теплица), в сосудах емкостью 5 л по общепринятой методике. В эксперименте была использована дерново-подзолистая супесчаная почва. Минеральные удобрения вносили при набивке сосудов в виде водных растворов солей $NH_4NO_3$, $K_2SO_4$ и $KH_2PO_4$ в дозах: N-0,15; $P_2O_5$-0,1 и $K_2O$-0,1 г/кг почвы. Тяжелый металл (ТМ) Cd добавляли в виде водного раствора соли $Cd(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$ в концентрации 50 мг/кг воздушно-сухой массы почвы, радионуклид $^{137}$Cs - в виде раствора хлорида $^{137}$Cs с расчетной активностью 50 кБк/кг почвы.

Обработку семян перед посевом проводили на лабораторной роторной установке RVO-64 препаратом «Мелафен» в концентрации 1 х $10^{-7}$% из расчета 10 л рабочего раствора на 1 т семян. Для предпосевной обработки семян против корневых гилей применяли фунгицид Раксил, СП в полной норме расхода и сниженной на 25%.

В результате анализа экспериментально полученных данных установлено, что применение мелафена для предпосевной обработки семян ячменя сорта Нур отдельно и совместно со сниженной на 25% нормой расхода фунгицида Раксил, СП и последующее выращивание растений в почве, загрязненной $^{137}$Cs и Cd стимулировало развитие ячменя в фазу кущения по показателям: высота растений - на 16%, площадь листовой поверхности – на 76% и биомасса – на 53%. Применение мелафена способствовало увеличению массы зерна в расчете на одно растение на 15-18%, массы соломы – на 7-29% в зависимости от вида загрязнения и улучшению питательной ценности зерна и соломы по основным показателям (содержание протеина, жира, клетчатки), а также снижению накопления Cd и активности $^{137}$Cs в биомассе 30 и 60 суточных растений ячменя.

# СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА БЕЗОПАСНЫХ УРОВНЕЙ ОБЛУЧЕНИЯ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ ВОДНОЙ И НАЗЕМНОЙ ФАУНЫ

*Лунёва К.В.*
НПО «Тайфун», Обнинск, Россия,
kristina-lkv@yandex.ru

В настоящее время в научных кругах всё больший интерес принимает оценка радиационно-экологического воздействия на представителей окружающей среды. Впервые о необходимости разработки единого систематического подхода к решению данного вопроса говорилось в Публикации 91 Международной комиссии по радиационной защите (МКРЗ) «Основные принципы оценки действия ионизирующих излучений на живые организмы, за исключением человека». Помимо МКРЗ в данной тематике участвуют МАГАТЭ, НКДАР ООН, Европейская Комиссия. В новых основных нормах безопасности МАГАТЭ содержится рекомендация о необходимости подтверждать, а не исходить из предположения, что окружающая среда защищена от промышленного радиационного воздействия. Методология оценки влияния ионизирующего излучения на биоту подразумевает расчет дозовых нагрузок и дальнейшее их сравнение с определенными безопасными величинами радиационного воздействия. Подобные уровни приводятся в Публикации 108 МКРЗ. Рекомендации основаны на экспертных оценках и носят довольно субъективный характер. Другими словами, статистическая обработка имеющейся информации по зависимости мощность дозы – эффект является весьма актуальным вопросом.

Целью данной работы являлось определение статистически достоверных уровней безопасного радиационного воздействия водной и наземной фауны.

За основу обработки данных принимался метод непараметрической статистики, изложенный в Sazykina T.G., Kryshev A.I., Sanina K.D. Non-parametric estimation of thresholds for radiation effects in vertebrate species under chronic low-LET exposures (2009), в основе которого лежит ранжирование имеющихся данных и определение пороговой величины для каждой группы радиационных эффектов. Считается, что данное значение представляет собой мощность дозы хронического облучения, ниже которой у биоты наблюдались статистически значимые радиационные эффекты только в 5% (при вероятности – 95%) из известных радиобиологических данных, а в 95% случаев эффекты наблюдались при мощностях дозы выше пороговой величины. Набор данных составлялся из статистически достоверных значений зависимости «мощность дозы – эффект» для следующих групп: наземные позвоночные, водные позвоночные, беспозвоночные. Объем данных по наземным позвоночным позволил разделить эффекты для них на три категории: заболеваемость, снижение репродуктивной способности, преждевременная смертность.

В результате проведённой оценки получены следующие предварительные уровни: наземные позвоночные: 0,60 (0,20 – 1,00) мГр/сутки (заболеваемость), 0,60 (0,12 – 1,40) мГр/сутки (рождаемость), 1,40 (1,00 – 2,80) (смертность); водные позвоночные – 1,00 (0,89 – 2,70) мГр/сутки; беспозвоночные – 9,00(2,10 – 11,0) мГр/сутки. Пределы вполне сопоставимы с теми, что рекомендует МКРЗ. В качестве статистически достоверных безопасных уровней облучения можно рекомендовать нижний наименьший предел расчетных величин: наземные позвоночные – 0,1 мГр/сутки, водные позвоночные – 0,9 мГр/сутки, беспозвоночные 2,0 мГр/сутки. Данные величины стоит рассматривать как скрининговые. Если расчетное значение не превышает указанных уровней, то дополнительных оценок не требуется. В противном случае необходимо провести дополнительный анализ в учетом особенностей рассматриваемого организма и , среды его обитания и др.

# ОЦЕНКА БИОЛОГИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ У ВТОРОГО ПОСЛЕАВАРИЙНОГО ПОКОЛЕНИЯ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ ПО МОРФОЛОГИЧЕСКИМ ПОКАЗАТЕЛЯМ ХВОИ

*Е.С.Макаренко*[1], *А.В.Телюева*[1], *А.А.Удалова*[1,2]

[1] Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии ФАНО, Обнинск, Россия,
makarenko_ek_obninsk@mail.ru

[2] Обнинский институт атомной энергетики НИЯУ «МИФИ», Обнинск, Россия,
oudalova@mail.ru

В результате крупных радиационных аварий на Южном Урале и в Чернобыле радиоактивному загрязнению подверглись значительные территории лесных массивов. Последовавшая за этим гибель сосновых лесов на значительной площади была и остается наиболее ярким примером радиационного поражения на экосистемном уровне, являясь убедительным экспериментальным подтверждением тезиса о повышенной чувствительности лесных экосистем к радиационному воздействию.

Целью данной работы являлась оценка по комплексу морфологических показателей хвои биологических эффектов у второго послеаварийного поколения сосны обыкновенной из ближней зоны Чернобыльской АЭС.

В работе изучались саженцы сосны обыкновенной, являющиеся вторым поколением деревьев, испытавших острое радиационное воздействие в первый период после Чернобыльской аварии. Дозовые нагрузки на 01.06.1986 г для родительских популяций составляли 4-5, 10-20 и 80-100 Гр. Саженцы выращивали в питомнике на радиоактивно незагрязненной территории. В 2010 г. в возрасте 4-х лет они были пересажены на другую площадку. Контрольная группа деревьев сходна по возрасту и почвенно-климатическим условиям обитания. Для анализа длины, массы, индекса флуктуирующей асимметрии, частоты поврежденности некрозом отбирали однолетнюю хвою 2011, 2012 и 2013 гг. (по 10, 15 и 20 хвоинок с каждого дерева соответственно). В контроле проанализировано 28-32 деревьев, второе послеаварийное поколение представлено 30-33 растениями.

Результаты данного исследования показали, что в 2011 г. в группе потомков из зоны летального поражения (80-100 Гр) длина и масса хвои были значимо снижены ($p \leq 0,05$ и $p \leq 0,001$, соответственно); вероятно этот эффект связан с пониженной способностью этих растений преодолевать последствия пересадки. В 2012 и 2013 гг. во всех дозовых группах произошло резкое и значимое ($p \leq 0,001$) увеличение длины и массы хвои относительно контрольной группы, что можно объяснить включением компенсаторных механизмов, направленных на преодоление последствий пересадки. Кроме того, гигантизм хвои является одним из типичных радиоморфозов.

По результатам определения индекса флуктуирующей асимметрии по длине и массе хвои не обнаружено нарушения стабильности развития во втором поколении деревьев, испытавших острое радиационное воздействие.

При анализе поврежденности хвои некрозом обнаружено, что её частота в 2011 и 2013 гг. находится на одном уровне во всех группах деревьев. В хвое 2012 г. наблюдается значительное снижение доли некрозов, примерно вдвое от уровня 2011 г., а также значимое ($p \leq 0,01$) увеличение данного показателя относительно контроля в группе 4-5 и 10-20 Гр. Для изучения модифицирующего действия погодно-климатических условий на проявление некрозов хвои во втором послеаварийном поколении сосны, необходимы дополнительные исследования.

Таким образом, результаты настоящей работы показали, что потомки сосны обыкновенной второго пострадиационного поколения характеризуются гигантизмом хвои и меньшей устойчивостью к стрессу и некрозу хвои.

# АЛГОРИТМЫ ИМИТАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ ПОВЕДЕНИЯ $^{90}$Sr И $^{137}$Cs В ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ

*С.В.Мамихин, Д.В.Манахов*
Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия,
svmamikhin@mail.ru

Создание математических моделей поведения радионуклидов в компонентах биосферы – актуальная задача радиоэкологии. Лесные экосистемы, обладающие богатым видовым составом и многоярусной структурой, являются сложными объектами для имитационного моделирования. Разнообразие алгоритмов построения моделей, предлагаемых различными исследователями, позволяет выбрать алгоритм, наиболее отвечающий поставленным целям и задачам и максимально эффективно использующий доступную информацию по объекту моделирования.

В этой области существует ряд ключевых на наш взгляд моментов, на которых хотелось бы остановиться, а именно:

- степень упрощения при отображении объекта имитационного моделирования;
- пространственный и временной масштабы, в которых работает алгоритм;
- преимущества и недостатки учета физического носителя радионуклидов;
- применимость информации о химических аналогах радионуклидов;
- учет путей поступления радионуклидов в экосистему;
- учет влияния абиотических и биотических факторов (климатических, метеорологических, деятельность биоты и т.д.);
- правила перераспределения радионуклидов в экосистеме.

В качестве примера рассматривается несколько моделей поведения $^{90}$Sr и $^{137}$Cs в наземных экосистемах, созданных на кафедре радиоэкологии и экотоксикологии факультета почвоведения МГУ. В частности, это модели вертикальной и латеральной миграции и динамики форм содержания указанных радионуклидов в почве, модели перераспределения $^{90}$Sr и $^{137}$Cs в системах типа «почва – древесные растения» с различным шагом по времени. На основе представленных моделей рассматриваются варианты выбора эффективных алгоритмов, отмечаются некоторые их неопределенности и ограничения применимости, обсуждаются способы приемлемого решения возникающих проблем.

Помимо вышеуказанного в докладе рассматриваются некоторые вопросы отображения перемещения $^{90}$Sr и $^{137}$Cs по пищевым цепям, в частности методы расчета загрязнения организма животных в целом и отдельных тканей.

Дополнительно обсуждается вопрос о способах реализации алгоритмов радиоэкологических моделей в аспекте интеграции моделей отдельных экосистем в крупномасштабные модели региональных и глобальных природно-территориальных комплексов. Рассматриваются возможности использования в радиоэкологическом моделировании облачных технологий и ГИС-технологий.

С целью объединить усилия всех, кто интересуется математическим моделированием в области радиоэкологии на сайте факультета почвоведения МГУ создан информационно-учебный ресурс ЭкоРадМод (http://ecoradmod.narod.ru/; http://soil.msu.ru/ecoradmod). Это попытка обобщить уже накопленные в данной области знания и способствовать расширению использования математического моделирования в радиоэкологии. На сайте можно ознакомиться с электронным пособием по математическому моделированию и демонстрационными версиями моделей, воспользоваться электронной библиотекой радиоэкологической литературы.

# КЛАССИФИКАЦИЯ РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ

*И.И. Марадудин, А.Н. Раздайводин,А.И. Радин, Д.Ю.Ромашкин, А.П.Рябинков,*
Всероссийский НИИ лесоводства и механизации лесного хозяйства,
Пушкино, Россия,
info@roslesrad.ru

Вследствие радиационной катастрофы на Чернобыльской АЭС и ядерных испытаний радиоактивному загрязнению подверглись леса, произрастающие в разных природно-климатических зонах с различными лесорастительными условиями. Вследствие этого они различаются флористическим составом, эколого-физиономическим обликом, радиочувствительностью и способностью накапливать радионуклиды в структурных частях растений, что обусловливает существенные различия процессов миграции радиоизотопов в системе «почва – лесная растительность».

Многолетнее изучение закономерностей влияния природно-климатических и эколого-лесоводственных условий на состояние радиационной обстановки в лесах Европейской части России, загрязненных радионуклидами, позволяет классифицировать лесные экосистемы по группам радиоэкологической устойчивости.

В качестве основного критерия для выделения классификационных единиц радиоэкологической устойчивости лесных экосистем принята продолжительность восстановления их экологических свойств, отвечающих нормам радиационной безопасности и социально-экономическому значению.

Лесные экосистемы, характеризующиеся относительно краткосрочным периодом снижения радиационной опасности, восстановления экологических и социально-экономических функций после радиоактивного загрязнения (до 30 лет), следует классифицировать как *относительно радиоэкологически устойчивые.* Такие лесные экосистемы свойственны лесостепной и степной лесорастительным зонам с богатыми почвами и доминированием типов лесорастительных условий $C_{1-2}$ и $D_{1-2}$ .

*Слабо радиоэкологически устойчивые* лесные экосистемы характеризуются среднесрочным периодом восстановления радиационно-безопасного многоцелевого использования (30-60 лет). Они характерны для широколиственных и хвойно-широколиственных лесорастительных зон с преобладанием типов лесорастительных условий A, B и C, реже - D.

Лесные экосистемы с долгосрочным периодом восстановления радиационно-безопасного многоцелевого использования (свыше 60 лет) классифицируются как *радиоэкологически неустойчивые.* Они свойственны северо-таёжным лесам и притундровым редколесьям с коротким вегетационным периодом и преобладанием типов лесорастительных условий $A_{1-4}$ и $B_{1-4}$.

Классификация радиоэкологической устойчивости лесных экосистем является научной основой для долгосрочного прогнозирования изменений радиационной обстановки в лесах, загрязнённых радионуклидам, и повышения эффективности планирования защитных мероприятий.

# РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ НАДЕЖНОСТЬ ЛОКАЛЬНОЙ АГРОЭКОСИСТЕМЫ

*И. В. Матвеева*
Национальный авиационный университет, Институт экологической безопасности, Киев, Украина,
ecoetic@yandex.ru

Агроэкосистема является важным источником транспорта радионуклидов. Чем больше коэффициент радиоемкости (определяемом в работе, как вероятность удержания радионуклидов в кажом компоненте и в экосистеме в целом данной), исследуемой агроэкосистемы, тем выше её надежность в плане минимизации поступления радионуклидов к человеку.

Основываясь на скорости миграции, распределения и перераспределения радионуклида – трассера – $^{137}$Cs в компонентах агроэкосистемы, можно рассчитать параметр надежности исследуемой агроэкосистемы и оценить вклад различных компонентов агроэкосистемы в формирование дозы для населения. В зависимости от количества радионуклидов, выпавших на территорию, можно применять различные защитные контрмеры, эффективность которых зависит от ряда факторов.

Применение моделей и теория надежности для исследования экологических процессов в различных типах экосистем является полезной, так как позволяет оценить основные характеристики и основные свойства экосистем путем наблюдения поведения трассера – радионуклида $^{137}$Cs.

Полученные нами результаты по оценке распределения и перераспределения радионуклидов в агроэкосистеме (на примере с. Галузия, Волынская область) показали заметную динамику формирования дозовых нагрузок на людей. В данной работе, в отличие от других публикаций, радиоемкость определяется как способность компонентов и экосистемы наших в целом, удерживать радионуклиды и тем самым снижать их поступление к жителям села. Сбор натурных данных по данному селу проводился в течении 7 лет экспедиционных исследований. Данные этих экспедиций положены в основу наших расчетов. Реальные данные по Галузии показали, что уровни загрязнения молока, основного дозообразующего компонента достигал 800 – 1000 Бк/л, что и приводило к превышению доз до 3-5 мЗв/год для ряда жителей этого села (данные СИЧ измерений).И таких сел на Волыни, Ровенщине достаточно много. Поэтому актуальность оценок надежности транспорта радионуклидов в агроэкосистемах к человеку, рассчитываемых нами через вводимые показатели коэффициентов радиоемкости, достаточно обоснована.

Поэтому для оценки и прогноза таких процессов нами предложено использовать модели и теорию надежности. Для этого агроэкосистема рассматривается как система транспорта радионуклидов от почвы к человеку. Нами предложены количественные методы оценки надежности отдельных элементов агроэкосистемы и агроэкосистемы в целом. Данный метод и модели позволили по-новому взглянуть на проблему экологической безопасности человека и рассмотреть проблемы применения защитных контрмер. Речь идет об анализе агроэкосистемы, как системы транспорта радионуклидов от почвы к человеку, средствах и методах модификации данных процессов.

# СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ МОРСКИХ ЭКОСИСТЕМ БАРЕНЦЕВО-КАРСКОГО РЕГИОНА

*Г.Г. Матишов, Д.Г. Матишов, И.С. Усягина, Д.А. Валуйская*
Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН, Мурманск, Россия,
matishov@mmbi.info

С начала 1990-х годов морские радиоэкологические исследования являются частью комплексных экспедиций Мурманского морского биологического института. Материалы для настоящего исследования получены в ходе морских и береговых экспедиций ММБИ 2010-2013 гг. в Баренцево и Карское моря. Исследования проводились на шельфе, в районах полярных архипелагов, а также губах вблизи радиационно-опасных объектов. Всего отобрано около 600 проб.

По результатам экспедиционных исследований, проводимых ММБИ в 2010-2013 гг., получены данные об активности $^{137}$Cs и $^{90}$Sr в основных водных массах Баренцева моря. В настоящее время в теплых водах атлантического происхождения, в зону распространения которых входят Рыбачья, Мурманская, Демидовская банки и Центральное плато содержание $^{137}$Cs в воде варьирует от 0.4 до 2.5 Бк/м$^3$, а содержание $^{90}$Sr – от 0.4 до 8.7 Бк/м$^3$. В баренцевоморской водной массе над Центральной возвышенностью диапазон активности $^{137}$Cs составляет от 1.4 до 1.7 Бк/м$^3$, $^{90}$Sr – от 2.1 до 5.0 Бк/м$^3$. В воде над возвышенностью Персея и над ее склонами в арктических водных массах регистрируется $^{137}$Cs на уровне от 0.9 до 2.2 Бк/м$^3$, $^{90}$Sr – от 1.8 до 6.3 Бк/м$^3$. Донные отложения характеризовались низким содержанием радионуклидов. Алеврито-пелитово-песчаные осадки в районе возвышенностей Персея и Центральной, а также Центрального плато содержали от 0.2 до 1.8 Бк/кг $^{137}$Cs. В желобах между банками мелкие алевриты и глинистые илы отличаются несколько большим (до 7 Бк/кг) накоплением $^{137}$Cs.

Современное содержание $^{137}$Cs и $^{90}$Sr в верхнем слое воды Карского моря колеблется в диапазоне 0.5−3 и 3−11 Бк/м$^3$, соответственно. Относительно повышены концентрации искусственных радионуклидов в прибрежной зоне вблизи эстуариев рек Енисея и Оби. В современных донных осадках на Карском шельфе удельная активность $^{137}$Cs варьирует от 1 до 12 Бк/кг, а $^{90}$Sr от 0.2 до 2 Бк/кг. В мелких алевритах и глинистых илах Восточно-Новоземельского желоба накопились максимальные количества антропогенных радионуклидов. Грунты Обской и Тазовской губ содержат $^{137}$Cs от 0.4 до 7 Бк/кг, а $^{90}$Sr до 1.7 Бк/кг.

Исследования промысловых рыб Баренцева моря показали, что современная удельная активность $^{137}$Cs в треске, пикше, камбале, зубатке Баренцева моря не превышает 0.3 Бк/кг сырой массы, при предельно допустимой норме 130 Бк/кг.

Фукусовые и ламинариевые водоросли прибрежной зоны Баренцева моря содержат $^{137}$Cs в количестве, не превышающем 1.5 Бк/кг сухой массы.

Удельная активность $^{137}$Cs в мягких тканях двустворчатых моллюсков *Mytilus edulis*, собранных на литорали Баренцева моря не превышала следового количества.

Фитопланктон из Обской губы Карского моря содержал $^{137}$Cs менее 0.2 Бк/кг сырой массы.

Из результатов исследований ММБИ следует, что с конца XX века в Баренцево-Карском бассейне происходит снижение уровня содержания искусственных радионуклидов. Современные радиоэкологические исследования в морской арктической зоне должны быть направлены на проведение мониторинга, изучение закономерностей перераспределения радионуклидов и механизмов самоочищения морских экосистем, на выявление районов аккумуляции техногенных радионуклидов.

# НАУЧНЫЕ ПОДХОДЫ К ОБЕСПЕЧЕНИЮ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ЖИВОТНОВОДСТВА НА ТЕХНОГЕННО ЗАГРЯЗНЕННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ

*Э.Б. Мирзоев, В.О. Кобялко*
Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии
ФАНО, Обнинск, Россия,
mirzoev.ed@yandex.ru

При ведении животноводства на техногенно загрязненных территориях продуктивные животные подвергаются воздействию физических, химических и биологических факторов. В процессе хозяйственного использования на сельскохозяйственных животных могут оказывать влияние и сопутствующие факторы (технологии содержания и кормления, физиологические изменения во время беременности, возраст, ветеринарно-санитарные мероприятия). Длительное содержание продуктивных животных в этих условиях может приводить к развитию негативных реакций в организме, что сказывается на частоте проявления незаразных и инфекционных заболеваний, количестве и качестве получаемых продуктов питания, и, в целом, на состоянии животноводческой сферы агропроизводства. В связи с этим обеспечение устойчивого развития животноводства в экологически неблагополучных регионах становится важной задачей сельскохозяйственной экологии.

Критерием устойчивого развития животноводства в этих условиях является получение продукции, соответствующей требованиям санитарно-гигиенических нормативов СанПиН 2.3.2.1078-01, при сохранении здоровья и хозяйственно-полезных качеств продуктивных животных. В настоящее время для получения продуктов питания (мясо, молоко) разработаны и успешно применяются мероприятия, которые направлены на ограничение поступления радиоактивных и токсичных веществ в рацион животных по трофической цепи почва-растение и снижение их всасывания в желудочно-кишечном тракте. В то же время проведение только этих мероприятий в условиях многофакторного воздействия не исключает развитие негативных изменений в организме сельскохозяйственных животных, что, в конечном итоге, приводит к проявлению заболеваний разной этиологии.

На основе собственных и литературных данных предлагаются специальные и организационные мероприятия, которые позволят обеспечить сохранение здоровья и хозяйственно-полезных качеств продуктивных животных при ведении животноводства на техногенно загрязненных территориях. К специальным мероприятиям можно отнести оценку молекулярно-клеточных показателей животных при дополнительном стресс-воздействии и своевременное проведение биохимико-фармакологической коррекции выявленных нарушений, а организационным - применение витаминных препаратов перед вакцинацией животных, снижение токсической нагрузки в поздние сроки антенатального развития и молочный период вскармливания потомства, отбор животных первого поколения для воспроизводства и формирования физиологически здорового стада, ограничение срока хозяйственного использования продуктивных животных.

Комплексное применение мероприятий, направленных как на получение продуктов питания (мясо, молоко), соответствующих санитарно-гигиеническим требованиям, так и на сохранение здоровья животных обеспечит устойчивое развитие животноводства в условиях техногенного воздействия. Это позволит снизить экономический ущерб от инфекционных и незаразных заболеваний и потери продуктов питания (мясо, молоко). Максимальную эффективность при использовании мероприятий в хозяйствах можно получить за счет оптимизации затрат на их проведение с учетом экологической и эпизоотической обстановки, влияния сопутствующих факторов, метаболизма и механизма действия, дозы (концентрации) токсиканта, длительности и периода воздействия, физиологических особенностей организма и специфики ведения сельскохозяйственного производства.

# $^{90}$Sr В СОЛЁНЫХ ОЗЕРАХ КРЫМА ПОСЛЕ АВАРИИ НА ЧАЭС

*Н.Ю. Мирзоева, С.И. Архипова, Н.Ф. Коркишко, В.Н. Поповичев*
Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского, Севастополь, Россия,
natmirz@mail.ru

Солёные озера Крыма содержат значительные запасы солей натрия, магния, брома и других химических элементов, являясь потенциальной мощной сырьевой базой для крупной химической промышленности Российской Федерации. Несмотря на рост антропогенного влияния и климатические изменения в регионе, последние 23 г. экологические исследования солёных озер Крыма проводились эпизодически.

Цель работы – оценить радиоэкологическое состояние солёных озер Крыма в отношении загрязнения компонентов водных экосистем послеаварийным $^{90}$Sr. Материалом исследований служили вода, донные отложения, гидробионты, отобранные в 2013 г. в солёных озерах Киятское и Кирлеутское, на контрольных станциях вдоль побережья Северо-Западной части Крыма (Бакальская коса, мыс Тарханкут, оз. Донузлав, г. Евпатория). Определение $^{90}$Sr в природных объектах проводили радиохимическим методом. Бета-активность $^{90}$Sr измерялась по $^{90}$Y, по черенковскому излучению на низкофоновом жидкостно-сцинтилляционном счетчике (LSC) LKB “Quantulus” Wallac-1220.

Определено, что только в воде оз. Киятское и морской воде возле мыса Тарханкут концентрации $^{90}$Sr в 23 и 1.7 раза, соответственно, превышали доаварийное содержание радионуклида в водоёмах Крыма. В других исследуемых водных экосистемах биогеохимические и гидрологические процессы уменьшали время нахождения $^{90}$Sr в среде на 106–127 лет. Незначительное превышение концентрации $^{90}$Sr в морской воде возле мыса Тарханкут определялось его вторичным поступлением с водами Днепра. Озеро Киятское является бессточным, его питание происходит через подземные воды, сбросные и дренажные системы Северо-Крымского канала (СКК). Многолетний сброс сточных вод Крымского содового завода, использующего в рабочем цикле воды СКК, также является дополнительным источником поступления послеаварийного $^{90}$Sr в водоём. Рассчитано, что, концентрация $^{90}$Sr в воде озера, восстановленная на 1986 г., составляет 730.2 Бк·м$^{-3}$. Это соответствует концентрации $^{90}$Sr (728.8 Бк·м$^{-3}$), поступившего в растворенном виде с водами Днепра в СКК в ноябре 1986 г. Оз. Киятское относится к Перекопской группе солёных озер Крыма II класса и характеризуется повышенным содержанием хлоридов в воде, что обеспечивает нахождение $^{90}$Sr в водном растворе озера преимущественно в ионной форме. Перераспределение радионуклида между гидробионтами и донными отложениями водоёма является незначительным. Концентрация $^{90}$Sr в водных растениях из рода *Potamogeton* и *Cladophora* оз. Киятского составляла 0.30±0.04 Бк·кг$^{-1}$ и 0.37±0.04 Бк·кг$^{-1}$ сырой массы, соответственно, а в донных отложениях – 0.45 ±0.22 Бк·кг$^{-1}$ сухой массы.

Таким образом, наибольшие концентрации послеаварийного $^{90}$Sr были определены в солёном озере Киятское Крымского региона. Это обусловлено как особенностями гидрохимических и гидрологических характеристик водоёма, так и эксплуатацией озера в цикле работы Крымского содового завода. При этом антропогенный пресс является определяющим фактором поступления загрязнителей в водную экосистему. Гидрологические и гидрохимические особенности озера Киятского позволяют использовать его в качестве модельного полигона для водных экосистем, где основным процессом, обеспечивающим элиминацию $^{90}$Sr из водной среды, является радиоактивный распад радионуклида.

# НАКОПЛЕНИЕ РАДИОНУКЛИДОВ ГЛОБАЛЬНЫХ ВЫПАДЕНИЙ РАСТЕНИЯМИ НАЗЕМНЫХ ЭКОСИСТЕМ

*Л.Н. Михайловская, И.В. Молчанова*
Институт экологии растений и животных УрО РАН, Екатеринбург, Россия,
molchanova_i_v@mail.ru

Сформировавшийся глобальный радиоактивный фон загрязнения биосферы Земли искусственными радионуклидами стал одним из экологических факторов. Изучение закономерностей его формирования и включения искусственных радионуклидов в биологический круговорот остается актуальной задачей современных радиоэкологических исследований.

Цель настоящей работы заключается в изучении фоновых уровней загрязнения почв Уральского региона $^{90}$Sr и $^{137}$Cs глобальных выпадений и особенностей их накопления представителями разных таксономических групп наземных растений.

Исследования проводили в период с 2000 г. по 2012 г. на территории Уральского региона, ограниченной 55°–57° с.ш. Реперные участки располагали на контрастных по водному режиму автоморфных (водораздельных) и гидроморфных (прирусловые поймы рек, берега озер и болот) элементах ландшафта. Пробы почв, надземной массы растений (2–5 повторностей) отбирали в наиболее распространенных экосистемах (смешанные леса, березовые колки, луга). Всего в ходе исследований было опробовано 46 реперных участков. Исследовано три группы растений: травянистые (36 видов принадлежащих к 18 семействам из 5 классов), лишайники (31 вид из 8 родов), мхи (53 вида из 17 семейств).

Содержание $^{137}$Cs определяли гамма-спектрометрическим методом, $^{90}$Sr радиохимическим. Пределы обнаружения 0.1–0.2 Бк. Погрешность методов не превышала 20%.

Показано, что на обследованной территории Уральского региона современный фоновый уровень загрязнения автоморфных почв 1.7±0.3 кБк/м$^2$ и 4.2±0.4 кБк/м$^2$ для $^{90}$Sr и $^{137}$Cs соответственно. В почвах гидроморфных участков с близким залеганием грунтовых вод и регулярно затапливаемых паводковыми водами запасы $^{137}$Cs примерно такие же, а $^{90}$Sr (0.9±0.2 кБк/м$^2$) достоверно ниже, чем на автоморфных элементах рельефа. Основное количество исследованных радионуклидов находится в пределах верхнего корнеобитаемого слоя почв.

Внутри каждой таксономической группы накопление радионуклидов в первую очередь определяется видовыми особенностями растений. Принадлежность к таким таксономическим единицам, как семейство и класс, менее значимо. Отдельные виды, принадлежащие к разным семействам и даже классам, могут характеризоваться одинаковой накопительной способностью.

Сравнение накопительной способности трех таксономических групп растений показало, что среднее содержание $^{90}$Sr в надземной массе совпадает, а $^{137}$Cs во мхах и лишайниках значительно больше, чем в травах. Максимальный диапазон изменчивости накопительной способности по отношению к $^{90}$Sr (2.5–500 Бк/кг) отмечен у травянистых растений, а к $^{137}$Cs (40–1200 Бк/кг) – у мхов. Анализ имеющейся базы данных за период 1975—2012 гг показал, что содержание радионуклидов в растениях исследованных групп с течением времени снижается по экспоненциальному закону. На фоне общего снижения содержания радионуклидов в растениях с течением времени имеет место относительное их обогащение $^{90}$Sr, об этом свидетельствует возрастание отношения $^{90}$Sr/$^{137}$Cs.

Работа выполнена при поддержке программы фундаментальных исследований УрО РАН, проект № 12-С-4-1001.

# СОВРЕМЕННЫЕ ОЦЕНКИ ИНТЕГРАЛЬНЫХ ЗАПАСОВ $^{90}$Sr $^{137}$Cs И $^{239,240}$Pu В ПОЧВАХ ГОЛОВНОЙ ЧАСТИ ВОСТОЧНО-УРАЛЬСКОГО РАДИОАКТИВНОГО СЛЕДА И СОПРЕДЕЛЬНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

*И.В.Молчанова[1], Л.Н.Михайловская[1], К.Л.Антонов[2], Е.В.Антонова[1], В.Н.Позолотина[1]*
[1]Институт экологии растений и животных УрО РАН, Екатеринбург, Россия,
molchanova_i_v@mail.ru
[2]Институт промышленной экологии УрО РАН, Екатеринбург, Россия.

Восточно-Уральский радиоактивный след (ВУРС), образовался в результате аварии на производственном объединении «Маяк» в 1957 г. В выбросах среди долгоживущих радионуклидов преобладал $^{90}$Sr. Территория следа подверглась вторичному загрязнению в 1967 г. из-за ветрового переноса радиоактивных донных отложений оз. Карачай. В этом случае основным загрязнителем был $^{137}$Cs. Ранее нами были даны оценки интегральных запасов $^{90}$Sr, $^{137}$Cs и $^{239,240}$Pu в пределах центральной оси следа. Постоянно пополняющаяся база данных об уровнях загрязнения почв создала предпосылки для современной оценки запасов радионуклидов не только в пределах наиболее загрязненной зоны (центральная ось), но и на восточной и западной периферии следа.

Исследованиями была охвачена головная часть (0-30 км) ВУРСа. На основе имеющейся базы данных проведено картографирование пространственного распределения плотности радионуклидного загрязнения почв с использованием геоинформационной системы ArcGIS 9.3. В качестве интерполятора применен метод ординарного кригинга с учетом наличия в исходных данных о загрязнении глобальных трендов и анизотропии.

В результате получена наглядная картина пространственного распределения плотности загрязнения $^{90}$Sr,$^{137}$Cs и $^{239,240}$Pu на обследованной территории. Последующий геостатистический анализ базы данных проведен для упрощенных геометрических моделей исследуемой территории (в виде секторов и прямоугольников) с целью определения основных параметров пространственных зависимостей и интегральных оценок запасов долгоживущих радионуклидов в почвах вдоль центральной, восточной и западной трансект. В пределах центральной и восточной зон обнаружено небольшое превышение значений при использовании модели прямоугольников. Это связано с тем, что расширялась учетная территория вблизи эпицентра аварии, в которой было достаточно точек опробования. В случае модели секторов в расчеты вошли большие площади с низкими уровнями загрязнения и малым количеством проб. Однако в обоих случаях интегральные запасы для всех радионуклидов входят в границы неопределенности, рассчитанные методом Монте-Карло. Основное количество $^{90}$Sr (253-316 ТБк),$^{137}$Cs (13.8-16.6 ТБк) и $^{239,240}$Pu (0.8-1.1 ТБк) сосредоточено в центральной части. Снижение запасов на восточных и западных участках относительно центра составляет два порядка величин. Запас радионуклидов в западной части ниже, чем восточной. Такая асимметрия определялась погодными условиями в период инцидентов. Определенный вклад в формирование загрязнения внесли перераспределение радионуклидов со временем, рекультивационные работы и штатные выбросы ПО «Маяк» ориентированные в северо-восточном направлении в соответствии с розой ветров и преобладающим вектором стока.

Работа выполнена при поддержке Программы междисциплинарных исследований между Институтами УрО РАН (№12-М-24-2016) и ФПП ВНШ (НШ-2840.2014.4).

# ПРИМЕНЕНИЕ ОРГАНОМИНЕРАЛЬНЫХ СОРБЕНТОВ НА ЗАГРЯЗНЕННЫХ РАДИОНУКЛИДАМИ ПОЧВАХ БЕЛАРУСИ

*Л.Н. Москальчук, А.А. Баклай, Т.Г. Леонтьева*
Объединенный институт энергетических и ядерных исследований – Сосны НАН Беларуси, Минск, Республика Беларусь,
leonmosk@tut.by

Производство нормативно чистой сельскохозяйственной продукции на загрязненных радионуклидами почвах и по настоящее время является серьезной проблемой в агропромышленном секторе, и особенно острой – в частном секторе ряда районов Беларуси. Применение на загрязненных радионуклидами почвах Беларуси сельскохозяйственных контрмер базируется на изменении физико-химических свойств почвы (pH, емкость катионного обмена, наличие конкурирующих катионов и др.), которые определяют вариабельность форм радионуклидов и, следовательно, их биологическую доступность растениям. Рядом исследований, выполненных в последнее время, констатируется снижение эффективности применяемых сельскохозяйственных контрмер (внесение повышенных доз калийных удобрений и доломитовой муки), и отмечается, что, возможности для радикального снижения миграции $^{137}$Cs и $^{90}$Sr в сельскохозяйственную продукцию за счет их применения в большинстве районов республики в значительной степени исчерпаны. В связи с этим для снижения перехода радионуклидов $^{137}$Cs и $^{90}$Sr в растения предлагается использовать органоминеральные сорбенты (ОМС) на основе сапропелей и отходов химической промышленности (глинисто-солевые шламы, гидролизный лигнин).

Цель исследования – оценить радиоэкологическую эффективность органоминеральных сорбентов для снижения миграции $^{137}$Cs и $^{90}$Sr в системе «почва – растение».

ОМС имеют хорошие физико-химические и агрохимические свойства, являются комплексными органоминеральными удобрениями, в состав которых входит как органическое вещество (сапропель, гидролизный лигнин), так и минеральная составляющая (глинисто-солевые шламы), которая содержит доломит и глинистые минералы (иллит, монтмориллонит и др.). Внесение ОМС позволит улучшить как физико-химические и агрохимические, так и сорбционные свойства загрязненных радионуклидами дерново-подзолистых почв Беларуси.

Для проведения исследований использован образец ОМС следующего состава: 70 мас. % сапропеля кремнеземистого, 20 мас. % нейтрализованного гидролизного лигнина и 10 мас. % глинисто-солевых шламов. Оценку влияния ОМС на физико-химические свойства дерново-подзолистых почв (песчаной, супесчаной, суглинистой), а также миграцию радионуклидов $^{137}$Cs и $^{90}$Sr из почв в растения в вегетационных опытах проводили путем внесения различных доз данного сорбента в исследуемые типы почв. Результаты исследований по влиянию различных доз ОМС на снижение перехода радионуклидов $^{137}$Cs и $^{90}$Sr в системе почва – почвенный раствор, показывают, что в результате внесения ОМС в дерново-подзолистые почвы наиболее существенные изменения уровня миграции $^{137}$Cs и $^{90}$Sr произошли в песчаной почве, менее значимые – в супесчаной и суглинистых почвах. Миграция радионуклида $^{137}$Cs в песчаной почве при внесении 1–4 мас. % ОМС снижается в 2,6–6,2 раз, а $^{90}$Sr – в 1,7–6,7 раз.

В специфических почвенно-геоморфологических и гидрологических условиях Белорусского Полесья (Гомельская и Брестская обл.) наиболее эффективным и экономически целесообразным методом решения проблемы реабилитации загрязненных радионуклидами дерново-подзолистых почв может быть применение ОМС на основе местного природного сырья и отходов химической промышленности.

# ЭФФЕКТЫ ДЕЙСТВИЯ РАДИАЦИОННЫХ ФАКТОРОВ НА ГЕНЕРАЦИЮ МАГНИТНЫХ НАНОЧАСТИЦ В РАСТЕНИЯХ

*А.Н.Насибова*[1], *Р.И.Халилов*[2]
Институт радиационных проблем НАНА, Баку, Азербайджан,
aygun.nasibova@mail.ru
Бакинский государственный университет, Баку, Азербайджан,
hrovshan@hotmail.com

Нами, методом Электронного Парамагнитного Резонанса (ЭПР), изучено формирование магнитных наночастиц в растениях и влияние радиационных факторов на этот процесс. В ранее проведенных нами исследованиях, при изучении растений выросших в радиоактивно загрязненных территориях Апшеронского полуострова (Азербайджан) (лох - *Elaeagnus angustifolia L.*, ситник - *Juncus trifidus L.*, парнолистник - *Zygophyllum fabago L.*, верблюжья колючка - *Alhagi Pseudoalhagi, камыш - Scirpus lacustris*) методом ЭПР мы показали, что в этих растениях формируются магнитные наночастицы. Нами было обнаружено, что характерный широкий сигнал ЭПР этих растений по своим параметрам (g=2,38 и ΔH=320 Гс) и поведению в различных температурах идентичны характеристикам широких сигналов ЭПР в синтезированных наночастицах магнетита. В особенности это касается уширения этих сигналов и снижения их амплитуды при понижении температуры до 80 К. При сравнении сигналов ЭПР высушенных при комнатной температуре растительных объектов собранных из контрольных (где мощность экспозиционной дозы (МЭД) не превышал 5-6 мкР/час) и радиоактивно загрязненных (МЭД 170-220 мкР/час) территорий Апшерона стало ясно, что в растениях произраставших на радиационно загрязненной почве, содержание наночастиц, судя по интенсивности характерного для них широкого сигнала ЭПР, оказалось существенно повышенным.

Кроме исследований с растениями выросших в природных условиях, мы провели исследования в лабораторных условиях. В этот раз объектами наших исследований были семена пшеницы. Семена облучали в различных дозах исскуственной гамма радиации (50 Гр, 100 Гр, 200Гр, 300Гр). После облучения мы выращивали их в чашках Петри в течении 10 дней. Затем проростки высушивали при комнатной температуре, измельчали до порошка и идентифицировали их сигналы ЭПР. При сравнительном анализе сигналов ЭПР определено, что при повышении дозы облучения амплитуда сигнала характеризуещего магнитные наночастицы становится выше по сравнению с контрольным вариантом.

Проведенные нами исследования с растениями выросших как в природных, так и в лабораторных условиях, позволяют нам, прийти к такому выводу, что радиационные факторы (радиоактивное загрязнение, гамма-облучение) при определенной дозе оказывают стимулирующее действие на формирования магнитных наночастиц в растениях. Есть все основания считать, что образование магнитных наночастиц, дающих широкие линии в спектре ЭПР, связано с работой фотосинтетического аппарата в листьях растений. Можно предположить, что стимуляция формирования магнитных наночастиц у растений, произрастающих на радиоактивно загрязненных территориях, может быть связана с частичным нарушением интактности хлоропластов за счет повышенной гамма радиации. В этом случае доступность экзогенных источников формирования наночастиц (например, ионов железа) к цепям электронного транспорта хлоропластов будет возрастать, стимулируя тем самым образование наночастиц.

# ФУНКЦИОНАЛЬНО-МЕТАБОЛИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ДЕЙСТВИЯ РАДИАЦИИ НА ПРИРОДНЫЕ ПОПУЛЯЦИИ ГРЫЗУНОВ В ЗОНЕ ВУРСа

*Н.А. Орехова, М.В. Модоров*
Институт экологии растений и животных УрО РАН, Екатеринбург, Россия,
naorekhova@mail.ru

С целью биоиндикации природной среды, подверженной радиоактивному загрязнению, по комплексу биохимических показателей получены функционально-метаболические характеристики селезенки и надпочечников как тест-органов неспецифических реакций, влияющих на резистентность, реактивность организма и принимающих активное участие в поддержании его гомеостаза и механизмов адаптации к экологически неблагоприятным условиям. Исследования проведены на выборках малой лесной мыши (*Apodemus (S.) uralensis*) зоны Восточно-Уральского радиоактивного следа (ВУРС), отловленных на юго-западном берегу оз. Урускуль в 20 км от эпицентра Кыштымской аварии. В качестве контроля использовали зверьков из Курганской области, добытых на участках с фоновыми для Урала уровнями радиоактивного загрязнения. Ввиду вероятности сочетанного действия радиации и других экологических факторов на функционально-метаболические изменения в селезенке и надпочечниках, на линиях отлова животных провели учёт численности грызунов, а также, на основании анализа генеративной и зубной систем, их репродуктивно-возрастного статуса. Обилие зверьков в зоне ВУРСа варьировало от 4 до 43 ос/100 л-с, на территории Курганской области – от 2 до 65 ос/100 л-с. В анализ включены сеголетки как участвующие в размножении (ВУРС – 21 особей; контроль – 14 особей), так и не созревшие особи (ВУРС – 108 особей; контроль – 37 особей). Комплекс изменений биохимических показателей у животных из зоны ВУРСа свидетельствует о единообразии сдвигов у размножающихся и не созревших сеголеток. Более высокая, относительно контроля, концентрация вторичных продуктов перекисного окисления липидов (ТБК-АП) в надпочечниках при сниженном отношении липид/белок указывает на интенсификацию гидроксилирования липидов как основного механизма синтеза минероло- и глюкокортикоидов. Повышенное содержание общего белка характеризует трофический эффект на ткани надпочечников адренокортикотропных гормонов гипофиза, которые, помимо индукции стероидогенеза, стимулируют развитие структурных компонентов ткани для поддержания гиперфункции адреналовых желез. Более низкий уровень белков и отношения ДНК/белок наблюдается в селезенке в качестве характеристики подавления митотической активности спленоцитов и их численности, что может быть обусловлено не только прямым воздействием радиации, но и опосредованным лимфолитическим эффектом глюкокортикоидов в результате активации гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой системы. Методом ковариационного анализа на базе плана с неоднородными коэффициентами наклона, позволяющего учитывать взаимодействие категориального (ВУРС/контроль) и непрерывного (число ос/100 л-с) предикторов, исследованы выявленные стресс-ассоциированные радиационные эффекты в зависимости от численности популяции. Возрастание уровня функционально-метаболических сдвигов в 1,5–3 раза у не созревших сеголеток при высоком обилии мышей на линиях отлова (40 ос/100 л-с) по сравнению с низким уровнем (10 ос/100 л-с) свидетельствует о проявлении синергизма высокой численности популяции и радиационного фактора в отличие от наблюдаемого у размножающихся особей антагонизма. Полученные данные позволяют откорректировать результаты радиационных эффектов, их интерпретацию, подчеркивая необходимость изучения экологических факторов.

# ДЕПОНИРОВАНИЕ ЦЕЗИЯ-137 В НАДЗЕМНОЙ И ПОДЗЕМНОЙ ФРАКЦИЯХ ФИТОМАССЫ ТРАВЯНИСТЫХ СООБЩЕСТВ ПЛАВСКОГО РАДИОАКТИВНОГО ПЯТНА

*Т.А.Парамонова*[1], *Е.Н.Мачаева*[1], *В.Р.Беляев*[2]
[1]Факультет почвоведения Московского государственного университета им. М.В.Ломоносова, Москва, Россия, tapara@mail.ru, ekaterinamoc92@yandex.ru
[2]Географический факультет Московского государственного университета им. М.В.Ломоносова, Москва, Россия, valdemar_b@rambler.ru

Контроль радиационной безопасности растительной продукции, выращиваемой на загрязненных после Чернобыльской аварии землях, всегда оставался и остается в центре внимания специалистов вследствие опасности передачи радионуклидов, прежде всего $^{137}$Cs, по пищевым цепям, конечным потребителем которых является человек. Однако в большинстве случаев учет $^{137}$Cs производится только в продуктивной части сельскохозяйственных культур или в наиболее доступной для исследования надземных частях природных фитоценозов. Между тем, для понимания главных закономерностей биогеохимической миграции $^{137}$Cs необходимо оценивать интегральные параметры вовлечения радионуклида в растительность, включая ее надземную и подземную части.

Детальную оценку перехода $^{137}$Cs из радиоактивно загрязненных почв в травянистую растительность основных культур полевого севооборота (ячмень, пшеница, кукуруза, рапс, картофель), а также в растительность природных лугов сенокосных (влажные луга) и пастбищных (суходольные луга) угодий провели в центральной части Плавского радиоактивного пятна Тульской области. Почвы региона относятся к числу наиболее загрязненных пост-чернобыльских территорий: в настоящее время уровень накопления $^{137}$Cs в пахотных черноземах водораздельных пространств достигает 460-540 Бк/кг (170-200 кБк/м$^2$), а в целинных почвах подножий склонов и речных пойм повышен до 620-790 Бк/кг (210-310 кБк/м$^2$), что многократно превышает допустимые нормы.

Интегральные величины удельной активности $^{137}$Cs в биомассе исследованных фитоценозов измеряются в широком диапазоне и ранжируются следующим образом: рапс (9 Бк/кг) << картофель (76 Бк/кг) < ячмень (85 Бк/кг), кукуруза (92 Бк/кг) < суходольный луг (103 Бк/кг) < влажный луг (160 Бк/кг). При этом в агроценозах рапса и картофеля распределение $^{137}$Cs между надземной и подземной частями растительности сравнительно однородно, а в тех агро- и фитоценозах, где зафиксированы относительно повышенные параметры накопления $^{137}$Cs в биомассе, отмечается ярко выраженная контрастность распределения радионуклида с 3-14-кратным преобладанием величин удельной активности $^{137}$Cs в подземной фракции (в среднем 94 Бк/кг) над показателями надземной фракции (в среднем 16 Бк/кг). Ведущая депонирующая роль подземной, преимущественно корневой, биомассы еще более очевидна при сравнении запасов $^{137}$Cs в структурных фракциях растительности: накопление $^{137}$Cs в подземной части агроценозов культурных злаков и фитоценозов природных лугов (57-254 Бк/м$^2$) в 6-35 раз больше, чем в их надземной части (4-10 Бк/м$^2$).

При этом независимо от варьирования содержания $^{137}$Cs в почвах исследованной территории, коэффициенты накопления $^{137}$Cs (отношение величин удельной активности радионуклида в растениях и почвах) в подземной фракции биомассы составляют во всех фитоценозах <0,3, а в надземной фракции биомассы <0,1. Это указывает на общую дискриминацию перехода $^{137}$Cs из почв в растительность и подавление дальнейшей транслокации радионуклида в вегетирующие органы растений, что особенно выражено в растительных сообществах с высокой долей культурных или дикорастущих злаков.

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта РФФИ №14-05-00903.

# ОЦЕНКА РОЛИ ЛЕСОПОЛОС В ПРОСТРАНСТВЕННОМ РАСПРЕДЕЛЕНИИ ЦЕЗИЯ-137 В ПАХОТНЫХ ПОЧВАХ АГРОЛАНДШАФТОВ

*Т.А.Парамонова, А.И.Семенихин, Я.В.Матвеев, А.О.Гаврюченкова*
Факультет почвоведения Московского государственного университета
им. М.В.Ломоносова, Москва, Россия, tapara@mail.ru

Конденсационные выпадения чернобыльского $^{137}$Cs привели к появлению ореолов радиоактивного загрязнения наземных экосистем, одним из которых является Плавское пятно Тульской области. Благодаря высокому плодородию черноземов, составляющих основу фонда пахотных земель региона, почвы активно используются в сельском хозяйстве, а специфической особенностью агроландшафтов территории являются полезащитные лесополосы, которые могли повлиять как на первичное пространственное распределение радионуклида в почвах, так и в пост-чернобыльское время послужить геохимическими барьерами при латеральной миграции $^{137}$Cs.

Для выявления характера и масштаба влияния полезащитных лесополос на параметры аккумуляции $^{137}$Cs в выщелоченных черноземах пахотных угодий Плавского радиоактивного пятна были исследованы участки, приуроченные к центральной и краевой юго-восточной частям ореола радиоактивного загрязнения. Образцы почв отбирались методом монолитов ненарушенного сложения до глубины 30 см непосредственно в лесополосах (на каждом участке по 2), а также на расстояниях 10, 25, 50 и 100 м по перпендикулярной трансекте в обе стороны от лесополос.

Установлено, что в центральной части Плавского радиоактивного пятна загрязнение пахотных почв $^{137}$Cs чрезвычайно неоднородно: величины удельной активности $^{137}$Cs варьируют в диапазоне 150-850 Бк/кг (в среднем 588±115 Бк/кг), а плотность поверхностного загрязнения составляет 33-240 кБк/м$^2$ (в среднем 162±36 кБк/м$^2$). При этом средние параметры содержания $^{137}$Cs в пахотных черноземах вблизи лесополосы на выположенной части водораздельного пространства и вблизи лесополосы, приуроченной к бровке террасы долинного комплекса, сопоставимы по абсолютным величинам, но пестрота радиоактивного загрязнения почв в нижней части склона существенно выше (коэффициент вариации 51% по сравнению с 28% на плакоре). Вследствие контрастности геохимического поля загрязнения почв участка барьерная роль лесополос выражена незначительно и проявляется в виде слабых трендов лишь в пределах самих лесополос. Так, величины удельной активности $^{137}$Cs в почвах лесополос повышены по сравнению со средним содержанием радионуклида в примыкающих пахотных черноземах ~ на 10-20%, а плотность поверхностного загрязнения ~ на 20-35%, что указывает на возможность процессов дополнительного депонирования $^{137}$Cs в почвах лесополос, но не имеет статистической достоверности.

В пахотных черноземах краевой части Плавского радиоактивного пятна параметры аккумуляции и пространственная неоднородность распределения $^{137}$Cs снижаются до 140-230 Бк/кг (в среднем 168±11 Бк/кг) или 43-73 кБк/м$^2$ (в среднем 55±4 кБк/м$^2$). В условиях меньшей контрастности периферии ореола радиоактивного загрязнения в агроландшафтах ярче проявляется аккумулирующая роль лесополос: приуроченные к ним почвы характеризуются величинами удельной активности и плотности загрязнения $^{137}$Cs, повышенными на 40-50% и 35-45% соответственно, что оказывает значимый эффект на пространственную конфигурацию геохимического поля распределения цезия. При этом за пределами самих лесополос не отмечается накопления дополнительных количеств радионуклида, что свидетельствует об эффективности их функционирования в качестве линейных геохимических барьеров при вторичном перераспределении $^{137}$Cs в агроландшафтах.

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта РФФИ №14-05-92105.

# РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЦЕЗИЯ-137 ПО АГРЕГАТНЫМ ФРАКЦИЯМ ПАХОТНЫХ ЧЕРНОЗЕМОВ СКЛОНОВОГО ЛАНДШАФТА

*Т.А.Парамонова*[1], *А.М.Туник*[1], *Е.Н.Шамшурина*[2], *А.П.Жидкин*[2]
[1]Факультет почвоведения Московского государственного университета им. М.В.Ломоносова, Москва, Россия, tapara@mail.ru, annatunik@mail.ru
[2]Географический факультет Московского государственного университета им. М.В.Ломоносова, Москва, Россия, shamshyr@mail.ru, gidkin@mail.ru

Известно, что поступающий при выпадениях из атмосферы $^{137}$Cs необменно фиксируется в почвах глинистыми минералами и таким образом концентрируется в их составе. В то же время глинистые минералы выполняют в почвах функцию структурообразования, поэтому особенности агрегатного состава почв могут отражаться и на процессах аккумуляции $^{137}$Cs как в отдельных почвенных индивидуумах, так и в компонентах почвенного покрова. Механическое разрушение почвенных агрегатов может происходить при сельскохозяйственной обработке почв; окатывание, истирание, фрагментация – при эрозии; а закрепление переотложенного мелкозема в позициях аккумуляции может сопровождаться вторичным агрегированием. Все эти процессы широко представлены в агроландшафтах радиоактивно загрязненной территории России, в частности, в пределах Плавского радиоактивного пятна Тульской области, и могут отражаться на трансформации полей радиоактивного загрязнения почв в пост-чернобыльский период.

Для выявления депонирующей роли отдельных агрегатных фракций в пуле $^{137}$Cs в почвах исследуемой территории были исследованы сопряженные неэродированные пахотные черноземы водораздельного участка, а также смытые и намытые почвы долинного комплекса. Выщелоченные пахотные черноземы имеют тяжелосуглинистый гранулометрический состав с преобладанием в тонкодисперсной фракции гидрослюд, которые отличаются повышенной способностью к специфическому поглощению $^{137}$Cs. Отбор монолитов почв осуществлялся до глубины 30 см (пахотный и частично подпахотный горизонты), выделение агрегатных фракций проводили методом сухого просеивания.

Общие параметры содержания $^{137}$Cs в пахотных черноземах водораздела составляют ~540 Бк/кг (160 кБк/м$^2$), в смытых почвах снижаются до 515 Бк/кг (120 кБк/м$^2$), а в намытых возрастают до 720 Бк/кг (200 кБк/м$^2$). При этом в неэродированной пахотной почве наблюдается незначительная вариабельность величин удельной активности $^{137}$Cs в структурных отдельностях вблизи характерного среднего уровня (коэффициент вариации 6%), а массовое накопление радионуклида происходит в наиболее представленных в агрегатном составе фракциях размерами 3-2 мм (21% пула $^{137}$Cs), 5-3 мм и >10 мм (по 16% пула $^{137}$Cs). В эродированных черноземах наблюдается более контрастное распределение $^{137}$Cs (коэффициент вариации 23%): отмечается избирательное обогащение радионуклидом агрегатных фракций размерами 5-3 мм, 3-2 мм и <0,25 мм в 1,6 раз по сравнению со средневзвешенным показателем удельной активности $^{137}$Cs. Однако само содержание агрономически ценных агрегатов в смытых почвах снижается, и основной запас $^{137}$Cs в почве связан не с этими фракциями-концентраторами, а со структурной фракцией-накопителем, которой становятся глыбистые агрегаты размерами >10 мм (36% пула $^{137}$Cs). В намытом пахотном черноземе нижней части склона также обнаруживается увеличение размаха показателя (коэффициент вариации 22%) и селективное накопление $^{137}$Cs в агрегатных фракциях размерами 7-5 мм, 5-3 мм, 3-2 мм с превышениями над средневзвешенным содержанием в 1,3-1,4 раза. Основные запасы $^{137}$Cs в намытом черноземе связаны с фракциями размерами >10 мм и 5-3 мм (≈20% пула $^{137}$Cs).

Таким образом, особенности трансформации геохимического поля радиоактивного загрязнения Cs-137 пахотных почв, сопряженных процессами смыва-намыва, могут определяться на уровне структурно-агрегатной организации почв.

# НАКОПЛЕНИЕ АМЕРИЦИЯ-241, ПЛУТОНИЯ-239,240, ЕВРОПИЯ-154 И ЦЕЗИЯ-137 В ПЕЧЕНИ ДИКИХ КОПЫТНЫХ В БРЯНСКОЙ ОБЛАСТИ.

*А.Н. Пельгунов, Л.А. Пельгунова.*
Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН,
Москва, Россия,
apelgunov@list.ru

Работа проводилась в двух районах Брянской области – Злынковский и Новозыбковский. Плотность поверхностного загрязнения почвы в районе работ $^{137}$Cs колебалась от 485 до 1047 кБк/м$^2$ (на 1991 г.). $^{241}$Am и плутоний (238, 239, 240, 241) нами были обнаружены в поверхностном слое земли (0-5 см) на опытных участках в 1992 г. в Злынковском районе ($^{241}$Am – от 0,4 до 6,0 и плутоний – от 0,6 до 1,3 Бк/кг воздушно-сухой смеси).

$^{241}$Am и $^{239}$Pu являются гепатотропными радионуклидами. $^{241}$Am накапливается в печени человека до 65% от общего количества, и Tσ составляет 13-18 лет. Также у человека 45% плутония из кровеносного русла депонируется в печени и Tσ≈20 лет (Москалев, 1989).

Нами было изучено накопление радионуклидов в печени диких копытных. Подготовленные образцы печени животных анализировались на низкофоновой гамма спектрометрической установке на основе детектора из особо чистого германия (объем 100см куб.) производства фирмы ORTEC (USA). Время набора спектра контролировалось по специальной программе и составляло не менее 18-20 часов. Было обследовано 15 кабанов, 15 косуль и 3 лося (зима 2009-10 гг.). У этих животных были зарегистрированы $^{241}$Am, $^{239, 240}$Pu и $^{154}$Eu.

У всех обследованных копытных в печени был зарегистрирован $^{137}$Cs:

- у кабанов – от 0,477 до 145,0 кБк/кг сырой массы (с.м.);
- у косуль – от 0,650 до 3,62 кБк/кг с.м.;
- у лосей – от 0,125 до 0,823 кБк/кг с.м.

$^{154}$Eu зарегистрирован только у шести кабанов от 0,075 до 0,320 Бк/кг с.м.

$^{241}$Am зарегистрирован

- у 10 кабанов – от 0,085 до 0,611 Бк/кг с.м.;
- у 9 косуль – от 0,012 до 0,074 Бк/кг с.м.;
- у 2 лосей – 0,011 и 0,021 Бк/кг с.м.

$^{239,240}$Pu зарегистрирован

- у 10 кабанов – от 0,240 до 1,15 Бк/кг с.м.;
- у 11 косуль – от 0,008 до 0,031 Бк/кг с.м.;
- у 2 лосей – 0,008 и 0,015 Бк/кг с.м.

Наблюдаются значительные видовые различия в накоплении данных радионуклидов дикими копытными. Только у кабанов зарегистрирован $^{154}$Eu. Удельная активность $^{241}$Am и $^{239,240}$Pu у кабанов на порядок выше, чем у косуль и лосей. Видимо, это связано с экологией этих копытных, и, в первую очередь, со спектром питания. Необходимо отметить, что хотя наблюдается корреляция в накоплении $^{137}$Cs в мышцах и печени всех обследованных животных (чем больше в печени, тем больше и в мышцах) разница может достигать 30%, как в ту, так и в другую сторону.

Данные результаты показывают, что $^{241}$Am и $^{239,240}$Pu включились в трофические сети, и это один из путей поступления америция и плутония в организм человека, так как на данных территориях открыта охота на копытных.

# ОЦЕНКА ПОВЕРХНОСТНОЙ АКТИВНОСТИ $^{137}$Cs ГЛОБАЛЬНОГО И ЧЕРНОБЫЛЬСКОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ В ЛЕСНЫХ ПОЧВАХ

*Т.В. Переволоцкая, А.Н. Переволоцкий*
Гомельский государственный университет им. Ф.Скорины, Гомель, Беларусь,
forest_rad@mail.ru

Целью исследований явилось определение вклада "глобальных" и "чернобыльских" выпадений $^{137}$Cs в суммарную плотность загрязнения почвы лесных биогеоценозов на "дальнем" следе радиоактивных выпадений в Республике Беларусь.

Исследования проведены на пробной площади (110х70 м), заложенной в спелом сосняке мшисто-черничном естественного происхождения (52°53'15.3" N и 26°32'06.4" E) на удалении 320 км северо-западнее ЧАЭС.

В пределах пробной площади равномерно отобраны пробы почвы по стандартной методике и в них γ-спектрометрическим методом измерена удельная активность $^{137}$Cs и $^{134}$Cs. Рассчитывали плотности загрязнения почвы $^{134}$Cs на 1986 г., и, исходя из соотношения активностей $^{137}$Cs к $^{134}$Cs на момент активной фазы радиоактивных выпадений равном 2 : 1, определяли плотность загрязнения почвы $^{137}$Cs "чернобыльских" выпадений.

В ходе исследований установлено, что плотность загрязнения почвы данного лесного участка $^{134}$Cs в 1986 г. составляла от 3 до 8.6 кБк/м$^2$ при среднем значении 5.9 кБк/м$^2$. Расчетный диапазон плотностей загрязнения почвы "чернобыльскими выпадениями" $^{137}$Cs составлял 8.3-15.2 кБк/м$^2$ при среднем 11.8 кБк/м$^2$.

Расчетный вклад в суммарную плотность загрязнения почвы $^{137}$Cs "глобальных" радиоактивных выпадений в 1986 г. оценен от 20 до 60% (в среднем 35%), что в абсолютном выражении составило от 3 до 4.7 кБк/м$^2$ при среднем значении 3.9 кБк/м$^2$.

Согласно результатам ретроспективных расчетов плотность загрязнения почвы $^{137}$Cs в результате "глобальных" радиоактивных выпадений на начало 70-х гг. для исследуемого лесного участка находилась в диапазоне от 4.8 до 7.4 кБк/м$^2$.

Проанализированы особенности пространственного распределения $^{137}$Cs на обследуемой территории. Коэффициент вариации плотности загрязнения почвы $^{137}$Cs "чернобыльских" выпадений несколько выше – ~30% по сравнению с глобальными – около 20%, что может быть определено продолжительным сроком формирования радиационной обстановки вследствие последних и более равномерным характером радиоактивного загрязнения территории.

Не выявлены закономерности пространственного распределения плотности загрязнения почвы $^{137}$Cs "чернобыльских" выпадений.

Для $^{137}$Cs "глобальных" выпадений более высокие плотности загрязнения почвы наблюдались в южной четверти исследуемого участка леса. Меньшие плотности загрязнения почвы выявлены вдоль опушки леса с северо-западной стороны и в северной части исследуемого участка.

# ОЦЕНКА ВКЛАДА РАЗЛИЧНЫХ ИСТОЧНИКОВ ИЗЛУЧЕНИЯ В ДОЗУ ВНЕШНЕГО ОБЛУЧЕНИЯ ШКОЛЬНИКОВ В СЕЛЬСКОЙ МЕСТНОСТИ

*А.Н. Переволоцкий, Е.В. Красовская, Е.В. Великоборец*
Гомельский государственный университет им. Ф.Скорины, Гомель, Беларусь,
forest_rad@mail.ru

Целью исследований явилось определение вклада $^{137}Cs$ в дозу внешнего облучения населения в ареале сельских населенных пунктах Гомельской области, расположенных в I и II зонах радиоактивного загрязнения.

Исследования проводили в населенных пунктов Гончаровка Речицкого района (I зона радиоактивного загрязнения) и Октябрево Кормянского района (II зона радиоактивного загрязнения) Гомельской области. Выполнен отбор проб почвы для определение плотности загрязнения $^{137}Cs$ с измерением мощности поглощенной дозы γ-излучения на высоте 1 м над поверхностью почвы в точках отбора и фиксацией географических координат посредством GPS-приемника. Рассчитана мощность поглощенной дозы внешнего γ-излучения $^{137}Cs$ и вклад его излучения в измеренную мощность дозы.

Построены изолинии показателей радиационной обстановки в пределах исследуемых ареалов. Методом кластерного анализа выделены 2 кластера для каждого из ареалов с достоверно различающимися уровнями радиоактивного загрязнения. Показатели радиационной обстановки для каждого кластера обработаны методом описательной статистики.

Установлены статистические закономерности формирования радиационной обстановки в каждом кластере и на территории ареала в целом.

Непосредственно на территории н.п. Гончаровка верхний квартиль плотности загрязнения почвы $^{137}Cs$ не превысил 27 кБк/м$^2$, а расчетная величина мощности поглощенной дозы от излучения $^{137}Cs$ – 102 нГр/час. В ареале н.п. Октябрево межквартильные размахи исследуемых показателей радиационной обстановки составили 105-145 кБк/м$^2$ и 180-235 нГр/час.

Для н.п. Октябрево от 50 до 80% мощности поглощенной дозы на высоте 1 м обусловлено излучением $^{137}Cs$. В н.п. Гончаровка вклад $^{137}Cs$ в мощность поглощенной дозы находился в диапазоне 25-50%. Оставшаяся часть мощности поглощенной дозы обусловлена естественными источниками ионизирующего излучения (естественными радионуклидами и космическим излучением).

Расчетная мощность поглощенной дозы от естественных источников излучения в пределах каждого из ареалов удовлетворительно описывается законом нормального распределения, составляя 75.4±2.4 нГр/час в н.п. Гончаровка и 88.2±3.3 нГр/час в н.п. Октябрево.

Рассчитанная годовая эквивалентная доза внешнего γ-излучения по $^{137}Cs$ составляет 0,079 мЗв/год для школьников н.п. Гончаровка и 0,25 мЗв/год для школьников н.п. Октябрево. Основной вклад в величину исследуемого показателя вносит пребывание в помещениях – до 56%. Рассчитанная годовая эквивалентная доза от естественного γ-излучения обоих населенных пунктов практически одинакова и не превышает 0,6 мЗв/год.

# СОДЕРЖАНИЕ $^{40}$К, $^{226}$Ra И $^{232}$Th В ЛЕСНЫХ ПОЧВАХ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ ЛЕСОРАСТИТЕЛЬНЫХ УСЛОВИЙ

*А.Н. Переволоцкий, Т.В. Переволоцкая*
Гомельский государственный университет им. Ф.Скорины, Гомель, Беларусь,
forest_rad@mail.ru

Целью исследований явилось изучение содержания $^{40}$К, $^{226}$Ra и $^{232}$Th в лесных почвах в зависимости от типов лесорастительных условий.

Исследования были проведены в лесных насаждениях Деряжненского лесничества Костюковичского опытного лесхоза Могилевского ПЛХО, относящегося к Беседскому лесорастительному району Оршано-Могилевского геоботанического округа подзоны дубово-темнохвойных лесов. Обследовано 110 пробных площадей, 35% из которых относились к типу лесорастительных условий $А_2$ (свежий бор), 25% - к $В_2$ (свежая суборь) и по 15% к $С_2$ (свежая судубрава) и $Д_2$ (свежая дубрава). На каждой из пробных площадей отобраны образцы почвы по стандартной методике, проведено описание почвенно-растительного покрова. Удельную активность $^{40}$К, $^{226}$Ra и $^{232}$Th в образцах почвы измеряли на γ-спектрометре "Прогресс" со сцинтилляционным блоком детектирования (ООО НПП "Доза", Российская Федерация). Данные по удельной активности группировали в выборки по радионуклидам и типам лесорастительных условий. Влияние типов лесорастительных условий на удельную активность радионуклидов оценивали методом однофакторного дисперсионного анализа.

В ходе исследований установлено достоверное увеличение удельной активности $^{40}$К, $^{226}$Ra и $^{232}$Th в лесных почвах в исследованном ряду типов лесорастительных условий. Указанные различия могут быть обусловлены гранулометрическим и минералогическим составом почв: по мере изменений типа лесорастительных условий в ряду от $А_2$ к $В_2$ и далее к $С_2$ и $Д_2$ повышалась доля физической глины и ила, а также концентрация вторичных минералов.

Удельная активность $^{40}$К в типе лесорастительных условий А2 составила 275±6.9 Бк/кг, в $В_2$ – 346±9.7 Бк/кг, в $С_2$ – 427±15 Бк/кг и в $Д_2$ – 499±11 Бк/кг. Для содержания $^{40}$К установлен относительно невысокий коэффициент вариации в различных типах лесорастительных условий (9-17%).

Удельная активность $^{226}$Ra достоверно повышалась от типа лесорастительных условий $А_2$ 19.2±0.8 Бк/кг до 22.9±1.1 Бк/кг в $В_2$ и далее до 26.1±1.7 Бк/кг в $С_2$ и 27.9±1.5 Бк/кг в $Д_2$.

Изменение концентрации $^{232}$Th составили от 11.8±0.5 Бк/кг в $А_2$ до 13.0±0.7 Бк/кг для эдафотопа $В_2$, 15.2±1.1 Бк/кг для $С_2$ и 17.1±1.1 Бк/кг для $Д_2$.

Коэффициент вариации удельной активности $^{226}$Ra и $^{232}$Th в лесных почвах для исследованных эдафотопов находится в диапазоне от 20 до 30 %.

Расчетные величины мощности поглощенной дозы γ-излучения на высоте 1 м над поверхностью почвы от естественных радионуклидов достоверно повышались пропорционально увеличению удельной активности в ряду типов лесорастительных условий от $А_2$ к $Д_2$ с 27.5±0.5 нГр/ч до 44.1±1.1 нГр/ч.

# ИЗМЕНЕНИЯ В СТРУКТУРЕ МИКРООРГАНИЗМОВ ПРИ ГАММА-ОБЛУЧЕНИИ СПЕЦИЙ

*Пименов Е.П., Павлов А.Н., Морозова А.И., Спирин Е.В.*
Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии ФАНО, Обнинск, Россия,
pimenovep1@rambler.ru

Изучали зависимость гибели микроорганизмов, загрязняюших специи, от дозы облучения в диапазоне от 30 Гр до 10 кГр. Облучение продуктов проводили на гамма установке ГУР-120 с $^{60}$Co в качестве источника гамма излучения в диапазоне мощностей доз от 200 до 350 Гр/ч.

Количество мезофильных аэробных и факультативных анаэробных микроорганизмов (КМАФАнМ) учитывали после выращивания при 37$^{o}$С в течение 48 часов на мясопептонном агаре (МПА); численность бактерий группы кишечной палочки (БГКП), выращенных в таких же условиях, определяли на среде Эндо; число плесневых грибов и дрожжей подсчитывали после инкубации в течение 72 часов при 28$^{o}$С на среде Сабуро.

Исходное количество КМАФАнМ в продуктах варьировало от 0 до $10^8$ на грамм; БГКП - от 0 до $10^6$; дрожжей и плесневых грибов - от 0 до $10^7$.

Установлено, что $LD_{50}$ КМАФАнМ, БГКП, дрожжей и плесневых грибов находилось в диапазоне доз от 0,5 до 1 кГр. При увеличении дозы от 1 до 5 кГр гибель микроорганизмов замедлялась, что можно объяснить увеличением доли устойчивых форм. Гамма-излучение в дозе 5 кГр приводило к снижению КМАФАнМ на 75-98%, а плесневых грибов и дрожжей - на 63-98%. Полная гибель БГКП происходила при дозе в 2 кГр, дрожжей - 5, плесневых грибов - 7, КМАФАнМ – 10 кГр.

Наиболее чувствительными к облучению оказались грамотрицательные бактерии, растущие на БГКП. Как и ожидалось, бактериальные споры были более устойчивы к ионизирующему излучению, чем вегетативные клетки.

Таким образом, гамма облучение позволяет снижать численность микроорганизмов в продуктах до безопасного уровня и может быть использовано, в приемлемых дозах, в качестве способа сохранения безвредности специй.

# ОЦЕНКА ДОЗ ОБЛУЧЕНИЯ РАБОТНИКОВ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ОПЕРАЦИЙ НА ЗАГРЯЗНЕННОЙ РАДИОНУКЛИДАМИ ТЕРРИТОРИИ

*А.Г. Подоляк, С.А. Тагай, К.Н. Буздалкин, Е.К. Нилова*
Институт радиологии МЧС Республики Беларусь, Гомель, Беларусь,
office@rir.by

В настоящее время отдельные участки земель на территории радиоактивного загрязнения, ранее выведенные из сельскохозяйственного оборота после катастрофы на Чернобыльской АЭС, могут быть рекомендованы для возвращения в хозяйственное пользование. РНИУП «Институт радиологии» апробирует технологии возделывания сельскохозяйственных культур в севообороте на участках земель, принадлежащих территории Полесского государственного радиационно-экологического заповедника (ПГРЭЗ) возле бывшего населенного пункта Рафалов Брагинского района Гомельской области. Эти земли расположены на дерново-подзолистых супесчаных почвах, которые характеризуются высоким почвенным плодородием, их основные агрохимические показатели выше, чем среднестатистические по Брагинскому району в целом. Плотность загрязнения пахотного горизонта почвы $^{137}$Cs – 840-990 кБк/м$^2$, $^{90}$Sr – 75-90 кБк/м$^2$, $^{241}$Am – 2,2-8,9 кБк/м$^2$, $^{239+240}$Pu – 2,2-3,2 кБк/м$^2$, $^{238}$Pu – 0,8-1,2 кБк/м$^2$.

Присутствие в составе загрязнения земель альфа-излучающих трансурановых элементов (ТУЭ – $^{241}$Am и $^{238,239,240}$Pu) ставит дополнительные вопросы об уточнении ожидаемых эффективных доз внутреннего облучения, обусловленных ингаляционным поступлением радиоактивных аэрозолей в организм работников при выполнении сельскохозяйственных операций. Отбор проб воздуха при проведении основных пылеобразующих сельскохозяйственных работ (дискование, вспашка, сев и уборка) осуществлялся с использованием фильтровентиляционных установок (фильтры-ткань Петрянова) на поле и в кабине механизатора.

Установлено, что максимальные значения объемной активности радионуклидов достигаются в кабине механизатора. Например, при уборке трав комплексом для заготовки кормов К-Г-6, в сопоставлении с нормами радиационной безопасности НРБ-2000, уровни загрязнения воздуха в зоне дыхания механизатора составили по $^{137}$Cs менее 1%, а по $^{241}$Am и $^{239,240}$Pu – 7,4 и 5,8 %, соответственно, от допустимой для населения среднегодовой объемной активности во вдыхаемом воздухе $ДОА_{нас}$.

Мощность эффективной дозы от ингаляционного поступления $^{137}$Cs и суммы ТУЭ ($^{241}$Am + $^{238+239+240}$Pu) в кабине механизатора комплекса К-Г-6 составила $1{,}5\cdot10^{-4}$ и $4{,}7\cdot10^{-3}$ *мкЗв·ч*$^{-1}$, соответственно. При этом мощность дозы внешнего облучения работников, выполняющих сельскохозяйственные операции, составляла: «на поле» – 0,4÷0,5 *мкЗв·ч*$^{-1}$, а «в кабинах механизаторов»–0,15÷0,20 *мкЗв·ч*$^{-1}$.

Таким образом, при выполнении сельскохозяйственных работ, как «на поле», так и «в кабинах механизаторов», преобладающий вклад в суммарную эффективную дозу облучения работников вносит доза внешнего облучения, которая на два математических порядка величины больше дозы внутреннего облучения за счет ингаляционного поступления суммы $^{137}$Cs и ТУЭ. Для снижения доз облучения работников можно использовать сельскохозяйственную технику, кабина которой оснащена системой кондиционирования, а также минимизировать время нахождения на рабочем месте.

# РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОМЫСЛОВЫХ ВИДОВ РЫБ КИЕВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

*Полякова Н.И., Пельгунова Л.А.*
Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, Москва, Россия,
polyakova.nat@mail.ru

Многолетние радиоэкологические исследования рыб Киевского водохранилища свидетельствуют о неустойчивом балансе радионуклидов в водных экосистемах в районе следа аварии на Чернобыльской АЭС. За период, прошедший после аварии, установлено существенное снижение удельной активности $^{137}$Cs в тканях рыб разных трофических уровней. При проведении радиоэкологических работ на Киевском водохранилище в отдельные годы зафиксированы факты увеличения $^{137}$Cs в тканях рыб и других гидробионтов. Данная работа посвящена оценке современного радиоэкологического состояния промысловых видов рыб Киевского водохранилища, загрязненного радионуклидами в результате аварии на Чернобыльской АЭС. В качестве модельных объектов для радиоэкологических исследований были выбраны рыбы, относящиеся к разным трофическим уровням: щука (*Esox lucius* L.), судак (*Sander lucioperca* L.), плотва (*Rutilus rutilus* L.), линь (*Tinca tinca* L.), серебряный карась (*Carassius auratus gibelio* Bloch), золотой карась (*Carassius carassius*), красноперка (*Scardinius erythrophthalmus* L.) и лещ (*Abramis brama* L.). Для радиоспектрометрического анализа проб рыб использовали гамма-спектрометрическую установку DSPec-jr-3.0 ORTEK (AMETEK, США). Удельную активность $^{137}$Cs рассчитывали в Бк/кг сырой массы (с.м.) мышц или тушки. Погрешность определения $^{137}$Cs составляла ± 5%. Биологический анализ рыб проводили по общепринятым в ихтиологии методикам. Впервые в послеаварийный период увеличение удельной активности $^{137}$Cs отмечено в 1996 г., впоследствии в 1999 г., когда было установлено значительное вторичное загрязнение $^{137}$Cs рыб и других гидробионтов Киевского водохранилища (Рябов, 2004). В дальнейшем удельная активность $^{137}$Cs у всех видов рыб снижалась. В 2010 г. удельная активность $^{137}$Cs в тканях рыб регистрировалась в диапазоне 7,3 - 118 Бк/кг с.м., при этом максимальные показатели были отмечены у крупных окуней, питающихся преимущественно рыбными объектами. В этот период установлены существенные различия между максимальными и минимальными значениями удельной активности $^{137}$Cs у рыб одного вида. Максимальная разница в накоплении радионуклида отмечалась у окуня и судака. В 2011 г. при проведении ежегодных радиоэкологических исследований было зарегистрировано увеличение удельной активности $^{137}$Cs в тканях промысловых видов рыб водохранилища по сравнению с показателями 2010 г. В результате этого процесса активность $^{137}$Cs в мышечной ткани у некоторых промысловых видов рыб превысила ПДУ, т.е. 130 Бк/кг с.м. Максимальные показатели $^{137}$Cs в 2011 г. были отмечены у «мирных» видов рыб – густеры – 168 Бк/кг с.м., линя – 127,6 Бк/кг с.м. и плотвы - 112,9 Бк/кг с.м., а минимальные зарегистрированы в мышцах леща и золотого карася, 55,6 Бк/кг с.м. и 53,6 Бк/кг с.м. соответственно. У хищных видов рыб повышение удельной активности $^{137}$Cs было менее интенсивным. Так, у щуки показатели $^{137}$Cs увеличились к 2011 г. в 1,5 раза – в среднем до 88,6 Бк/кг с.м., у судака в 3 раза – до 108 Бк/кг с.м., при максимуме – 125,6 Бк/кг с.м. и минимуме 92,2 Бк/кг с.м. Последние исследования, проведенные в 2013 г., установили, что удельная активность $^{137}$Cs в мышцах промысловых видов рыб Киевского водохранилища не превысила 74,1 Бк/кг с.м.

# АНАЛИЗ ВКЛАДА ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ, ЗАГРЯЗНЕННЫХ РАДИОНУКЛИДАМИ, В ФОРМИРОВАНИЕ ДОЗ ВНУТРЕННЕГО ОБЛУЧЕНИЯ НАСЕЛЕНИЯ НА РАЗЛИЧНЫХ ЭТАПАХ ПОСЛЕ АВАРИИ НА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС

*В.В. Пономаренко, А.В. Панов, Е.В. Марочкина*
Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии ФАНО, Обнинск, Россия,
viktoryvponomarenko@gmail.com

В течение всего периода после аварии на Чернобыльской АЭС потребление населением, проживающим на радиоактивно загрязненных территориях, продуктов питания с повышенным содержанием радионуклидов было и остается определяющим фактором формирования у него доз внутреннего облучения. Особенно существенно значение внутреннего облучения в регионах распространения малоплодородных почв. В этих районах биологическая доступность радионуклидов, а как следствие и интенсивность их миграции в системе почва–растение выше, чем на более плодородных и тяжелых по механическому составу почвах, что приводит к повышенному содержанию радионуклидов в сельскохозяйственной и природной продукции, определяя увеличение дозовой нагрузки на население.

Целью работы являлась оценка закономерностей изменения вкладов основных дозообразующих продуктов питания, содержащих радионуклиды, в формирование доз внутреннего облучения населения, проживающего на радиоактивно загрязненных территориях, в течение 20 лет после аварии на Чернобыльской АЭС и анализ факторов, определяющих дозоформирование у человека.

Исследование проведено на примере двух областей России в наибольшей степени пострадавших от аварии на ЧАЭС. В каждой из областей изучены сельские населенные пункты: Красногорского района в Брянской области и Плавского района в Тульской области. Эти районы отличаются как по уровням загрязнения $^{137}$Cs, так и почвенными характеристиками. Для населенных пунктов исследуемых районов собрана, обобщена и систематизирована информация об уровнях загрязнения $^{137}$Cs сельскохозяйственной и природной пищевой продукции, потребляемой населением после аварии на ЧАЭС, в 1990-2010 гг. Оценена динамика загрязнения $^{137}$Cs продуктов питания, а также доз внутреннего облучения населения в течение 20 лет после аварии на ЧАЭС в отсутствии защитных мероприятий. Определен вклад в формирование дозы внутреннего облучения населения от пищевых продуктов на основе отношения дозы от каждого продукта к общей дозе внутреннего облучения с использованием одного и того же годового рациона потребления пищевых продуктов для разных лет.

Показано изменение по временным этапам соотношения вклада сельскохозяйственных и природных продуктов питания в дозу внутреннего облучения населения. Так, через пять лет после аварии на ЧАЭС, на легких (песчаных, легко-среднесуглинистых) почвах основной вклад в формирование дозы внутреннего облучения населения вносили сельскохозяйственные продукты – 65% (молоко – 35%), а вклад грибов был около 35%. К 2000 г. вклад грибной компоненты возрос до 50%. На тяжелых (глинистых) почвах в 1990 г. вклад сельскохозяйственных продуктов питания в дозу внутреннего облучения населения был на уровне 80% (молоко – 45%). К настоящему времени вклад в дозу внутреннего облучения от грибов на этих почвах вырос до 30%. Такие особенности объясняются разной скоростью снижения с течением времени после аварии на ЧАЭС коэффициентов перехода $^{137}$Cs из легких и тяжелых почв в сельскохозяйственные и природные продукты питания.

# ИЗУЧЕНИЕ ФИКСАЦИИ $^{137}$Cs В ПОЧВАХ И МИНЕРАЛЬНЫХ СОРБЕНТАХ С ПОМОЩЬЮ ИЗМЕРЕНИЯ РАДИОАКТИВНОСТИ В ТВЕРДОЙ ФАЗЕ

*Попов В.Е., Степина И.А., Маслова К.М.*
НПО «Тайфун», Обнинск, Россия,
popov@rpatyphoon.ru

Основной особенностью поведения $^{137}$Cs в почвах является его быстрая фиксация (необменная сорбция). Основная часть информации о фиксации $^{137}$Cs получена с помощью экстракции почвы концентрированными растворами нейтральных солей $K^+$ или $NH_4^+$. Изучение десорбции $^{137}$Cs с помощью диализа растворами с низкой концентрацией $NH_4^+$ и сорбентами-ловушками, которые создают постоянную практически нулевую удельную активность $^{137}$Cs во внешнем растворе показало, что степень фиксации $^{137}$Cs, например, донными отложениями существенно меньше, чем предполагалось ранее. Целью работы являлось оценка степени фиксации $^{137}$Cs в почвах и минеральных сорбентах с помощью экстракции растворами с низкой концентрацией $K^+$ в динамических условиях и измерения радиоактивности в твердой фазе.

Навеску сорбента помещали в шприцевой мембранный фильтр (**МФ**) и промывали растворами содержащими 0.5-8 ммоль/дм$^3$ $K^+$, 100 ммоль/дм$^3$ $Ca^{2+}$ и 1 кБк/дм$^3$ $^{137}$Cs. После стадии адсорбции МФ промывали аналогичными растворами, но без $^{137}$Cs. Долю фиксированного $^{137}$Cs определяли по десорбционному плато на кинетической кривой зависимости радиоактивности образца от времени. Величину сорбцию $^{137}$Cs измеряли в твердой фазе сорбента, помещая МФ в колодец гамма счетчика WIZARD-1418.

После десорбции в течение 15-30 суток доля фиксированного $^{137}$Cs, определенная по десорбционному плато ($\Phi_{dp}$), в дерново-подзолистых почвах изменялась от 12 до 21% (доля фиксированного $^{137}$Cs определенная с помощью экстракции сорбента 1 М раствором уксуснокислого аммония (($\Phi_{aa}$) составляла 60-70%). Величины $\Phi_{dp}$ и $\Phi_{aa}$ для природных сорбентов (иллит, бентонит, палыгорскит, огнеупорные глины) составили 9-22 и 77-93%, соотвественно. Величины $\Phi_{dp}$ и $\Phi_{aa}$ для типичных строительных материалов (асфальт, бетон, кирпич, гранит и известняк) составили 25-40 и 45-90%, соответственно. Более значительная десорбция $^{137}$Cs раствором с низкой концентрацией $K^+$ обусловлена расширением боковых клинообразных селективных сорбционных мест при котором возрастает диффузионный поток $^{137}$Cs из межпакетного пространства глинистых минералов группы иллита во внешний раствор. При использовании высокой концентрации $NH_4^+$ в качестве десорбирующего раствора происходит коллапс боковых расширенных клинообразных слоев и диффузия $^{137}$Cs во внешний раствор блокируется.

Селективная сорбция $^{137}$Cs основным сорбирующим глинистым минералом иллитом характеризуется высокой энтальпией сорбции (порядка 30-34 кДж/моль). Изучение влияния температуры и концентрации $K^+$ на фиксацию $^{137}$Cs иллитом показало, что при концентрации $K^+$ 0.5 ммоль/дм$^3$ и времени сорбции от 7 до 28 суток энтальпия фиксации $^{137}$Cs иллитом существенно выше, чем энтальпия сорбции и изменялась от -40 до -63 кДж/молью. При концентрации $K^+$ 8 ммоль/дм$^3$ энтальпия фиксации $^{137}$Cs иллитом составила -46-43 кДж/моль.

Таким образом, доля фиксированного $^{137}$Cs в почвах и сорбентах, определяемая с помощью десорбции растворами с низкой концентрацией $K^+$, существенно меньше, чем доля фиксированного $^{137}$Cs полученная с помощью экстракции сорбентов концентрированными растворами $K^+$ или $NH_4^+$.

Работа выполнена при финансовой поддержке грантов РФФИ № 12-05-31496 и МНТЦ №4007.

# ВЛИЯНИЕ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИХ ДОБАВОК НА ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЕ ФОРМ $^{137}$CS В ПОЧВЕ

*Попова О.И., Спиров Р.К., Шуранкова О.А., Шамаль Н.В., Никитин А.Н., Дворник А.А.*
Институт радиобиологии НАН Беларуси, Гомель, Республика Беларусь,
olga.popova-2009@yandex.ru

Радиационная авария на Чернобыльской АЭС привела к загрязнению значительной территории долгоживущими искусственными радионуклидами. В конечном счете, они преимущественно сосредотачиваются в почве. Почва, как основной компонент агроценоза, оказывает определяющее влияние на интенсивность включения радиоактивных веществ в кормовые и пищевые цепи.

Долгоживущий изотоп $^{137}$Cs является основным радионуклидом с точки зрения радиационной опасности на территории, подвергшейся радиоактивному загрязнению после аварии на Чернобыльской АЭС. Радиоцезий присутствует в почве в разных формах: обменной, подвижной, прочносвязанной и фиксированной. Его распределение между формами определяют по доступности $^{137}$Cs для растений.

Внесение микробиологических добавок в почву улучшают ее качество. Изменяются агрохимические показатели. Одновременно с этим может происходить перераспределение $^{137}$Cs по формам нахождения в почве, что влияет на поступление данного радионуклида в растения.

Настоящие исследования были направлены на изучение факторов, определяющих изменение соотношения форм нахождения радиоцезия в почве в зависимости от использования различных сочетаний микробиологических добавок и агромелиорантов.

Были выбраны следующие варианты опыта: 1) контроль, 2) KCl, 3) KCl+EM-1, 4) EM-1, 5) EM-1+бокаши, 6) бокаши. Бокаши представляет собой органические остатки, ферментированные с EM-1

Формы нахождения $^{137}$Cs в почве определяли методом последовательной экстракции, основанном на вытеснении радионуклидов растворами определенных химических реагентов. Измерение удельной активности $^{137}$Cs в почве и почвенных вытяжках проводили гамма-спектрометрическим методом.

Изучение форм нахождения радиоцезия в почве показало, что доля водорастворимого и обменного радиоцезия (вытяжка А) составила в среднем от 0,06% (вариант 3) до 0,35% (вариант 1). Доля радиоцезия, связанного с оксидами железа и марганца (вытяжка В) оказалась в пределах от 1,82% (вариант 3) до 2,68% (вариант 1). Доля радиоцезия, связанного с органическими соединениями (вытяжка Д) колеблется в пределах от 14,93% (вариант 2) до 19,45% (вариант 1). Основная часть радиоцезия – от 77,52% (вариант 1) до 83,09% (вариант 3) находилась в прочносвязанном (вытяжка О) состоянии.

Внесение в почву микробиологической добавки в сочетании с агромелиорантами обеспечивает уменьшение содержания радиоцезия в подвижной (доступной для растений) форме приблизительно на 49.% и увеличение его содержания в прочносвязанной (недоступной для растений) форме приблизительно на 25% от общего содержания относительно контроля. Сходный результат получен и при добавлении в почву KCL.

Полученные результаты по оценке миграционной подвижности $^{137}$Cs в почве позволят предложить мероприятия по реабилитации загрязненных радионуклидами территорий, способствующие снизить дозы и частоту внесения минеральных удобрений.

# ВЛИЯНИЕ ЛИОФИЛИЗАТА ИЗ ЩИРИЦЫ ЗАПРОКИНУТОЙ НА ФИЗИОЛО-БИОХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОРОСТКОВ ПШЕНИЦЫ ПРИ ОСТРОМ ПРЕДПОСЕВНОМ ГАММА-ОБЛУЧЕНИИ ЗЕРНОВОК

*Е.Р. Поскачина[1], И.В. Воронов[1], Журавская А.Н.[1], И.В. Слепцов[2]*
[1]Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, Якутск, Россия,
viv_2002@mail.ru
[2]Институт естественных наук СФВУ им. М.К. Амосова, Якутск, Россия,
neroxasg@mail.ru

Изучение радиомодифицирующего действия различных биологически активных веществ (БАВ), получаемых из растений является одной из приоритетных задач радиобиологических исследований. Для управления радиочувствительностью используют различные радиомодифицирующие агенты. Использование экстракта из вегетативных частей щирицы запрокинутой (*Amaranthus. retroflexus* L.), содержащего БАВ антиоксидантного действия, могут модифицировать лучевую реакцию при действии острого гамма-облучения на животный и растительный организмы.
Целью работы являлось изучение влияния разных концентраций лиофилизата *A. retroflexus* L. на физиологические и биохимические характеристики проростков пшеницы сортов «Якутянка-224» и «Приленская-19», выросших из гамма-облученных зерновок.

Семена пшеницы были подвергнуты острому облучению гамма-квантами $^{60}$Co с мощностью дозы 7 рад/с на установке типа «Исследователь» дозами 10, 200 и 600 Гр. Вытяжка из вегетативных частей *A. retroflexus* L. была получена путем последовательной экстракции в 40 и 70% водно-спиртовом растворе с дальнейшей её лиофилизацией. Обработку зерновок, подвергнутых предпосевному гамма-облучению, проводили водным раствором лиофилизата. Физиологические параметры оценивали по всхожести семян и сухой массе проростков. Изучены биохимические параметры тканей проростков: активность пероксидазы, супероксидисмутазы, сумма низкомолекулярных антиоксидантов и содержание малонового диальдегида. Радиомодифицирующий эффект оценивался по «фактору изменения дозы» (ФИД), который рассчитывали как отношение равноэффективных доз облучения в присутствии и отсутствии радиомодифицирующего агента.

Пострадиационное замачивание зерновок исследованных сортов пшеницы в течение 24 часов в разных концентрациях лиофилизата показало, как радиопротекторное, так и радиосенсибилизирующее действие на массу проростков и общую антиоксидантную защиту клеток. Наблюдалось повышение на 20-30% сухой массы проростков при действии 1.0 и 2.0% водных растворов и увеличение на 20-30% антиоксидантной активности в тканях проростков с понижением на 30-40% уровня перекисного окисления липидов.

Фактор изменения дозы варьировал от 1.0 до 2.5. Следовательно, лиофилизат из *A. retroflexus* L., содержащий антиоксиданты, в использованных нами концентрациях обладает радиопротекторным действием, который эффективно снимает пострадиационное поражение, как на физиологическом, так и на биохимическом уровнях.

# РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ СИСТЕМЫ ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ НА РАДИОАКТИВНО ЗАГРЯЗНЕННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДЕЛИ ПОВЕДЕНИЯ РАДИОНУКЛИДОВ В СИСТЕМЕ «ПОЧВА – РАСТЕНИЕ»

*Б.С. Пристер, В.Д. Виноградская*
Институт проблем безопасности АЭС НАН Украины, Киев, Украина,
bprister@mail.ru

Задача сельскохозяйственного производства на радиоактивно загрязненных территориях заключается в том, чтобы не допустить производства продукции с превышением допустимых уровней, а не контролировать ее. Решение такой задачи требует прогнозирования загрязнения продукции радионуклидами с учетом различных радиоэкологических ситуаций, которые характеризуются такими параметрами, как уровни загрязнения почвы, фундаментальные свойства почвы и биологические особенности культуры.

Обобщение большого массива данных радиоэкологического мониторинга сельскохозяйственного производства на загрязненных после аварии на ЧАЭС территориях Украины позволило эмпирически описать зависимости коэффициента перехода радионуклидов из почвы в растения от экологических факторов и времени после выпадений. Разработана концептуальная схема процесса распределения радионуклидов между твердой и жидкой фазами почвы и их перехода в растения. Создана модель, параметрами которой являются скорости основных этапов сорбционных процессов в почвенно - поглощающем комплексе. Установлена связь кинетических параметров модели с комплексной оценкой свойств почвы Sef. Комплексная оценка основана на представлении почвы в виде трехфазной системы, основными характеристиками которой являются фундаментальные свойства почвы – pH почвенного раствора, содержанием гумуса и емкость поглощения. Кинетическая модель поведения радионуклидов в системе «почва (Sef) - растение» имеет математический вид:

$$TF(Sef,t) = TF(0,0)\cdot e^{-\lambda\cdot Sef}\left\{(1+0.031\cdot\ln(Sef))\cdot e^{-0.31\cdot(1+Sef)\cdot t} + (-f\cdot\ln(Sef))\cdot e^{-0.055\cdot(1-Sef)\cdot t}\right\},$$

где TF(0, 0) – экстраполированный на t = 0 коэффициент перехода $^{137}$Cs в растение из почвы с Sef $\Rightarrow$ 0; $\lambda$ – коэффициент, отображающий реакцию растения на изменение свойств почвы.

Диагностическая проверка модели подтвердила полную адекватность разработанной модели и высокий уровень значимости ее параметров. Применение формальных статистик проверки качества прогноза показало почти идеальную корреляцию прогнозных и реальных рядов между собой. Установлено, что точность модели не ниже 30 % в 80 % случаев. Модель верифицирована по данным БД франко-германской инициативы (FGI) 3a (2001 г.), которая содержит более 6 тыс. пар «почва - растение», полученных по данным мониторинга агросферы на радиоактивно загрязненных территориях Беларуси, России и Украины.

Кинетическая модель поведения радионуклидов в системе «почва - растение» позволяет прогнозировать загрязнение основных видов сельскохозяйственных культур на почвах с широким спектром агрохимических свойств. Она может рассматриваться в качестве инструмента для принятия решения о структуре землепользования и целесообразности проведения контрмер на территориях с различающимися радиоэкологическими условиями.

# РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ КОММУНАЛЬНЫХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ АВАРИЙ С ВЫБРОСОМ РАДИОНУКЛИДОВ В ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

*Б.С. Пристер*
Институт проблем безопасности АЭС НАН Украины, Киев, Украина,
bprister@mail.ru

За 7 десятилетий работы атомной промышленности и энергетики произошло несколько крупных аварий различной природы, которые сопровождались выбросом в окружающую среду больших количеств радионуклидов. Загрязнению выбросами при этих авариях подверглись территории с интенсивным ведением сельского хозяйства, на которой проживали большие контингенты населения – от десятков тысяч до 10 млн. человек, что позволяет считать эти крупнейшие радиационные катастрофы коммунальными сельскохозяйственными.

С радиационно-гигиенической точки зрения аварии показали значимость пастбищных угодий и луговых ландшафтов, на которых производится продукция животноводства, в формировании радиационной обстановки и приоритетность их при организации мониторинга окружающей среды и проведении контрмер. Радиоактивное загрязнение трав многократно превышает загрязнение других сельскохозяйственных продуктов, например, при аварии на ПО «Маяк»: зерна – в 360 раз, картофеля – до 1500 раз и достигает величин, создающих опасность поступления в организм биологически значимых количеств радионуклидов.

На территории Восточно-Уральского радиоактивного следа (ВУРС) подножный корм и сено, заготовленное до аварии и попавшее под выпадения, определяли в зоне аварии 95 – 98 % суточного поступления РН в организм пастбищных животных, которое в самые первые дни после аварии превышало у коров 0,5 ГБк в сутки, что определило симптомы лучевого поражения кишечника. Около 63 % территории ВУРС занимали земли сельскохозяйственного использования, 21 % представляли сенокосы и пастбища, что сделало молоко одним из важных вкладчиков в формирование дозы внутреннего облучения. Роль произрастающих на пойме трав в формировании радиационно-гигиенической обстановки подтверждена исследованиями на р. Теча, Белорусско-Украинского Полесья на следе аварии на ЧАЭС. На территории с равной плотностью загрязнения продукция животноводства характеризуется наименьшими уровнями загрязнения. Удельная активность молока, говядины и свинины из личных хозяйств в 4–10 раз выше, чем в такой же продукции из специализированных коллективных хозяйств. Кормовые травы представляют особый приоритет аварийного мониторинга радиационной обстановки в агросфере. Несмотря на то, что был установлен очень консервативный критерий по молоку – 100 Бк·л$^{-1}$, сельскохозяйственное производство и наука Беларуси, России и Украины с ним практически справились.

В зоне аварии на АЭС Фукусима роль молока в формировании дозы облучения оказалась второстепенной по сравнению с дозой от внешнего облучения, так как собственное кормопроизводство обеспечивает животных кормами только на 30 %. При равной плотности загрязнения территории содержание $^{137}$Cs в молоке коров в Японии было в несколько раз ниже по сравнению с Чернобылем.

Опыт аварии в Уиндскейле впервые практически подтвердил высокую эффективность своевременного реагирования на аварию. Считаем необходимым включение в превентивную подготовку к реагированию на аварии разработку методологии и регламента долгосрочного комплексного радиоэкологического мониторинга аграрной сферы.

# $^{241}$Pu В ЧЁРНОМ МОРЕ

*В.Ю. Проскурнин, Н.Н. Терещенко*
Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского, Севастополь, Россия,
xdymdy@gmail.com

Альфа-излучающие изотопы плутония $^{238,239,240}$Pu являются основными трансурановыми радионуклидами, поступившими в окружающую среду в результате ядерной деятельности человека, внося наибольший вклад в облучение живых организмов. Основными источниками плутония в Черное море являются глобальные радиоактивные выпадения в результате испытаний ядерного оружия в открытых средах (максимум которых пришелся на первую половину 1960-х гг.) и атмосферные выпадения после аварии на Чернобыльской АЭС в 1986 г. Дополнительное поступление плутония с речным стоком в ранние годы после чернобыльской аварии было намного более значительно для северо-западного и западного районов Черного моря, чем для остальной акватории. Вместе с тем, практически не было изучено загрязнение черноморских экосистем $^{241}$Pu, обладающим сравнительно небольшим периодом полураспада (14.4 года) и мягким β-излучением, в связи с чем он не был заметен на фоне других бета-нуклидов, в том числе – природных ($^{40}$K и др.). Однако при распаде $^{241}$Pu образуется значительно более радиотоксичный и долгоживущий $^{241}$Am, содержание которого в окружающей среде, в отличие от других чернобыльских радионуклидов, увеличивается. Расчёт многолетней динамики содержания $^{241}$Pu и продукта его распада $^{241}$Am в аварийном выбросе ЧАЭС показал, что максимум активности америция-241 будет достигнут лишь к 2060-му году.

Для глобальных и чернобыльских выпадений характерны следующие отношения активности изотопов плутония: $^{238}$Pu/$^{239+240}$Pu – 0.026 и 0.45; $^{241}$Pu/$^{239+240}$Pu – 16 и 90, соответственно. Так как значения $^{241}$Pu/$^{239+240}$Pu относятся к периодам наиболее интенсивного поступления этих изотопов, то, скорректировав их по скорости распада на 2012 г., получим соответственно 1.5 для глобальных выпадений и 25 для чернобыльских. Столь значительное различие отношений активности изотопов обуславливает возможность идентификации источников поступления плутония в объекты морских экосистем, а также дополнительную возможность для ядерной геохронологии донных отложений.

В данной работе было изучено содержание $^{239,240}$Pu, $^{238}$Pu, $^{241}$Pu в донных отложениях, отобранных в 70-м рейсе НИС «Профессор Водяницкий» (август 2011 г.) в центре северо-западной части Чёрного моря и в Каламитском заливе. Также получены новые данные о содержании упомянутых изотопов плутония в донных отложениях водоёмов ближней зоны Чернобыльской АЭС в первые годы после аварии. Пробы анализировали по стандартным методикам с незначительными модификациями. Во всех пробах активность $^{241}$Pu по отношению к остальным изотопам плутония оказалась наибольшей, что согласуется с литературными данными о его содержании в выпадениях. Отношение активности $^{241}$Pu/$^{239+240}$Pu в донных отложениях водоёмов ближней зоны ЧАЭС оказалось на уровне 11.2 ÷ 12.5, что несколько ниже величин, представленных в литературе. В свою очередь различные литературные источники показывают достаточно широкую вариабельность данного показателя: в пределах 17 ÷ 90. В черноморских донных отложениях отношение $^{241}$Pu/$^{239+240}$Pu составило величину порядка 1.5±0.1, что вместе с отношением $^{238}$Pu/$^{239+240}$Pu на уровне 0.04 ÷ 0.03 оказалось в значительно большей степени характерным для глобальных выпадений, чем для чернобыльских.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ИХТИОФАУНЫ РАДИОАКТИВНО-ЗАГРЯЗНЕННОЙ РЕКИ ТЕЧА

*Е.А. Пряхин[1], Г.А. Тряпицына[1], Д.И. Осипов[1], Е.А. Шишкина[1], И.А. Шапошникова[1], Е.А. Егорейченков[1], Г. Рудольфсен[2], Х.-К. Тейен[3], А.В. Аклеев[1]*

[1]Уральский научно-практический центр радиационной медицины, Челябинск, Россия, pryakhin@yandex.ru

[2]Университет Трумсё, НРПА, Трумсё, Норвегия, geir.rudolfsen@uit.no

[3]Норвежский университет наук о жизни, Ос, Норвегия, hans-christian.teien@umb.no

В 2011 – 2013 гг. исследовали состояние ихтиофауны радиоактивно-загрязненной р. Теча. Отбор проб и отлов рыбы проводили 2 раза в год (в мае во время нереста и в августе во время нагула) на трех станциях с различными уровнями радиоактивного загрязнения: в верховье (РТ1), в среднем (РТ2) и нижнем (РТ3) течении реки. В качестве водотока сравнения использовали р. Миасс на участке между Аргазинским и Шершневским водохранилищами. На каждой станции отбирали пробы воды, донных отложений, зоопланктона, зообентоса, водорослей, и рыбы (плотва, окунь, щука). Определяли содержание радионуклидов в указанных пробах. С помощью пакета ERICA ASSESSMENT TOOLS 2012 на основе индивидуальных значений содержания радионуклидов в теле рыб рассчитывали мощность дозы. У рыб определяли массу и размеры тела, возраст, пол, цвет плавников, подвижность сперматозоидов, оценивали морфометрические параметры, проводили гематологические, цитогенетические, цитологические и биохимические исследования. У плотвы со станции РТ1, при анализе всех данных за 2012 – 2013 гг., было выявлено достоверное трёхкратное повышение частоты эритроцитов с микроядрами, по сравнению с животными из водотока сравнения. Было выявлено снижение количества клеток в периферической крови у рыб весной во время нереста в верховьях р. Теча было достоверным у всех исследуемых видов рыб и наиболее выраженным у щуки. Далее по мере выраженности снижения показателя следовала плотва и окунь. Количественные изменения в крови сопровождались изменением клеточного состава, которые можно быть интерпретировать как неэффективность эритропоэза. Проведение многофакторного регрессионного анализа позволило определить, что мощность дозы является фактором, в основном определяющим снижение количества клеток у рыб. Было показано повышение интенсивности окраски грудных плавников у рыб с ростом мощности дозы. При проведении биохимических исследований крови была выявлена связь концентрации глюкозы и ионов калия с суммарной мощностью дозы. У окуня, обитающего в верховьях р. Теча было выявлено снижении подвижности сперматозоидов. По морфометрическим и демографическим показателям исследуемых видов рыб не выявлено существенных отличий популяций рыб р. Теча по сравнению с популяциями рыб р. Миасс. Видовой состав в исследуемых водотоках не отличался. Это позволяет полагать, что выявленные изменения кроветворения, физиологические изменения, связанные с изменением окраски плавников и снижение подвижности сперматозоидов, зарегистрированное у окуней, не оказывают существенного влияния на выживаемость рыб и их плодовитость.

Работа выполнена при поддержке НРПА.

# ОБ ИЗМЕНЕНИИ КОЭФФИЦИЕНТОВ ПЕРЕХОДА РАДИОНУКЛИДОВ ПОСЛЕ «СВЕЖИХ» ВЫПАДЕНИЙ

*С.В.Пугаев*
Мордовский научно-исследовательский институт сельского хозяйства,
niish-mordovia@mail.ru

Последствия аварии на ЧАЭС достигли территории Мордовии. В результате наземного обследования были уточнены площади сельскохозяйственных угодий, которые были подвергнуты загрязнению. В связи с этим целью исследования было изучение воздействия «свежих» выпадений на миграцию радионуклидов (РН) $^{137}$Cs и $^{90}$Sr. В качестве объектов исследования были выбраны основные типы почв и основные культуры Республики Мордовия. Подобраны участки с длительным мониторингом: с черноземом выщелоченном (озимая пшеница, ячмень), дерново-подзолистой (озимая пшеница) и светло-серой лесной (озимые пшеница и рожь) почвами при выращивании на них сельскохозяйственных растений до 7 лет до аварии и до 7 лет после аварии. Пробы основной и побочной продукции и почвы отбирали одновременно в фазу технической зрелости культур по стандартным методикам.

Содержание $^{137}$Cs в почве увеличивалось в 2-7 раз после 1986 г. на участках под озимой пшеницей. На черноземе выщелоченном и дерново-подзолистой почве количество $^{137}$Cs в продукции озимой пшеницы имело тенденцию к повышению: в зерне в 6–40 раз, в соломе в 4–5 раз. КП $^{137}$Cs зерна озимой пшеницы возрос на изучаемых типах почв после 1986 года в 6-10 раз, у соломы – в 1,5-10 раз. Усилилась защитная, депонирующая функция вегетативных органов озимой пшеницы.

Черноземная почва под ячменем стала содержать $^{137}$Cs после 1986 года существенно больше (в два раза), а в соломе и зерне проявилась тенденция к повышению: – соответственно в 2-3 и в 15 раз. Тем не менее, КП в солому не изменился, в то время как в зерно увеличился в 5 раз. В светло-серой лесной почве, на которой выращивалась озимая пшеница, и в ее продукции изменений не выявлено. Однако, в почве под озимой рожью $^{137}$Cs содержалось после 1986 года в 4 раза больше. В ее зерне уровень РН значимо увеличился (в 25 раз), КП – в 16 раз, а в соломе изменения незначительны. Возможно, это обусловлено не только корневым поглощением РН, но и вторичным загрязнением. Следовательно, авария на ЧАЭС привела к повышению количества $^{137}$Cs в почве, а в продукции проявилась тенденция к увеличению содержания (в том числе значимых при P=0,05) и КП $^{137}$Cs.

В изменениях содержания $^{90}$Sr в почве исследуемых участков отмечена тенденция увеличения его количества в зерне исследуемых культур (в 1,5-6 раз) а в соломе – тенденция уменьшения (в 1,5-2 раза). Величина КП $^{90}$Sr у зерна озимых культур не изменялась, а у ячменя увеличилась в 2 раза. В соломе получены противоположные данные: у соломы ячменя он не изменился, а у других культур увеличивался в 1,5-3 раза.

Авария на ЧАЭС вызвала на ряде исследуемых участков повышение содержания $^{137}$Cs в почве, продукции и его КП (кроме соломы ячменя на черноземе). Не смотря на тенденцию снижения содержания $^{90}$Sr в почве, его концентрация в зерне значительно увеличивалась, а в соломе уменьшалась. КП зерна озимых не изменился, а соломы – увеличился. Ячмень также оказался исключением, но изменения были противоположными: КП $^{90}$Sr для зерна увеличивался, а для соломы – не изменялся.

Следовательно, в результате загрязнения почв осадками вследствие аварии на ЧАЭС на ряде мониторинговых участках было выявлено достоверное увеличение содержания $^{137}$Cs. В ряде основной и побочной продукции выявлено изменение его КП. Значимых изменений содержания $^{90}$Sr в почве исследуемых участков не оказалось. Однако, были выявлены противоположные тенденции накопления РН и его КП.

# ФАЗОВОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ И МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА СОДЕРЖАНИЯ ЕСТЕСТВЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ В ИМПАКТНЫХ ВОДОЁМАХ БЫВШЕГО РАДИЕВОГО ПРОМЫСЛА

*Рачкова Н.Г., Шуктомова И.И.*
Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, Россия,
rachkova@ib.komisc.ru

Исследованы содержания и фазовое распределение урана, радия-226 и тория в воде импактных водоемов хранилища радиоактивных отходов (РАО) и бывших заводов радиевого промысла в Республике Коми. Были обследованы рр. Ухта, Ярега и Лыаёль, протекающие не далее 60 м от промплощадок, а также дренажные канавы. На территориях радиоактивный фон достигал 20 мкЗв/ч, а воды были высоко минерализованными. Отобранные с водной поверхности ручьёв и с глубины 20-50 см речного потока образцы фильтровали с отделением последовательно грубой взвеси (>3.5 мкм) и взвешенного вещества (0.45 – 3.5 мкм). Содержания урана, радия и тория оценивали люминесцентным, эманационным и альфа-спектрометрическим методами, соответственно.

Для участка русла р. Ухта, подверженного влиянию стоков с территории хранилища РАО, содержания радия-226 варьируют от 10 до 40, тория-232 – от 0.4 до 3 мБк/л, что отвечает современным гигиеническим нормативам и региональным показателям. Удельная активность урана в водах импактной зоны этой промплощадки изменяется от 3 до 250 мБк/л, что ниже гигиенических нормативов, но от 1.3 до 100 раз больше соответствующего фонового содержания радиоэлемента, в том числе для водотоков в районе урановой аномалии. Радий и торий переносятся водой как в растворе, так и со взвешенным веществом. Уран мигрирует из очагов загрязнения в растворённой форме. Крупной взвесью переносится дополнительно не более 25% его валового содержания и до 250 % удельной активности радия и тория. Многолетняя динамика содержания радионуклидов в водотоках территории хранилища РАО свидетельствует о значительном снижении интенсивности гидрогенной миграции урана при одновременной её активации для радия, чему способствуют ландшафтно-геохимические условия расположения и физико-химические свойства поверхностных вод промплощадок.

Работа выполнена в рамках проекта № № 12-С-4-1008 УрО РАН.

# РЕГЛАМЕНТАЦИЯ ЗАЩИТНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЛЕСОВ, ЗАГРЯЗНЕННЫХ РАДИОНУКЛИДАМИ

*Д.Ю.Ромашкин, И.И. Марадудин, А.П.Рябинков, А.Н. Раздайводин, А.И. Радин*
Всероссийский НИИ лесоводства и механизации лесного хозяйства
Пушкино, Россия,
info@roslesrad.ru

Леса, загрязненные радионуклидами вследствие радиационных аварий и катастроф на долгие годы остаются источниками радиационной опасности. Полное прекращение хозяйственной деятельности в лесах на загрязненных территориях не представляется возможным. Сокращение объемов лесохозяйственных мероприятий, особенно в насаждениях созданных человеком, привело к снижению биологической и противопожарной устойчивости на отдельных лесных участках. Вместе с тем, состояние экономики пострадавших регионов требует решения задачи скорейшей реабилитации лесов в зонах радиоактивного загрязнения и приведения их в радиационно-безопасное состояние.

Создание радиационно-безопасных условий для ведения лесного хозяйства в зонах радиоактивного загрязнения на текущей (восстановительной) стадии радиационной аварии возможно путем регламентации защитных и лесохозяйственных мероприятий в соответствии с параметрами радиационной обстановки и эколого-лесоводственными особенностями лесных участков.

Анализ многолетних данных радиационного мониторинга лесов (РМЛ) на стационарных участках РМЛ Рослесхоза и Союзного государства России и Беларуси позволил выявить основные факторы, определяющие уровень радиационной безопасности проведения работ на лесных участках:

- дозообразующий радионуклид;
- параметры радиационной обстановки на лесном участке;
- тип лесорастительных (эколого-почвенных) условий;
- породный состав насаждения и тип леса;
- климатическая и лесорастительная зона, лесной район.

Сочетание указанных и еще ряда менее значимых факторов должно учитываться при комплексной оценке радиационной безопасности лесных участков и проектировании лесохозяйственных и защитных мероприятий в зонах радиоактивного загрязнения лесов.

Научно обоснованная регламентация защитных и лесохозяйственных мероприятий при использовании лесов по зонам радиоактивного загрязнения, лесным и радиоэкологическим районам с учетом типа лесорастительных условий, типа леса и актуализированных параметров радиационной обстановки позволяет обеспечивать радиационную безопасность лиц, выполняющих лесохозяйственные работы и получать нормативно чистую лесную продукцию даже в условиях радиоактивного загрязнения.

Обязательным условием эффективной регламентации защитных мероприятий в зонах радиоактивного загрязнения лесов является постоянное обновление и верификация данных о состоянии радиационной обстановки на лесных участках и эколого-лесоводственных характеристиках насаждений. Получение актуальной информации о загрязненных радионуклидами лесах обеспечивает система радиационного мониторинга лесов Рослесхоза, которую необходимо развивать и совершенствовать.

# ОЦЕНКА РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ ПРИ ХРАНЕНИИ И ЗАХОРОНЕНИИ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ

*Т.Г.Сазыкина, И.И.Крышев*
НПО «Тайфун» Росгидромета, Обнинск, Россия,
sazykina@rpatyphoon.ru

Представлена методология оценки радиоэкологического воздействия хранилищ РАО в штатных условиях их эксплуатации включающая следующие ключевые элементы: статистический анализ и обобщение данных интегрированного радиоэкологического мониторинга, оценку планируемого радиационного воздействия на население от возможных утечек радионуклидов при хранении и захоронении РАО, оценку фактического радиационного воздействия на население с учетом регионального радиационного фона и множественных путей радиоактивного загрязнения окружающей среды, оценку радиационного воздействия хранилища РАО на референтные объекты биоты, научно-практические рекомендации по управлению радиоэкологической безопасностью хранилища РАО.

Выполнена оценка радиоэкологического воздействия хранилищ РАО Ленинградского отделения филиала «Северо-западный территориальный округ» «РосРАО» (прежнее название Ленинградский спецкомбинат «Радон» - ЛСК). Показано, что уровни облучения населения от эксплуатации хранилищ РАО ниже величины дозы, относящейся к категории пренебрежимого радиационного риска. Более высокие дозовые нагрузки характерны для организмов биоты (сосна, трава, мыши, дождевые черви), обитающих в непосредственной близости от хранилищ РАО. Максимальные величины этих дозовых нагрузок лежат в пределах интервала значений референтных безопасных уровней хронического облучения организмов биоты - 40-400 мкГр/час. За пределами промплощадки предприятия уровни облучения организмов биоты существенно снижаются и практически не превышают фоновых значений. Поскольку территория в непосредственной близости от хранилищ РАО является весьма малой частью естественного ареала обитания локальных популяций референтных организмов, на популяционном уровне влияние ЛСК незначительно.

Рассмотрены основные пути облучения населения при штатных условиях проведения работ по загрузке высокоактивных отходов в планируемое подземное хранилище в районе Горно-химического комбината (Красноярский край), и в последующий операционный период функционирования пункта захоронения РАО. В отличие от долгосрочных оценок радиационной обстановки при захоронении РАО вопросам безопасности во время операционной фазы геологического захоронения уделяется значительно меньшее внимание. Однако, именно в период заполнения объекта захоронения РАО, который может продолжаться 20-50 лет, хранилище является открытым и подверженным различным внешним воздействиям. Облучение населения в операционный период эксплуатации объекта по захоронению РАО определяется техногенной радиоактивностью окружающей среды обусловленной атмосферными выбросами радионуклидов. Согласно консервативным оценкам дозы облучения населения от атмосферных выбросов радионуклидов (углерода-14, радона-222 и трития) вблизи предполагаемого объекта по захоронению РАО составят менее 0,01 мЗв/год, что значительно ниже допустимого предела дозы. Расчетные оценки мощности дозы облучения объектов биоты не превышают 0,05 мГр/час, т.е. пренебрежимо малы по сравнению с референтными экологически безопасными уровнями хронического облучения.

# ВОЗДЕЛЫВАНИЕ ДОННИКА БЕЛОГО В ЮЖНЫХ РАЙОНАХ БЕЛОРУССКОГО ПОЛЕСЬЯ, ПОСТРАДАВШИХ В РЕЗУЛЬТАТЕ КАТАСТРОФЫ НА ЧАЭС

*Самусев А.М.*
Институт радиологии, Гомель, Беларусь.

Бобовые культуры, в силу своей уникальной способности фиксировать атмосферный азот и переводить его в доступные для растений соединения, являются важным фактором экологизации земледелия. Особенно актуальным этот вопрос является для южных регионов Гомельской области, пострадавших от катастрофы на ЧАЭС. Как известно, применение минерального азота способствует увеличению накопления радионуклидов продукцией растениеводства. Обогащая почву биологически связанным азотом, бобовые культуры способствуют снижению загрязнения окружающей среды подвижными формами соединений минерального азота, повышают естественное плодородие почв, что способствует снижению перехода радионуклидов в продукцию растениеводства. Одной их таких культур является донник белый. Донник белый нетребователен к плодородию. При возделывании его на супесчаных почвах, подстилаемых песками, способен обеспечить урожай зелёной массы на уровне 360 ц/га. В засушливые годы эта культура превосходит по урожайности другие бобовые, что актуально для южных регионов Гомельской области, наиболее подверженных засухам. В 1 кг зелёной массы донника содержится 0,18-0,23 к.ед., до 30 г переваримого протеина. На кормовую единицу в зелёной массе донника приходится более 200 г переваримого протеина. Зеленая масса донника используется в зеленом конвейере, донниковый силос (при совместном силосовании его с кукурузой) охотно поедается скотом. Являясь бобовой культурой, донник отличается повышенным переходом радионуклидов в зеленую массу. Поэтому, актуальным являлось проведение исследований по выполнению агроэкологической оценки донника белого в почвенно-климатических условиях загрязненных радионуклидами территорий Гомельской области.

Исследования по изучению накопления $^{137}$Cs и $^{90}$Sr зеленой массой донника проводились на дерново-подзолистой слабооподзоленной супесчаной почве в Брагинском районе Гомельской области. Плотность загрязнения пахотного горизонта $^{137}$Cs – 1,5 Ки/км$^2$, $^{90}$Sr – 0,4 Ки/км$^2$. Почва участка характеризовалась низким содержанием гумуса (1,3%), высокой степенью кислотности (5,2), средним содержанием подвижных форм фосфора и калия (242 и 247 мг/кг почвы, соответственно).

В условиях эксперимента максимальная урожайность зеленой массы донника получена в первый год возделывания культуры. При использовании Р60К120 урожайность в среднем составила 290 ц/га. Во второй год возделывания урожайность зеленой массы более 200 ц/га. Полученная зеленая масса являлась высококачественным кормом для КРС, соответствующего по основным показателям первому классу (сырой клетчатки – 29,3%, сырого протеина – 17,9%, обменной энергии – 9,0 МДж/кг, кормовых единиц – 0,66 в пересчете на абсолютно сухое вещество).

Установлено, что ограничения по плотности загрязнения почвы $^{137}$Cs при производстве нормативно чистых кормов из донника белого для получения молока цельного превышают 40 Ки/км$^2$. Зеленая масса донника может использоваться на корм КРС для получения молока цельного при возделывании культуры на дерново-подзолистых почвах с плотностью загрязнения $^{90}$Sr не более 0,2 Ки/км$^2$. Для получения молока-сырья производство нормативно чистой зеленой массы культуры возможно на дерново-подзолистых почвах с плотностью загрязнения $^{90}$Sr 0,7 Ки/км$^2$.

# ВОЗВРАЩЕНИЕ ПОСТРАДАВШИХ ПОСЛЕ АВАРИИ ЧАЭС ТЕРРИТОРИЙ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ К НОРМАЛЬНОЙ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ: ПОДХОДЫ, КРИТЕРИИ, ПРОЦЕДУРЫ

*Н.И. Санжарова*
Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии ФАНО, Обнинск, Россия,
natsan2004@mail.ru

За прошедший после аварии на ЧАЭС период радиационная обстановка на пострадавших территориях России существенно улучшилась. Общая площадь территории загрязнения $^{137}$Cs выше 37 кБк/м$^2$ уменьшится к 2016 году примерно в 2,8 раза и составит 22550 км$^2$. Согласно постановлениям Правительства РФ №1582 от 18.12.1997 г. и №197 от 7.04.2005 г. в 4413 загрязненных населенных пунктах числилось к 2006 г. 1628,3 тыс. чел. Подготовлен новый Перечень по состоянию на 1 июня 2012 года, включающий 2407 населенных пункта с численностью жителей 1056,4 тыс. чел. К 2056 году прогнозируется сокращение количества населенных пунктов до 984, а число проживающих в них жителей - до 413.6 тыс. чел. При этом преобладающая часть населения в 2056 году будет проживать в зоне льготного социально-экономического статуса.

Изменение радиационной обстановки ставит задачу возвращения пострадавших территорий к нормальной жизнедеятельности. Группой экспертов из Беларуси, России и Украины было дано определение понятия «нормальная жизнедеятельность на радиоактивно загрязненных территориях» - это проживание населения, использование им ареала обитания, ведение хозяйственной деятельности без ограничений по радиологическому критерию (обеспечение выполнения для населения общепринятых требований радиационной безопасности), без проведения специальных мероприятий по снижению содержания радионуклидов в продукции местного производства, обеспечении требований экологической безопасности, обеспечении условий для инвестиционной привлекательности пострадавших регионов.

В качестве критерия перехода территории к нормальной жизнедеятельности рассматривается снижение величины средней дозы облучения критической группы населения за счет «чернобыльского» загрязнения до значения менее 1,0 мЗв/год. Данный критерий избыточен с точки зрения современных международных рекомендаций (хотя и укладывается в рекомендуемую Публикацией 103 МКРЗ область от 1,0 до 20 мЗв), но является исторически сложившимся. Устаревшие критерии зонирования по плотности загрязнения целесообразно использовать как вспомогательные при радиологической характеристике территорий, учитывая восприятие населением, а также его использование при реабилитации сельскохозяйственных земель и определении лесных территорий, пригодных для использования лесной продукции. За критерий восстановления условий нормальной хозяйственной деятельности принимается снижение плотности загрязнения почвы $^{137}$Cs до уровней, позволяющих производить на этой территории сельскохозяйственную продукцию и собирать «дары леса», соответствующие санитарным требованиям, без применения специальных мер по снижению содержания в них $^{137}$Cs.

Процедура перехода должна предусматривать подготовительные мероприятия, исключающие снижение реального уровня жизни населения. Условием перехода должно быть не только выполнение радиологических критериев окончания периода радиационной аварии, но и выполнение программы подготовительных мероприятий, обеспечивающих улучшение уровня жизни населения за счет восстановления хозяйственной деятельности.

# ЗАДАЧИ РАЗВИТИЯ РАДИАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО ПРОФИЛЯ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

*Н.И. Санжарова, С.А. Гераськин, Г.В. Козьмин, В.О. Кобялко, В.Я. Саруханов*
Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии
ФАНО, Обнинск, Россия,
kozmin@obninsk.ru

Одним из приоритетных направлений в современной науке и технике является научное и проектно-технологическое обеспечение внедрения инновационных прорывных технологий в экономику страны. Незначительный вклад современных радиационных технологий в агропромышленное производство Российской Федерации не отражает потенциальные возможности и богатый опыт как отечественной прикладной радиобиологии, так и атомной науки и техники. Представленные материалы показывают широкий спектр прикладных задач в области сельского хозяйства и пищевой промышленности, которые могут быть успешно решены с использованием радиационных технологий. К преимуществам радиационных технологий (РТ) следует отнести их экологичность, длительное сохранение ценных качеств и свойств облученной продукции, технологичность процессов радиационной обработки, высокие экономические показатели. На настоящем этапе прикладных исследований в РФ предлагаются следующие возможные пути и необходимые действия по доведению до потребителя ожидаемых результатов:

- Анализ мирового и отечественного рынка радиационных технологий агропромышленного назначения, экономическое обоснование и выбор приоритетных компетенций технологических процессов, оценка полноты научно-методического обеспечения и нормативного регулирования.
- Разработка национальных стандартов и технологических регламентов радиационной обработки тех видов продукции, для которых в достаточной мере апробированы и внедрены в зарубежную и отечественную практику режимы облучения, обеспечивающие достижение искомого результата.
- Экспериментальная апробация методов радиационной обработки ионизирующими и неионизирующими излучениями сельскохозяйственной и пищевой продукции с оценкой качества и безопасности облученных продуктов.
- Создание сети радиационных центров на территории Российской Федерации для радиационной обработки продукции агропромышленного производства с учетом географии размещения радиационных центров Росатома и РАН и крупных производственных объединений МСХ РФ по хранению и переработке продукции агропромышленного производства. Развитие рынка РТ в сфере малого и среднего бизнеса с использованием гамма-установок и специализированных установок, генерирующих электромагнитные излучения (ЭМИ) неионизирующего спектрального диапазона.
- Коммерциализация РТ агропромышленного профиля.

В 2011 г. Комиссия Европейского Управления по безопасности пищевых продуктов (EFSA) в научном заключении по вопросам эффективности радиационной обработки и микробиологической безопасности облученной пищи подтвердила перспективность использования ионизирующих излучений. Также получена обширная информация, свидетельствующая о возможности использования ионизирующих и неионизирующих излучений в целях предпосевной обработки семян растений. При этом открытыми остаются вопросы зависимости эффективности стимуляции семян от механизмов передачи энергии ЭМИ разных спектральных диапазонов биологическим структурам, а также обоснования и выбора тест-систем для оценки стимулирующего действия. Внедрение РТ с использованием ионизирующих и неионизирующих излучений может стать ключевым методом сохранения сельскохозяйственной продукции, повышения урожая и сыграть тем самым важную роль в обеспечении продовольственной безопасности России.

# ЗАВИСИМОСТЬ РАДИОЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ СВИНЕЙ ОТ ЖИВОЙ МАССЫ

*Саруханов В.Я.*[1], *Конюхов Г.В.*[2], *Колганов И.М.*[3]

[1]Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии ФАНО, Обнинск, Россия, sarukhanov.vladimir@yandex.ru

[2]Федеральный центр токсикологической, радиационной и биологической безопасности, Казань, Россия,

[3]ООО «НПП Эко-ФМ», Обнинск, Россия.

Ведение сельского хозяйства на территориях загрязненных радионуклидами создает дополнительные нагрузки на организм продуктивных животных, что может привести к снижению качества и количества продукции животноводства. Для уменьшения негативного воздействия облучения на животных, необходима разработка комплекса мероприятий, ключевым звеном которых является нормирование действия радиационных факторов на организм, что в свою очередь, невозможно без изучения радиочувствительности животных. Цель настоящего исследования состояла в разработке методического подхода к оценке радиочувствительности свиней, имеющих разную живую массу, с использованием данных по животным другого вида.

Ранее была определена зависимость гибели овец от дозы и мощности дозы внешнего γ-облучения.

$$L = 100/\left[1+\exp\{4.594\cdot(\mathrm{P_{ов}})^{-0.031}-1.330\cdot(\mathrm{P_{ов}})^{0.118}\cdot D\}\right] \quad (1)$$

Где $P_{ов}$ – мощность дозы при облучении овец, Гр/ч; D – доза облучения, Гр.

Для определения радиочувствительности свиней по сравнению с овцами и ее зависимости от живой массы свиней был введен поправочный коэффициент «К», который количественно отражает эффект «изменения» мощности дозы излучения:

$$ЭИМД = K \cdot P \quad (2)$$

Где ЭИМД – эффект изменения мощности дозы; Р – мощность дозы при облучении свиней; К – поправочный коэффициент на мощность дозы излучения.

При снижении мощности дозы кривая гибели животных смещается вправо и становится более пологой так же, как и при гибели животных с увеличивающейся живой массой. Для свиней с живой массой 40, 80, 107 и 114 кг значения коэффициентов «К», были подобраны таким образом, чтобы полученные значения гибели в зависимости от дозы, рассчитанные по формуле (1) с учетом формулы (2), описывали исходные данные с наименьшим суммарным отклонением от экспериментальных данных. Методом наименьших квадратов была определена степенная зависимость коэффициента «К» от массы свиней. Также для этих групп животных по экспериментальным данным были рассчитаны значения $LD_{50}$.

$$K = 0{,}426 \cdot \left(\frac{m_{св}}{45}\right)^{-2{,}59} \quad (3)$$

где – $m_{св}$ - живая масса свиней, кг; $m_{ов}$ - живая масса овец (45 кг); К - коэффициент, отражающий радиочувствительность животных. Величина множителя не зависит от массы животных и описывает радиочувствительность свиней по сравнению с овцами. Его значение, равное 0,426, указывает на то, что свиньи более устойчивы к внешнему γ-облучению по сравнению с овцами.

Для расчета смертности свиней в зависимости от их живой массы в формулу (1) вместо мощности дозы облучения овец был подставлен ЭИМД с учетом зависимости коэффициента К от массы свиней. В результате была получена следующая формула

$$L = 100/\left[1+\exp\{3{,}475\cdot \mathrm{m_{св}}^{0{,}0803}\cdot \mathrm{P}^{-0{,}031}-3{,}85\cdot \mathrm{m_{св}}^{-0{,}306}\cdot \mathrm{P}^{0{,}118}\cdot D\}\right] \quad (4)$$

# О ВОЗМОЖНОСТИ ВОЗВРАЩЕНИЯ В ОБОРОТ ЗЕМЕЛЬ, ВЫВЕДЕННЫХ ПОСЛЕ КАТАСТРОФЫ НА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС

*Седукова Г.В., Исаченко С.А.*
РНИУП «Институт радиологии», Гомель, Беларусь.

С целью предотвращения производства продукции с высоким содержанием радионуклидов, часть земель после катастрофы на Чернобыльской АЭС была выведена из хозяйственного оборота. Общее количество земель, которые были выведены из оборота, составляло около 260 тыс. га. Выведенные из оборота земли расположены на территории Гомельской и Могилёвской областей. Процессы радиоактивного распада и сорбции в почвенном поглощающем комплексе, выноса радионуклидов создали предпосылки для исключения ряда земель из категории радиационно опасных и перевода в хозяйственное пользование в соответствии с основным целевым назначением или в разряд земель ограниченного хозяйственного пользования. За постчернобыльский период около 17 тыс. га было возвращено в хозяйственный оборот. К категории «радиационные» в настоящее время в районах Гомельской области относится 201 тыс. га, в районах Могилёвской области – 43, 5 тыс. га.

Для оценки реальной ситуации на выведенных из оборота землях, принятия обоснованных управленческих решений о возможности и целесообразности их возвращения в сельскохозяйственный оборот и выработки стратегии управления и использования данной категории земель в РНИУП «Институт радиологии» выполнена их инвентаризация. Оценено культуртехническое состояние «радиационных» земель. Разработаны алгоритмы пригодности отчуждённых земель для использования в качестве пашни и кормовых угодий. В качестве показателей, используемых для оценки пригодности, применены тип почвы, мощность эквивалентной дозы, степень заболоченности, уровень закустаренности участков и диаметр стволов древесно-кустарниковой растительности.

Установлено, что в Гомельской области из общего количества отчуждённых земель, числящихся за сельскохозяйственными организациями (около 31 тыс. га) и принадлежащих к категории земли запаса (около 7 тыс. га), потенциально пригодно для использования в качестве пахотных земель 4,3 тыс. га. Для использования в качестве луговых земель потенциально пригодно около 21 тыс. га. Следует отметить, что 15 тыс. га (68%), вошедших в группу потенциально пригодных, составляют пойменные земли.

Определено, что около 11 тыс. га выведенных из оборота земель и находящихся на балансе сельскохозяйственных организаций и районных исполнительных комитетов, целесообразно передать лесохозяйственным организациям. Данные участки граничат с землями лесного фонда, характеризуются неудовлетворительным культуртехническим состоянием, мелкоконтурностью, не пригодны для использования в сельскохозяйственном производстве.

С целью обеспечения учёта выведенных из оборота земель разработан уникальный Инструментарий по учёту отчуждённых земель. Он представляет собой информационную систему по радиационно-опасным землям, при создании которой использовались принципы комплексности, систематичности и унифицированности. Инструментарий позволяет получать достоверные сведения о состоянии земель, выведенных из оборота после катастрофы на Чернобыльской АЭС, и их изменениях под действием естественных и антропогенных факторов. Кроме этого инструментарий выступает в качестве системы поддержки принятия решения о состоянии земель рассматриваемой категории и дальнейшем управлении ими. Инструментарий выполнен на основе ГИС-технологий.

# РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ $^{234}$TH В ЧЕРНОМ МОРЕ

*Сидоров И. Г.*
Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского, Севастополь, Россия,
igs.mail@yandex.ru

Природный радионуклид $^{234}$Th широко используется как трассер для изучения седиментационных процессов в морских экосистемах. В Черном море он применялся для оценки потоков вещества в глубоководных районах, а так же изучения процессов самоочищения от загрязнителей и выноса органического вещества в верхних слоях водной толщи.

Здесь представлены результаты наших недавних измерений концентрации тория-234 в воде в прибрежных и глубоководных районах Черного моря, а так же в донных отложениях Севастопольской бухты. Был разработан новый метод определения концентрации $^{234}$Th в морской воде, который основан на использовании импрегнированных $MnO_2$ дисковых мини-адсорберов, конструкция которых обеспечивает радиальный проток фильтруемой воды, для увеличения времени пребывания сорбируемого элемента в адсорбере и, тем сам увеличения эффективности сорбции и прямой бета-радиометрии $^{234}$Th и /или его дочернего $^{234m}$Pa. Этот метод позволяет определять концентрацию $^{234}$Th в относительно небольших объемах морской воды (20 – 50 л), с возможностью контроля эффективности сорбции в каждой отдельной пробе. Полевые испытания, которые были проведены в Севастопольской бухте показали применимость предлагаемого метода для оценки потоков частиц в морских экосистемах в широком диапазоне концентраций взвешенного вещества. Измерение содержания $^{234}$Th совместно с $^{40}$K в верхних слоях донных отложений позволило оценить относительный вклад биогенных и литогенных фракций взвешенного вещества и проследить сезонность биогенной седиментации в Севастопольской бухте, которая демонстрировала хорошую корреляцию с сезонной динамикой первичной продукции и максимумами цветения фитопланктона в бухте. Также нами определялись дозовые нагрузки $^{234}$Th на черноморскую красную водоросль рода *Phyllophora*.

# ОЦЕНКА РАДИАЦИОННО-ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ БАЛАКОВСКОЙ И КОЛЬСКОЙ АЭС НА ВОДНУЮ БИОТУ ПО ДАННЫМ МОНИТОРИНГА РАДИАЦИОННОЙ ОБСТАНОВКИ

М.А. Скакунова
НПО «Тайфун» Росгидромета, Обнинск, Россия,
skakunova@rpatyphoon.ru

Важным средством контроля безопасности при использовании ядерной энергии является радиационный мониторинг окружающей среды, под которым понимается система регулярных наблюдений за содержанием радионуклидов в компонентах окружающей среды и другими параметрами радиационной обстановки с целью своевременного выявления и прогноза нежелательных для человека и экосистем последствий. В соответствии с современными представлениями и международной практикой радиационный мониторинг окружающей среды должен быть ориентирован на обеспечение радиационной безопасности человека на социально приемлемом уровне. Социально приемлемый уровень риска предполагает, что риск от радиоактивного загрязнения окружающей среды не должен являться существенным добавлением к суммарному риску, которому подвергается человек и среда его обитания в процессе жизнедеятельности общества. Кроме этого, данные радиационного мониторинга должны позволять делать оценки радиационного воздействия на представительные объекты окружающей среды для обеспечения радиационной защиты биосферы. В настоящее время предпринимаются значительные международные усилия по обеспечению радиационной безопасности окружающей среды, наряду с приоритетным обеспечением радиационной безопасности населения. В новых международных основных нормах безопасности, являющихся базовым документом для обновления и переработки национальных норм радиационной безопасности, сформулирован принцип защиты нынешних и будущих поколений и окружающей среды от радиационных рисков, а также выдвинуто требование о необходимости подтверждения (а не гипотетического предположения) о защите окружающей среды от воздействия радиоактивного загрязнения.

С целью оценки радиационно-экологического воздействия АЭС на компоненты окружающей среды был проведен статистический анализ данных многолетнего мониторинга в зоне наблюдения Балаковской и Кольской АЭС. На основе обобщенных данных радиационного мониторинга окружающей среды проведены оценки мощности дозы облучения референтных объектов водной биоты. Для референтной биоты рассчитывались дозовые нагрузки внутреннего и внешнего облучения от $^{137}$Cs, который является основным радионуклидом, контролируемым в системе мониторинга водоемов БалАЭС и КоАЭС.

Оцененные значения мощности доз облучения гидробионтов водоемов-охладителей Балаковской и Кольской АЭС в два раза и более выше, чем дозы облучения гидробионтов в р. Волга и оз. Имандра соответственно, поскольку максимальные значения загрязнения радионуклидами наблюдаются в сбросном канале водоемов-охладителей. Показано, что дозы облучения референтных видов водной биоты в районе Балаковской и Кольской АЭС, рассчитанные на основе данных радиационного мониторинга, на несколько порядков ниже безопасных уровней облучений (БУОБ) водных организмов.

Согласно полученным оценкам, для биоты водоемов в районе Балаковской и Кольской АЭС не ожидается проявления детерминированных радиационных эффектов на жизнеспособность, репродуктивность и продолжительность жизни.

# РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В МЕСТАХ ПРОВЕДЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ И ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ НА РАДИОАКТИВНОЕ СЫРЬЕ В ЯКУТИИ

*П.И.Собакин, Я.Р.Герасимов, А.А.Перк*
Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, Якутск, Россия,
radioecology@yandex.ru

Проведены комплексные радиоэкологические исследования в местах проведения мирных подземных ядерных взрывов (МПЯВ) “Кратон-3”, “Кимберлит-4” и “Горизонт-4”. Работы включали наземную радиометрическую и гамма-спектрометрическую съемки с отбором проб (воды, донных отложений, почв и растений). В результате составлены карты гамма-поля по мощности экспозиционной дозы, распределения площадной активности $^{137}$Cs и концентраций естественных радионуклидов (калий, уран и торий) в местах проведения МПЯВ. Показано, что современная радиоэкологическая ситуация в районах проведения МПЯВ “Кимберлит-4” и “Горизонт-4” относительно благополучна. В то же время в зоне воздействия МПЯВ “Кратон-3” в целом сохраняется неблагоприятная радиоэкологическая обстановка, характеризующаяся на отдельных его участках повышенным уровнем гамма-излучения (до 270 мкР/ч) и мозаичностью радионуклидного загрязнения почвенно-растительного покрова. В настоящее время максимальная плотность загрязнения почв радионуклидами на самом близком от устья скважины участке (190 м) составляет: для $^{137}$Cs – 1628,3 кБк/м$^2$, $^{90}$Sr – 841,2 кБк/м$^2$, $^{239,240}$Pu – 23,8 кБк/м$^2$ и $^{238}$Pu – 1,2 кБк/м$^2$, что на два-три порядка величин превышает уровни их глобальных выпадений в данном районе. В радиоактивном следе на водоразделе р. Марха содержание $^{137}$Cs, $^{90}$Sr, $^{239,240}$Pu и $^{238}$Pu в изученных видах высших и низших растений варьирует в широких пределах от $3\cdot10^{-2}$ до $2{,}7\cdot10^{4}$ Бк/кг воздушно-сухой массы, что в 40-5000 раз превышает их фоновый уровень. В результате радиоэкологических работ на участках законсервированных урановых месторождений Интересное, Дружное, Весеннее, Таёжное, Снежное и Агда (Алданское нагорье), выявлены отвалы радиоактивных пород, ранее не обнаруженные. Наиболее высокие значения мощности экспозиционной дозы фиксируются в отвалах горных выработок месторождений Дружное, Снежное, Интересное и Агда (до 400-1600 мкР/ч). Концентрации $^{40}$K в исследованных породах отвалов варьируют от 2,0 до 9,5 %, $^{238}$U – от 5,4 до $1250\cdot10^{-4}$ %, а $^{232}$Th – от 2,3 до $144{,}0\cdot10^{-4}$ %. При этом содержание радона на открытом воздухе на участках месторождений Интересное, Элькон и Дружное находятся в пределах 35-208 Бк/м$^3$, а плотности его потока с поверхности отвалов варьируют от 37 до 343 мБк/с·м$^2$. Полученные значения существенно превышают фоновые величины. Содержание урана в золе изученных растительных проб (высшие сосудистые растения, мхи и лишайники) в зоне воздействия отвалов изменяется от 3 до $555\cdot10^{-4}$ %, $^{226}$Ra – от 10 до $1223\cdot10^{-11}$ %, что в 2-40 раз превышает их фоновые концентрации. Среди растений наибольшее количество урана аккумулировали гидрофильные мхи (*Nygrohypnella ochraceoa*, *Sphagnum teres*) – $365\text{-}555\cdot10^{-4}$ %, а радия – ольха (*Alnus* sp.) – $1223\cdot10^{-11}$ %. В большинстве случаев на обследованных точках содержание $^{238}$U в воде водотоков соответствует региональному фоновому уровню ($1{,}3\text{-}5{,}9\cdot10^{-7}$ г/л), и только в воде ручья правого притока р. Холодная на участке месторождения Агда концентрация урана примерно на порядок превышает фоновый его уровень. В то же время вблизи отвалов радиоактивных пород (Дружное, Интересное и Таёжное) концентрация радона в 3-11 раз выше его фоновой величины и составляет 20-70 Бк/л.

# БИОЛОГИЧЕСКАЯ ДОСТУПНОСТЬ АМЕРИЦИЯ РАСТЕНИЯМ И ВОЗМОЖНОСТИ ЕЕ УМЕНЬШЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ ГУМИНОВОКИСЛОТНЫХ ПРЕПАРАТОВ

*Г.А. Соколик, С.В. Овсянникова, Т.Г. Иванова, М.В. Попеня, С.Л. Лейнова*
Белорусский государственный университет, Минск, Республика Беларусь,
sokolikga@mail.ru

Цель настоящей работы — проанализировать биологическую доступность америция растениям на территории, загрязненной техногенными радионуклидами, и рассмотреть возможности использования препаратов на основе гуминовых кислот (ГК) для увеличения степени его закрепления в почве и снижения поступления в растения.

Объектами исследования служили сопряженные образцы луговых трав и 0–20 см слоев почв, отобранных на территории Полесского государственного радиационно-экологического заповедника (ПГРЭЗ) и в приграничных районах.

Биологическую доступность америция оценивали по коэффициентам перехода (КП, $м^2$/кг) $^{241}$Am из почвы в надземную часть растений, а способность почв закреплять радионуклид — по коэффициентам распределения радионуклида ($K_d$) между твердой фазой и поровыми водами почв, полученными методом высокоскоростного центрифугирования водонасыщенных почвенных образцов на установке SIGMA-4-10. Сорбционную способность ГК препаратов по отношению к $^{241}$Am изучали в лабораторных условиях и оценивали по коэффициентам распределения $^{241}$Am между почвенными растворами с известными характеристиками и анализируемыми препаратами после их внесения в растворы и выдерживания в контролируемых условиях до достижения межфазного равновесия. Содержание $^{241}$Am в образцах почвы, растительности и почвенных вод определяли методом радиохимического анализа.

Установлено, что биологическая доступность $^{241}$Am растительности одинаковой видовой принадлежности *(Carex acuta)* на песчаных и супесчаных дерново-подзолистых и дерновых почвах была выше, чем на торфяных, о чем свидетельствовали соответствующие величины КП: $(6\div15)\cdot10^{-4}$ и $(1\div2)\cdot10^{-4}$ $м^2$/кг. При этом коэффициенты $K_d$ в торфяных почвах (2 600–3 500) заметно превышали соответствующие коэффициенты в минеральных почвах (80–390), что указывает на более высокую способность торфяных почв закреплять америций. Это связано с тем, что америций образует комплексные соединения практически со всеми группами органического материала почв, а в торфяных почвах в составе органического вещества преобладают высокомолекулярные и малорастворимые компоненты, тогда как в минеральных почвах доля таких компонентов намного ниже. Поэтому простейшим мероприятием, увеличивающим степень закрепления америция в минеральных почвах, является их торфование. В результате сорбционных экспериментов установлено, что выделенные из торфа ГК препараты способны еще более эффективно закреплять америций. Высокая эффективность свойственна препаратам с массовой долей высокомолекулярных (более 50 000 а.е.м.) ГК не менее 40 % и суммарным содержанием карбоксильных и гидроксильных функциональных групп 3-4 моль/кг при концентрации карбоксильных групп 1 моль/кг и выше. По способности связывать $^{241}$Am они в 7-14 раз превосходили изученные образцы торфяных почв. Подобные препараты обладают значительными резервами в отношении снижения подвижности и биологической доступности не только америция, но и других актинидов, а также радионуклидов, способных к образованию малорастворимых комплексных соединений с ГК. Рассмотренные препараты экологически безопасны и кроме уменьшения негативных последствий загрязнения почв радионуклидами способствуют повышению плодородия и продуктивности сельскохозяйственных угодий.

# ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ РЕАБИЛИТАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ НА РАДИОАКТИВНО ЗАГРЯЗНЕННЫХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ УГОДЬЯХ

*Н.А. Сотникова, А.В. Панов*
Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии
ФАНО, Обнинск, Россия,
biology07@rambler.ru

В настоящее время, на восстановительной стадии после аварии на ЧАЭС, актуальной становится задача оптимизации реабилитационных мероприятий, оценки их эколого-экономической эффективности и целесообразности. Для решения задач производства сельскохозяйственной продукции, удовлетворяющей радиологическим нормативам, разработан компьютерный модуль «Оценка эколого-экономической эффективности реабилитационных технологий в хозяйствах, расположенных на радиоактивно загрязненных территориях (ОЭРТ-Р)». Модуль создан в виде Excel файла с удобным пользовательским интерфейсом. Меню модуля включает в себя шесть взаимосвязанных блоков: «Главная», «Растениеводство», «Кормопроизводство», «Животноводство», «Отчет» и «Справочник», содержащих поля для ввода исходных данных и вывода результатов расчетов: «Характеристика хозяйства», «Характеристика участка», «Анализ данных» и «Характеристики реабилитационных технологий».

Созданный модуль, для выполнения расчетов, наполнен данными по:

- изменению урожайности сельскохозяйственных культур (озимая рожь, ячмень, овес, картофель, овощи) и продукции кормопроизводства (сенаж, сено, силос) при внедрении различных вариантов стандартных и реабилитационных технологий;
- кратности снижения содержания $^{137}$Cs в сельскохозяйственной продукции при внесении различных доз минеральных удобрений (азотных, фосфорных, калийных) и извести, а также по объемам применения агромелиорантов при использовании различных технологий (стандартных и реабилитационных).

Расчеты эффективности реабилитационных технологий в модуле позволяют получать три группы показателей, необходимых для сравнения и анализа оптимального использования агромелиорантов:

- радиологические (снижение удельной активности $^{137}$Cs в продукции при применении тех или иных технологий, доля продукции с превышением норматива, предотвращенная коллективная доза облучения населения);
- экономические и хозяйственные (урожайность, прибавка урожая, стоимость соответствующей и не соответствующей нормативу продукции, дополнительный доход, затраты на производство продукции, затраты, связанные с технологией, прирост прибыли от реализации продукции, рентабельность дополнительных затрат);
- радиолого-экономические (стоимость предотвращенной коллективной дозы).

На основе разработанного модуля проведена оценка эколого-экономической эффективности внедрения реабилитационных технологий в области ведения растениеводства и кормопроизводства в хозяйствах трех южных районов Калужской области, подвергшихся воздействию от аварии на ЧАЭС. Для каждого хозяйства с наибольшими уровнями загрязнения $^{137}$Cs, определены оптимальные реабилитационные технологии ведения сельскохозяйственного производства. Таким образом, применение ОЭРТ-Р дает возможность провести, помимо радиологической, оценку экономической эффективности внедрения реабилитационных технологий, что позволяет повысить конкурентоспособность ведения сельского хозяйства на радиоактивно загрязненных территориях.

Исследования проведены при финансовой поддержке Российского гуманитарного научного фонда и Правительства Калужской области (проект № 14-12-40013а(р)).

# РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ РИСКИ ПРИ НОРМАЛИЗОВАННЫХ И АВАРИЙНЫХ ВЫБРОСАХ ПРЕДПРИЯТИЙ ЯДЕРНОГО ТОПЛИВНОГО ЦИКЛА

*С.И. Спиридонов, Е.И. Карпенко, Р.А. Микаилова, Л.А. Шарпан, В.Э. Куртмулаева*
Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии
ФАНО, Обнинск, Россия,
spiridonov.si@gmail.com

Экологическая безопасность атомных электростанций (АЭС) и других предприятий ядерного топливного цикла (ЯТЦ) относится к числу основных проблем, решение которых определяет перспективы развития атомной энергетики. Обоснование инновационных ядерных технологий невозможно без анализа различных радиоэкологических ситуаций, связанных с загрязнением окружающей среды на этапах существующих в настоящее время и планируемых ЯТЦ.

В качестве количественных показателей оценки влияния радиационного фактора на объекты окружающей среды и население можно рассматривать радиоэкологические риски, расчет которых основан на сопоставлении дозовых нагрузок и критериев риска (дозовых пределов). В общем случае, эти показатели могут носить детерминистский или вероятностный характер с учетом “временного” и “пространственного” аспектов.

Выполнены расчеты, базирующиеся на исходных данных проекта МАГАТЭ INPRO ENV, посвященного анализу последствий поступления радионуклидов в окружающую среду при *штатной работе* АЭС. Оценка доз облучения населения в результате атмосферных выбросов различных АЭС проводилась на основе точечного консервативного подхода. Результаты оценок варьируют в зависимости от составов радиоактивных выбросов, определяемых типами АЭС и перечнями контролируемых радионуклидов. Наибольший вклад (48-79%) в суммарную дозовую нагрузку вносит внутреннее облучение от употребления загрязненных продуктов питания.

Планирование инновационной ядерной энергетики в России предусматривает естественную безопасность реакторов на основе физических принципов и конструкционных решений. В то же время, существует вероятность непредвиденных *нештатных и аварийных ситуаций* на объектах ЯТЦ по причинам внешнего характера, к которым относятся природные катаклизмы и “человеческий фактор”.

Обоснована необходимость сравнительных оценок воздействия на окружающую среду радиоактивных выбросов в результате проектных и запроектных аварий на предприятиях существующих и планируемых ЯТЦ (*задачи обоснования*). Предлагается подход к выполнению такой оценки, в рамках которого рассчитываются распределения дозовых нагрузок на референтные природные объекты, расположенные на территории, подвергшейся радиоактивным выпадениям. Итоговыми сравнительными показателями являются риски превышения пороговых дозовых нагрузок.

Предложенный подход реализован при выполнении проекта МАГАТЭ INPRO ENV-PE с использованием в качестве исходных данных характеристик атмосферного выброса в результате запроектной аварии на реакторе PHWR-750. Риск превышения пороговой мощности дозы 1 мГр/сут для референтого соснового насаждения по истечении первого года после выпадений составляет 38%. Ключевым вопросом при решении *задач прогнозирования* последствий аварийных выбросов для природных объектов, является разработка критериев риска с учетом динамики дозовых нагрузок и изменения этих объектов под воздействием радиационного фактора.

# БАЛАНС ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ОПАСНОСТИ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ ЯДЕРНОГО ТОПЛИВНОГО ЦИКЛА И ПРИРОДНОГО УРАНА ДЛЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

*Е.В. Спирин, Р.М. Алексахин, С.И. Спиридонов*
Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии ФАНО, Обнинск, Россия,
spirin@riar.obninsk.org

Уменьшение потенциальной опасности радиоактивных отходов для человека и окружающей среды – одна из ключевых задач развития ядерной энергетики. Задачу решают путем уменьшения количества отходов с применением трансмутации долгоживущих радионуклидов и изоляцией отходов в контролируемых хранилищах и глубинных захоронениях. Для обоснования окончательного захоронения высокоактивных отходов с исключением контроля используют концепцию радиационной эквивалентности – максимального приближения потенциальной биологической опасности отходов к потенциальной опасности добываемого природного урана.

Время достижения радиационного баланса по дозовым критериям воздействия на человека и окружающую среду существенно зависит от способов выработки ядерной энергии, обращения с радиоактивными отходами и миграционной способности долгоживущих радионуклидов. Выполнен расчет доз облучения организмов наземных экосистем актиноидами и эквивалентной массой природного урана при разных режимах работы тепловых реакторов. Анализ полученных результатов показал, что радиационный баланс в приемлемое время 300–500 лет (время до полного распада продуктов деления и гарантированного неразрушения контейнеров с отходами) возможен при выделении из ОЯТ урана и плутония, а также трансмутации минорных актиноидов. Наибольший вклад в дозовую нагрузку на млекопитающих при выделении урана и плутония после 3-летней выдержки из отработавшего топлива реактора ВВЭР-440 (обогащение 3,6%) вносит $^{241}$Am. Через 30 лет вклад этого радионуклида составляет 59% (вклад $^{244}$Cm - 40%), а через 300 лет возрастает до 97%.

Очевидно, что удаление из отработавшего топлива дополнительно изотопов америция может значительно улучшить условия соблюдения радиационного баланса отходов и природного сырья. Во всех режимах работы реактора при выделении урана, плутония и трансмутации америция после 3-летней выдержки отработавшего топлива, остаточное количество 0,1% удаленных радионуклидов обеспечивает достижение радиационного баланса не более, чем через 300 лет. При наименьшем выгорании топлива степень очистки отработавшего топлива может составлять 99%, или 1% удаленных радионуклидов может оставаться в отходах без нарушения радиационного баланса в приемлемое время. Это подтверждает выводы, основанные на сравнении потенциальной биологической опасности эквивалентной массы урана и наработанных актиноидов для человека по дозовому критерию при пероральном потреблении радионуклидов.

Учет отвального урана при его полном сжигании в замкнутом топливном цикле сильно нарушает баланс потенциальной опасности, если не принимать в расчет разную миграционную способность актиноидов и радионуклидов из урановых цепочек. Компенсировать разницу в потенциальной опасности долгоживущих высокоактивных отходов можно, например, за счет захоронения отходов на большую глубину, по сравнению с урановыми месторождениями. Другие условия нарушения баланса и возможные методы компенсации также обсуждаются в докладе.

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОДЗЕМНЫХ ВОД – ИСТОЧНИК ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ОБЛУЧЕНИЯ НАСЕЛЕНИЯ И ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

*И.П.Стамат, Э.П.Лисаченко*
Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены им. П.В.Рамзаева, Санкт-Петербург, Россия,
istamat@mail.ru

Доля подземных вод в хозяйственно-питьевом водоснабжении населения Российской Федерации составляет около 45 %, а в 35 субъектах она превышает 70 %, достигая в отдельных регионах 100%. Огромные объемы воды используются в технологиях металлургических и целлюлозно-бумажных производств, ТЭС, в геотермальной энергетике, являются сырьем при получении йода, брома и ряда других ценных элементов.

Обогащение подземных вод изотопами радия является геохимической закономерностью. Общим для всех технологий использования подземных вод является постепенное накопление изотопов радия на фильтрующих элементах систем водоочистки и в осадках на внутренних поверхностях технологического оборудования, которые при выводе из эксплуатации, ремонтных и регламентных работах становятся производственными отходами с широким диапазоном удельной активности изотопов радия. Радиационная значимость процессов переработки и использования определяется (наряду с концентрацией радия в воде, которая может быть и не велика), мощностью водного потока, длительностью эксплуатации оборудования, технологическими особенностями производства и т.п.

По мере накопления в оборудовании осадков с высоким содержанием изотопов радия производственные участки становятся источником дополнительного облучения работающих, а производственные отходы с повышенным содержанием природных радионуклидов являются источниками потенциального облучения работников, населения и объектов окружающей среды. Иллюстрацией этого являются результаты радиационного обследования систем водоочистки в Твери и в Ленинградской области: коэффициент перехода $^{226}$Ra в производственные отходы характеризуется величиной $n \cdot 10^4$; мощность дозы гамма-излучения на отдельных рабочих местах достигает 4 мкЗв/ч, а удельная активность $^{226}$Ra в отходах составляет 18÷40 кБк/кг при коэффициенте эманирования радона из отходов 0,6÷0,9. В Туркмении за время работы двух йодных заводов накоплены около 100000 м$^3$ производственных отходов с эффективной удельной активностью природных радионуклидов до 100 кБк/кг; на территории действующего завода мощность дозы гамма-излучения достигает 5 мкЗв/ч и более. Эффективные дозы облучения работников на отельных участках составляют 5÷10 мкЗв/год и более.

Во многих развитых странах предприятия по добыче, переработке и промышленному использованию подземных природных вод отнесены к радиационно опасным объектам. Перспектива интенсивного развития всех направлений использования подземных вод во многих регионах нашей страны требует более подробного исследования этого источника радиационного воздействия на население и окружающую среду и разработки специальных требований по его снижению. Бесконтрольное использование подземных вод неизбежно приведет к увеличению численности населения, которое окажется под радиационным воздействием в связи с поступлением природных радионуклидов в сферу производства и окружающую среду.

# ВЛИЯНИЕ ИОНИЗИРУЮЩЕГО И ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЙ НА КРОВЕНОСНУЮ СИСТЕМУ ЖИВОТНЫХ

*Д.Г. Сташкевич, Е.М. Кадукова, М.А. Бакшаева, Д.В. Тютрюмова, А.Д. Наумов*
Институт радиобиологии НАН Беларуси, Гомель, Беларусь,
stashkevich1@gmail.com

В настоящее время вопрос влияния на здоровье мобильных телефонов активно обсуждается в литературе. Проблема дискуссионная: в одних работах доказывается отрицательное влияние, в других опровергается это утверждение. Специфика системы сотовый телефон - организм предполагает нахождение человека в ближней зоне действия электромагнитных излучений (ЭМИ) - в такой ситуации по-другому происходит их взаимодействие. До конца не ясным остается влияние ЭМИ диапазона сотовой связи на кровеносную систему, что особенно актуально для регионов с радиационным загрязнением.

Исследования выполнены на белых крысах-самках (исходный генотип Вистар). Животных 6 мес возраста облучали в дозах 1,0 Гр и 0,5 Гр на установке ИГУР (источник γ-лучей $^{137}$Cs, мощность дозы 46,2 сГр/мин), а также подвергали действию ЭМИ на экспериментальной установке, имитирующей сигнал мобильной связи с частотой 900±3 МГц ежедневно по 8 ч фракциями в течение 15 суток. Изучены показатели работы изолированного сердца, электрокардиограмма (ЭКГ), проведены исследования некоторых характеристик крови животных. Группы: Контроль, Облучение в дозе 0,5 Гр, Облучение в дозе 1 Гр, ЭМИ 900 МГц; 0,5 Гр + ЭМИ 900 МГц, 1 Гр + ЭМИ 900 МГц. Эксперимент поставлен на 15 сутки после облучения.

Установлено, что на 15 сут после воздействия ионизирующего излучения и после ЭМИ 900 МГц происходит увеличение максимальной скорости нарастания систолического давления в группе 0,5 Гр + ЭМИ, а также отмечена тенденция к повышению скорости расслабления миокарда в группах животных, подвергнутых облучению в дозах 1,0 Гр и 0,5 Гр и воздействию ЭМИ, в то время как хронотропная функция сердца во всех группах не отличается от контроля. Изменения сократимости сердечной мышцы могут быть обусловлены наступающими после воздействия ионизирующего излучения нарушениями функционального состояния мембраносвязанных ферментов и рецепторов. Очевидно, ЭМИ не оказывает значительного влияния на выраженность и направленность радиационно-индуцированных модификаций в сократимости сердца.

Воздействие ЭМИ на животных вызвало изменения в электрокардиограмме сердца. Так после действия ЭМИ наблюдалось увеличение зубца Р, что может говорить о снижении проводимости нервного импульса в предсердии. Кроме того, отмечено незначительное увеличение интервалов QRS, Q-T, что может свидетельствовать о снижении проводимости нервного импульса в желудочках. При дозе облучения 0,5 Гр и воздействие ЭМИ отмечен рост зубца Р и интервала Q-T. Облучение в дозе 1 Гр приводило к возрастанию интервалов QRS, Q-T.

Отмечено значимое повышение суммарного уровня нитратов и нитритов в плазме крови экспериментальных животных, подвергнутых электромагнитному облучению (15 сут после воздействия) и облучению в дозе 1,0 Гр. При совместном воздействии неионизирующего и ионизирующего излучений в указанных выше дозах достоверных отличий по данному параметру не выявлено. Статистически значимые отличия по гематологическим показателям установлены только для содержания гемоглобина (снижение) в экспериментальных группах, подвергнутых как электромагнитному облучению, так и совместному воздействию неионизирующего и ионизирующего излучения.

# ЗАВИСИМОСТЬ СЕЛЕКТИВНОЙ СОРБЦИИ $^{137}Cs$ ПОЧВАМИ И СОРБЕНТАМИ ОТ КОНЦЕНТРАЦИИ $K^+$, $NH_4^+$ И $Ca^{2+}$

*Степина И.А., Попов В.Е.*
НПО «Тайфун», Обнинск, Россия,
stepina@rpatyphoon.ru

Сорбция следовых количеств $^{137}Cs$ почвами и минеральными сорбентами определяется емкостью селективных по отношению к $^{137}Cs$ сорбционных мест в области боковых клинообразных расширений минералов группы иллита, так называемых FES. Известно, что в результате стерических затруднений большие гидратированные катионы типа $Ca^{2+}$ слабо конкурируют за селективные сорбционные места с катионами меньшего гидратированного размера $K^+$ и $NH_4^+$. Основным параметром для расчета сорбционных коэффициентов распределения $^{137}Cs$ $K_d$ является потенциал связывания радиоцезия по отношению к $K^+$ (RIP(K)). Величина RIP(K) определяется как произведение коэффициента селективности ионного обмена следовых количеств $Cs^+$ и $K^+$ $K_c(Cs/K)$ на емкость FES. В настоящее время считается, что величина RIP(K) не зависит от концентрации $K^+$ и $NH_4^+$. Вместе с тем имеются данные о существовании пороговой концентрации $NH_4^+$, при которой происходит коллапс клинообразных сорбционных мест и, таким образом, изменение их сорбционной емкости. Целью настоящей работы являлось изучение зависимости селективной сорбции $^{137}Cs$ почвами и различными сорбентами от концентрации $Ca^{2+}$, $K^+$ ($\mathbf{C_K}$) и $NH_4^+$.

Для изучения селективной сорбции $^{137}Cs$ был использован стандартный метод ограниченного объема и разработанный авторами динамический метод изучения сорбции $^{137}Cs$ с помощью измерения радиоактивности в твердой фазе. Навеску сорбента помещали в шприцевой мембранный фильтр (**МФ**) и промывали растворами содержащими 0.5-8 ммоль/дм$^3$ $K^+$, 100 ммоль/дм$^3$ $Ca^{2+}$ и 1 кБк/ дм$^3$ $^{137}Cs$. Долю сорбированного $^{137}Cs$ определяли по адсорбционному плато на кинетической кривой зависимости радиоактивности образца от времени. Сорбцию $^{137}Cs$ измеряли в твердой фазе сорбента, помещая МФ в колодец гамма счетчика WIZARD-1418.

Было обнаружено, что влияние концентрации $Ca^{2+}$ в диапазоне от 1 до 100 ммоль/дм$^3$ при постоянной концентрации $K^+$ на селективную сорбцию $^{137}Cs$ иллитом определяется только изменением ионной силы раствора. При этом обнаружено практически полное отсутствие влияния концентрации $Ca^{2+}$ на кинетику сорбции $^{137}Cs$. Обнаружено увеличение потенциалов связывания радиоцезия в $^{137}Cs$ в почвах и сорбентах при увеличении концентрации $K^+$ и $NH_4^+$. Только для гранита обнаружено увеличение RIP(K) при уменьшении концентрации $K^+$ менее 4 ммоль/дм$^3$. Выявлены две области влияния концентрации $K^+$ на селективную сорбцию $^{137}Cs$. При $C_K$ > 4-10 ммоль/дм$^3$ величина RIP(K) постоянна, а при $C_K$ < 4-10 ммоль/дм$^3$ величина RIP(K) уменьшается при уменьшении $C_K$. Предположено, что это уменьшение обусловлено структурными изменениями клинообразных сорбционных мест. Косвенным подтверждением этого является увеличение обменной доли $^{137}Cs$ и констант скорости сорбции при увеличении $C_K$. На основе зависимостей селективной сорбции $^{137}Cs$ от $C_K$ и температуры, полученных с помощью метода сорбционного плато, были рассчитаны термодинамические параметры селективной сорбции $^{137}Cs$ иллитом. Было обнаружено, что величина энтальпии сорбции $^{137}Cs$ иллитом была существенно выше обычно измеряемых энтальпий ионного обмена макроколичеств ионов цезия минеральными сорбентами (от -5 до -10 кДж/моль), практически не зависела от времени сорбции и концентрации конкурентного катиона и изменялась от -30 до -32 кДж/моль.

# РАЗРАБОТКА ГЕОФИЛЬТРАЦИОННО-ГЕОМИГРАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ПОЛИГОНА ЗАХОРОНЕНИЯ ЖРО «СЕВЕРНЫЙ»

*В.В.Сускин*[1], *В.А.Иванов*[2]
Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН,
Москва, Россия,
[1]suskinviktor@mail.ru,[2]tleo.ivanov@gmail.com

Для оценки безопасности полигона захоронения жидких радиоактивных отходов (ЖРО) «Северный» в эксплуатационный и постэксплуатационный периоды, оптимизации процессов закачки и выработки решений по созданию мониторинговой сети необходимо построение геофильтрационной и геомиграционной моделей полигона.

Трёхмерная геофильтрационная модель полигона «Северный» была создана с помощью специального программного кода, разрабатываемого в ИБРАЭ РАН. Для её построения были использованы возможности этого кода по моделированию нестационарной насыщенной фильтрации и, в части массопереноса, – адвекции, молекулярной диффузии и гидродинамической дисперсии. Границами модели служили естественные дрены – р. Енисей и р. Кан и выходы на поверхность коренных пород архейского возраста, которые задавались как непроницаемые границы. В вертикальном разрезе на модели выделены 10 слоёв, соответствующие основным геологическим горизонтам, определённым по данным бурения. Для всех слоёв были заданы коэффициенты фильтрации, вычисленные с помощью оптимизационного алгоритма PEST (англ. – parameter estimation). Получение распределения коэффициента фильтрации является важной частью данной работы. В модели учитывались фактические данные замеров уровней в наблюдательных скважинах на весь период эксплуатации, то есть режим потока принимался нестационарным. Также задавались параметры гравитационной водоотдачи и инфильтрационного питания.

Расчётный срок моделирования составляет 43 года с начала эксплуатации полигона с шагом в 10 дней. Калибровка фильтрационной модели проводилась по параметрам гравитационной водоотдачи горизонтов, коэффициенту фильтрации донных отложений рек, инфильтрационному питанию и коэффициенту фильтрации локального разлома.

Калибровка модели геомиграции проводилась на основе сопоставления расчетных фронтов миграции с фактическими данными. При этом оценивались следующие параметры – активная пористость, дисперсия и диффузия.

В результате проделанной работы были построены и откалиброваны геофильтрационная и геомиграционная модели полигона захоронения «Северный», получены ареалы распространения нитратов. Модель будет использована для прогноза миграции ЖРО и создания управляющей модели полигона, которая позволит оценить дополнительные воздействия эксплуатации полигона на окружающую среду и на человека. Так же, с помощью данной модели будет возможно проведение дозовой оценки влияния полигона и получение знаний о возможных последствиях при катастрофах и других чрезвычайных ситуациях.

# ОЦЕНКА РАДИАЦИОННОГО РИСКА И ХАРАКТЕРИСТИКА ЕГО НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЕЙ ДЛЯ БИОЦЕНОЗА РЕГИОНАЛЬНОГО ХРАНИЛИЩА РАО

*Б.И.Сынзыныс, О.А.Мирзеабасов, Г.В.Лаврентьева, О.А.Момот, Р.Р.Шошина*
ИАТЭ НИЯУ МИФИ, Обнинск, Россия, synzynys@obninsk.ru

Проблема ядерного наследия в области обращения с радиоактивными отходами (РАО) в последние годы стала приоритетной не только в МАГАТЭ (ОНБ-2011), но и в Госкорпорации «Росатом». Одним из научных подходов для решения этой проблемы является создание технологии прогнозирования состояния экосистем, сопряженных с хранилищами РАО.

Цель доклада: представить технологию оценки радиационного риска для биоценоза, сопряженного с региональным хранилищем РАО.

Объектом исследования служила биота лесной экосистемы, расположенной в пределах надпойменной террасы р. Протвы в районе г. Обнинска. В пределах этой экосистемы находится «историческое» (с 60-летней историей) хранилище РАО. Основным дозообразующим радионуклидом является Sr-90, формирующий локальные «пятна» в верхних слоях почвы с различным уровнем радиоактивного загрязнения и, соответственно, поглощенной дозы облучения для микрофлоры почвы, растительности и моллюсков.

Прогноз долгосрочного существования биоты, в частности популяции моллюсков, осуществляли по схеме оценки экологического риска, реализуемой в виде 6 модулей: 1) выбор экосистемы или популяции организмов, для которых проводится оценка риска, 2) определение референтных видов организмов и показателей их жизнедеятельности, 3) расчет «критических нагрузок» на популяцию по зависимости «поглощенная доза - биологический эффект», 4) характеристика экологического риска по картографированию территории экосистемы с помощью ГИС-технологий с применением программного пакета R, 5) сравнение полученных данных с величиной приемлемого риска, который предполагает 95%-ную защищенность территории, при которой площадь биотопа с превышением критических нагрузок на популяцию составляет не более 5%, 6) анализ неопределенностей в оценке риска.

Сравнение зависимостей «доза-эффект» для различных организмов, населяющих экосистему с хранилищем РАО, позволил выбрать в качестве референтного вида сухопутного моллюска – кустарниковую улитку *Bradybaena fruticum*, а в качестве референтного показателя – коэффициент накопления радиоактивного стронция в раковинах моллюсков, обитающих на крапиве двудомной *Urtica dioica*. В качестве критической нагрузки на популяцию моллюсков выбрана доза бета-излучения стронция, равная 20,2 мГр/год. Эта доза соответствует медиане для степенной функциональной зависимости коэффициента накопления Sr-90 в раковинах от поглощенной дозы внешнего облучения моллюсков. В таком случае риск для существования популяции моллюсков данного вида составляет 90,1% и явно неприемлем. В работах (J. Garnier-Laplace et al., 2006; P. Andersson et al., 2008) в качестве пороговой мощности дозы при облучении биоты, включая беспозвоночных животных, предлагается 0,24 мГр/сут или 87,6 мГр/год. Соответствующий этой дозе риск для популяции моллюсков изучавшегося вида равен 21,2% и также неприемлем. В Публикации 91 МКРЗ (2003 г.), когда впервые был поставлен вопрос о поисках подходов к радиационной защите биоты, в качестве безопасного уровня облучения любых моллюсков предлагалась мощность дозы 10 мГр/час или 880 мГр/год. Максимально реализуемая на хранилище РАО (г. Обнинск) доза облучения составляет 220 мГр в год, и с этих позиций риск для популяции моллюсков будет нулевым.

# ОСОБЕННОСТИ МИГРАЦИИ ПЛУТОНИЯ В ЧЁРНОМ МОРЕ ПОСЛЕ АВАРИИ НА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС

*Н.Н. Терещенко, С.Б. Гулин, В.Ю. Проскурнин, В.Н. Егоров*
Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского, Севастополь, Россия,
n.tereshchenko@ibss.org.ua

Опыт ликвидации и предупреждения последствий радиационной аварии на Чернобыльской АЭС продемонстрировал насущную необходимость изучения радиоэкологических закономерностей миграции радионуклидов в окружающей среде для прогнозирования состояния и осуществления оперативных и действенных мер по ликвидации и минимизации вредных последствий таких аварий. Поэтому в постчернобыльский период наши исследования были посвящены изучению миграции радиоизотопов плутония ($^{239,240}$Pu) в экосистеме Чёрного моря. Цель работы состояла в выявлении закономерностей этих процессов и их особенностей для использования полученных результатов в качестве научной основы оценки и прогноза радиоэкологической ситуации в широком спектре возможных концентраций радионуклидов плутония в черноморской воде в результате любых нормативных и нештатных поступлений радионуклидов в окружающую среду.

Радиоэкологические исследования проводились в 1986-2013 гг. Пробы были отобраны в ходе многочисленных морских и прибрежных экспедиций. При выделении $^{239,240}$Pu осуществляли термическую и химическую обработку природных образцов, затем хроматографическую очистку и разделение изотопов плутония с помощью ионообменных смол с последующим изготовлением тонкослойных препаратов и измерением образцов на альфа-спектрометре “EG&G ORTEC OCTÊTÊ PC”. Оценку химического выхода изотопов плутония проводили с помощью радиоактивного изотопа $^{242}$Pu.

Как известно, Чёрное море имеет в своих глубинах (глубже 200 м) сероводородную зону с восстановительными свойствами, что приводит к смене форм химических элементов (Pu относится к f-элементам, имеет переменную валентность от III до VI в зависимости от условий среды) и изменению их ассоциации со взвесью. Чёрное море является мезотрофным водоёмом из-за поступления большого количества речных вод (~ 350 км$^3$·год$^{-1}$), которые приносят с собой значительное количество биогенных элементов, а также апвеллинга обогащённых биогенами глубинных черноморских вод, что вызывает повышенную продуктивность моря и, как следствие, усиленный поток биоседиментации в донные отложения. Перечисленные факторы способствовали ускорению вертикальной миграции Pu в толще черноморских вод, сравнительно короткому времени пребывания Pu в поверхностных водах и депонированию его в донных отложениях. Горизонтальное распределение $^{239,240}$Pu в донных осадках моря имеет пятнистый характер, что связано, с одной стороны, с составом осадков, а с другой, ─ с историей поступления загрязнения и, в частности, близостью к устьям Днепра, Буга, Дуная, Северо-Крымского канала. Эти факторы обусловили наличие в море потенциально-критических зон накопления $^{239,240}$Pu. Проведены количественные оценки потоков $^{239,240}$Pu из водной толщи в донные отложения в шельфовой и в глубоководной зонах Чёрного моря.

# ВКЛАД ЗЕЛЕННЫХ ОВОЩНЫХ КУЛЬТУР В ФОРМИРОВАНИЕ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ДОЗЫ ВНУТРЕННЕГО ОБЛУЧЕНИЯ НАСЕЛЕНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

*Е.А.Тимченко*
Институт радиологии, Гомель, Беларусь,
lenatimchencko@yandex.by

Зеленные овощные культуры являются одним из ценнейших поставщиков витаминов, минеральных солей, эфирных масел, фитонцидов, пищевых волокон и углеводов, необходимых для нормального функционирования живого организма. Овощи способны адсорбировать и выводить из организма радионуклиды и соли тяжелых металлов, что имеет особое значение для населения Республики Беларусь.

На территории республики производство зеленных культур осуществляется как во всех тепличных комбинатах, так и в открытом грунте. Культуры широко распространены в личных подсобных хозяйствах. Однако при ведении земледелия на территории Беларуси, следует учитывать, что в результате катастрофы на ЧАЭС, более 23% земель подверглось радиоактивному загрязнению $^{137}$Cs и $^{90}$Sr. Этот факт указывает на возможный риск получения продукции растениеводства, не соответствующей нормативным требованиям содержания радионуклидов в пищевых продуктах и питьевой воде. Соответственно, при употреблении такой продукции населением, существует вероятность увеличения дозы внутреннего облучения и, как следствие, годовой эффективной дозы, нормируемой 1 мЗв/год. В связи с этим на территории РНИУП «Институт радиологии» были проведены 3-х летние исследования, целью которых являлось определение количественных характеристик накопления радионуклидов хозяйственно-ценными частями овощных зеленных культур и их вклад в формирование индивидуальной дозы внутреннего облучения.

В ходе исследований изучалось восемь культур: базилик, укроп, салат, кресс-салат, кориандр, петрушка листовая, щавель и лук-батун, возделываемых на дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве с плотностью загрязнения $^{90}$Sr – 10,4 кБк/м$^2$ (0,28 Ки/км$^2$) и $^{137}$Cs – 166 кБк/м$^2$ (4,5 Ки/км$^2$).

Радиохимическое выделение $^{90}$Sr из хозяйственно-ценных частей исследуемых культур проводилось по стандартной методике ЦИНАО с радиометрическим окончанием на аттестованном α-β счетчике Canberra-2400. Содержание $^{137}$Cs определялось на γ-спектрометрических комплексах фирмы Canberra и Oxford.

На основании полученных в ходе исследований данных были рассчитаны дозы внутреннего облучения среднестатистического жителя республики, которые будут получены при употреблении зеленных культур, возделываемых на загрязненных радионуклидами землях. При расчетах использовалась формула:

$$\mathbf{d_{внутр.} = \delta \cdot m \cdot q},$$

где δ – пересчетный коэффициент (1,3·10-5 мЗв/Бк для $^{137}$Cs и 8,0·10-5 мЗв/Бк для $^{90}$Sr);

m – годовое потребление продукта;

q – удельная активность продукта питания.

Результаты проведенных исследований позволяют сделать вывод о достаточно малом вкладе зеленных овощных культур в формирование индивидуальной дозы. Он составляет от 0,0001 мЗв/год (базилик, укроп, лук-батун при возделывании на загрязненных $^{137}$Cs почвах) до 0,0072 мЗв/год (салат листовой при возделывании на загрязненных $^{90}$Sr почвах), что в процентном соотношении от годовой эффективной дозы составляет от 0,01% до 0,72%, соответственно.

# ИЗУЧЕНИЕ ВКЛАДА РЕК ОБЬ И ИРТЫШ В РАДИОАКТИВНОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ КАРСКОГО МОРЯ

*А.В.Трапезников, В.Н.Трапезникова, А.В.Коржавин, А.П.Платаев*
Институт экологии растений и животных УрО РАН, Екатеринбург, Россия,
*Vera_zar@mail.ru*

Обеспечение радиационной безопасности ЯНАО и ХМАО напрямую связано с радиационной обстановкой на крупнейшей водной артерии округов - реке Оби, подверженной радиоактивному загрязнению предприятиями ядерного топливного цикла и рядом других источников.

В бассейне Обь-Иртышской речной системы на территории Свердловской, Челябинской и Томской областей исторически сформировалась развитая промышленная инфраструктура, включающая несколько предприятий атомного профиля, являющихся источниками поступления техногенных радионуклидов в открытые водоемы. Наиболее сильное влияние на экосистему этого бассейна оказывает деятельность ПО «Маяк» (Челябинская область), через технологические системы которого в конце сороковых - начале пятидесятых годов был произведен прямой сброс радиоактивных отходов в реку Теча в количестве $76 \cdot 10^6$ м$^3$, с суммарной активностью $10^{17}$ Бк. Часть радионуклидов поступила транзитом в Обь через реки Теча, Исеть и Тобол и Иртыш. Другая значительная часть радионуклидов была аккумулирована в донных отложениях рек и пойменных почвах. По имеющимся оценкам в пойме Течи депонировано около $6 \cdot 10^{12}$ Бк $^{137}$Cs, $3 \cdot 10^{11}$ Бк $^{90}$Sr и $8 \cdot 10^9$ Бк $^{239,240}$Pu, представляющих потенциальную радиационную опасность для регионов, расположенных ниже по течению рек Теча-Исеть-Тобол-Иртыш-Обь.

Так же значительная часть поллютантов депонирована на территории верхнего участка р. Теча − в Асановских болотах, представляющих собой заболоченную пойму площадью 40 км$^2$ с запасом активности около 330 ТБк по $^{137}$Cs и 220 ТБк по $^{90}$Sr.

Река Обь до границы Томской области и ХМАО также подвержена радиоактивному загрязнению. К сожалению, более детальной информации по этому вопросу в настоящее время не имеется.

В работе дана количественная оценка сравнительного вклада рек Обь и Иртыш в радиоактивное загрязнение Оби после слияния этих рек. Годовой сток р.Иртыш до впадения ее в р.Обь равен 57,3 км$^3$/год. Тогда вынос основных техногенных радионуклидов в 2012г Иртышом составит: для $^{90}$Sr -1427 ГБк, для $^{137}$Cs- 42 ГБк, для $^{239,240}$ Pu - 5 ГБк.

Годовой сток р.Обь до ее слияния с Иртышом составляет 263 км$^3$ /год. В таком случае вынос основных искусственных радионуклидов в 2012г Обью будет равен: для $^{90}$Sr – 3998 ГБК, для $^{137}$Cs -95 ГБк, для $^{239,240}$ Pu – 10 ГБк.

Таким образом, интегральный вынос всех трех рассматриваемых радионуклидов в 2012г был большим для Оби: по $^{90}$Sr в 2.8 раза, по $^{137}$Cs - в 2,3 раза и по $^{239,240}$ Pu - в 2,0 раза.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта ОФИ УрО РАН № 13-4-006 ЯЦ и гранта Президиума УрО РАН № 12-4-3-016-«Арктика».

# РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ВОДОЕМА-ОХЛАДИТЕЛЯ БЕЛОЯРСКОЙ АЭС В РЕЗУЛЬТАТЕ МНОГОЛЕТНЕЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ АТОМНОЙ СТАНЦИИ

*В.Н.Трапезникова, А.В.Трапезников, А.В.Коржавин, А.П.Платаев*
Институт экологии растений и животных УрО РАН, Екатеринбург, Россия,
*Vera_zar@mail.ru*

В 1964 году был введен в эксплуатацию первый энергоблок Белоярской АЭС с канальным водографитовым реактором на тепловых нейтронах АМБ-100, а второй - АМБ-200 - в 1967 году. В 1980 г. был пущен третий энергоблок на быстрых нейтронах БН-600. К 1989 г. первые два блока были остановлены. В настоящее время функционирует только третий энергоблок. В качестве водоема-охладителя АЭС используется Белоярское водохранилище, которое было образовано в 1959-1963 гг. путем зарегулирования русла реки Пышмы в 75 км от её истока. Протяженность водоема примерно 20 км, ширина – до 3 км. Зеркало водоема имеет площадь 47 км$^2$.

Показано, что после вывода из эксплуатации I и II блока БАЭС, концентрация $^{60}$Co в воде Теплого залива Белоярского водохранилища уменьшилась в 800 и более раз, концентрация $^{137}$Cs - более чем в 100 раз. В Промливневом канале содержание $^{60}$Co в воде упало в 5600 раз, а содержание $^{137}$Cs - в 386 раз. Концентрация $^{90}$Sr в воде Теплого залива за рассматриваемый период уменьшилось в 5,7 раза.

Фундаментальное значение данного факта заключается в том, что в большом временном диапазоне работают как механизмы самоочищения водной экосистемы от радионуклидов (за счет распада радиоактивных веществ), так и механизмы перераспределения радионуклидов из воды в другие компоненты, прежде всего, в донные отложения. Содержание $^{60}$Co в донных отложениях Теплого залива (затопленная почва) за более чем 20-летний период уменьшилось в 240 раз, $^{137}$Cs - в 7 раз. За это же время концентрация $^{60}$Co в донных грунтах Промливневого канала снизилась в 362 раза, $^{137}$Cs - в 44 раза. Содержание $^{90}$Sr в донных отложениях Теплого залива, наоборот, увеличилась с 22,4 Бк/кг до 52,7 Бк/кг, а концентрация этого радионуклида в грунтах Промливневого канала уменьшилась с 300 Бк/кг до 49,3 Бк/кг.

Концентрация $^{137}$Cs в роголистнике темно-зеленом из Теплого залива Белоярского водохранилища за период 1980-е годы – 2011 год уменьшилось в 11,5 раз, в рдесте гребенчатом из Промливневого канала за этот период снизилась в 383 раза. Концентрация $^{90}$Sr в роголистнике темно-зеленом из Теплого залива водоема-охладителя за указанный период, напротив, возросла в 2 раза. Это можно объяснить тем, что механизм поступления $^{90}$Sr совсем иной, чем для $^{137}$Cs, который поступает в водоем-охладитель через Промливневый канал. В отличие от последнего, $^{90}$Sr имеет глобальное происхождение и, практически, не сбрасывается в Белоярское водохранилище в результате деятельности атомной станции. Содержание $^{137}$Cs в щуке из Белоярского водохранилища за наблюдаемый период уменьшилось в 8,8 раза. Такой же эффект прослеживается на примере плотвы, содержание $^{137}$Cs в которой снизилось в 25,8 раза.

Таким образом, содержание $^{60}$Co и $^{137}$Cs в воде водоема-охладителя, донных отложениях, водной растительности и ихтиофауне за период с 1980-х годов до настоящего времени очень значительно уменьшилось - в десятки и сотни раз, что, во-первых, связано с выводом из эксплуатации I и II блоков Белоярской АЭС, а во-вторых, с механизмами самоочищения и перераспределения радионуклидов в водных экосистемах.

Работа выполнена при финансовой поддержке Интеграционного проекта УрО РАН № 12-И-4-2006 и гранта ОФИ УрО РАН № 13-4-006 ЯЦ.

# СОСТОЯНИЕ ПЕРИФЕРИЧЕСКОЙ КРОВИ У РЫБ, ОБИТАЮЩИХ В РАДИОАКТИВНО ЗАГРЯЗНЕННОЙ РЕКЕ ТЕЧА

*Г.А. Тряпицына*[1,2], *Г. Рудольфсен*[3], *И.А. Шапошникова*[1], *Е.А. Шишкина*[1], *Н.А. Обвинцева*[1], *Е.А. Пряхин*[1], *А.В. Аклеев*[1,2]

[1]Уральский научно-практический центр радиационной медицины, Челябинск, Россия, tga-28@yandex.ru

[2] Челябинский государственный университет, Челябинск, Россия,

[3]Университет Трумсё, НРПА, Трумсё, Норвегия, geir.rudolfsen@uit.no

С 1949 г. по 1956 г. в р. Теча (Россия, Челябинская область) осуществлялся сброс промышленных нетехнологических низкоактивных отходов. Это привело к радиоактивному загрязнению всех компонентов речной экосистемы, в том числе биоты. В 2012 -2013 г. исследовали состояние периферической крови рыб: плотва (*Rutilus rutilus* L.), окунь (*Perca fluviatilis* L.), щука (*Esox lucius* L.), обитающих в р. Теча (Россия, Челябинская область). Отлов рыбы проводили 2 раза в год (в мае во время нереста и в августе во время нагула) на 3 станциях с различными уровнями радиоактивного загрязнения: в верховье (РТ1), в среднем (РТ2) и нижнем (РТ3) течении реки. Контролем служили рыбы р. Миасс (Челябинская обл., Россия). Рассчитанная с помощью пакета ERICA ASSESSMENT TOOLS 2012 средняя надфоновая мощность дозы для плотвы на станции РТ1 составила 108 мкГр/сут (доля внутренней мощности дозы 18%), на станции РТ2 – 16 мкГр/сут (81%), на станции РТ3 – 9 мкГр/сут (89%). Для окуня эти показатели составили соответственно на станции РТ1 – 124 мкГр/сут (11%), на станции РТ2 – 11 мкГр/сут (73%), на станции РТ3 – 4 мкГр/сут (100%). Для щуки на станции РТ1 – 150 мкГр/сут (5%), на станции РТ2 – 9 мкГр/сут (56%) и на станции РТ3 – 3 мкГр/сут (67%). Многофакторный регрессионный анализ показал достоверное влияние радиационного фактора на гематологические показатели. Выявлена достоверная обратная зависимость от мощности дозы облучения показателей: общее количество клеток в крови, процентное и абсолютное количество эритроцитов в периферической крови, абсолютное количество неделящихся эритроидных клеток, НХЭ, ПХЭ в периферической крови, отношение ПХЭ к нормоцитам, процентное и абсолютное количество нейтрофилов. Выявлена достоверная прямая зависимость от мощности дозы облучения показателей: относительное и абсолютное суммарное количества эритробастов и пронормоцитов среди эритроидных клеток, относительное и абсолютное количество пронормоцитов среди эритроидных клеток, отношение НХЭ к сумме эритробласты + пронормоциты, относительное и абсолютное количество лейкоцитов, лимфоцитов в периферической крови. Влияние на гемопоэз оказывал фактор сезона. Отмечено меньшее количество форменных элементов в период нагула по сравнению с нерестом и снижение влияния мощности дозы на количество клеток в период нагула. Вид, пол, возраст не оказывали достоверного влияния. Увеличение численности пролиферирующих эритроидных клеток в крови обеспечивало численность зрелых эритроцитов в крови у рыб среднего и нижнего течения р. Теча на уровне контрольных показателей, у рыб верховья - ниже контроля. Это позволяет заключить, что у рыб, обитающих в верхнем наиболее радиоактивно загрязненном участке р. Теча имеет место неэффективный эритропоэз. Отмечена большая инфицированность крови рыб р.Теча внеклеточными паразитами крови.

Работа была выполнена при поддержке NRPA.

# РАДИАЦИОННАЯ ЗАЩИТА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ: СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ

*А.А.Удалова*
Обнинский институт атомной энергетики НИЯУ «МИФИ», Обнинск, Россия,
oudalova@mail.ru

В современном обществе растет понимание необходимости кардинально изменить систему взаимоотношений человека и окружающей среды и ограничить антропогенное воздействие на компоненты природных и аграрных экосистем до уровня, при котором обеспечивается их устойчивое функционирование. Сегодня радиационная защита окружающей среды базируется на антропоцентрическом постулате, согласно которому защита биоты гарантирована, если обеспечена безопасность человека. С конца прошлого века, однако, происходит усиление экоцентрических принципов, в рамках которых в число объектов радиационной защиты предлагается в явном виде включать не только человека, но и компоненты экосистем. Для этого необходимо решить две большие задачи: 1) создание системы радиационной защиты биоты и 2) гармонизация двух систем радиационной защиты – человека и биоты.

В последние годы разные аспекты методологии экологического нормирования радиационного воздействия на биоту активно развиваются. Осуществлено несколько последовательных международных проектов, результаты и научно-методические выводы которых послужили основой для выработки ряда рекомендаций МКРЗ и других документов. Целью доклада является представление и обсуждение наиболее разработанных аспектов новой методологии радиационной защиты биоты и их сопоставление с концепцией санитарно-гигиенического подхода.

Один из ключевых современных подходов базируется на концепции референтных животных и растений, которая является расширением понятия «стандартный человек», используемого в радиационной защите человека. При действии радиации на человека рассматривают стохастические и нестохастические эффекты, которые нормируются в соответствии с линейной беспороговой и пороговой концепциями. При ограничении радиационного воздействия на флору и фауну необходимо также выявить критерии биологического действия и согласовать дозовые зависимости для их моделирования. Одной из самых важных остается проблема установления безопасных уровней облучения биоты. Как правило, рекомендации в этой области основываются на экспертном обзоре существующих данных. Первые попытки применить более формализованный подход были предприняты европейскими учеными, которые оценили критические дозы и мощности доз излучения для нескольких десятков организмов водных и наземных экосистем. Для перехода с видового на экосистемный уровень было предложено использовать вероятностный подход, основанный на распределении видов по радиочувствительности.

Несмотря на значительные усилия, работа в области создания системы радиационной защиты биоты далека от завершения. В отечественной радиоэкологии данная проблема изучается единичными специалистами. Существующие на настоящий момент разработки носят отрывочный характер, плохо согласуются друг с другом и не всегда могут быть гармонизированы с системой радиологической защиты человека.

# РЕКОНСТРУКЦИЯ ПОТОКОВ $^{137}$Cs И $^{90}$Sr В БАРЕНЦЕВОМ МОРЕ

*И.С. Усягина, Н.Е. Касаткина, Д.Г. Матишов,*
Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН, Мурманск, Россия,
usjagina@mmbi.info

Снижение вклада глобальных источников, повлекшее за собой изменение активности изотопов цезия и стронция в акватории привело к необходимости проведения работ, направленных на пересмотр балансовых оценок формирования современного фона искусственных радионуклидов в Баренцевом море.

Годовой баланс рассчитывался как разница между количеством изотопов, поступивших в море и выведенных из него в процессе водообмена и радиоактивного распада. Приходные составляющие баланса радионуклидов включали в себя атмосферные выпадения, речной сток, перенос из смежных водоемов, а также сливы жидких радиоактивных отходов. Расходные - количество радионуклидов, вытекающих в смежные водоемы через Новоземельские проливы, водные границы Шпицберген – Земля Франца-Иосифа и Земля Франца-Иосифа – Новая Земля.

Результаты расчетов показали, что в период с 1950 по 2009 г. суммарное количество изотопов, поступивших в баренцевоморскую экосистему ($37.5 \cdot 10^3$ ТБк $^{137}$Cs и $24.8 \cdot 10^3$ ТБк $^{90}$Sr), складывалось преимущественно из выпадений радионуклидов с атмосферными осадками и трансокеанического переноса сбросов западноевропейских радиохимических заводов в составе атлантических вод на западных границах моря. Большая часть $^{137}$Cs и $^{90}$Sr продолжает вноситься в экосистему по системе течений из Норвежского моря. В процессе водообмена основное количество поступивших радиоактивных веществ было выведено из экосистемы ($26.0 \cdot 10^3$ ТБк $^{137}$Cs и $19.5 \cdot 10^3$ ТБк $^{90}$Sr). Доминирующий процесс выведения - водообмен на северных и северо-восточных границах Баренцева моря. Суммирование годовых балансов радионуклидов позволило дать оценку современному содержанию исследуемых изотопов в акватории ($11.6 \cdot 10^3$ ТБк $^{137}$Cs и $5.3 \cdot 10^3$ ТБк $^{90}$Sr).

В течение всего рассматриваемого периода годовой приток $^{90}$Sr с водами и взвешенным веществом превышает расход. Для $^{137}$Cs преобладание поступления над выведением наблюдается только до 1980-х гг., в последние два десятилетия баланс отрицателен, что свидетельствует об интенсификации процессов самоочищения Баренцева моря от радионуклида.

Количество радионуклидов, накопленных биотической составляющей экосистемы, рассчитывали как сумму запасов $^{137}$Cs и $^{90}$Sr в основных компонентах пищевой сети открытой части Баренцева моря.

Расчеты содержания радионуклидов в биомассе живых организмов показали, что лишь незначительное количество как $^{137}$Cs, так и $^{90}$Sr выводится из воды и вовлекается в пищевую сеть Баренцева моря. Основное количество $^{137}$Cs содержится в биомассе зоопланктона и бентоса. $^{90}$Sr преимущественно накапливается в биомассе рыб. В настоящее время общий запас $^{137}$Cs и $^{90}$Sr, содержащийся в пищевой сети Баренцева моря, составляет 0.07 и 0.86 ТБк соответственно.

Расчет депонирования $^{137}$Cs и $^{90}$Sr в поверхностном слое донных отложений на площади Баренцева моря производился на основе известной скорости осадконакопления, средней плотности грунтов, средней арифметической удельной активности радионуклидов в осадках. Показано, что в настоящее время общий запас $^{137}$Cs и $^{90}$Sr накопленный в донных отложениях составляет 447.2 и 75.1 ТБк соответственно.

# СОВРЕМЕННАЯ ГИГИЕНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА РАДИАЦИОННОЙ ОБСТАНОВКИ НА ТЕРРИТОРИЯХ, ПРИЛЕГАЮЩИХ К МЕСТАМ ПРОВЕДЕНИЯ МИРНЫХ ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ

*Е.В. Храмцов, В.П. Рамзаев, В.С. Репин, К.В. Шилова*
Научно-исследовательский институт радиационной гигиены им. проф. П.В. Рамзаева, Санкт-Петербург, Россия.

На территории Российской Федерации (РФ) с 1965 по 1988 годы в ходе реализации программы «Ядерные взрывы для народного хозяйства» (Программа № 7) был проведен 81 мирный ядерный взрыв (МЯВ). И хотя с момента проведения последнего МЯВ на территории РФ прошло более 25 лет, обеспечение радиационной безопасности населения в местах проведения таких взрывов является актуальным. Цель изложенного в докладе исследования: оценить современную радиационную обстановку на территориях, прилегающих к местам проведения МЯВ как пунктов размещения особых радиоактивных отходов (ОРО) и сформулировать основные мероприятия по обеспечению радиационной безопасности населения.

Для анализа содержания техногенных радионуклидов в объектах окружающей среды использовались дозиметрические, гамма - спектрометрические и радиохимические методы исследования. Результаты наших собственных исследований (2008-2013 гг.) семи взрывов в пяти субъектах РФ, и данные, полученные другими исследователями, свидетельствуют о том, что имеются объективные основания для проведения защитных мероприятий, направленных на обеспечение радиационной безопасности населения, проживающего в районах проведения МЯВ. В частности, в местах проведения взрывов «Тайга» в Пермском крае, «Глобус-1» в Ивановской области были обнаружены участки территории, на которых уровни загрязнения почвенного покрова и других объектов окружающей среды долгоживущими радионуклидами существенно превышали фоновые значения. Причем в некоторых пробах почвы и растений, отобранных на территориях, прилегающих к местам проведения этих взрывов, содержание радионуклидов было столь велико, что позволяло отнести такие образцы к категории радиоактивных отходов. Так, в пробах почвы, отобранных на объекте «Тайга» в 2009 г, содержание трансурановых элементов существенно превышало значение МЗУА, которое для америция-241 и изотопов плутония составляет 1 Бк/г (1000 Бк/кг). Согласно ОСПОРБ-99/2010, такие материалы соответствуют категории твердых радиоактивных отходов. Загрязненными оказались и водные объекты, расположенные в местах проведения МЯВ. Существенно повышенные уровни содержания трития были обнаружены в пробах воды, отобранных в местах проведения трех МЯВ: «ГБ-1», взрывов серии «Днепр» и «Тайга». При этом, в пробах с территорий, прилегающих к местам проведения МЯВ «ГБ-1» и до 2009 года взрывов серии «Днепр», удельная активность трития превышала уровень вмешательства - 7600 Бк/кг (НРБ 99/2009). Наличие техногенных радионуклидов на земной поверхности и потенциальная угроза выхода радиоактивности из недр на поверхность или в зону активного водообмена могут привести к дополнительному облучению жителей. Оценки доз облучения критических групп населения, показывают, что ограниченное пребывание даже на территориях с аврийным или запланированным выходом радиоактивности на поверхность не вызывает в настоящее время непосредственной угрозы для здоровья. Наличие потенциальной опасности определяет в качестве первостепенной задачи проведение радиационного мониторинга.

На основании обобщения и анализа результатов исследования сформулированы основные направления работ по обеспечению радиационной безопасности населения, проживающего в районах размещения особых радиоактивных отходов.

# ОСОБЕННОСТИ БИОЛОГИЧЕСКОГО КРУГОВОРОТА $^{137}$CS И ИЗОТОПОВ КАЛИЯ В ЛЕСНЫХ И АГРОФИТОЦЕНОЗАХ ЛЕСОСТЕПИ В ОТДАЛЕННЫЙ ПЕРИОД ПОСЛЕ ЧЕРНОБЫЛЬСКИХ ВЫПАДЕНИЙ.

*О.Б.Цветнова*[1], *А.И.Щеглов*[1], *А.А. Касацкий*[1]
[1]Московский государственный университет им М.В. Ломоносова, Москва, Россия,
tsvetnova@mail.ru; shchegl@mail.ru; andkacat@gmail.com

В биологическом круговороте (БК) техногенных радионуклидов соотношение потоков элементов существенно отличается от таковых, характерных для их неизотопных аналогов. В частности для К и Са, возврат в почву с опадом в большинстве случаев постоянен и примерно в 2 - 3 раза меньше, чем их поступление в растения за счет корневого потребления, для $^{137}$Cs и $^{90}$Sr соотношение этих потоков в БК отлично и меняется во времени. Существующая на сегодняшний день гипотеза, что в отдаленные периоды после выпадений, когда состояние радионуклидов достигает динамического квазиравновесия в системах «техногенные радионуклиды - стабильные изотопы – химические аналоги» и «почва-растение», различия в показателях БК техногенных радионуклидов и их химических аналогов сглаживаются, все еще остается дискуссионной, в связи с чем возникает необходимость проведения сравнительной оценки показателей биологического круговорота данных элементов в отдаленные периоды после радиоактивных выпадений.

Последнее явилось целью настоящих исследований, которые проводились в 1999-2013 гг. в северной лесостепи (Плавский район Тульской области Российской Федерации). Объектами исследований послужили различные искусственные одновозрастные (60-летние) 2 бонитета насаждения дуба черешчатого (Qercus robur L.), березы повислой (Betula pendula Roth) и сосны обыкновенной (Pinus sylvestris L.), а также участок агроценоза с посевами яровой пшеницы (сорт Московская-39) на темно-серых лесных почвах.

Проведенные исследования показали, что БК изотопов калия и $^{137}$Cs в лесных и агрофитоценозах, сформированных на темно-серых лесных почвах Тульской области, в отдаленный период после радиоактивных выпадений по-прежнему существенно различается. По интенсивности БК изотопов калия исследуемые фитоценозы образуют следующий ряд: агроценоз > дубрава > березняк > сосняк, причем интенсивность БК этих элементов в агроценозах в 2-3 раза выше, чем в лесных формациях. Вместе с тем по показателям возврата изотопов калия в почву максимальные величины отмечаются в сосняке и минимальные – в березняке. По данному показателю агроценоз и дубрава занимают промежуточное положение и очень близки между собой.

По интенсивности вовлечения $^{137}$Cs в БК исследуемые фитоценозы ранжируются по-иному: дубрава > березняк > агроценоз > сосняк, при этом в лесных сообществах нисходящий поток $^{137}$Cs с опадом в 4-6 раз превосходит его поступление в фитомассу. Это подтверждает сделанный нами ранее вывод о том, что в элювиальных ландшафтах дальней зоны выпадений на черноземных и серых лесных почвах возврат $^{137}$Cs с опадом в несколько (2-5) раз превышает его корневое потребление. В агроценозе в круговороте $^{137}$Cs нисходящий и восходящий потоки примерно одинаковы: с урожаем сельскохозяйственной культуры отчуждается 50,7% и поступает в почву с пожнивными остатками 49,3% запаса $^{137}$Cs.

Таким образом, на стадии динамического квазиравновесия в почве в отдаленный период после чернобыльских выпадений (более 20 лет) БК $^{137}$Cs на темно-серых лесных почвах элювиальных ландшафтов отличается от БК изотопов калия и по-прежнему характеризуется значительным доминированием нисходящих потоков элемента над его восходящими потоками.

# АНАЛИЗ КОМПОНЕНТОВ РАДОНОВОГО ПОКАЗАТЕЛЯ, УКАЗЫВАЮЩЕГО НА НАЛИЧИЕ РАДОНА В ПОЧВЕ

*Л.А.Чунихин[1], А.Л.Чеховский[2], Д.Н.Дроздов[2]*
[1]Гомельский государственный медицинский университет,
Гомель, Республика Беларусь,
[2]Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины,
Гомель, Республика Беларусь,
chehovskii@mail.ru

Принципиально новые подходы к оценке радоновой опасности были показаны в Публикации № 65 МКРЗ, 1993 г. Одним из основных тезисов данной публикации является необходимость введение понятия и критериев для оценки радоноопасных зон, что является очень важным в случаях недостатка ресурсов для проведения полномасштабных исследований, как, например, в Беларуси. В таком случае можно провести картирование территории по радоновой опасности с использованием показателей, определяющих наличие радона; выделить критические зоны радоноопасности и осуществить необходимые противорадоновые мероприятия.

**Целью** работы являлось применение сочетания некоторых показателей, определяющих наличие радона, выступающих в качестве радонового показателя, указывающего на степень радонопасности территории.

**Материалами** являлись результаты измерения объемной активности радона в типичных помещениях сельских населенных пунктов Гомельской, Могилевской и Витебской области, полученные при широкомасштабных обследованиях, выполненных специалистами НИИ морской и промышленной медицины (г. Санкт-Петербург), специалистами ГУ «ГОЦГЭиОЗ» и ГНУ «ОИЭЯИ – Сосны» НАН Беларуси. Также в исследованиях использовался целый ряд карт со значениями показателей, определяющих наличие радона в почвах и породах.

**Результаты исследований и их обсуждение.** Были определены среднерайонные значения объемной активности (ОА) радона для исследуемых областей. Если принять, что в сельских населенных пунктах преобладают одноэтажные деревянные строения с простым фундаментом и деревянным полом, можно считать, что поступление радона в помещение определяется, в основном, свойствами подстилающих пород. Исходя из этого, можно предложить в качестве радонового показателя величину, равную произведению показателей определяющих наличие радона в почвах. В этом случае, при увеличении количества сомножителей ожидается увеличение коэффициента корреляции между радоновым показателем и ОА радона. Так, коэффициент корреляции относительного показателя мощности экспозиционной дозы и ОА радона, составляет r = 0,69. При добавлении в качестве сомножителя относительного показателя запаса урана в почвах – коэффициента корреляции составляет r = 0,77; при добавлении к ним относительного показателя коэффициента фильтрации – r = 0,79; и при добавлении в качестве сомножителя относительного показателя уровня залегания первого водоносного горизонта, коэффициент корреляции составляет r = 0,81.

**Вывод.** Предложенный радоновый показатель имеет достаточно сильную и достоверную связь со значениями ОА радона в помещениях зданий. Данный показатель имеет ряд компонентов и приведенные корреляционные зависимости показывают, что увеличение числа факторов, определяющих наличие радона в почвах, значительно повышает коэффициент корреляции радонового показателя с ОА радона. Такой показатель служит основой для определения географического положения критических зон радоноопасности.

# МОДИФИКАЦИЯ γ-ОБЛУЧЕНИЕМ СЕМЯН РАЗВИТИЯ РАСТЕНИЙ ЯЧМЕНЯ НА РАННИХ ЭТАПАХ ОНТОГЕНЕЗА

*Чурюкин Р.С., Гераськин С.А.*
Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии ФАНО, Обнинск, Россия,
r.churyukin@mail.ru

Целями работы были: анализ реакции на облучение семян ячменя сортов Нур и Грейс разного сортового качества (суперэлита, элита, первая репродукция) в диапазоне доз 2-50 Гр по показателям: длина корня, длина ростка, всхожесть, масса корневой системы; изучение влияния мощности дозы γ-излучения, сортового качества семян, влажности, срока хранения после облучения на проявление эффекта *гормезиса* в диапазоне стимулирующих доз. Облучение семян проводили на установке «ГУР-120» ($^{60}$Co). Мощность дозы составляла от 20 до 350 Гр/ч. Для исследования использовали дозы 2, 4, 6, 8, 10, 13, 16, 20, 25 и 50 Гр. Контролем служили необлученные семена ячменя. Для оценки влияния влажности облучали семена, предварительно увеличивали их влажность до 38% выдержав их в дистиллированной воде 18 часов. Все семена проращивали в рулонах фильтровальной бумаги. Эксперименты проводили в четырех повторностях, 4 рулона по 100 семян на одну дозу. Исследование зависимости доза-эффект по показателям длина корня и длина ростка было выполнено в трех независимых экспериментах на двух сортах ячменя. Получено большое количество экспериментальных данных, некоторые из которых представлены далее.

Статистической значимой зависимости энергии прорастания и всхожести от дозы не выявлено. Максимальное увеличение размеров корня зафиксировано во всех трех экспериментах при дозе 20 Гр (до 29%, сорт Грейс, 1 репр.). При дозах 2-8 и 25-50 Гр длина корня не отличалась статистически значимо от контрольного уровня. Увеличение длины ростка наблюдается практически в том же диапазоне доз. Более того, в трех независимых экспериментах на двух сортах ячменя максимальное увеличение длины ростка зафиксировано так же при дозе в 20 Гр (до 16%). Наблюдается совпадение качественного характера кривых по обоим тестированным показателям. Облучение семян как низкой (20 Гр/ч), так и с высокой (350 Гр/ч) мощностью дозы не стимулирует развитие корня, а в некоторых случаях приводит к ингибированию роста корня и ростка. Облучение семян с повышенной до 35-40% влажностью даже с оптимальной мощностью дозы 60 Гр/ч ведет к статистически значимому подавлению развития как корня, так и ростка. Показано, что, если облученные с мощностью дозы 350 Гр/ч семена проращивать через 7 суток, то ингибирование развития корня сменяется его стимуляцией и зависимость длины корня от дозы при разных сроках инициации прорастания имеет одну и ту же форму. Достоверно различается лишь абсолютная величина исследуемого параметра. В остальных вариантах эксперимента недельное хранение облученных семян либо сохраняло, либо уменьшало эффект стимуляции.

Облучение семян разного сортового качества, показало: облучение семян элиты вело к увеличению длины ростка при дозе в 8 Гр, а так же при дозе в 16 Гр после недельного хранения облученных семян. Увеличение длины корня наблюдалось при дозе в 16 Гр при замачивании сразу после облучения. У семян суперэлиты сорта НУР интересно отметить лишь увеличение длины корня при дозах 16 и 20 Гр при замачивании обученных семян после их недельного хранения перед посадкой.

Статистической значимой зависимости массы корней от дозы не выявлено, к тому же, хранение семян в течение недели после облучения негативно сказывается этом показателе. Число корешков не зависело от дозы и составляло 4-6 корешков во всех вариантах эксперимента.

# ВНЕКОРНЕВОЕ ПОСТУПЛЕНИЕ ТРАНСУРАНОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В РАСТЕНИЯ ЛУГОВОЙ ЭКОСИСТЕМЫ

*Н.В.Шамаль, Р.А.Король, Е.А.Клементьева, А.Н.Никитин, Ю.К.Симончик*
Институт радиобиологии НАН Беларуси, Гомель, Беларусь,
namahasha@rambler.ru

Загрязнение надземных частей растений радионуклидами складывается из корневого поступления в растения и аэрального отложения в составе пылевых частиц на поверхности растений. Целью работы было оценить внекорневое поступление трансурановых элементов (ТУЭ) в растения, произрастающие в местах с повышенным содержанием радионуклидов на поверхности почвы. Исследования проводились на территории Полесского государственного радиационно-экологического заповедника (ПГРЭЗ) на лугу вблизи выселенного населенного пункта Радин. Заповедник образован на землях отчуждения в связи с аварией на Чернобыльской АЭС. Объектами изучения были выбраны *Bromus inermis* и *Artemisia absinthium*. Ресуспензия ТУЭ оценивалась по величине их осаждения на планшетах. Смыв радионуклидов с поверхности растений проводился для оценки поверхностного загрязнения.

Мощность поглощенной дозы γ-излучения на почве составила 4,3-5,6 мкГр/час; плотность потока α- и β-частиц, соответственно: 750-1020 и 180-240 имп/(с*см$^2$). Плотность загрязнения почвы составила для $^{238}$Pu, $^{239,240}$Pu, $^{241}$Am – 1,7; 3,7 и 12,4 кБк/м$^2$ соответственно. Ресуспензия $^{238}$Pu, $^{239,240}$Pu, $^{241}$Am на пробных площадках имела значения: 0,14; 0,28 и 3,68 (мБк/м$^2$ в сутки). Отношение активности суточных выпадений на планшетах к плотности загрязнения почвы составило соответственно $0{,}08*10^{-6}$; $0{,}08*10^{-6}$ и $0{,}31*10^{-6}$.

Удельная активность $^{238}$Pu, $^{239,240}$Pu, $^{241}$Am в надземной части *B. inermis* составила 109, 61 и 171 мБк/кг. Поверхностное загрязнение имело значения 14, 9 и 52 мБк/кг соответственно. Удельная активность $^{238}$Pu, $^{239,240}$Pu, $^{241}$Am в надземной части *A. absinthium* имело значения: 173, 130 и 478 мБк/кг; поверхностное загрязнение составило 3, 7 и 64 мБк/кг соответственно.

Доля ТУЭ, на поверхности растений, к общему загрязнению *A. absinthium* составляла для изотопов Pu – 9,0%, для $^{241}$Am – 25,2%. Полученные значения близки к результатам полученным для *B. inermis*. Отношение активности ТУЭ на поверхности растений *A. absinthium* к величине суточных выпадений на горизонтальной поверхности составило для $^{238,239,240}$Pu – 217, для $^{241}$Am – 55.

Таким образом, в результате проведенных работ установлено, что америций обладает более высокой способностью к воздушному переносу по сравнению с плутонием. Биологические особенности растительных организмов и различия в поведении радионуклидов оказывают влияние на процессы поверхностного загрязнения. Показано, что вклад адсорбированных на поверхности надземных частей растений ТУЭ в общее загрязнение составляет 9-13% для изотопов Pu и 21-25% для $^{241}$Am.

# МИГРАЦИЯ ЦЕЗИЯ-137 В ГЕОКОМПЛЕКСАХ СРЕДНЕРУССКОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИ

*Е.Н. Шамшурина, В.Н. Голосов, В.Р. Беляев, М.М. Иванов, М.В. Маркелов*
Географический факультет Московского государсвенного университета
им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия,
shamshyr@mail.ru

Среднерусская возвышенность представляет собой приподнятую пологоволнистую равнину, сильно расчлененную глубоко вдающимися в нее широкими древними речными долинами и множеством балок и оврагов. Территория Среднерусской возвышенности была крайне неоднородна загрязнена Cs-137 в результате аварии на ЧАЭС. Здесь находится одно из самых радиоактивно-загрязненных участков в РФ – «Плавское радиоактивное пятно», где актуальная плотность загрязнения почв Cs-137 составляет 5-8 Ки/км$^2$. В качестве типичных геокомплексов, связанных между собою потоками вещества и энергии, для наших исследований в пределах данной возвышенности были взяты малые водосборы - верхнее звено флювиальной сети. На территории Среднерусской возвышенности преобладающими почвами являются типичные и выщелоченные чернозёмы, что обуславливает высокую степень распашки территории. Здесь имеются все необходимые условия для энергичного развития современных эрозионных процессов. Особое внимание при определении радиоактивного загрязнения почв следует уделять методике отбора проб и при этом учитывать следующие факторы: особенности ландшафта, интенсивность вертикальной и горизонтальной миграции радионуклида; площадь исследуемого участка. По результатам многолетних собственных исследований на территории Среднерусской возвышенности была выработана схема отбора образцов. На водораздельных плоских территориях закладывается опорная площадка, на которой интегрально (до глубины 30 см) с помощью стандартного пробоотборника отбирается 10-12 проб почвы случайно-систематическим методом, параллельно закладывается почвенный разрез с послойным (через 10 см) отбором почв до глубины 40-50 см. На склонах междуречных пространств по линии тока интегрально отбираются пробы в 3 кратной повторности. Глубина интегрального отбора почв на пашне составляла 30 см, исходя из глубины пахотного слоя при обязательном захвате подплужной подошвы. В днищах балочных долин закладываются почвенные разрезы, из которых послойно проводится отбор проб из всей аккумулятивной толщи, определяемой по характерной слоистости отложений. По результатам проведенных исследований в период с 2004 по 2013 год на территории Орловской, Курской, Тульской областей в долинах реки Зуша, Сейм, Плава, Локна было проанализировано в общей сложности несколько тысяч проб на содержание Cs-137. С момента Чернобыльской аварии прошло 28 лет, что примерно соответствует периоду полураспада изучаемого радионуклида – Cs-137 ($T_{1/2}$=30.2 года). В связи с этим, основную роль в трансформации поля радиоактивного загрязнения играет радиоактивный распад. На значительных площадях сельскохозяйственных угодий, занимающих междуречные пространства наблюдается относительное равномерное распределение Cs-137 в пределах пахотного слоя, с последующим резким уменьшением с глубиной. В аккумулятивных, подчиненных позициях (днища балок) часто наблюдается увеличение общих запасов радионуклида, превышающее первоначальное выпадение в несколько раз. Вертикальное распределение по профилю стратозема характеризуется заглублением пика максимальной активности, что связано с поступлением Cs-содержащих наносов с прилегающих позиций. В транзитных позициях наблюдается как снижение, так и повышение запаса радионуклида в 30-см слое. Основную роль в трансформации поля первичного загрязнения почв Cs-137 помимо радиоактивного распада играет твердофазная миграция радионуклида в процессе водной эрозии.

# ОЦЕНКА ВКЛАДА В ДОЗУ ВНУТРЕННЕГО ОБЛУЧЕНИЯ НАСЕЛЕНИЯ, ПРОЖИВАЮЩЕГО НА ЗАГРЯЗНЕННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ БРЯНСКОЙ ОБЛАСТИ, В РЕЗУЛЬТАТЕ ПОТРЕБЛЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ГРИБОВ-АККУМУЛЯТОРОВ.

*К.В. Шилова, В.С. Репин*
Научно-исследовательский институт радиационной гигиены им. проф. П.В. Рамзаева, Санкт-Петербург, Россия.

Целью представленной работы являлось изучения закономерности накопления $^{137}$Cs грибами разных видов в динамике после аварии на Чернобыльской атомной электростанции (ЧАЭС) для разработки прогнозной модели динамики коэффициентов перехода (КП) $^{137}$Cs из почвы в грибы. В качестве объекта исследования были выбраны грибы, в связи с тем, что они являются хорошими биоадсорбентами $^{137}$Cs и их сбор и использование в пищу является традиционным для жителей обследованных территорий. Все грибы, потребляемые населением, проживающим на загрязненных территориях, поделили по группам с учетом их аккумулятивной способности и рационов питания населения.

Несмотря на то, что с момента аварии на Чернобыльской АЭС прошло почти 28 лет, снижение уровней поверхностного загрязнения почвы идет очень медленно. На сегодняшний день общая площадь загрязненной территории Брянской области свыше 1 Ки\км$^2$ (37кБк/м$^2$) составляет 6682 км$^2$. Согласно прогнозам радиоактивного загрязнения территории Брянской области на 2056 год, произойдет снижение уровней поверхностного загрязнения, но площадь загрязнения по-прежнему буде обширной – 5565 км$^2$. Наиболее пострадавшими в результате аварии на ЧАЭС являются районы, находящиеся на юго-западе Брянской области: Красногорский Гордеевский, Клинцовский, Новозыбковский, Злынковский и Климовский. На территориях этих районов всего проживает 306 027 человек, из которых – 167 685 человек являются городскими жителями и 138 342 сельскими жителями. Обширное радиоактивное загрязнение территорий после аварии на ЧАЭС $^{137}$Cs привело к повышению его содержания в природных пищевых продуктах, в частности, в грибах, сбор и заготовка которых сельскими и городскими жителями России являются традиционными. Изучение динамики коэффициентов перехода $^{137}$Cs в различные виды грибов показало, что снижение темпов накопления происходит в них очень медленно (период полу-очищения составляет десятки лет). Таким образом, грибы в длительной перспективе будут играть существенную роль в формировании доз внутреннего облучения человека.

Согласно полученным данным динамика средних значений и 90% квантилей коэффициентов перехода $^{137}$Cs в грибы после аварии на ЧАЭС характеризуется периодом полуочищения около 30 лет. Различия КП $^{137}$Cs из почвы в различные семейства грибов связаны с типом почв, гидрорежимом, глубиной залегания мицелия и другими факторами.

По результатам анкетирования населения годовое потребление лесных грибов взрослыми жителями средней полосы европейской части России, проживающими в селах, поселках городского типа и городах с числом жителей не более 100 тыс. человек составляет от 8 до 10 кг/год. Полученные результаты позволили рассчитать возможный вклад грибов, произрастающих на почвах с разными уровнями поверхностного загрязнения, в дозу внутреннего облучения населения. При поверхностном загрязнении $^{137}$Cs 37-185 кБк/м$^2$ вклад в дозу может составлять 0,05 – 0,25 мЗв/год. При загрязнении почвы более 1480 кБк/м$^2$ доза за счет потребления грибов возрастает до 2 и более мЗв/год.

# МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В ОЦЕНКЕ ВЫБРАКОВКИ КОРОВ ПРИ ВЛКРС НА ТЕРРИТОРИИ ЧЕЛЯБИНСКОЙ ОБЛАСТИ

*Н.А. Шкаева[1], А.Э. Шкаев[2]*

[1] Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия,
shkna@rambler.ru;

[2] Всероссийский научно-исследовательский институт ветеринарной вирусологии и микробиологии, Покров, Россия,
art_all@mail.ru

Крупный рогатый скот является типичным представителем конкретных экосистем, он служит информативным биологическим индикатором загрязнения окружающей среды, сравним с человеком по чувствительности к действию антропогенного загрязнения (Бударков В.А.). Молоко сельскохозяйственных животных также является индикатором чистоты среды обитания человека. Поэтому получение качественных и безопасных продуктов питания для населения в настоящее время актуально. С этой целью для снижения риска применили математические методы для прогнозирования состояния здоровья коров при оценке эпизоотической ситуации по ВЛКРС.

Напряженность эпизоотической ситуации характеризуется большим количеством показателей, поэтому в исследовании изучали влияние многих факторов с множеством количественных, качественных и номинальных градаций признаков используя методы многомерного анализа. На основе литературных данных был выбран параметр «выбраковка крупного рогатого скота по причине лейкоза». Использовали накопленные данные за период с 1993 по 2012 гг. регистрации ВЛКРС на территории ВУРС и за его пределами Челябинской области.

Рассчитывали величины: абсолютного (AR), относительного (RRp) рисков; отношение шансов (ORp).

Рассчитанное значение абсолютного риска показывает, что в зоне ВУРС выбраковано крупного рогатого скота по причине лейкоза на 1,11% больше, чем вне её.

По результатам расчета индекса относительного риска *RRp* – 6,84 сделано заключение, что на территории ВУРС выбраковано крупного рогатого скота по причине лейкоза в 6,84 раза выше, чем в незагрязненной зоне.

Отношение шансов *ORp* свидетельствует о том, что на территории ВУРС риск выбраковки скота по причине лейкоза в 2,35 раза выше чем вне ВУРС.

Методом расчета $\chi^2$ по всем параметрам напряженности эпизоотического процесса лейкоза крупного рогатого скота установлены статистически значимые различия в его проявлении на загрязненной территории и контрольной территории ($\alpha<0,05$). При этом значения показателей напряженности эпизоотического процесса были выше на загрязненной территории.

Процент выбывших по причине лейкоза крупного рогатого скота с территории ВУРС превышал в 5,6 раза по сравнению с выбракованными животных на территории Брединского района и с контрольной территорией вне ВУРС в 1,8 раз.

Таким образом, параметр «выбраковка крупного рогатого скота по причине лейкоза» можно с успехом применять для оценки рисков и дальнейшего моделирования эпизоотической ситуации. При этом значения показателя напряженности эпизоотического процесса были значимо выше на загрязненной территории в отдаленный период после радиационных аварий.

# РАДИОАКТИВНОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ ИЗОТОПАМИ $^{235}U/^{238}U$ ЗОНЫ ОТЧУЖДЕНИЯ ЧАЭС И ПРИЛЕГАЮЩЕЙ К НЕЙ ТЕРРИТОРИИ

*Шуранкова О.А., Никитин А.Н., Бажанова Н.Н., Попова О.И.*
Институт радиобиологии НАН Беларуси, Гомель, Республика Беларусь,
shurankova@list.ru

Из всех выброшенных в результате Чернобыльской катастрофы радионуклидов, наибольшая доля приходится на долгоживущие изотопы урана – $^{235}U$, $^{236}U$, $^{238}U$. В активной зоне ядерного реактора находилось 190,2 т урана. При условии 5-процентного выброса топлива в ближней зоне на поверхность почвы выпало около 10 т урана, что могло существенным образом сказаться на изотопном составе и содержании природного урана. Следует отметить, что средняя глубина выгорания топлива на 4 блоке ЧАЭС составила 10,9 Мвт сут/кг (U), что соответствует среднему содержанию $^{235}U$ в выброшенном топливе, равному 0,0096.

По оценкам Анисовой Ж.М., в почвах Беларуси содержание урана составляет $0{,}5\times10^{-4}$ - $3\times10^{-4}$ весовых процентов. Глобальные выпадения от испытаний ядерного оружия не оказали заметного влияния на изотопный состав и содержание урана для территорий, удаленных от испытательных полигонов на значительное расстояние, в том числе и Беларуси. В то же время авария на ЧАЭС оказала существенное влияние на содержание и изотопный состав урана, находящегося в поверхностном слое почвы зоны отселения.

Для определения изотопного состава урана, в поверхностном слое почвы, использовался метод масс-спектрометрического анализа, позволяющего с высокой точностью определить массовые изотопные отношения.

Расчет доли урана от “чернобыльского” выброса ($D_{Uч}$) в общем загрязнении поверхностного слоя почвы этим изотопом проводился по формуле:

$$D_{Uч}=\frac{\gamma - \gamma_п}{\gamma_ч - \gamma},$$

где $\gamma$ - массовое изотопное отношение $^{235}U/^{238}U$, полученное экспериментальным путем; $\gamma_п$ - массовое изотопное отношение $^{235}U/^{238}U$ в природном уране - 0,00725;

$\gamma_ч$- атомное изотопное отношение $^{235}U/^{238}U$ урана “чернобыльского” происхождения.

Выполненные исследования позволили установить, что изотопное отношение $^{235}U/^{238}U$ в 30-километровой зоне и прилегающих к ней загрязненных районах всюду превышает природное отношение и приближается к нему по мере удаления от ЧАЭС. На расстоянии свыше 100 км доля урана чернобыльского происхождения, по сравнению с природным, становится пренебрежимо малой. Наибольшие значения величин изотопного отношения $^{235}U/^{238}U$ обнаружены вблизи ЧАЭС (б.н.п. Масаны и Крюки). Для этих точек вклад чернобыльского урана в загрязнение почвы превышает природное содержание в 1,5-2 раза по массе.

# ИЗМЕНЕНИЕ ЦИТОГЕНЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК В КЛЕТКАХ КРОВИ *RANA ARVALIS*, ОБИТАЮЩИХ НА РАДИАЦИОННО-ЗАГРЯЗНЕННОЙ ТЕРРИТОРИИ

*Юшкова Е.А., Боднарь И.С., Зайнуллин В.Г.*
Институт биологии Коми НЦ Уральского отделения РАН, Сыктывкар, Россия,
ushkova@ib.komisc.ru

На сегодняшний день известно достаточное количество фактов нарушения структуры биоценозов и популяций, поведенческих реакций, морфофизиологических функций у особей из сред с хроническим радиоактивным загрязнением. В основе этих изменений лежат биохимические и цитогенетические изменения, определяющие выживание организма. Амфибии, характеризующиеся сложным онтогенезом, являются хорошими индикаторами загрязнения окружающей среды. В отличие от других позвоночных они осуществляют свое развитие через личиночную стадию, на которой особи наиболее чувствительны к токсичности среды обитания. Цель нашей работы – выявить изменение цитогенетических показателей (одно- и двунитевых разрывов ДНК) в природных популяциях остромордой лягушки (*Rana arvalis* Nilss.), обитающих в зоне радиоактивного загрязнения.

Материалом исследований служили особи из природных популяций *Rana arvalis*, отобранных из водоемов с нормальным и повышенным уровнями естественной радиоактивности (Республика Коми, Ухтинский район, пос. Водный). Оценку уровня цитогенетических нарушений в клетках крови головастиков *Rana arvalis* проводили по методу «ДНК-комет».

Полученные данные свидетельствуют о том, что у животных, развивающихся в зоне повышенного содержания тяжелых естественных радионуклидов, частота однонитевых разрывов (щелочная версия pH метода «ДНК-комет») выше, чем на участке с фоновым уровнем загрязнения. При оценке уровня двунитевых разрывов ДНК (нейтральная версия pH метода «ДНК-комет») достоверных различий не обнаружено. Отмечена значительная вариабельность повреждений ДНК (в зависимости от их типа) в клетках крови амфибий, что свидетельствует о специфике формирования нестабильности генома в условиях радиоактивного загрязнения.

Работа выполнена при финансовой поддержке Интеграционного проекта (12-И-4-2006).

**СОВМЕСТНОЕ ЗАСЕДАНИЕ:**

**СЕКЦИЯ 8.**
**РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ И НОРМИРОВАНИЕ.**
**РАДИАЦИОННАЯ ФИЗИКА И ДОЗИМЕТРИЯ.**

**СЕКЦИЯ 9.**
**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ РАДИОБИОЛОГИИ.**
**СИСТЕМНАЯ РАДИОБИОЛОГИЯ.**

# МОНИТОРИНГ $^{131}$I В АТМОСФЕРНОМ ВОЗДУХЕ Г. ОБНИНСКА КАЛУЖСКОЙ ОБЛАСТИ

*Н.В. Агеева*
НПО «Тайфун», Обнинск, Россия,
kosh_nv@rpatyphoon.ru

$^{131}$I, являющийся бета- и гамма-излучателем; является продуктом деления урана, плутония и, косвенно, тория, считается наиболее опасным нуклидом, что объясняется свойствами этого изотопа. Тем не менее, лишь две организации сети Росгидромет проводят измерения этого радионуклида в атмосферном воздухе (Курский ЦГМС, НПО «Тайфун», г. Обнинск).

Мониторинг загрязнения приземной атмосферы $^{131}$I в г. Обнинске и его окрестностях проводится путем отбора проб атмосферного воздуха на два фильтра: аэрозольный, предназначенный для улавливания радиоактивных аэрозолей, и сорбционный для улавливания молекулярной фракции радиоактивного йода, что позволяет фиксировать радиойод в аэрозольной и молекулярной формах. Радиоактивное загрязнение воздуха приземного слоя атмосферы $^{131}$I определяется путем последующего радиоизотопного анализа проб (фильтров) при известном объеме прокаченного за время экспозиции пробы воздуха.

На сегодняшний день источником загрязнения атмосферного воздуха г. Обнинска Калужской области $^{131}$I является производство радиофармпрепаратов (филиал НИФХИ им. Л.Я. Карпова, расположенный к югу от г. Обнинска на расстоянии около 5 км), в процессе которого в «горячих» камерах происходит вскрытие алюминиевых ампул с облучённым в реакторе ураном. Выделяющийся при этом радиойод частично проходит через улавливающие устройства, выбрасывается в атмосферу и при соответствующем направлении ветра наблюдается как в центре города, так и в его окрестностях.

Метеорологические условия оказывают существенное влияние на перенос и рассеивание вредных примесей, поступающих в атмосферу. Так, уровень загрязнения атмосферы при постоянных параметрах выбросов предприятием зависит от трех параметров: распределения температуры с высотой, скорости и направления ветра. Немаловажен так же факт присутствия облаков в атмосфере и атмосферные осадки.

В 2007–2013 г. $^{131}$I наблюдался в атмосферном воздухе г. Обнинска 471 раз, причем в молекулярной форме в 2 раза чаще, чем в аэрозольной. Проанализировав метеорологические условия в дни регистрации максимальных значений объемной активности $^{131}$I в атмосферном воздухе г. Обнинска, были выявлены следующие закономерности: наблюдалась низкая скорость ветра 2 м/с преимущественно с южным направлением, что соответствует направлению ветра со стороны филиала НИФХИ им. Л.Я. Карпова, преобладала высокая облачность и осадки, что свидетельствует о неустойчивой стратификации в эти дни.

В качестве консервативной оценки были рассчитаны радиационные риски от ингаляционного поступления $^{131}$I в период с 2007 по 2013 г. Среднее значение риска от ингаляции $^{131}$I для населения г. Обнинска ($1{,}61 \cdot 10^{-9}$) за период с 2007 по 2013 г. на 3 порядка ниже уровня пренебрежимого риска для населения, равного $10^{-6}$.

В ходе проведенного исследования были выявлены общие метеопараметры, которые приводят к повышению содержания $^{131}$I в нижнем слое атмосферы. Консервативный расчет канцерогенного риска при ингаляционном поступлении $^{131}$I в организм человека показал значение намного ниже допустимых уровней.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМОЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ ДОЗИМЕТРОВ ДТГ-4 И ТЛД-1011(Т) ДЛЯ ДОЗИМЕТРИИ В ПУЧКАХ ЛЕГКИХ ИОНОВ

*А.Г.Алексеев*[1], *Н.А.Карпов*[2]

[1]ГНЦ Институт физики высоких энергий, Протвино, Россия,
alexeev@ihep.ru

[2]Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова,
химический факультет, Москва, Россия,
nick.karpov@mail.ru

В течение последних лет в ГНЦ ИФВЭ проводятся работы по модернизации существующего ускорительного комплекса для получения пучков легких ионов (протонов, дейтронов, ядер углерода). Пучки легких ионов планируется использовать, в том числе, и для медицинских целей. В рамках данной программы проводились радиобиологические исследования в пучках протонов и дейтронов на линейном ускорителе И-100. Верхний диапазон поглощенной дозы для радиобиологических исследований достигал 100…1000 Гр. ТЛД использовались для измерения поглощенной дозы и являлись основным метрологически аттестованным средством измерения в данной работе. Цель данной работы было исследование линейности чувствительности термолюминесцентных детекторов ДТГ-4 и ТЛД-1011(Т) от дозы для протонов и дейтронов на ускорителе И-100. Представлены результаты исследования зависимости чувствительности ДТГ-4 и ТЛД-1011(Т) от величины дозы для нескольких видов излучения (фотонов, тепловых нейтронов, протонов (73 МэВ) и дейтронов (33 МэВ)). Приведен анализ результатов и сравнение с данными других авторов. Даны рекомендации по использованию данных детекторов для дозиметрии в пучках легких ионов. Обсуждается направление дальнейших исследований в пучке ядер углерода.

# СООТНОШЕНИЕ ДОЗА-ЭФФЕКТ ДЛЯ НЕСТАБИЛЬНОСТИ ХРОМОСОМ, ИНДУЦИРОВАННОЙ РЕДКОИОНИЗИРУЮЩЕЙ РАДИАЦИЕЙ В КЛЕТКАХ CHO-K1

*Андреев С.Г.*[1,2] *Пятенко В.С.*[1,3], *Хвостунов И.К.*[3], *Эйдельман Ю.А.*[1,2]

[1] Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН, Москва, Россия, andreev_sg@mail.ru

[2]Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва, Россия,

[3] Медицинский радиологический научный центр Минздрава РФ, Обнинск, Россия.

Соотношение доза-эффект является фундаментальным в радиационной биологии длялюбых эффектов радиации. В настоящее время существуют противоречивые данные о форме зависимости доза-эффект для радиационно-индуцированной нестабильности хромосом (РИНХ), в частности, для редкоионизирующей радиации. Формы кривых варьируются от дозовой независимости до линейной зависимости, что наблюдаетсяна разных типах клеток. Распространенные объяснения таких результатов представляют собой ссылки на зависимость эффекта от клеточной линии, гипотетический вклад особенностей репарации ДНК, влияние немишенных механизмов и др. В результате интерпретация ограничивается перечислением факторов, которые могут влиять на форму кривой доза-эффектдля РИНХ, однако роль подобных факторов еще не доказана.

Для исследования дозовой зависимости РИНХ клетки китайского хомячка CHO-K1 облучали γ-квантами на установке “Луч” ($^{60}$Co) при мощности дозы 0.25 Гр/мин в дозах 1 – 5 Гр и отдельно в малых дозах 0.1 – 1 Гр. Клетки находились в экспоненциальной (лог-) фазе роста. После облучения клетки пересевали каждые 2 суток для поддержания непрерывной пролиферации. Исследовались нестабильные аберрации хромосомного типа (дицентрики), наблюдаемые в различные времена после облучения. Дозовая зависимость для РИНХ определялась на больших временах после облучения (17 суток).

Полученная зависимость доза-эффект является возрастающей функцией с постепенным выполаживанием в области больших доз, однако плато в исследованном диапазоне доз не достигается. В области относительно малых доз (<1Гр) наблюдается рост частоты дицентриков в потомках облученных клеток по сравнению с контролем. Для ответа на вопрос о природе полученной формы доза-эффект была исследована более детальная количественная характеристика, а именно, зависимость доза-время-эффект. Дицентрики измерялись не только на 17 сутки, но и на более ранних временах после облучения вплоть до 1 суток, что для лог-фазы примерно соответствует клеткам с дицентриками первого-второго пострадиационного митоза. Полученные данные показывают, что форма дозовой кривой для РИНХ существенно зависит от времени пролиферации культуры облученных клеток. Соотношение доза-эффект меняется при разных интервалах времени между облучением и моментом наблюдения дицентриков в потомках облученных клеток в пределах 1-17 суток. Анализ полученных результатов свидетельствует о том, что вся совокупность наблюдаемых дозовых зависимостей (частота дицентриков в потомках клеток в результате облучения редкоионизирующей радиацией) согласуется с представлением о кинетической природе дозовой зависимости для РИНХ.

# ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ РАДИОНУКЛИДОВ ПРИ ГОРЕНИИ РАДИОАКТИВНОГО ГРАФИТА

*Н.М. Барбин*
Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия,
NMBarbin@mail.ru

Реакторный графит содержит различные радионуклиды, такие как тритий и $^{14}C$, а также продукты коррозии/активации ($^{57}Co$,$^{60}Co$,$^{54}Mn$,$^{59}Ni$,$^{63}Ni$,$^{22}Na$ и т.д.), продукты деления ($^{137}Cs$,$^{134}Cs$,$^{90}Sr$,$^{152}Eu$,$^{144}Ce$ и т.д.) и небольшое количество урана и элементов превращения ($^{238}Pu$,$^{239}Pu$,$^{241}Am$,$^{243}Am$ и т.д.). По этому, хотя сжигание рассматривается как эффективное средство комплексной обработки и удаления графитовых отходов атомной промышленности, приемлемость выбросов радиоактивных элементов для сохранения окружающей среды является основным критерием успешного развития процесса сжигания.Радиоактивные элементы невозможно уничтожить сжиганием. Они либо остаются с негорючей частью отходов, либо испаряются в зависимости от степени их летучести. Газообразные радиоактивные элементы конденсируются на более крупные частицы в потоке газов, которые удаляются газоочистительной системой или собираются вокруг «зародыша» и образуют собственную субмикронную аэрозоль. Такие частицы часто могут проникать в оборудование газоочистительной системы. Вынесенные субмикронные частицы легко вдыхаются в легкие. Они могут также откладываться на поверхность водоемов и продовольственные культуры. В настоящей работе изучалось поведение радионуклидов при нагревании (горении) радиоактивного графита в атмосфере воздуха. Исследования проводили методом термодинамического моделирования.Термодинамическое моделирование заключается в термодинамическом анализе равновесного состояния систем в целом. Расчетные методы развиты на основе вариационных принципов термодинамики.Наиболее значимыми компонентами конденсированной фазы являются $UO_2$, UOCl, $CaCl_2$, BeO. Их концентрация превышает $10^{-2}$мол.дол. В интервале температур 1300-1500К соединение $UO_2$ становится преобладающим компонентом с концентрацией 0,98мол.дол. При 300-1000К примерно 100% кальция и стронция находится в виде конденсированного $CaCl_2$ и $SrCl_2$, при повышении температуры до 1300К наблюдается переход хлоридов в газовую фазу. При температуре 300-900К примерно 100-90% бериллия находится в виде конденсированного BeO. В интервале от 800 до 1200К уменьшается содержание конденсированного BeO от 90 до 5% и увеличивается содержание газообразного $BeCl_2$ от 10 до 95%. В интервале 300-700К уран находится в виде твердых фаз$UO_2$, $UOCl_2$, UOCl. Повышение Т до 1100К вызывает появление газообразного $UCl_4$, доля которого достигает ~10%, и уменьшение до нуля конденсированного $UOCl_2$. При дальнейшем росте температуры до 1300К исчезает газовая фаза $UCl_2$, уменьшается практически до нуля конденсированный UOCl, уран представляет собой фазу конденсированного $UO_2$. В интервале от 1300 до 1600К практически весь уран присутствует в виде конденсированного $UO_2$.При температуре до 300К практически весь плутоний находится в виде конденсированного $PuCl_3$. В интервале от 800 до 1300К конденсированные PuOCl (~75%) и $PuO_2$. При дальнейшем повышении температуры до 1600К основной фазой является конденсированный $PuO_2$.В интервале от 300 до 800К практически весь америций присутствует в виде конденсированного $AmO_2$. Дальнейшее повышение Т до 1600К вызывает появление конденсированного $Am_2O_3$ (~10%), остальной америций находится в виде конденсированного $AmO_2$ (~90%).

# ОСОБЕННОСТИ РАДИАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ И НОРМИРОВАНИЯ УСТАНОВОК, ИСПОЛЬЗУЮЩИХ ОГРАНИЧЕННЫЕ СКАНИРУЮЩИЕ ПУЧКИ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ

*А.Н.Барковский, Н.В.Титов*
Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены им. проф. П.В.Рамзаева, Санкт-Петербург, Россия.

В настоящее время широкое распространение получили различные виды установок, использующих ограниченные сканирующие пучки ионизирующего излучения. К ним относятся сканирующие медицинские рентгенографические аппараты, рентгеновские сканеры для персонального досмотра людей, инспекционно-досмотровые ускорительные комплексы, передвижные рентгеновские установки для сканирования автомобилей в движении и т.п. Использование таких установок приводит к облучению людей или контролируемых грузов прямыми пучками излучения, что порождает необходимость использования эффективных и надежных методов контроля получаемых ими доз. Целью данной работы является анализ применимости традиционных методов радиационного контроля к установкам с ограниченными сканирующими пучками ионизирующего излучения и обоснование требований к ним.

В вышеперечисленных установках используются плоские веерные пучки рентгеновского или тормозного излучения шириной 1-3 мм и игольчатые пучки рентгеновского излучения диаметром 2-3 мм. С учетом того, что размеры пучка излучения существенно меньше размеров детектора используемых для проведения измерений дозиметров, а также того, что время набора статистики для всех используемых дозиметров существенно превышает время прохождения перемещающегося пучка излучения через детектор, попытка традиционного подхода, основанного на измерении мощности дозы излучения, приводит к тому, что измеренная величина на 1 – 3 порядка меньше реальной мощности дозы в пучке излучения. При этом показания прибора в большей степени зависят от условий измерения (соотношение размеров пучка излучения и детектора, скорость сканирования, время набора статистики дозиметром при одиночном измерении), чем от реальной мощности дозы излучения в пучке.

Авторы предлагают в этом случае измерять не мощность дозы излучения, а дозу за сканирование. При этом исчезают все вышеописанные сложности, измеренная величина отражает реальную дозу за сканирование, получаемую человеком или объектом контроля, и это именно та величина, которая определяет радиационное воздействие. Умножая дозу за сканирование на число сканирований за определенный промежуток времени мы получаем дозу объекта контроля за этот период. При таком подходе целесообразно и в качестве нормируемой величины использовать дозу за сканирование либо дозу за час работы установки с максимальной интенсивностью. Такой подход был реализован в санитарных правилах СанПиН 2.6.1.2369-08 «Гигиенические требования по обеспечению радиационной безопасности при обращении с лучевыми досмотровыми установками» и СанПиН 2.6.1.3106-13 «Гигиенические требования по обеспечению радиационной безопасности при использовании рентгеновских сканеров для персонального досмотра людей», а также в методических рекомендациях № 01/8152-8-26 от 29.07.2008 г. «Проведение радиационного контроля инспекционно-досмотровых ускорительных комплексов». Практическое использование указанных документов подтвердило плодотворность предложенного подхода и целесообразность его распространения на сканирующие медицинские рентгенодиагностические аппараты.

# СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ $^{137}$Cs В ВОДНОЙ СРЕДЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЖИДКОСТНО-СЦИНТИЛЛЯЦИОННОЙ СПЕКТРОМЕТРИИ

*О.Н. Бей*[1], *В.Ю. Проскурнин*[2], *С.Б. Гулин*[2]

[1]Севастопольский национальный университет ядерной энергии и промышленности, Севастополь, Россия,
oksaniya_89@mail.ru

[2]Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского, Севастополь, Россия,
xdymdy@gmail.com, sergey.gulin.ibss.sevastopol@mail.ru

Цезий-137 является одним из наиболее значимых факторов радиоактивного загрязнения окружающей среды, и, поэтому, совершенствование методов его контроля в природных экосистемах необходимо для обеспечения их радиационной безопасности. Основная трудность, возникающая при измерении содержания $^{137}$Cs в водной среде, заключается в его высокой геохимической подвижности, особенно – в морской среде, что приводит к быстрому снижению концентрации данного радионуклида в местах сброса. Вместе с тем, для определения $^{137}$Cs используются, как правило, гамма-спектрометрические методы, основанные на измерении активности его короткоживущего дочернего радионуклида $^{137m}$Ba и характеризующиеся низкой (обычно 1-10%) эффективностью регистрации γ-излучения. В связи с этим, объемы проб воды, необходимые для определения содержания $^{137}$Cs, достигают нескольких сотен, а иногда и тысяч литров. Причем, для концентрирования $^{137}$Cs воду предварительно прокачивают через цезий-селективные сорбенты в течение достаточно длительного времени, контролируя степень извлечения $^{137}$Cs по снижению его активности в последовательно соединенных адсорберах. Это является главным преимуществом данного метода, однако обработка таких больших объемов воды существенно затрудняет проведение массовых измерений, особенно на больших глубинах, и снижает их производительность. Альтернативный метод, основанный на АМР-осаждении $^{137}$Cs с его последующей бета-радиометрией, позволяет значительно уменьшить объем обрабатываемой воды, однако требует использования дорогостоящего трассера радиохимического выхода (например, $^{135}$Cs или $^{136}$Cs), а также платинохлористоводородной кислоты и специальных процедур для отделения цезия от его химического аналога – калия. В связи с этим, нашей целью была разработка высокочувствительного метода измерения содержания $^{137}$Cs в водной среде, совмещающего достоинства двух указанных выше способов его концентрирования, а именно: проточную сорбцию, позволяющую определять эффективность извлечения цезия без трассеров радиохимического выхода, а также жидкостно-сцинтилляционную спектрометрию $\beta$-излучения $^{137}$Cs, которая позволяет детектировать его с эффективностью до 90% и учитывать вклад излучения сопутствующего $^{40}$K. Экспериментальные исследования показали, что данный метод позволяет уменьшить объем обрабатываемых проб до 50 и менее литров без снижения предела детектирования $^{137}$Cs. Использование метода в полевых условиях дало возможность впервые за пост-чернобыльский период получить полный профиль вертикального распределения $^{137}$Cs в глубоководной зоне Черного моря.

# К ВОПРОСУ ОБОСНОВАНИЯ ПОВТОРНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ОТХОДОВ, СОДЕРЖАЩИХ РАДИОНУКЛИДЫ

*П.А. Блохин, Ю.Е. Ванеев, С.В. Панченко*
Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН, Москва, Россия,
blokhin@ibrae.ac.ru

В атомной промышленности на некоторых стадиях ядерно-топливного цикла образуются металлы, загрязненные радионуклидами. При превышении нормативных требований по содержанию радионуклидов металлы относят к металлическим радиоактивным отходам, что исключает их повторное использование. В противном случае металл проходит цикл переработки и дезактивации.

В России практикуется вариант практически полного удаления радионуклидов из металла, после чего его можно повторно использовать в разных отраслях промышленности, в том числе и в атомной. Дезактивация загрязненного металла представляет из себя сложный технологический процесс и требует больших трудозатрат, что сказывается на конечной стоимости переработанного металла. Однако, уровень дезактивации должен определяться с учетом того, где в последствии будет использоваться «загрязненный» металл, а также какие радиационные риски воздействия на человека и объекты окружающей среды сопряжены с этим. В ряде случаев контакты металлических изделий с человеком будут крайне ограничены, а их воздействие на биоту может оставаться в пределах экологических нормативов. Одним из таких вариантов использования прошедшего переработку металла может стать изготовление арматуры для бетонных конструкций и металлических контейнеров, предназначенных для обращения с радиоактивными отходами.

В работы приводятся результаты оценки уровней допустимого радиоактивного загрязнения металлов, предназначенных для изготовления арматуры и контейнеров. Расчеты прохождения гамма-излучения в среде проводились с помощью одного из модулей программно-технического комплекса ОБОЯН – программы TDMCC, реализующей метод Монте-Карло в трехмерной геометрии. Предложен методический подход к оценке максимально допустимых значений удельной активности металла при его повторном использовании. Приводятся примеры расчетов, позволяющие перейти к оценкам экономической целесообразности такого обращения с металлическими отходами.

# РАДИАЦИОННО-ГИГИЕНИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ И ТРЕБОВАНИЯ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ ПРОЦЕДУРЫ ПЕРЕХОДА НАСЕЛЕНИЯ, ПРОЖИВАЮЩЕГО НА РАДИОАКТИВНО ЗАГРЯЗНЕННЫХ ВСЛЕДСТВИЕ АВАРИИ НА ЧАЭС ТЕРРИТОРИЯХ, К УСЛОВИЯМ НОРМАЛЬНОЙ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

*А.Н. Барковский, Г.Я. Брук, И.К. Романович*
Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены им. проф. П.В.Рамзаева, Санкт-Петербург, Россия.

Одна из самых масштабных радиационных катастроф в мире – авария на Чернобыльской АЭС в 1986 году – привела к радиоактивному загрязнению значительных территорий 14 субъектов Российской Федерации, охватив почти 60 тысяч км$^2$ площадей, загрязненных цезием-137 более 1,0 Ки/км$^2$. В настоящее время в зонах радиоактивного загрязнения находится более 4 тысяч населенных пунктов (НП), где проживают более 1,5 млн. человек. Фактически это означает, что огромная часть населения страны до сих пор находится в состоянии проживания в условиях радиационной аварии.

Основной целью радиационной защиты и реабилитации радиоактивно загрязненных территорий Российской Федерации является создание условий для обеспечения перехода к нормальной жизнедеятельности населения в условиях выполнения общепринятых требований радиационной безопасности.

Необходимым условием перехода населения отдельных НП к нормальной жизнедеятельности является совместное выполнение двух следующих требований:

– обеспечение выполнения для населения общепринятых требований радиационной безопасности (обеспечение условий безопасного проживания);

– обеспечение возможности ведения на загрязненной территории хозяйственной деятельности без применения специальных мероприятий по снижению содержания $^{137}$Cs в производимой продукции (обеспечение условий нормальной хозяйственной деятельности).

За критерий восстановления условий нормальной хозяйственной деятельности на территории НП и его ареала принимается снижение плотности загрязнения почвы цезием до уровней, позволяющих производить на этой территории традиционную сельскохозяйственную продукцию, удовлетворяющую санитарным требованиям без применения специальных мер по снижению содержания в ней $^{137}$Cs. При этом должны учитываться имеющиеся в данном НП типы почв и виды производимой сельскохозяйственной продукции.

Предварительные расчеты показали, что общее количество населенных пунктов, в которых плотность загрязнения почвы цезием-137 меньше 1,0 Ки/км$^2$, текущая средняя годовая эффективная доза облучения населения (в условиях отсутствия контрмер) не превышает 1,0 мЗв/год, а средняя удельная активность радионуклидов во всех пищевых продуктах местного происхождения не превышает допустимые уровни, установленные Санитарно-эпидемиологическими правилами и нормативами, составляет в настоящее время 1349 НП во всех 14 регионах России, пострадавших вследствие аварии на Чернобыльской АЭС.

# ВЛИЯНИЕ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ НА ТРАНСПОРТ СИГНАЛОВ В НЕРВНОЙ СИСТЕМЕ

*Бугай А.Н., Пархоменко А.Ю.*
Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия,
bugay@jinr.ru

Проведена теоретическая оценка влияния ионизирующих излучений на проведение различных сигналов в нервной системе начиная с уровня внутриклеточной сигнализации до уровня популяции нейронов.

На субклеточном уровне рассмотрена модель сигнализации в микротрубочках. Исследовано влияние внешних зарядов, а также модификации регуляторных белков на распространение электро-акустических волн по длине микротрубочки.

На клеточном уровне рассмотрена модель проведения потенциала действия в отдельном нейроне. Исследовано влияние разрушения миелиновой оболочки и других механизмов нарушения проводимости на распространение нервного импульса в аксоне.
На уровне популяции нейронов рассмотрена модель передачи коллективного электрического возбуждения с участием синаптических связей двух типов: возбуждающих и тормозных. Исследовано влияние нарушения работы NMDA и AMPA рецепторов на нелинейную динамику ансамбля нейронов.

В результате аналитических и численных расчетов получены количественные характеристики устойчивости распространения сигнала в зависимости от дозы излучения для каждого рассмотренного уровня организации.
В заключение можно отметить, что ионизирующие излучения с различными характеристиками оказывают существенное влияние на проведение электрических сигналов в нервной системе на различных уровнях организации.

# МЕТОДИЧЕСКОЕ И НАУЧНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОВЕДЕНИЯ ПЕРВИЧНОЙ РЕГИСТРАЦИИ РАО В ЧАСТИ ОТНЕСЕНИЯ НАКОПЛЕННЫХ РАО К ОСОБЫМ РАО

*М.В. Ведерникова*
Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН, Москва, Россия,
vmv@ibrae.ac.ru

В настоящее время проводится первичная регистрация накопленных радиоактивных отходов (далее – РАО) в рамках которой часть отходов будет отнесена к особым РАО. Согласно Федеральному закону от 11.07.2011 г. №190-ФЗ «Об обращении с радиоактивными отходами…» такие отходы можно захоранивать в месте их нахождения при условии гарантии безопасности на весь период потенциальной опасности.

Для выполнения критериев отнесения РАО к особым РАО, установленных постановлением Правительства Российской Федерации от 19.10.2012 г. №1069, предусмотрена необходимость проведение оценок: коллективных эффективных доз облучения за весь период потенциальной опасности РАО, рисков потенциального облучения и расходов, связанных с удалением РАО и с захоронением РАО в месте их нахождения; совокупного размера возможного вреда окружающей среде в случае захоронения РАО в месте их нахождения.

В работе представлены:

– Методические подходы и алгоритмы для комплексного решения задачи формирования обоснования. Алгоритмы основаны на формировании и детальном анализе двух сценариев обращения с накопленными РАО (захоронение РАО в месте их нахождения и удаления РАО) по всем необходимым критериям.

– Материалы «Научно-технического пособия по подготовке обосновывающих материалов для принятия решения об отнесении РАО к особым РАО», подготовленные для методической поддержки предприятий отрасли.

– Результаты апробации представленных подходов и методик на пилотных пунктах хранения РАО ФГУП «ПО «Маяк».

# ВОЗМОЖНОСТИ СНИЖЕНИЯ ДОЗ ПАЦИЕНТОВ В ЦИФРОВОЙ РЕНТГЕНОГРАФИИ ОРГАНОВ ГРУДНОЙ КЛЕТКИ

*Водоватов А. В.[1], Камышанская И.Г.[2], Дроздов А. А.[2]*
[1]Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены им. проф. П. В. Рамзаева, Санкт-Петербург, Россия,
[2]Городская Мариинская больница, Санкт-Петербург, Россия.

Для оценки возможности снижения лучевой нагрузки на пациентов при проведении рентгеновских исследований органов грудной клетки, определялось влияние режимов исследования на дозы пациентов и качество полученных рентгеновских снимков. Объектами исследования были выбраны четыре цифровых рентгеновских аппарата производства НИПК «Электрон» (флюорограф ФЦ-Электрон, КРД-Электрон, два АРЦ-Электрон). В качестве основных параметров, влияющих на дозу, было выбрано анодное напряжение и использование растра. Исследование проводилось с использованием антропоморфного гетерогенного фантома грудной клетки Kyotochestphantom. Использовались стандартные для каждого аппарата настройки и процедура выполнения снимка. Фантом располагался в стандартном для пациента положении. На каждом аппарате была выполнена серия снимков на диапазоне анодного напряжения 60-120 кВ с шагом в 5 кВ. В том случае, если конструкция аппарата позволяла использовать съемные растры, было выполнено две серии снимков, со стандартным для данного аппарата растром и без него. Полученные снимки не подвергались постобработке. Для каждого режима было измерено произведение дозы на площадь (ПДП) с помощью клинического дозиметра ДРК-1 и рассчитана эффективная доза с помощью программного обеспечения «РСХМС». Качество полученных снимков оценивала группа экспертов по системе ImageCriteriaScore. За основу были взяты европейские критерии качества, которые были переработаны и расширены для отражения специфики цифровой рентгенографии. Оптимальные по дозе режимы исследования органов грудной клетки на цифровых рентгеновских аппаратах НИПК «Электрон» находятся в области высоких напряжений (110-120 кВ). Характер зависимости дозы от напряжения был индивидуален для каждого аппарата.

Экспертная оценка рентгеновских снимков показала, что лучшее качество изображения достигается при использовании режима 90-110 кВ для всех аппаратов. Отказ от применения растра позволил снизить дозу на пациента в 2-2,5 раза, при этом достоверного снижения качества изображения зафиксировано не было.

# АЛГОРИТМ ДЛЯ РАСЧЕТА ДОЗ ВНУТРЕННЕГО ОБЛУЧЕНИЯ ЭМАЛИ ЗУБОВ ОТ $^{90}$Sr+$^{90}$Y, ИНКОРПОРИРОВАННЫХ В ЗУБНЫХ ТКАНЯХ

*А.Ю.Волчкова[1], Е.А.Шишкин[2], В.А.Кривощапо[3], Е.И.Толсты[4], М.О.Дегтев[5]*
Уральский научно-практический центр радиационной медицины, Челябинск, Россия,
[1]alexandra_volchkova@mail.ru, [2]lena@urcrm.ru, [3]gf@urcrm.ru, [4]evgenia@urcrm.ru,
[5]marina@urcrm.ru

В период с 1949 по 1956 гг. на Южном Урале происходило радиоактивное загрязнение реки Теча и ее прибрежных территорий из-за производственной деятельности ПО “Маяк”. В результате жители населенных пунктов, расположенных вдоль реки, подверглись как внешнему гамма-облучению, так и внутреннему, в основном за счет остеотропного $^{90}$Sr и его дочернего продукта $^{90}$Y. Эпидемиологические исследования для когорты реки Теча нуждаются в дозиметрической поддержке. Одним из методов ретроспективной дозиметрии, используемых для оценки доз внешнего облучения, является метод Электронного Парамагнитного Резонанса (ЭПР) на эмали зубов. ЭПР-метод позволяет оценить суммарную дозу в эмали зубов, накопленную за все время жизни человека под действием всех видов ионизирующего излучения. Предварительные ЭПР-исследования показали, что для оценки дозы внешнего облучения на основе ЭПР-измерений эмали зубов в ситуации на реке Теча необходимо вычесть внутреннюю компоненту дозы, сформированную за счет $^{90}$Sr и $^{90}$Y, инкорпорированных в зубных тканях (эмали, дентине коронки и дентине корня). Доза внутреннего облучения эмали зубов может быть рассчитана как произведение концентрации радионуклида в ткани-источнике и соответствующего дозового коэффициента (DC), представляющего собой мощность дозы в эмали (ткани-детекторе) при единичной концентрации $^{90}$Sr+$^{90}$Y. DC рассчитываются на основе геометрических моделей зубов методом статистического моделирования (Монте-Карло) транспорта электронов и фотонов. Геометрия зубов, а значит и значения DC зависят от позиции и возраста зуба. Более того, было обнаружено, что у людей разных годов рождения возрастные изменения геометрии различны. Таким образом, DC определяется тремя параметрами: позиция зуба (p), возраст зуба (t) и год рождения (T). Прямые измерения концентраций $^{90}$Sr в зубных тканях, проведенные через 60 лет после поступления радионуклида, повышают точность оценок, однако они доступны только для 20-30% зубов. В случае отсутствия экспериментальных данных возможна экстраполяция данных, полученных на соседних зубах либо на прилегающих тканях, либо модельные оценки. Таким образом, для расчета дозы внутреннего облучения требуется для каждого отдельного зуба принимать во внимание его индивидуальные свойства (p), возраст на момент удаления (t) и год рождения донора (T), а так же наличие и качество экспериментальных данных. Целью настоящей работы является создание алгоритма для расчета доз внутреннего облучения эмали зубов за счет $^{90}$Sr+$^{90}$Y, инкорпорированных в зубных тканях. В рамках настоящей работы были обобщены результаты предыдущих исследований отдельных факторов, влияющих на формирование дозы внутреннего облучения и разработан алгоритм расчета доз в эмали зубов. Алгоритм состоит из двух блоков: (1) присвоение значений концентрации $^{90}$Sr всем зубным тканям для каждого зуба; (2) присвоение DC(p,t,T). Алгоритм был реализован в компьютерной программе, позволившей рассчитать дозы внутреннего облучения для 500 зубов, измеренных ранее ЭПР-методом.

Благодарности: работа выполнена при финансовой поддержке Российско-Американского проекта 1.1 и при поддержке проекта SOLO Европейского Союза.

# РАДИОБИОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ НЕЭФФЕКТИВНОСТИ ЗАЩИТЫ ЛИЦ РЕПРОДУКТИВНОГО ВОЗРАСТА В ОТЕЧЕСТВЕННЫХ НОРМАХ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

*А.П. Ермалицкий, А.М. Лягинская, В.А. Осипов, И.М. Петоян*
ГНЦ РФ - Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна ФМБА России, Москва, Россия,
imc@mail.ru

Репродуктивная система – одна из важнейших систем организма, нарушения в которой приводят к серьёзным не только медицинским, но и социальным проблемам, затрагивающим семью и общество в целом. Учитывая это в международной системе радиационной безопасности защите гонад уделяется особое внимание.

Авторами обобщён материал собственных многолетних исследований состояния репродуктивного здоровья мужчин, подвершихся плановому повышенному облучению (ликвидация последствий аварии на Чернобыльской АЭС), из числа персонала Смоленской и Калининской АЭС, привлекавшегосяся к этим работам и в дальнейшем работавшего в нормальных услових эксплуатации источников излучения, а также участников работ по ликвидации последствий аварии, не являвшихся персоналом АЭС. Сравнение показателей здоровья в этих группах проведено с персоналом АЭС, работающим в нормальных услових эксплуатации источников излучения и с городским населением. Проанализированы неблагоприятные исходы беременностей в семьях, задержка внутриутробного развития и врожденные пороки у новорожденных, общая заболеваемость детей. Показатели сопоставлены с дозами облучения персонала и ликвидаторов. Параллельно проанализированы медико-демографические показатели рождаемости в семьях персонала АЭС, которые были сопоставлены с принципами защиты персонала, закрепленными в отечественных НРБ 99/2009, с целью оценки эффективности предлагаемых мер защиты в отношении конкретно репродуктивного здоровья мужчин, работающих в условиях воздействия ионизирующих излучений. Защитной мерой в этом случае надо считать дополнительное возрастное ограничение – мужчины младше 30 лет, *«как правило»*, не должны привлекаться к работам, связанным с планируемым повышенным облучением.

Хорошо известно, что верхний предел детородного возраста для мужчин – понятие достаточно условное. На возраст отца старше 30 лет, согласно полученным данным (в семьях персонала АЭС), приходится около 27% от общего числа деторождений, а отцами в возрасте после 30-ти лет становятся до 35-40% мужчин. В семьях персонала проявилось также и «старение» отцовства, отмеченное в качестве современной тенденции в нашей стране в демографических исследованиях. На фоне положительно оцениваемой динамики снижения годовых доз, получаемых персоналом, работающим в нормальных услових эксплуатации источников излучения, эти факторы не играют какой-либо заметной роли в оценках вероятного неблагоприятного действия ионизирующего излучения на репродуктивное здоровье. Однако в случае привлечения «молодых» возрастных контингентов персонала к работам, связанным с повышенным облучением эти возрастные демографические показатели реализации репродуктивной функции необходимо учитывать, так как значительная доля детей в семьях персонала-мужчин может попадать в группу риска. Система ограничения доз для персонала, согласно положениям НРБ 99/2009, позволяет получить за период в 5-6 лет до зачатия ребенка суммарную дозу до 300 мЗв и выше, в то время как собственные фактические и опубликованные данные показывают, что негативные изменения у потомства возникают при облучении отцов в дозах в среднем 100 мЗв и выше.

Результатом работы являются соответствующие предложения по корректировке отдельных положений отечественных норм радиационной безопасности (НРБ 99/2009).

# МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ РАДИАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ В ОТДЕЛЕНИИ ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ С ЛИНЕЙНЫМИ МЕДЕЦИНСКИМИ УСКОРИТЕЛЯМИ

*Д.М. Защиринский*[1], *О.С.Сидоров*[1], *Л.В. Владимиров*[2]
[1] Испытательный лабораторный центр ООО "КАНОН", Москва, Россия,
fiz-denis@mail.ru
[2]Российская медицинская академия последипломного образования Минздрава РФ, Москва, Россия,
aleks36@inbox.ru

Развитие технологий последних лет позволило создать системы лучевой терапии на базе линейных ускорителей. Однако эти системы содержат мощный источник ионизирующего излучения, поэтому безопасность персонала и населения требует особого внимания. Работа посвящена актуальным и важным вопросам организации радиационного контроля медицинских систем для лучевой терапии с линейными ускорителями, которые недостаточно полно освящены в действующих нормативных документах.

В ходе профессиональной деятельности сотрудникам проектного отдела испытательного лабораторного центра ООО «КАНОН» приходится проводить проектирование и радиационный контроль систем лучевой терапии, которые содержат линейный ускоритель. Нами была разработана и апробирована на практике следующая методика расчета допустимых значений мощности дозы облучения персонала. Измерения проводились на различных системах для лучевой терапии с медицинским линейным ускорителями производства фирмы «Varian Medical Systems» с энергией фотонного излучения от 6 до 18 МэВ.

Как при проектировании, так при радиационном контроле сбор данных следует начинать с установления режима работы кабинета лучевой терапии и расчета недельной рабочей нагрузкой ускорителя за одну смену ($W_0$). Для установок каждого типа она рассчитывается индивидуально с учетом количества пациентов в смену, количества рабочих дней в неделю и средней величины дозы, отпускаемой пациенту за одну процедуру. Чаще всего такие системы работают в две смены, поэтому рассчитывается недельная рабочая нагрузка для разных категорий облучаемых лиц (W) с учетом коэффициента сменности, приведенного в СанПиН 2.6.1.2573-10 (Приложение 1, таблица 1). Затем определяется время облучения за год для разных категорий лиц и рассчитывается величина допустимой мощности дозы (ДМД) с учетом пределов доз для персонала и населения. Выполнив расчет по этой методике получаютя следующие значения ДМД: для помещения постоянного пребывания персонала группы "А" - 288 мкЗв/ч, для помещения постоянного пребывания персонала группы "Б" - 60 мкЗв/ч, для населения - 12 мкЗв/ч. В СанПиН 2.6.1.2573-10 проектные мощности дозы для перечисленных категорий облучаемых лиц составляют 6, 1,2 и 0,25 мкЗв/ч соответственно. Существенное расхождение в значениях ДМД связано с иным походом к расчетам, используемым в СанПиН: предполагается, что ускоритель является источником излучения в течение всей смены. Такой подход приводит к существенному занижению значения ДМД. Из вышеизложенного следует, что при проведении радиационного контроля сравнивать измеренные значения мощности дозы с проектными из СанПиН 2.6.1.2573-10 не вполне корректно. Делать оценку радиационной обстановки надо на основании сравнения полученных данных с рассчитанными ДМД, которые учитывают специфику работы конкретной системы для лучевой терапии с медицинским линейным ускорителем.

# ОЦЕНКА РАДИАЦИОННЫХ РИСКОВ НА ИНДИВИДУАЛЬНОМ УРОВНЕ ПРИ МНОГОКРАТНОМ ИСПОЛЬЗОВАНИИ В ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ЦЕЛЯХ КОМПЬЮТЕРНОЙ ТОМОГРАФИИ

*В.К. Иванов*[1], *В.В. Кащеев*[1], *С.Ю. Чекин*[1], *А.Н. Меняйло*[1], *Е.А. Пряхин*[1]
[1] Медицинский радиологический научный центр Минздрава РФ, Обнинск, Россия,
ivanov@nrer.ru

В международных основных Нормах безопасности, выпущенных МАГАТЭ в 2011 г. [IAEA Safety Standards, IAEA, 2011] отмечается (п. 3.150), что «ни один пациент … не подвергается медицинскому облучению, если … он не информирован … о рисках, связанных с воздействием излучения». Это требование также отражено в принятых в России «Нормах радиационной безопасности (НРБ-99/2009)» [СП 2.6.1.2523-09] и в «Основных санитарных правилах обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010)» [СП 2.6.1.2612-10]. Таким образом, впервые на международном и национальном уровнях чётко обозначено требование оценки риска возможных стохастических эффектов при планировании медицинского рентгенологического облучения. Понятно, что это требование в настоящее время имеет повышенную актуальность в связи с широким внедрением, в частности, современных технологий компьютерной томографии, особенно в педиатрии. [Иванов В.К. и др., Радиация и риск, 2011].

Хорошо известно, что процедуры компьютерной томографии могут в течение жизни проводиться многократно. Поэтому основной целью этой работы являлась разработка и реализация методики оценки радиационных рисков при многократном использовании компьютерной томографии.

Современными величинами радиационного риска являются: атрибутивная доля (ARF), пожизненный атрибутивный риск (LAR) и др. Для каждого типа риска была разработана методика вычислений. Используя эту методику, были определены радиационные риски для конкретных примеров процедур на компьютерном томографе Siemens Emotion 6, начиная от однократного облучения, и заканчивая пятикратным (органные дозы получены при помощи программы CT-Expo). Таким образом, прослеживалась зависимость радиационного риска от количества облучений. Были рассмотрены примеры облучений для мужчин и женщин российской и усреднённой европейско-американской и азиатской популяций.

Ранее в наших работах мы показали, что превышение уровня ARF в 10 % указывает на статистически значимое увеличение числа раковых заболеваний среди ликвидаторов Чернобыльской аварии. В данной работе получено, что ARF от многократной компьютерной томографии меньше 10% (около 3% у мужчин и 2.1% у женщин российской популяции и почти 2% у мужчин и 1.2% у женщин усреднённой европейско-американской и азиатской популяции). Однако, в рассмотренном примере величина LAR после пяти облучений варьируется от $10.7\times10^{-4}$ (мужчины российской популяции) до $29.38\times10^{-4}$ (женщины усреднённой европейско-американской и азиатской популяции). В работе [HPA-CRCE-028] представлены категории радиационного риска. Самый большой риск (от 1 на 10 000 до 1 на 1000) соответствует категории «Low». Риск же в нашем примере превышает эту категорию. Поэтому представленные оценки ясно показывают, что использование многократного КТ сканирования в диагностических целях должны быть ограничены и использоваться только тогда, когда истинная польза от процедуры превышает потенциальный радиационный риск.

# РАДИАЦИОННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ МИНЕРАЛЬНОЙ ВОДЫ В САНКТ–ПЕТЕРБУРГЕ

*Кадука М.В., Басалаева Л.Н., Гочарова Ю.Н., Салазкина Н.В., Швыдко Н.С., Кадука А.Н.*

Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены им. проф. П.В.Рамзаева, Санкт-Петербург, Россия.

Объектами исследования в данной работе является бутилированная минеральной вода, реализуемая в торговой сети Санкт-Петербурга и минеральная вода из скважин Санкт-Петербурга. Отбор проб, подготовка и измерение активности счетных образцов, а также обработка полученных результатов осуществлялись с использованием альфа-бета радиометра для измерений малых активностей УМФ–2000, полупроводникового альфа-спектрометра Alpha и гамма-спектрометра РГГ–02Т по методикам выполнения измерений, разработанным в институте. Был выполнен анализ 32 проб минеральной воды с определением величин удельной суммарной альфа- и бета-активности ($A_\alpha$ и $A_\beta$), удельных активностей $^{226}$Ra, $^{224}$Ra, $^{228}$Ra, $^{210}$Pb, $^{210}$Po, $^{238}$U, $^{234}$U, $^{222}$Rn и расчетом показателя суммы отношений удельных активностей указанных радионуклидов к соответствующим уровням вмешательства $\Sigma(Ai/УВ_i)$. Максимальная неопределенность определения показателей не превышала 50%.

Было обнаружено превышение критерия соответствия воды требованиям радиационной безопасности по $A_\alpha$ для 81% проб воды. Для 56% проб было обнаружено превышение по $A_\beta$. При этом для 28% проб превышение обусловлено присутствием в воде бета-излучающего радионуклида $^{40}$K, содержание в воде которого не нормируется, а в 28% случаев присутствием в воде $^{228}$Ra в диапазоне 0,22 – 1,58 Бк/кг. Из-за высокой степени минерализации минеральной воды корректное определение величины удельной суммарной альфа-активности является затруднительным. Для проб минеральной воды практически во всех случаях можно рекомендовать выполнять определение удельных активностей основных дозообразующих радионуклидов.

Средние величины удельных активностей $^{226}$Ra, $^{228}$Ra и $^{222}$Rn для минеральной воды Санкт-Петербурга превышают уровни вмешательства, определенные для данных радионуклидов НРБ-99/2009 (0,49 Бк/кг, 0,2 Бк/кг и 60 Бк/кг) и составляют 1,3 Бк/кг, 0,38 Бк/кг и 158 Бк/кг, соответственно. Значения удельных активностей радионуклидов в исследованных пробах минеральной воды составили: 0,036 – 5,1 Бк/кг для $^{226}$Ra; 0,012 – 1,6 Бк/кг для $^{228}$Ra; 0,002 – 3,4 Бк/кг для $^{224}$Ra; 0,002 – 0,013 Бк/кг для $^{210}$Po; 0,002 – 0,018 Бк/кг для $^{210}$Pb; 0,006 – 0,15 Бк/кг для $^{238}$U; 0,010 – 0,19 Бк/кг для $^{234}$U и 5,0 -1560 Бк/кг для $^{222}$Rn. Превышений уровней вмешательства определенных НРБ-99/2009 для $^{210}$Po, $^{210}$Pb, $^{238}$U и $^{234}$U обнаружено не было. Для 4% обследованных проб минеральной воды было обнаружено превышение уровня вмешательства определенное для $^{224}$Ra (2,1 Бк/кг). Значение величины $\sum(A_i/УВ_i)$ превышает 1 для 54% проб минеральной воды, отобранных в Санкт-Петербурге и находится в диапазоне 0,28 – 13,8. Защитные мероприятия по снижению содержания радионуклидов в воде из данных скважин должны осуществляться с учетом принципа оптимизации, принимая во внимание письмо Роспотребнадзора от 21 августа 2006 г. N 0100/9009-06-32 “О радиационном контроле за питьевой и минеральной водой”. Если для содержания природных и искусственных радионуклидов в минеральной воде выполняется условие: $1<\sum(A_i/УВ_i)\leq 10$, то вода признается соответствующей требованиям радиационной безопасности. С учетом того, что потребление минеральной лечебной и лечебно-столовой воды заведомо намного меньше, чем 730 кг за год, дозы внутреннего облучения населения за счет ее потребления вероятнее всего не превысят 0,1 мЗв/год.

# СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ РУТИННОЙ ДОЗИМЕТРИИ ХРУСТАЛИКА ГЛАЗА

*Н.А. Карпов*[1], *С.Е. Охрименко*[2], *С.И. Иванов*[2], *О.В. Кирюхин*[1], *Н.А. Акопова*[2], *А.М. Афиногенов*[1]

[1] Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, химический факультет, Москва, Россия,
nick.karpov@mail.ru

[2] Российская медицинская академия последипломного образования Минздрава РФ, Москва, Россия,
ooniii@mail.ru

В настоящее время возможность определения годовой эквивалентной дозы облучения хрусталика глаза (ГЭДХ) в типовой лаборатории радиационного контроля приобретает существенное значение по двум основным причинам. Во-первых, из-за широкого распространения медицинских учреждений, использующих источники ионизирующих излучений (ИИИ), и, во-вторых, в связи с рекомендуемым МАГАТЭ кратным ужесточением предела ГЭДХ (в действующих Нормах радиационной безопасности (НРБ-99/2009) предел ГЭДХ для персонала группы А составляет 150 мЗв, а в Международных основных нормах безопасности (2011) - 20 мЗв).

Целью настоящей работы, проведённой совместно на кафедре радиационной гигиены РМАПО и кафедре радиохимии химического факультета МГУ имени М.В.Ломоносова при участии аккредитованной лаборатории радиационного контроля НТЦ "ПРАКТИКА", являлось получение первичных реальных данных для оценки ГЭДХ персонала групп А и Б в медицинских учреждениях, осуществляющих диагностику и лечение с применением рентгеновской техники и радиофармпрепаратов (РФП).

Индивидуальный эквивалент дозы $H_p(3)$ определяли с помощью термолюминесцентных дозиметров на основе детекторов ТЛД-1011 (LiF, активированный Mg, Cu, P). Для измерения откликов детекторов ТЛД-1011 использовался термолюминесцентный анализатор "Harshaw TLD System 4000". Относительная погрешность одного измерения не превышала 20 %. Измерения проводились среди врачей и среднего медицинского персонала, выполняющих ангиографические диагностические и терапевтические процедуры, урологические операции, осуществляющих диагностику с применением РФП и стоматологов.

Результаты проведённого исследования показывают, что ГЭДХ, получаемые медицинскими специалистами, работающими с ИИИ, приближаются, а в ряде случаев превышают значение предела ГЭДХ, рекомендованного МАГАТЭ. Наибольшие значения ГЭДХ могут наблюдаться у врачей-ангиографистов (измеренное значение $H_p(3)$ при месячной экспозиции достигало 2,2 мЗв, что соответствует ГЭДХ около 30 мЗв). Вместе с тем, отмечено заметное воздействие излучения на хрусталик для всех обследованных групп медицинских работников без исключений (на уровне 10-50 % от рекомендованных МАГАТЭ 20 мЗв). Очевидно, что в случае внедрения рекомендаций МАГАТЭ в Российской Федерации, действующие уровни введения индивидуального дозиметрического контроля ($У_{ВК}$) для определения ГЭДХ, по всей видимости, будут скорректированы и сравняются с $У_{ВК}$ для годовой эффективной дозы внешнего облучения фотонами, составляющими 0,5 - 1 мЗв. В этих условиях широкое распространение измерения ГЭДХ по индивидуальному варианту (т.е. через проведение индивидуального дозиметрического контроля) в ближайшее время станет необходимым требованием для обеспечения радиационно-безопасной работы медицинских учреждений, использующих ИИИ.

# ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ФОРМИРОВАНИЯ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ НА РАДИАЦИОННО ОПАСНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

*С.В. Копин, В.В. Степанов*
НИИ промышленной и морской медицины, Санкт-Петербург, Россия.

Предприятия атомной промышленности, даже выпускающие одноименную продукцию, уникальны и отличаются схемой компоновки оборудования, технологическими процессами и, соответственно, условиями формирования и составом вредных химических веществ (ВХВ), выделяющихся в воздушную среду (ВС) производственных помещений.

С целью определения основных источников выделения ВХВ и особенностей формирования параметров ВС в цехах одного из заводов сублиматно-разделительного производства (СРП) был выполнен цикл натурных измерений. Измерялись: температура поверхностей корпусов технологического оборудования, микроклиматические параметры воздушной среды на рабочих местах (температура, относительная влажность воздуха, скорость движения воздуха), основные параметры функционирования систем вентиляции (скорость и температура воздушного потока, производительность вентиляторов, развиваемое давление вентилятора, падение напора). Измерения выполнялись с использованием тепловизора Testo 881, прибора комбинированного ЕЛФ-ПКМ-50, трубки «Пито», дифференциального манометра ДМЦ-01, многофункциональных приборов Testo 435–4 и Testo 480.

Выявлено, что на сублиматном производстве (СП) поступление ВХВ в ВС производственных помещений возможно при следующих технологических операциях: замена емкостей и контейнеров под узлами на отметке 0.00; выгрузка полупродукта из пламенного реактора на отметке 9.00; загрузка емкостей на отметке 11,30; обслуживание хвостовых фильтров на отметке 6.00. Поступление ВХВ в ВС цеха также происходит через сальники уплотнения при перекачке полупродукта на отметке 2.50 и неплотности зазоров на печах сушки. На производстве разделения изотопов (ПРИ) основными местам выделения ВХВ в ВС цеха относятся точки присоединения – отсоединения емкостей технических коллекторов, а также установок перетаривания и перелива готового продукта.

Индукционный прогрев продуктопровода на СП и ПРИ, а также экзотермические реакции взаимодействия в основных аппаратах СП способствуют процессу нарастания температурного градиента в цехах. Температура нагретых поверхностей оборудования изменяется в диапазоне от 41 ºС до 90 ºС. Суммарная площадь поверхности составляет до 250 м$^2$. Выделение тепла от оборудования приводит к повышению температуры воздуха на рабочих местах до 32 ºС и формированию схем движения воздушных потоков в помещениях отличающихся от проектных. Особенностью расположения источников тепла является: для условий СП – неравномерное их размещение по высотным отметкам и пространственному положению относительно общей площади цеха; для условий ПРИ – компактное расположение тепловых источников на отметке 0.00.

Для повышения эффективности вентиляции в цехах СРП можно рекомендовать применение систем утилизации теплоты; усовершенствовать конструкции приемных патрубков отбора ВХВ местных систем вентиляции с заменой установленных конечных устройств отбора воздуха на всасывающие насадки с плоским фланцем; организовать схему перераспределения воздуха без разрушения структуры формирующихся тепловых потоков от нагретого оборудования; кроме того, для ПРИ следует организовать раздачу наружного воздуха в цехе с направлением его движения вдоль установленного оборудования на высоте 3-4 м.

# РАДИОЛОГИЧЕСКАЯ БАЗА ДЛЯ ЗАЩИТЫ НАСЕЛЕНИЯ В СИТУАЦИИ АВАРИЙНОГО ОБЛУЧЕНИЯ

*В.А. Кутьков*
Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт».

Рассматривается радиологическая основа критериев для использования при обеспечении готовности и реагирования в случае ядерной или радиологической аварийной ситуации. МАГАТЭ, совместно с ФАО, МОТ, ПОЗ и ВОЗ, работало над этими критериями с 2003 года. В форме Общего руководства по безопасности МАГАТЭ No GSG-2 критерии были опубликованы 18 марта 2011 года, в конце первой недели развития ядерной аварии на АЭС Фукушима-1 в Японии. Применение критериев для радиационной защиты и обеспечения радиационной безопасности населения в ситуации аварийного облучения рассмотрено на примере публикации МАГАТЭ в серии Аварийной готовности и реагирования «Actions to Protect the Public in an Emergency due to Severe Conditions at a Light Water Reactor», выпущенной в 2013 году. Обсуждается система дозиметрических величин, предложенных в качестве характеристик аварийного облучения, и радиобиологические модели, которые в ситуации аварийного облучения позволяют по этим характеристикам оценивать риски развития эффектов излучения.

# ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ТЕХНОЛОГИЙ РЕДКОМЕТАЛЛЬНОГО СЫРЬЯ И УТИЛИЗАЦИИ ОБРАЗУЮЩИХСЯ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ

*Мельник Н.А.*
Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья
им. И.В. Тананаева Кольского НЦ РАН, Апатиты, Россия,
melnik@chemy.kolasc.net.ru

Комплексные исследования, проводимые в аккредитованной региональной лаборатории радиационного контроля ИХТРЭМС КНЦ РАН в течение многих лет, в области радиоэкологии, радиохимии и рационального природопользования направлены на изучение закономерности распределения радиоактивных веществ в технологических циклах, создание радиационно-безопасных технологий, очистки ценных компонентов от радионуклидов, изучение радиоэкологического состояния экосистем и создание на этой основе концепции радиационно-безопасного использования природных ресурсов Арктического региона.

Исследования по изучению закономерности распределения радиоактивности при обогащении руд и гидрометаллургической переработке минерального сырья, содержащего природные радионуклиды рядов урана-238 и тория-232, направлены на создание радиационно-безопасных технологий, получение радиационно-чистых ценных продуктов, необходимых в различных отраслях промышленности и строительства. В результате проведенных исследований было изучено распределение суммарной радиоактивности и радионуклидов при гидрометаллургической переработке редкометалльного сырья по технологиям ИХТРЭМС КНЦ РАН: различные варианты переработки перовскита, лопарита, бадделеита, титанита (сфена), эвдиалита, колумбита, плюмбомикролита. Во всех случаях дана радиационная оценка технологии и получаемых продуктов, как ценных компонентов (РЗЭ, титановые соли, соединения ниобия и тантала, циркония и др.), так и отходов переработки. Показана возможность очистки концентратов от радионуклидов и возможность радиационно-безопасного использования некоторых технологических отходов и побочных продуктов (например, кальциевый кек, кремнезем, сульфат аммония и др.).

Новые гидрометаллургические технологии на основе азотнокислотного, солянокислотного или гидрофторидного методов разложения редкометалльного сырья в большинстве случаев отвечают радиационно-гигиеническим требованиям и позволяют извлекать все ценные компоненты, а также значительно снизить количество твердых отходов по сравнению с сернокислотной технологией. В современных условиях выбор оптимальных режимов переработки редкометалльного сырья будет определяться социально-экономическими условиями и спросом на редкометалльную продукцию. Однако, одной из важных проблем по-прежнему остается проблема утилизации химически агрессивных радиоактивных отходов, которые образуются при гидрометаллургической переработке редкометалльного сырья. Для обеспечения радиационной безопасности необходимо постоянно совершенствовать технологии утилизации РАО.

Реализация проектов по комплексной переработке сырья и использованию всех ценных компонентов и отходов или безопасного захоронения радиоактивных отходов будет способствовать сокращению негативного воздействия редкометалльных гидрометаллургических производств на окружающую среду.

# ПРОБЛЕМЫ РАСЧЕТНОГО ОБОСНОВАНИЯ ПЕРИОДА ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ОПАСНОСТИ РАО

*О.Г.Мызникова*
Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН, Москва, Россия,
omyz@ibrae.ac.ru

В связи с проведением в настоящее время в рамках развертывания Единой государственной системы по обращению с радиоактивными отходами (ЕГС РАО) работ по первичной регистрации и классификации пунктов хранения, а также по отнесению РАО к особым одной из первоочередных задач является определение периода потенциальной опасности (ППО) этих объектов. Эта характеристика является основополагающей также для определения критериев приемлемости РАО для захоронения.

Анализ Федерального закона №190-ФЗ «Об обращении с РАО…» показал, что суть использования термина ППО сводится к следующему:

- По истечении ППО прекращается радиационный контроль пункта захоронения.
- В течение ППО должна быть обеспечена безопасность персонала, населения и окружающей среды.
- Если для пункта консервации особых РАО безопасность обоснована на весь ППО, то он превращается в пункт захоронения РАО.

ППО определяет жесткость требований по безопасности для любого пункта хранения (ПХ) РАО:

- Для новых пунктов захоронения это важно с точки зрения закладываемых свойств необходимых барьеров безопасности, глубины обоснования безопасности и длительности контроля.
- Для «старых» объектов значение периода потенциальной опасности определяет эволюцию объекта, содержащего РАО: если существует возможность обосновать безопасность на весь этот срок, осуществляется закрытие; в противном случае принимается промежуточное решение – консервация.

Практическое использование термина ППО и непосредственно расчет в настоящее время сопряжены с рядом трудностей, основные причины которых:

– отсутствие единого рекомендованного подхода к его определению, разграничивающего понятия ППО для РАО как материалов и веществ и РАО как содержимого пункта консервации или пункта захоронения, окруженного специальными барьерами безопасности;

– наличие в РАО долгоживущих природных радионуклидов, на которые не распространяется концепции изъятия и освобождения, а наиболее очевидный вариант расчета ППО приводит к временам порядка миллионов лет и более.

В докладе:

– Анализируются возможные подходы к определению ППО, включая международные тенденции;

– Приводятся Результаты расчетов ППО по разным методикам;

– Анализируется влияние значения длительности ППО на критерии приемлемости РАО для захоронения, определения характеристик барьеров безопасности новых пунктов захоронения и объектов ядерного наследия, а также достаточного срока осуществления ведомственного контроля после закрытия.

# УПРОЩЕННЫЙ КАСКАДНЫЙ СПОСОБ ДЕЗАКТИВАЦИИ ЖИДКИХ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ СОЕДИНЕНИЙ УГЛЕКИСЛОТЫ, МЕЧЕННЫХ РАДИОИЗОТОПОМ $^{14}C$

*В.Н. Поповичев, В.Д. Чмыр, О.В. Плотицына*
Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского, Севастополь, Россия,
popovichev@ukr.net

Наиболее важными мерами в обеспечении радиационной безопасности (РБ) персонала, лиц непосредственно работающих с источниками ионизирующих излучений (ИИИ), являются создание условий труда, отвечающих требованиям «Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009)» и основным санитарным правилам, её обеспечивающим (ОСПОРБ-99/2010), а также соблюдение установленных контрольных уровней и организация радиационного контроля. В этой связи обращение с радиоактивными отходами (РАО), содержащими ИИИ, являющихся неотъемлемым составным звеном в технологической цепи от образования отходов до их утилизации, также требует неукоснительного выполнения вышеуказанных норм и правил.

К радиоактивным отходам относятся ядерные материалы и радиоактивные вещества, использование которых в дальнейшем не предусматривается. Одним из принципов, сформулированных МАГАТЭ и нацеленных на такое обращение с РАО, которое концептуально обеспечивает защиту здоровья человека и охрану окружающей среды, является учёт взаимозависимости между всеми стадиями образования РАО и обращения с ними. Отсюда, система обращения с жидкими и твёрдыми РАО включает их сбор, сортировку, упаковку, временное хранение, кондиционирование (концентрирование, отверждение, прессование, сжигание), транспортировку, длительное хранение и захоронение. Проведение работ с открытыми радионуклидными источниками (радиоактивными веществами в открытом виде) без наличия условий для сбора и временного хранения РАО просто не допускается. В контексте вышесказанного, прогрессирующее со временем использование радиоактивных изотопов и меченных ими соединений в научных исследованиях подчиняется требованиям норм и правил РБ.

В современной гидробиологии радиоуглеродный метод определения первичной продукции органического вещества, как в морях, так и в пресных водоёмах, является одним из основных и наиболее распространённых. Вместе с тем, в процессе интенсивного использования соединений углекислоты, меченных радионуклидом $^{14}C$, возникают значительные объёмы жидких РАО, которые необходимо утилизировать в соответствии с НРБ. В основу предлагаемого и апробированного нами способа утилизации $^{14}C$ положена методика полувековой давности, позволяющая с помощью торцового газоразрядного счётчика определять исходную активность $^{14}C$ в рабочих растворах соединений углекислоты, связываемых хлористым барием и осаждаемых в виде осадка $Ba^{14}CO_3$. Однако эта методика неприемлема для больших объёмов жидких РАО, поэтому целью нашей работы было – разработать упрощённый метод дезактивации меченых соединений углекислоты, основывающийся на их осаждении последовательными добавками в водный раствор равных порций $BaCl_2$ и $Na_2CO_3$. Данная процедура позволяет минимизировать объём твёрдых РАО, подлежащих захоронению, и снизить радиоактивность жидких РАО до концентраций не превышающих допустимого уровня $^{14}C$ в питьевой воде (рационе) для лиц категории Б ($ДК_Б$ = 0.03 МБк⊙л$^{-1}$), в связи с чем допускается сброс таких вод в хозяйственно-бытовую канализацию.

# СИСТЕМАТИЗАЦИЯ СЦЕНАРИЕВ ОБЛУЧЕНИЯ В ПОДСИСТЕМЕ ОЦЕНКИ РИСКОВ ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ РАДИАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ РОСПОТРЕБНАДЗОРА

*Репин Л.В., Николаевич М.С.*
Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены им. проф. П.В.Рамзаева, Санкт-Петербург, Россия.

В настоящее время в НИИ радиационной гигиены осуществляется первый этап создания автоматизированной системы контроля радиационного воздействия (АСКРВ Роспотребнадзора). Система включает в себя несколько подсистем, содержащих данные и методы, необходимые для количественной оценки возможного вредного радиационного воздействия на здоровье населения и персонала радиационных объектов. Величиной, используемой для такой количественной оценки, является эффективная доза, предложенная международной комиссией по радиологической защите (МКРЗ) и используемая, как мера риска для здоровья, главным образом для решения задач оптимизации радиационной защиты и контроля соблюдения установленных пределов в области малых доз.

Управление рисками для здоровья, как один из инструментов, используемых при практической реализации принципа оптимизации радиационной защиты, имеет выраженную специфику в зависимости от сценария облучения. Действующие Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009) предлагают для количественной оценки риска для здоровья использовать коэффициенты риска, рассчитанные для двух когорт населения – «всё население» и «взрослые», однако этого недостаточно для решения некоторых задач. Так, например, при оценке риска для здоровья, связанного с облучением радоном и дочерними продуктами его распада в зданиях школ и детских садов, использование эффективной дозы представляется неоправданным, т.к. радиочувствительность детей существенно выше, чем у взрослых или у населения в среднем. Кроме того, оценка экономической целесообразности радонозащитных мероприятий должна учитывать предотвращаемые последствия, что невозможно корректно делать с использованием эффективной дозы.

Другой пример – медицинское облучение пациентов. МКРЗ прямо указывает на существование ситуаций, в которых использование эффективной дозы для оценки радиационного риска для здоровья пациентов невозможно. Кроме того, цели управления риском при оптимизации радиационной защиты пациентов отличны от целей защиты от других видов облучения. Если при оптимизации защиты от природного и техногенного облучения стоимости мероприятий по снижению единицы дозы противопоставляется стоимость предотвращенного риска для здоровья, то при медицинском облучении встречным условием является качество получаемой диагностической информации или польза для здоровья вследствие облучения.

В некоторых ситуациях облучения эффективная доза вовсе не может использоваться. К ним относятся, например, некоторые виды рентгенорадиологических процедур или ситуации повышенного планируемого облучения, т.к. они могут быть сопряжены с дозами облучения, превосходящими 100 мЗв.

Таким образом, реализация подсистемы оценки радиационных рисков в АСКРВ Роспотребнадзора требует разработки не только и не столько программного, сколько методического обеспечения для учета особенностей управления рисками при различных сценариях облучения. При этом разрабатываемое методическое обеспечение в свою очередь должно учитывать особенности хранения данных о радиационном воздействии в Единой системе контроля индивидуальных доз облучения граждан (ЕСКИД).

# АНАЛИЗ ИНДУКЦИИ И РЕПАРАЦИИ ДВУНИТЕВЫХ РАЗРЫВОВ ДНК, ИНДУЦИРОВАННЫХ ИОНАМИ АЗОТА

*И.В.Сальников, Ю.А.Эйдельман*
Институт биохимической физики им.Н.М.Эмануэля РАН, Москва, Россия,
tetrahc@yandex.ru
eidel@mail.ru

Радиационно-индуцированные двунитевые разрывы (ДР) ДНК измеряют с помощью гель-электрофореза, переходя от количества фрагментов ДНК к числу ДР. При этом получают усредненное число ДР по всем хромосомам, восстановить характер повреждения каждой отдельной хромосомы в составе клеточного ядра не представляется возможным. Поскольку наблюдаются лишь фрагменты ДНК в экспериментально доступном диапазоне длин, часть фрагментов не детектируется и число ДР занижается. Считается, что активный и неактивный хроматин влияет на репарацию (воссоединение концов разорванной ДНК) – ДР, индуцированные в активном хроматине, репарируются быстрее, чем ДР, индуцированные в неактивном хроматине. С помощью метода гель-электрофореза невозможно оценить роль активного и неактивного хроматина и дать ответ на вопрос, какие механизмы приводят к двустадийной кинетике репарации (часть разрывов репарируется с характерным временем 15-30 минут, другая с характерным временем несколько часов), так как в эксперименте теряется информация о том, из активного или неактивного хроматина состоят фрагменты ДНК в различные моменты времени после облучения.

С помощью разработанного нами метода компьютерного моделирования облучения клеток ионами с высокой ЛПЭ предсказывается не только выход фрагментов ДНК после облучения клеток в разных дозах и с разной ЛПЭ, но и учитывается наличие активного и неактивного хроматина – определяются доли разрывов в различных компартментах хроматина, восстанавливается картина радиационных повреждений генома клетки, а также учитывается фрагментация каждой отдельной хромосомы в составе клеточного ядра. Интерфазная модель клеточного ядра реконструируется путем деконденсации метафазных хромосом, в каждой из которых учтено наличие активного и неактивного хроматина (R- и G-бэндов). Треки заряженных частиц, рассчитываемые с помощью дважды-дифференциальных сечений рассеяния для заданной энергии иона, совмещались со структурой мишени (клеточного ядра), что позволяло рассчитывать поглощенную в ДНК энергию и определять координаты поврежденных пар нуклеотидов. На основе разработанного метода предсказывается число индуцированных ДР для каждой отдельной хромосомы и временные зависимости числа фрагментов ДНК в ходе репарации для любого диапазона длин, от 1 пары оснований до целых хромосом. Расчеты с помощью компьютерного моделирования показали, что из-за экспериментальных ограничений не учитывается до половины индуцированных ДР в зависимости от ЛПЭ излучения. Также показано, что расчеты на основе гипотезы о различной скорости репарации в активном и неактивном хроматине могут объяснять двустадийный характер кинетики репарации.

# МОДЕЛЬ ДЛЯ ОЦЕНКИ ОТДАЛЕННЫХ ПОСЛЕДСТВИЙ ОБЛУЧЕНИЯ КЛЕТКИ

*С.А.Смирнова*[1], *С.Ю.Смирнов*[2], *А.С.Смирнов*[2]
[1]ООО Инжиниринговый центр НИЯУ МИФИ, Москва, Россия,
svalexsmirnova@yandex.ru
[2]НИЯУ МИФИ, Москва, Россия.

Закончена разработка теоретической модели для прогноза генетической нестабильности (ГН) клетки. Она позволяет количественно (от 0 до 1) оценивать меру ГН клетки в зависимости от внешних и внутренних факторов. По результатам моделирования обнаружена строгая корреляция между ГН, температурой и размером генома клетки.

Модель базируется на общепринятом положении, что главной причиной ГН являются сбои в работе системы поддержания генетической стабильности клетки (СПГСК), возникающие от действия на нее повреждающих факторов (ПФ). СПГСК поддерживает генетическую стабильность (ГС), включая в себя репарацию, которая восстанавливает нарушенную структуру генома, и апоптоз, запускающий процесс самоуничтожения клетки. Расчеты проведены в предположении эволюционной консервативности СПГСК современных клеток.

Все, что происходит в живой клетке, является результатом множества биохимических процессов. Модель объединяет лишь те, которые относятся к СПГСК, она имеет 2 десятка коэффициентов и параметров. Некоторые из них имеют отношение к самой клетке, другие – к механизмам индуцирования эффектов, т.е. к ПФ.

Теоретические модели отличаются от эмпирических тем, что их строят на основе механизма явления. Они позволяют спрогнозировать, как поведет себя система в рамках заданных автором предположений о механизме ее устройства. Эти предположения должны быть в каком-то смысле правдоподобными или, по крайней мере, непротиворечащими логике. Поэтому еще до построения модели был выбран прообраз результата моделирования, которым стала кривая зависимости смертности от лейкозов людей в зависимости от дозы облучения, полученная по эпидемиологическим данным /*Burlakova, 1995*/. Тщательным подбором численных параметров и коэффициентов добились того, что модельная кривая оказалась более-менее похожей на литературную.

Поскольку всем параметрам/коэффициентам был присвоен биологический или физический смысл, удалось произвести отладку модели. Она свелась к тому, что во всем диапазоне изменения численных значений каждого параметра результаты моделирования не являются абсурдными, когда концентрации отрицательны, вероятности больше 1 и пр. Однако это не является гарантом истинности исходных предпосылок. Согласно */Филюшкин, 1986/* ее можно установить как «в категории иного иерархического уровня того же явления, так и с позиций иной области знаний». Поэтому модель применили к решению 2-х десятков эволюционных проблем, никак не связанных с целью работы. Оказалось, что модель позволяет предложить абсолютно новые гипотезы для объяснения многих проблем современной биологии, традиционно относящихся к категории неразрешимых.

Дальнейшая работа имела непосредственное отношение к действию радиации на клетку. Это сделано благодаря моделированию действия радиации, в частности раздельному рассмотрению событий трекового и посттрекового периодов. Различные комбинации этих событий позволили моделировать радиоэффекты при разных значениях ЛПЭ. Получены новые результаты по проблеме порога облучения.

Модель позволяет выявлять отличия действия радиации от действия генотоксических ПФ другой природы.

# НОВАЯ ГИПОТЕЗА О СУТИ АДАПТИВНОГО ОТВЕТА

*С.А.Смирнова*[1], *С.Ю.Смирнов* [2], *А.С.Смирнов* [2]
[1]ООО Инжиниринговый центр НИЯУ МИФИ, Москва, Россия,
svalexsmirnova@yandex.ru
[2]НИЯУ МИФИ, Москва, Россия.

Создана теоретическая модель для прогноза генетической нестабильности (ГН) клетки. Проанализирована полученная зависимость «доза-эффект», где в качестве эффекта рассматривали ГН клетки. Кривая имеет 2 минимума, которые соответствуют дозам, когда клетки являются генетически стабильными (ГС). ГС клеток, существующих при близкой 0 дозе, обеспечивается только репарацией, а клеток, соответствующих 2-у минимуму - только апоптозом.

Видимо, благодаря тому, что эти 2 принципиально разные компоненты системы поддержания генетической стабильности клетки (СПГСК) эффективны при разных уровнях «дозы», СПГСК в целом является эволюционно консервативной.

Мы предположили, что 2 минимума на кривой «доза-эффект» соответствуют клеткам 2-х разных типов. Клетки, проявляющие очень высокую ГС при нулевой дозе, имеют минимум повреждений ДНК и потому способны к многократному делению. В таких клетках не работает апоптоз, они чрезвычайно чувствительны к росту дозы.

Клетки, норма существования которых приходится на 2-й минимум, наоборот, обладают абсолютно дефектным геномом, принципиально не способны к делению, у них чрезвычайно высокий уровень апоптической активности, они всегда умирают по механизму апоптоза. Такие клетки являются высоко резистентными.

Нормальные условия среды для клеток 1-о типа соответствуют максимально безвредным условиям. Описание таких клеток подходят под описание митотических клеток (МК). Клетки 2-о типа имеют все признаки постмитотических клеток (ПМК).
Получается, что ГС ПМК реализуется благодаря, а не вопреки высокому уровню активных форм кислорода (АФК), который определяется активностью митохондрий (Мт). Сделан вывод, что степень клеточной дифференцировки определяется Мт активностью. По-видимому, главная роль Мт заключается не в том, что они снабжают клетку энергией, а в том, что они обеспечивают ГС ПМК. Представлена модельная зависимость ГН МК и ПМК от доноров с разным размером Мт-пула, т.е. разного возраста. Выявлена важная роль $T^oC$.

Все источники повреждения клетки разделили на эндо- и экзогенные. Повреждение клетки вызывается всеми источниками. К экзогенным отнесли все то, что попадает в клетку извне, к эндогенным - АФК как побочный продукт работы Мт.
Смоделировав рост «популяции» Мт и изменения их активности при разных внешних условиях, удалось разделить эффекты от эндо- и экзогенных факторов, выявить корреляцию между эндо- и экзо-дозами.

Предложено оригинальное объяснение феномена адаптивного ответа (АО). Так, при облучении ПМК в адаптирующей дозе – практически безвредной для клетки - через некоторое время большинство Мт погибает. Это снижает эндо-дозу и, как следствие, суммарную дозу. Значение ГН смещается влево от положения 2-о минимума. Когда такую клетку облучают высокой дозой, уровень ее ГН приходится на линейный участок кривой справа от 2-о минимума и оказывается ниже, чем в контроле, который стартовал от положения минимума.

Особенности проявления АО у людей разного возраста, разных социальных групп и пр. обусловлены различиями в размерах Мт-пула.

# ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕНОСА РАДИОАКТИВНЫХ И ВРЕДНЫХ ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ В ЗАЩИТНЫХ УКРЫТИЯХ НА РАДИАЦИОННО ОПАСНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

*А.Б. Сулин, В.В. Степанов, Д.В. Неганов, А.А. Седова*
НИИ промышленной и морской медицины ФМБА России, Санкт-Петербург, Россия.

Защитные укрытия полуоткрытого типа (вытяжные шкафы) широко применяются на радиационно опасных предприятиях для локализации вредных и опасных, в том числе радиоактивных веществ, выделяющихся при проведении технологических процессов и при лабораторных исследованиях. Основными факторами, определяющими эффективность данных защитных укрытий, являются конструктивное исполнение устройства и воздухозаборных патрубков, а также скорость движения воздуха в рабочем проеме, определяющая необходимую производительность системы местной вентиляции. Расположение технологического оборудования и наличие нагревательных приборов в рабочем пространстве оказывают существенное влияние на аэродинамическую обстановку в укрытии и прилегающей рабочей зоне, что должно учитываться при определении требуемого расхода воздуха, удаляемого из укрытия. Задача обоснования производительности систем местной вентиляции является важной составляющей комплекса мероприятий по энергосбережению на радиационно опасных предприятиях. Современная вычислительная техника и программные продукты, ориентированные на численное решение уравнений Навье-Стокса в трехмерной области, позволяют моделировать процессы тепло- и массопереноса в рабочей зоне и защитных укрытиях. Имитационная модель (симуляция), верифицированная по результатам физического эксперимента в реальных производственных условиях или на экспериментальном стенде, является основой для вычислительных экспериментов, направленных на обоснование эффективных технических решений и снижение энергоемкости систем местной вентиляции. В данном докладе представлен прототип имитационной модели системы «рабочая зона - вытяжной шкаф», разработанный в программной среде «STAR-CCM+», поставленной по лицензии компании CD-adapco. При разработке данной симуляции построена геометрическая модель, включающая корпус вытяжного шкафа серийного исполнения, воздухозаборный патрубок, нагревающее технологическое оборудование с выделением вредных и опасных веществ, а также манекен, имитирующий оператора на рабочем месте в положении сидя.

При физическом моделировании учтены следующие характеристики процесса и граничные условия:

- массовая скорость выделения вредных и опасных веществ (пары соляной и азотной кислоты) от источников заданной геометрии;
- конвективный теплообмен от нагревающих поверхностей заданной геометрии;
- массовый расход воздуха в воздухозаборном патрубке;
- воздушная среда в расчетной области моделируется как идеальный газ;
- в качестве модели турбулентности использована модель «k-Ɛ»;
- границы расчетной области определены как полубесконечное пространство, ограниченное полом и стеной помещения.

После отладки и верификации прототипа имитационной модели системы «рабочая зона - вытяжной шкаф» разработанный программный продукт будет использован при выполнении научно-исследовательских работ по тематике гигиенической оценки и контроля средств обеспечения безопасности воздушной среды на предприятиях с вредными и/или опасными условиями труда.

# ОЦЕНКА ВНУТРЕННЕГО ОБЛУЧЕНИЯ ИНКОРПОРИРОВАННЫМИ РАДИОНУКЛИДАМИ С ПОМОЩЬЮ УСТАНОВКИ СИЧ-Э

*В.А. Тарита, В.Б. Фирсанов*
Всероссийский центр экстренной и радиационной медицины
им. А.М. Никифорова МЧС России, Санкт-Петербург, Россия,
e-mail: sich@arcerm.spb.ru

.

В 2008 г. во Всероссийском центре экстренной и радиационной медицины им. А.М. Никифорова МЧС России введен в эксплуатацию высокочувствительный низкофоновый спектрометр излучений человека для экспертных обследований (СИЧ-Э). Установка предназначена для прямого измерения содержания радиоактивных веществ в организме человека - их наличия, количества и распределения по органам и тканям, и позволяет выявлять радионуклиды как единичные, так и в сложной смеси. Измерения проводятся в режимах линейного продольного сканирования (ЛПС) и локального детектирования (ЛД) отдельных областей и органов тела.

СИЧ-Э позволяет решать целый ряд задач в области радиационной медицины, радиационной гигиены, радиационной экологии, радиационной безопасности.

За пять лет в режиме ЛПС обследовано около 600 человек – пациентов клиники ВЦЭРМ, в том числе более 350 участников ликвидации последствий аварии на ЧАЭС.

Ни у одного из ликвидаторов в отдаленном периоде не обнаружено в организме основного дозообразующего радионуклида $^{137}$Cs (цезия) Чернобыльского аварийного происхождения (имеется ввиду возможная инкорпорация в период проведения работ на ЧАЭС). В этом режиме измерения у, примерно, 60% обследованных ликвидаторов выявлено содержание $^{90}$Sr (стронция) активностью 3-5 кБк, депонированного, очевидно, в костной ткани.

Плутоний и америций не определялись даже при целенаправленном ЛД легких. В то же время у 47 обследованных в организме определялся $^{137}$Cs активностью от 70 до 2300 Бк (2-60 нКи)**,** который, как установлено, поступал с продуктами огородничества или грибами, собранными в западных районах Ленинградской обл., попавших в зону выпадения радиоактивных осадков после аварии на Чернобыльской АЭС. В настоящее время радиационная обстановка в этой местности в целом нормализовалась, но имеются участки с повышенным радиационным фоном, обусловленным содержанием в почве и растениях $^{137}$Cs.

У двух пациентов обнаружен $^{226}$Ra, а у трех – профессионалов, постоянно работающих с радиоактивными веществами в открытом виде, - выявлено содержание сложной смеси радионуклидов, включающей $^{57}$Co, $^{136}$Ba, $^{134}$Cs, $^{137}$Cs, $^{65}$Zn.

В апреле 2011 г. в клинику ВЦЭРМ поступали спасатели МЧС России и граждане, находившиеся в Японии во время аварии на АЭС «Фукусима». Обследование на установке СИЧ-Э в режимах ЛПС и ЛД на область щитовидной железы не выявило в организме инкорпорированных радионуклидов, в том числе, изотопов йода.

Таким образом, обследование на установке СИЧ-Э ликвидаторов аварии на ЧАЭС, проведенное более чем через 20 лет после аварии, не обнаружило наличия в организме радионуклидов – последствий возможной инкорпорации в период проведения работ на ЧАЭС.

Технические возможности высокочувствительного низкофонового спектрометра излучений человека СИЧ-Э позволяют выявлять в организме человека даже следовые количества инкорпорированных радионуклидов, как отдельных, так и сложной смеси.

# ОЦЕНКА ОТДАЛЁННЫХ ПОСЛЕДСТВИЙ РАДИАЦИИ С УЧЁТОМ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ВОЗДЕЙСТВИЯ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ЧЕЛОВЕКА

*А.Р.Туков, А.П.Бирюков, И.Л.Шафранский*
ГНЦ РФ - Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна ФМБА России, Москва, Россия,
atukov40@mail.ru

Исследование механизмов действия радиации малых доз низкой интенсивности и оценка их отдаленных последствий в радиационной эпидемиологии требует трудоёмкой, кропотливой работы по сбору данных о всех видах облучения человека – профессионального, природного, аварийного, медицинского облучений. Злокачественные новообразования не обладают выборочным свойством, от какого из этих видов облучений возникнуть, поэтому, только имея информацию о дозе общего облучения можно получить корректные результаты.

Цель исследования: оценка риска возникновения злокачественных новообразований при использовании разных видов облучения.

Материалы и методы: исследование проведено с использованием информации о 1084 работниках атомных электростанций России, участников ликвидации аварии на Чернобыльской АЭС, имеющих данные об эффективных дозах внешнего аварийного и профессионального облучения. 11,0% работников имеют дозу менее 4,9 мЗв, далее до 99,9 мЗв имеют дозу 48,8% работников, более 200,0 мЗв имеют 21,4% работников. Средняя накопленная доза при профессиональном облучении составила 135,32 мЗв. Минимальная доза внешнего облучения составила 0,1 мЗв, максимальная – 1832,4 мЗв.

Принципиально другое распределение мы видим по дозам внешнего облучения, получившим ликвидаторами последствий аварии на ЧАЭС при работе в 30-км зоне (таблица 2). Дозу до 4,9 мЗв имеют 33,0% работников, от 5,0 до 100,0 мЗв имеют 48,5% работников и только 9,1% имеют дозу более 100,0 мЗв. Средняя накопленная доза внешнего облучения составила 29,63 мЗв. Минимальная доза облучения составила 0,1 мЗв, максимальная 419,0 мЗв.

Средняя накопленная суммарная доза внешнего облучения составила 171,3 мЗв. Минимальная доза облучения составила 0,2 мЗв, максимальная 1580,0 мЗв.

Расчёт риска проводился дважды с помощью пакета статистических программ EPICURE (модуль AMFIT), один раз с использование дозы внешнего аварийного облучения, второй – с суммой доз аварийного и профессионального облучения.

Результаты: риск (ERR на 1 Зв) при использовании суммарной дозы оказался в 2,3 раза выше риска при использовании только аварийной дозы.

Основной проблемой использования только части суммарной дозы облучения для оценки риска возникновения дозово-индуцированных заболеваний - это грубое нарушение этапа группировки данных, когда в контрольной группе находятся лица, у которых, естественно, с суммированием доз других видов облучения накопленная доза оказывается значительно выше и данный человек должен находиться в другой исследовательской дозовой группе.

Заключение: таким образом, для получения корректных результатов при исследование механизмов действия радиации малых доз низкой интенсивности и оценка их отдаленных последствий в радиационной эпидемиологии, необходимо в ближайшие годы организовать сбор данных о дозах облучения лиц, подвергшихся воздействию радиации в результате аварии на ЧАЭС от всех видов облучения.

# ИОНИЗИРУЮЩИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ, ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ПОЛЯ СВЕРХВЫСОКИХ ЧАСТОТ, ДРУГИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ И СОЦИАЛЬНЫЕ ФАКТОРЫ В РАМКАХ КОНЦЕПЦИИ УСКОРЕННОГО СТАРЕНИЯ И РИСКА ОТДАЛЕННЫХ НЕБЛАГОПРИЯТНЫХ ПОСЛЕДСТВИЙ ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ ЧЕЛОВЕКА

*Шафиркин А.В.,* **Григорьев Ю.Г., Васин А.Л.*
ГНЦ РФ - Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия,
* ГНЦ РФ - Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна ФМБА России, Москва, Россия, a.v.shafirkin@mail.ru

В реальной жизни человек подвергается воздействию целого комплекса стрессорных факторов физической, химической и биологической природы, а также ряда социальных факторов, определяющих качество его жизни. Во многих радиобиологических исследованиях при построении моделей формирования радиационного поражения организма после острых повторных и протяженных воздействий ионизирующих излучений (ИИ) используется в той или иной форме понятие необратимой части радиационного поражения. Известны множественные факты снижения объема функциональных резервов систем, включая центральную нервную, эндокринную и иммунную системы организма при действии ИИ, что приводит к ускорению процесса старения и обусловливает сокращение продолжительности жизни млекопитающих. Многие исследователи в геронтологии признают наличие ускоренного старения организма при длительном действии ИИ. Нами предложена модель радиационной скорости смертности млекопитающих, которая описывает изменение суммарного объема компенсаторных резервов организма в зависимости от возраста, а также дозы и мощности дозы радиационного воздействия, которая позволила описать трансформацию зависимых от возраста коэффициентов смертности млекопитающих после острых и хронических облучений, что позволило нам рассчитать суммарный риск смертности для космонавтов в течение всей жизни после воздействия на них космических излучений в результате экспедиции к Марсу.

На основе учения Г. Селье при длительном действии стресса любой этиологии в организме развивается ряд однотипных последовательных стереотипных филогенетически запрограммированных неспецифических реакций. В результате нами предложена модель длительного воздействия на человека ряда других экологических и социальных факторов. В работе представлены в сравнительном аспекте данные хронических экспериментов на различных животных и материалы длительных эпидемиологических наблюдений персонала, подвергавшихся хроническому действию (ИИ) и электромагнитных полей сверхвысоких частот ЭМП СВЧ низких нетепловых интенсивностей, свидетельствующие об увеличении риска заболеваемости и ускорении процесса старения. С действием ИИ сопоставлены также риски увеличение возрастных коэффициентов смертности в городах с повышенным уровнем химического загрязнения воздушного бассейна. Рассмотренные риски от экологических факторов сопоставлены с рисками повышенной заболеваемости и смертности от длительно действующего социального стресса в период 1991-2013 гг., основной причиной которого явился многократно сниженный уровень доходов в семьях, который оказался почти на порядок ниже реального прожиточного минимума. В работе обсуждаются данные об изменении здоровья населения России и ряда других стран в зависимости от уровней доходов и степени выраженности социального и психо-эмоционального стрессов. Приведены положительные примеры решения демографических проблем в ряде регионов России, характеризующиеся уменьшением заболеваемости и смертности населения, а также увеличением рождаемости.

# ПРОБЛЕМА ИНДИВИДУАЛЬНОЙ УЯЗВИМОСТИ В ОЦЕНКЕ РАДИАЦИОННОГО РИСКА

*И.Л.Шафранский, А.Р. Туков*
ГНЦ РФ - Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна ФМБА России, Москва, Россия,
atukov40@mail.ru

Специалисты, изучающие здоровье населения, всегда проводят разделение изучаемой популяции на однородные части: по полу, возрасту, социально-экономическим группам. Однако, понятие неоднородности обращено к различиям, недоступным для прямого контроля либо в силу их скрытого характера, например, генетических различий, либо в силу отсутствия достоверной информации. Важность учета такой явно ненаблюдаемой гетерогенности увеличивается с ростом новых средств воздействия на человеческую популяцию: возникают новые лекарственные и профилактические препараты, внедряются новые методики влияния на факторы риска возникновения хронических заболеваний и так далее. К сожалению, к новым воздействиям на людей, следует отнести и результаты масштабных техногенных катастроф и производственной деятельности человека. Пренебрежение специфической реакцией отдельных групп населения может привести к переоценке значимости и эффективности программ улучшения здоровья населения и к недооценке реального вреда в результате негативного воздействия на популяцию.

Цель данного исследования - дополнить линейную модель интерполяции статистически значимых эффектов в области малых доз введением так называемого параметра неоднородности когорты по индивидуальной радиочувствительности (уязвимости). В связи с этим представляется достаточно обоснованным подвергнуть ревизии оценку канцерогенного риска в области малых доз по линейной беспороговой концепции (ЛБК). В случае радиационного воздействия фактором, определяющим неоднородность, является индивидуальная радиочувствительность, которая в случае изучения онкологической заболеваемости дополнительно может определяться стохастической природой развития заболевания. Если предполагать, что эффект радиационной неоднородности определяется неоднородностью по клеточной радиочувствительности, данное явление следует исследовать на основе модели так называемой клеточной кинетики - модели неопластической клеточной трансформации. Наиболее эффективной в прикладном смысле является модель ветвящегося марковского процесса.

Индивидуальная радиочувствительность считалась случайной величиной, имеющей гамма-распределение с единичным средним и неизвестной дисперсией. При этом функция риска в когорте людей в момент "t", облученных в возрасте "y", модифицируется коэффициентом, отражающим селекцию индивидов в когорте таким образом, что в первую очередь выбывают самые слабые, повышая среднюю радиорезистентность оставшейся части когорты. В анализе использованы данные по заболеваемости злокачественными новообразованиями ликвидаторов последствий аварии на ЧАЭС, работников атомной промышленности. Оценка параметров модели в виду ее значительной сложности проводились методом имитационного моделирования. При этом логарифм правдоподобия записывается через усредненные по параметру радиорезистентности функции риска и вероятности дожития. Выбрана вероятностная имитационная радиобиологическая модель, обеспечивающая с одной стороны возможность адекватно описать изучаемый процесс, с другой – возможность подогнать эту модель к реальным данным.

Разработано программное обеспечение модели и проведена ее верификация по данным Общеглавковского регистра лиц, подвергшихся воздействию радиации в результате аварии на ЧАЭС.

# СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ РАДИАЦИОННОЙ ОПАСНОСТИ РАДОНА

*Шкрабо И.В., Зуевич Ф.И., Воронин Л.А.*
НИИ промышленной и морской медицины ФМБА России, Санкт-Петербург, Россия,
niipmm@fmbamail.ru

Радиационная опасность радона была установлена более века назад, однако до настоящего времени отсутствует общепризнанная модель дозовой концепции радиационной опасности ингаляционного поступления радона и его дочерних продуктов (ДПР) в организм человека. По современным оценкам доза облучения от изотопов радона и их дочерних продуктов составляет около 50% от суммы всех источников облучения и может достигать 95% в радоноопасных районах.

Норматив по уровню среднегодовой эквивалентной равновесной объемной активности (СГ ЭРОА) радона и торона для населения (100 Бк·м$^{-3}$) является оценкой его пролонгированного влияния на персонал предприятий, работающий при высокой запыленности воздуха. В этих условиях доля неприсоединенной фракции дочерних продуктов радона к аэрозолям является относительно низкой и не превышающей 5 % от уровня ЭРОА радона. По результатам инструментальных измерений, доля неприсоединенной фракции дочерних продуктов радона (НПФ ДПР) в строениях наземного комплекса, включая жилые дома в Ленинградской и Мурманской областях и Ставропольском крае (г. Лермонтов), составляет 20-24 %. В отдельных случаях доля НПФ ДПР может достигать 95 %, например, при работающих ионизаторах воздуха. Наличие неприсоединенной фракции за счет избирательного осаждения в дыхательном тракте ДПР существенно влияет на значение дозы облучения человека.

Нами были выполнены исследования по оценке среднегодового уровня ЭРОА радона с учетом присутствия доли неприсоединенной фракции ДПР и предела эффективной дозы для населения в 1 мЗв за год (НРБ-99/2009) и рекомендованного МКРЗ условного дозового перехода. По результатам расчетов 1 мЗв соответствует СГ ЭРОА радона 27 Бк·м$^{-3}$ при отсутствии НПФ ДПР и уменьшением уровня СГ ЭРОА при ее наличии. По мере накопления знаний о влиянии радона и его ДПР возрастает оценка их опасности, а в нормировании возникает проблема несоответствия между уровнем СГ ЭРОА радона и эффективной дозой.

В оценке уровня СГ ЭРОА радона и торона имеет место ряд неопределенностей. Недопустима оценка радиационной опасности радона по уровню его объемной активности или по другим упрощенным схемам. При таких подходах неизвестной величиной остается доля неприсоединенной фракции дочерних продуктов радона и торона, определяющая дозу облучения.

Риск развития рака легкого, связанный с облучением от радона и его дочерних продуктов при ограничении уровня СГ ЭРОА радона, равной 100 Бк·м$^{-3}$ при изменении доли неприсоединенной фракции с 10% до 50% изменяется с $5{,}1\cdot10^{-4}$ до $1{,}5\cdot10^{-3}$ за год, а за 70 лет - с $3{,}6\cdot10^{-2}$ до $1{,}0\cdot10^{-1}$ соответственно. Эффективная доза 1 мЗв увеличивает риск развития рака легкого со смертельным исходом на $5\cdot10^{-5}$ за год или $8\cdot10^{-3}$ за 70 лет.

Оценка радиационной опасности по эффективной дозе с учетом доли неприсоединенной фракции ДПР является более корректной и перспективной. Неопределенности в существующих подходах к оценке радиационной опасности радона диктуют необходимость создания более современного методического обеспечения оценок для принятия соответствующих решений и выполнения комплекса радонозащитных мероприятий на радоноопасных территориях и объектах.

# РЕЗУЛЬТАТЫ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ДОЗИМЕТРИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ПЕРСОНАЛА МЕДИЦИНСКИХ УЧРЕЖДЕНИЙ

*Е.Н. Шлеенкова*
Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены им. проф. П.В.Рамзаева, Санкт-Петербург, Россия.

Расширение использования источников ионизирующего излучения (ИИИ) в медицине и других отраслях приводит к тому, что все большее число людей подвергается профессиональному облучению. Так, численность персонала групп А и Б в г. Санкт-Петербурге в 2009г. составила 4303 человека, в 2010г. – 5262 человека, в 2011г. – 5273 человека и в 2012г. численность составила 6057 человек.

В базе данных №1-ДОЗ, содержащей годовые дозы облучения персонала, приводятся сведения о профессиональной принадлежности контролируемых лиц. Однако виды выполняемых процедур тем или иным сотрудником не конкретизируются. Так, все врачи отнесены к категории врач-специалист без уточнения вида их деятельности, хотя можно предположить, что врачи рентгенологи получают меньшие дозы, чем врачи, выполняющие интервенционные процедуры с ИИИ. Для предварительной оценки различий в уровнях радиационного воздействия на персонал, выполняющий различные процедуры, мы воспользовались данными, полученными нами при проведении индивидуального дозиметрического контроля за 5 лет работы.

Контроль проводился методом термолюминесцентной дозиметрии. Нами было проведено сравнение частотных распределений эффективных доз, полученных персоналом четырех профессиональных групп: рентгенолаборанты; врачи рентгенологи; хирурги, анестезиологи, операционные медсестры (работающие вблизи от ИИИ); рентгенологи стоматологических клиник.

Результаты исследования показывают, что подавляющее большинство сотрудников из числа персонала группы А получают дозы в среднем не превышающие 2,2% от предела дозы (ПД), за исключением персонала занятого при проведении интервенционных процедур, для которого эта величина составляет 8% от ПД. При этом, максимальные индивидуальные дозы приближаются к ПД для персонала группы А и, в ряде случаев, превосходят ПД для персонала группы Б. Следует отметить, что хирурги, анестезиологи, операционные медсестры, как правило, либо вообще не отнесены к персоналу, либо отнесены к персоналу группы Б.

Таким образом, базы данных федерального государственного статистического наблюдения №1-ДОЗ хотя и являются весьма полезными, но не позволяют детализировать параметры распределений индивидуальных доз отдельных профессиональных групп, в частности, медицинского персонала. Нами показано, что средние годовые дозы облучения хирургов, анестезиологов, операционных медсестер, работающих в непосредственной близости с ИИИ или пучком рентгеновского излучения, превосходят дозы облучения медицинского персонала других профессий в 3 – 5 раз. Именно эта категория медицинских работников является самой облучаемой.

# РАДИАЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ В ХОДЕ КОСМИЧЕСКИХ ПОЛЁТОВ С УЧАСТИЕМ ЖИВЫХ СИСТЕМ

*В.А. Шуршаков, И.Б. Ушаков, В.А. Бондаренко, О.А. Иванова*
ГНЦ РФ – Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Россия,
shurshakov@imbp.ru

В ходе космических полетов живые системы непрерывно подвергаются радиационному облучению, во много раз превышающему естественный наземный фон. Доза облучения зависит от длительности полета, параметров орбиты, фазы цикла солнечной активности, факторов космической погоды таких, как геомагнитная обстановка и проникновение на трассу полета заряженных частиц высокой энергии, обусловленных солнечной активностью, а также от условий радиационной защищенности. Так для орбитального полета на околоземной космической станции мощность дозы внутри обитаемых отсеков при невозмущенных радиационных условиях меняется в интервале 0,3-0,8 мЗв/сут, что при пересчете к годовому полету дает ~200 мЗв.

Одной из задач исследований, проводимых на МКС в рамках эксперимента «Матрешка-Р», является получение данных о распределении доз в теле человека на орбитальной станции и вне ее. На борту МКС в период 2004 – 2014 гг, практически в течение полного цикла солнечной активности, проведены исследования с использованием тканеэквивалентных фантомов - шарового и антропоморфного. Измерения проведены как внутри, так и снаружи МКС, использовались активные и пассивные детекторы, размещаемые как на поверхности, так и внутри фантомов. Полученные результаты показали более чем 2-х кратное различие дозы на поверхности фантома, при этом наибольшая доза наблюдалась вблизи внешней стенки отсека, наименьшая – на противоположной стороне фантома. Максимальная мощность дозы, измеренная в фантоме, связана с воздействием как галактических космических лучей. так и частиц радиационных поясов Земли, проникающих внутрь отсеков МКС. Минимальные же величины доз вызваны в основном сильно проникающими частицами ГКЛ.

Целью исследований, проведенных в течение 30 суточного полета космического аппарата «Бион-М» № 1 (2013 г) в эксперименте «Биорадиация» было дозиметрическое сопровождение живых систем в спускаемом аппарате (СА) и на его внешней поверхности. Получено, что интегральная поглощенная доза за весь полет в СА в зависимости от места расположения объекта изменялась от 32 до 72 мГр, соответствующая мощность дозы составила от 0,5 до 1,25 мГр/сут, что примерно в 6 раз выше, чем на типичной для МКС орбиты ~400 км. Наибольшие значения доз наблюдались для биообъектов, размещенных вблизи стенки аппарата, уменьшаясь по мере приближения к его центру. Таким образом, доза облучения биообъектов, экспонировавшихся в течение месяца внутри спутника «Бион-М», примерно равна, дозе, получаемой космонавтами на МКС за полугодовой полет. На наружной поверхности СА мощность дозы за весь полет в зависимости от места расположения объекта изменялась от 0,3 мГр/сут до 0,9 Гр/сут, перепад доз снаружи КА достигает ~ 3000 раз, что обусловлено различием толщины и материала экранирующей защиты.

Радиационный мониторинг в ходе космических полётов с участием живых систем требует особого методического подхода для определения биологически значимых характеристик поля излучения, также требуется учитывать сложный состав излучения с возможными сильными перепадами дозовых величин.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ДОЗОВОЙ ЗАВИСИМОСТИ РАДИАЦИОННО-ИНДУЦИРОВАННОЙ НЕСТАБИЛЬНОСТИ ХРОМОСОМ МЕТОДАМИ БИОФИЗИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

*Ю.А.Эйдельман*[1,2], *С.В.Сланина*[1], *С.Г.Андреев*[1,2]

[1]Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН, Москва, Россия,
andreev_sg@mail.ru

[2]Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,
Москва, Россия.

Феномен радиационно-индуцированной нестабильности хромосом (РИНХ) проявляется в виде повышенного уровня нестабильных хромосомных аберраций (в частности, дицентриков) в потомках облученных клеток. Форма кривых доза-эффект для РИНХ существенно отличается от таковой для хромосомных аберраций, наблюдаемых в первом митозе после облучения, однако причина различий до сих пор экспериментально не выявлена. В данной работе дозовая зависимость РИНХ для нестабильных хромосомных аберраций исследовалась на основе биофизической модели, учитывающей кинетику прохождения клеток по митотическому циклу, появление аберраций хромосомного и хроматидного типа в потомках облученных и необлученных клеток, конверсию хроматидных аберраций в хромосомные в митозе, гибель клеток с нестабильными аберрациями. Рассмотрен ряд возможных механизмов РИНХ: репликационно-зависимая генерация ДР в делящихся потомках облученных клеток, дисфункция теломеров, цикл разрыва-воссоединения хромосомных мостов и др. Проведена оценка вклада этих механизмов путем анализа на основе предложенной модели экспериментальных данных по нестабильности хромосом, индуцированной редкоионизирующей радиацией.

# НЕАДЕКВАТНОСТЬ ОСНОВНЫХ ПОСТУЛАТОВ ДОЗОВОЙ КОНЦЕПЦИИ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

*А. В. Яблоков*
Институт биологии развития им. Н.К. Кольцова РАН, Москва, Россия,
yablokov@voxnet.ru

Существующая система радиационной защиты населения и персонала основана на концепции “эффективной поглощенной дозы”. Накопившиеся данные говорят о неадекватности её основных постулатов для защиты населения при ядерно-радиационных авариях.

Допущения, лежащие в основе расчетов «индивидуальной эффективной эквивалентной дозы» (действие каждого радионуклида на человека постоянно во времени и пространстве; уровень внешнего облучения определяется по времени пребывания человека в ионизированной среде; уровень внутреннего облучения определяется расчетом количества радионуклидов, попавших в человека с водой, воздухом и пищей; биологическая эффективность рентгеновского излучения и всех радионуклидов располагается в градиенте «1-3-20»; по относительной радиочувствительности органы и ткани располагаются в градиенте «0,2 - 0,12 - 0,05 - 0,01»; гомогенный фантом позволяет адекватно моделировать радиационное воздействие; индивидуальная эффективная доза есть сумма доз внутреннего и внешнего облучения и целый ряд других) суммарно несут такую неопределенность, что весь расчет теряет смысл с точки зрения использования дозовых показателей для организации радиационной защиты населения в условиях неконтролируемого выброса в окружающую среду разнообразных радионуклидов (т.е. в типичной ситуации при ядерных авариях).

Определяемые уровни облучения («дозы») являются расчетными, виртуальными, основанными на экстраполяции усредненных данных, и относятся к нереальному «среднему» человеку. Это усреднение ведет к тому, что значительная часть населения оказывается незащищенной.

Дозовая концепция создавалась 60 лет назад для защиты персонала в условиях влияния немногих радионуклидов в контролируемых условиях облучения (до открытия репликации ДНК, функционирования внутриклеточных мембран, макромолекул ферментов и гормонов, сложнейших ответов клеток, тканей и органов на разное облучение и др.), и строилась по принципу дополнения и усложнения. Сегодня дозовая концепция напоминает колосс на глиняных ногах.

# КРУГЛЫЙ СТОЛ
# «ПРОБЛЕМЫ РАДИОБИОЛОГИЧЕСКОГО И РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ»

# ПОДГОТОВКА СПЕЦИАЛИСТОВ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА ДЛЯ РАБОТЫ НА РАДИОАКТИВНО ЗАГРЯЗНЕННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ

*Асташева Н.П.*
Финансово-технологическая академия, Королев, Россия,
Ast10n@mail.ru

В докладе рассмотрены основные проблемы, связанные с подготовкой специалистов, занимающихся производством сельскохозяйственной продукции на радиоактивно загрязненных территориях. После чернобыльской катастрофы еще длительное время огромные площади сельскохозяйственных угодий подвергшихся интенсивному радиоактивному загрязнению будут источником загрязненной продукции. Практика сельскохозяйственного производства в наиболее загрязненных районах показала, что в результате применения эффективных защитных «контрмер» удается сохранить уровень производства основных видов продукции.

Тщательное изучение результатов работ в этой области является непременным условием дальнейшей успешной работы специалистов над проблемой производства сельскохозяйственной продукции на загрязненных территориях.

При подготовке специалистов особое внимание необходимо уделить вопросам радиационной безопасности работников агропромышленного комплекса, радиометрии проб во всех звеньях сельскохозяйственной цепочки

Будущие специалисты должны освоить особенности технологий производства продукции растениеводства и животноводства в условиях радиоактивного загрязнения, технологические приемы их переработки, нормативно-технические документы, регламентирующие содержание радионуклидов в сельскохозяйственной продукции, и санитарно-гигиенические требования к условиям труда. Использование опыта по созданию и реализации специальных технологий накопленного при ликвидации последствий радиационных катастроф позволяет в процессе обучения специалистов уделить существенное внимание радиологическим аспектам производства продукции на загрязненных сельскохозяйственных угодьях.

При подготовке специалистов для сферы производства экологически-безопасной сельскохозяйственной продукции необходимо обратить внимание на рассмотрение следующих вопросов:

радиационно-гигиенические проблемы производства сельскохозяйственной продукции на радиоактивно загрязненных территориях;

биологические основы миграции радионуклидов в агроэкосистеме;

специфика технологий производства продукции растениеводства и животноводства на территориях, загрязненных радиоактивными веществами;

нормирование и сертификация продукции.

Важно рассмотреть основные способы снижения содержания вредных веществ в продукции растениеводства и животноводства.

В процессе подготовки специалистов необходимо предусмотреть лекционные и практические занятия, которые должны сформировать не только понимание методологии обеспечения безопасности сельскохозяйственной продукции, знание основных загрязнителей и методов их снижения, но и умение использовать эти знания в практической работе. На практических занятиях необходимо организовать изучение методов контроля загрязнения сельскохозяйственных угодий, продукции растениеводства и животноводства. Для подготовки специалистов разработана программа, методические рекомендации и учебное пособие курса «Основы производства экологически безопасной продукции на радиоактивно загрязненных территориях»

# РОЛЬ РАДИАЦИОННОЙ БИОХИМИИ В ФОРМИРОВАНИИ МИРОВОЗЗРЕНИЯ И ПОДГОТОВКЕ МЕДИЦИНСКИХ СПЕЦИАЛИСТОВ

*Грицук А.И., Свергун В.Т., Коваль А.Н., Сергеенко С.М.*
Гомельский государственный медицинский университет, Гомель, Беларусь,
Gritsuk@inbox.ru

Знание основных концепций радиобиологии является неотъемлемой частью компетенции будущих врачей и работников здравоохранения. Для понимания врачом патогенетических механизмов действия ионизирующей радиации на живые организмы необходимо изучение основ радиационной биохимии, которое не предусмотрено государственными программами. Государственные программы ВУЗов по радиационной медицине концептуально созданы на базе «классической» радиобиологии, объясняющий эффекты средних и высоких доз внешнего облучения. В то время как реальные события поставили огромное количество людей в условия проживания в среде, загрязненной радионуклидами, формирующий иной тип радиобиологических эффектов, что представляется очень важной и актуальной проблемой для Беларуси, России и Украины. Основы современной радиационной биохимии в Гомельском медуниверситете преподаются на 2 курсе при изучении «классической» биохимии и на 6 курсе при прохождении цикла «Биохимия, курс по выбору». Так, в разделе «Биологическое окисление» рассматриваются механизмы образования радикалов и антиоксидантной защиты, в разделе «Биохимия липидов» – механизмы ПОЛ и окислительного стресса, в разделе «Биохимия нуклеиновых кислот» – механизмы репарации разрывов ДНК и т.д. Вместе с тем, некоторые современные проблемы радиобиологии не решаются с точки зрения традиционных общебиологических представлений. В частности, действие на клетку $^{137}Cs$ – основного дозообразующего радионуклида загрязненных территорий объясняется «классической» радиобиологией с позиций его свободного и равномерного внутриклеточного распределения, в то время как ионы $K^+$ (аналог $^{137}Cs$) распределены в клетке неравномерно, преимущественно в ядре и митохондриях. Вопрос о форме нахождения внутриклеточных ионов и воды сопряжен с проблемой физической теории живой клетки. Данные современной литература и собственные исследования убеждают нас в том, что наиболее чувствительным и информативным сенсором эффектов малых доз внешнего и внутреннего облучения от инкорпорации радионуклидов, является редокс-гомеостаз клетки и особенно система митохондриального окисления. Это обусловлено тем, что митохондрии – главный потребитель кислорода клетки, и, соответственно, регулятор ее проантиоксидантного баланса. Изучение низкодозовых радиационных эффектов, исключительно важно для будущего врача, поскольку позволяет глубже осознать сущность живых систем, фундаментальную роль энергетического обмена, как источника «отрицательной» энтропии, а радиобиологические эффекты при этом являются, по существу, демонстрацией митохондриальной патологии. Накопление в тканях АФК, индуцированных действием ионизирующей радиации, свидетельствует о том, что высокие концентрации метаболитов – сигнальных молекул, вызывают повреждение основных структур клетки, демонстрируя главную характеристику живого организма – единство структуры и метаболизма. Немонотонный колебательный характер изменений биохимических параметров биологических объектов, подвергнутых действию малых доз радиации является примером многоуровневых синергетических механизмов регуляции. Таким образом, изучение основ радиационной биохимии позволяет будущим медикам лучше понять эволюционно выработанные механизмы регуляции на внутриклеточном и тканевом уровнях, нарушение которых предшествует формированию патологических состояний

# СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ПРЕПОДАВАНИЯ РАДИОБИОЛОГИИ В СИСТЕМЕ ДОДИПЛОМНОЙ ПОДГОТОВКИ ВРАЧЕЙ

*Е.В. Давыдова, Д.А. Сидоров, Н.А. Смирнов, Т.Н. Преображенская*
Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова, Санкт-Петербург, Россия,
davilena@yandex.ru

В соответствии с Федеральными государственными образовательными стандартами высшего профессионального образования по направлениям подготовки «Лечебное дело», «Медико-профилактическое дело», «Стоматология» и «Фармация» с 2011 года обучение будущих врачей вопросам радиобиологии не предусмотрено.

В предыдущих образовательных программах проблемы радиобиологии рассматривались в дисциплине «Экстремальная и военная медицина». Общее количество учебного времени на данный раздел, включая лекции, практические занятия и семинары, составляло от 12 до 30 учебных часов.

С 2011 года в план подготовки будущих врачей введена дисциплина «Безопасность жизнедеятельности. Медицина катастроф», которая относится к профессиональному циклу и входит в его базовую (т.е. обязательную) часть. Первый раздел «Безопасность жизнедеятельности» включен в учебный план первого-второго курса обучения студентов-медиков. В данном разделе рассматриваются отдельные вопросы радиобиологии: источники радиационной опасности, чрезвычайные ситуации и поражающие факторы радиационной природы, средства и методы радиационной разведки и контроля, индивидуальные технические средства защиты, особенности обеспечения радиационной безопасности медицинского персонала и пациентов. Суммарный объем учебного времени, отводимый на изучение этих вопросов, с учетом лекций и практических занятий, не превышает 6-8 часов учебного времени.

В разделе «Медицина катастроф» вопросы радиобиологии изучаются только в одной теме «Медико-санитарное обеспечение населения при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций химической и радиационной природы». В ней нужно успеть рассмотреть основы биологического действия ионизирующих излучений, лучевые поражения в результате внешнего облучения, поражения в результате внутреннего радиоактивного заражения, местные, комбинированные и сочетанные радиационные поражения, а также средства профилактики и терапии радиационных поражений.

Такое малое количество учебного времени, отводимое на изучение вопросов радиобиологии, считаем недостаточным для качественной подготовки будущих врачей, так как в последующем это может привести к грубым врачебным ошибкам и пренебрежению правилами радиационной безопасности в медицинских учреждениях.

Предлагаем ввести в образовательный стандарт высшего профессионального образования по всем направлениям подготовки группы «Здравоохранение» дисциплину «Токсикология, радиобиология и медицинская защита» в объеме не менее трех зачетных единиц (108 учебных часов) с преподаванием ее на специализированной кафедре. В докладе рассматривается возможный вариант программы этой дисциплины, а также особенности ее преподавания студентам различных направлений подготовки.

# ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

*Зенкин А.С.*
Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева,
Аграрный институт, Саранск, Россия,
zenkin50@mail.ru

Радиоэкологическим образованием должны быть охвачены все граждане Российской Федерации, что предполагает его внедрение не только на традиционных уровнях образования - **общее образование и профессиональное образование,** но и среди населения, путем широкого информирования и просвещения. Радиоэкологическое образование должно являться составной частью всей системы образования, должно однозначно подчиняться единым нормам и правилам, соответствовать определенным требованиям и распространяться на все уровни образования, а также повышение квалификации и переподготовку кадров.

Структура радиоэкологического образования обусловлена его спецификой и должна строиться на основе следующих предпосылок:

- радиоэкологическое образование должно включаться на каждом уровне выборочно на основе заранее сформированного комплекса естественнонаучных базовых знаний и умений:
- в программе общего, начального и среднего специального образования курс радиоэкологии должен вводиться в качестве обязательного самостоятельного предмета по единой утвержденной программе с соответствующим комплексом методического обеспечением;
- в высших учебных заведениях курс радиоэкологии должен являться обязательным и вводиться в соответствии с едиными требованиями к содержанию этого курса с учетом специальностей конкретных ВУЗов;
- в системе повышения квалификации и переподготовки кадров курс радиоэкологии должен вводиться дифференцировано в соответствии с программами соответствующих министерств и ведомств, в ведении которых находятся организации и учреждения, направляющие своих специалистов с установленной периодичностью для повышения квалификации или переподготовки;
- в профильных учебных заведениях или подразделениях курс радиоэкологии должен являться элементом специализированных программ обучения в соответствии с профессионально-квалификационными характеристиками специалистов.
- должны выделяться дополнительные уровни образования в виде различных групп населения, для которых необходима разработка специфических средств информирования и просвещения.

Данная работа должна вестись специализированными ВУЗами или подразделениями ВУЗов, учреждениями, министерствами и ведомствами через сеть создаваемых информационных центров и кабинетов, а также через средства массовой информации и путем издания научно-популярной литературы. Потребность в подготовке широкого круга специалистов в области радиоэкологии, радиационной безопасности, обращения с ионизирующим излучением и его источниками и т.д. требует создания в стране профильных учебных заведений или учебных подразделений. Общее руководство системой радиоэкологического образования должно осуществлять Министерство образования и науки совместно с Министерством по чрезвычайным ситуациям и защите населения от последствий радиационных катастроф и Национальной комиссией по радиационной защите.

# РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ОБРАЗОВАНИЕ В АГРАРНОМ ИНСТИТУТЕ «МГУ ИМ. Н.П. ОГАРЕВА» РЕСПУБЛИКИ МОРДОВИЯ

*Кизим Э.В.*
Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева,
Аграрный институт, Саранск, Россия,
kizim2008@ya.ru

Курс ветеринарной и сельскохозяйственной радиобиологии был введен в Аграрном институте в 70 - 80-е годы минувшего столетия. Это период массовых испытаний в атмосфере атомного оружия (глобальное загрязнение), последствий загрязнений комбинатом «Маяк». Авария на Чернобыльской АЭС существенно изменила радиоэкологическую обстановку в стране, в том числе и в Республике Мордовия (РМ).

Данные официальных дозиметрических и радиометрических исследований свидетельствуют о том, что основным радионуклидом, определяющим радиоэкологическую обстановку на загрязненных территориях РМ, является $Cs^{137}$. Плотность загрязнения отдельных территории РМ радиоцезием ($Cs^{137}$) находилось в пределах, позволяющих в соответствии с Федеральным законом «О социальной защите граждан, подвергшихся воздействию радиации вследствие катастрофы на ЧАЭС» (№179-ФЗ от 24.11.1995 г.) отнести 27 населённых пунктов к зоне проживания с льготным социально-экономическим статусом (в настоящее время их 16).

Основной вклад дополнительного облучения населения на таких территориях обусловлено внутренним облучением от радионуклида, поступающего в организм с местными продуктами растениеводства и животноводства.

Соблюдение ограничительных мероприятий на агропромышленных предприятиях, снижение облучения населения от основных источников излучения на основе принципа оптимизации позволило минимизировать дозовые нагрузки у населения, проживающего на территориях РМ, загрязненных радиоцезием.

Расширение преподавания основ ветеринарной и сельскохозяйственной радиобиология, радиоэкологии явилось заслугой заведующего кафедрой незаразных болезней и радиологии (в настоящее время кафедра ветеринарной патологии) Аграрного института д.б.н. профессора А.С. Зенкина (с 1993 г. по настоящее время).

За этот период опубликованы: «Краткий радиоэкологический словарь» (В.А. Бударков, А.С. Зенкин и др., Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 1998. – 256 с.); учебные пособия «Радиобиология в вопросах и ответах» (А.С. Зенкин, Э.В. Кизим Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2004. – 212 с.), «Основы ведения сельского хозяйства в условиях радиоактивного загрязнения (Г.В. Козьмин, С.В. Круглов, Б.И. Яцало, А.С. Зенкин и др., М.: Из-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – 184 с.), «Радиобиология. Радиационная безопасность сельскохозяйственных животных» (В.А. Бударков, А.С. Зенкин и др., М.: Колос С, 2008. – 351 с.) и др.

Студенты получают современное представление по вопросам радиобиологии и радиоэкологии. Знакомятся с данными о ядерно-физических свойствах радионуклидов, биологическом действии ионизирующих излучений на растения и животных, миграции радионуклидов по цепочке почва - растения - животные – человек. Изучают данные о метаболизме радионуклидов и формировании поглощенных доз при облучении, лучевую болезнь сельскохозяйственных животных, нормативные документы по радиационной безопасности сельскохозяйственных животных и т.д. Однако обращает внимание постоянное (особенно по ФГОС-3) снижение количества часов, отводимых на преподавание радиобиологических и радиоэкологических дисциплин.

# ИСТОРИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ В ИЗУЧЕНИИ КУРСА РАДИОБИОЛОГИИ В ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЯХ

*О.П. Майдебура*[1], *И.Н. Гудков*[2]
Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины,
Киев, Украина,
ingudkov@ukr.net, siteparig@mail.ru

Изучение любого дисциплинарного курса в вузе должно начинаться с истории этой науки. История радиобиология, которая вступает в свое стодвадцатилетие, в этом отношении богата интереснейшими фактами и событиями. 1895 г. – открытие В.К. Рентгеном Х-лучей, 1986 г. – открытие А.А. Беккерелем естественной радиоактивности урана, 1897-98 гг. открытие М. Склодовской-Кюри и П. Кюри радиоактивных элементов полония и радия – три великих открытия в области физики, удостоенные нобелевских премий, которые дали начало развитию радиобиологии. Именно с 1895 г. ведет свое начало ее первый этап. Это был период массового изучения естествоиспытателями самых различных направлений действия ионизирующей радиации на живые объекты. И новые открытия не заставили себя ждать. Уже в 1896 г. была установлена возможность использования лучей рентгена в терапии опухолей. В 1898 г. продемонстрировано явление радиационной стимуляции. В 1905 г. установлено, что наиболее чувствительной к радиации органеллой клетки является ядро. В 1906 г. сформулировано фундаментальнейшее правило Бергонье и Трибондо. Второй этап, начавшийся в 1920 г., знаменовал торжество теоретических изысканий, пытающихся небезуспешно объяснить «радиобиологический парадокс» - несоответствие суммарной поглощенной организмом энергии излучения степени его биологического воздействия. В эти годы формируются теории прямого и непрямого действия радиации, закладываются основы «принципа попадания» и «теории мишени». На этом этапе был открыт кислородный эффект, радиационный мутагенез. В 30-е годы в радиобиологии зарождается направление, изучающее миграцию природных радиоактивных веществ в окружающей среде и их взаимодействие с живыми организмами, названное впоследствии радиоэкологией. Это направление получило мощное развитие с началом в 1945 г. третьего этапа развития радиобиологии, открывшим своеобразную эру массовых испытаний атомного оружия. В этот период, когда стало очевидным, что ионизирующая радиация представляет угрозу не только для энтузиастов-ученых, врачей-рентгенологов, добровольно связывающих свою жизнь с «лучами-киллерами», но и для широких масс населения, радиобиология переживает настоящий бум. В 1949 г. были открытии первые радиопротекторы, а в 1951 г. синтезирован цистеамин – радиопротектор, защитные свойства которого до сих пор не превышены. В этот период было открыто явление пострадиационной репарации, ставшее достоянием всей биологии. Развитие получили так называемые радиационные биотехнологии в медицине, сельском хозяйстве, пищевой промышленности. Этот период длился до 1986 г., с апреля которого начался четвертый этап развития радиобиологии. Основное его достижение по нашему мнению – разработка контрмер, направленных на снижение последствий радиоактивного загрязнения окружающей среды и уменьшение дозовых нагрузок на население.

# ОПЫТ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ В ОБЛАСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ

*Мельник Н.А.*
Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья
им. И.В. Тананаева Кольского научного центра РАН, Апатиты, Россия,
melnik@chemy.kolasc.net.ru

В соответствии с Федеральным законом «О радиационной безопасности населения» необходимо обучать не только специалистов, но и население в области обеспечения радиационной безопасности, воспитывать правильное, грамотное понимание и отношение к использованию ионизирующего излучения в промышленности, энергетике, науке, медицине, геологии, химии, строительстве и др. отраслях. Поэтому высшее образование должно включать обучение студентов таким современным разделам науки как радиохимия, радиоэкология и радиационная безопасность. В Апатитском филиале Мурманского государственного технического университета и Кольском филиале Петрозаводского государственного университета для химиков, экологов, горняков и физиков организовано чтение лекций и специализация по радиоэкологии и радиационной безопасности технологий. Разработаны Программы, методические указания и рекомендации, которые детализированы для каждой специальности.

Основная направленность преподавания радиоэкологии и радиационной безопасности состояла в том, чтобы дать каждому студенту не только теоретические знания, но и навык экспериментальной работы с источниками ионизирующего излучения и радиоактивными веществами, научить их грамотному отношению к применению радиологических методов в научных исследованиях, проведению радиоэкологического контроля. Поэтому лабораторные и практические работы студенты Апатитских вузов выполняют непосредственно в аккредитованной региональной лаборатории радиационного контроля (РЛРК) ИХТРЭМС КНЦ РАН, имеющей также лицензию на право работы в области использования атомной энергии. На практических занятиях студенты Апатитских вузов приобретают навыки работы с современной аппаратурой, выполняют исследовательскую работу.

С целью привлечения талантливой молодежи к научной работе основные результаты научных исследований, в которых принимали участие студенты, специализирующиеся по тематике лаборатории, были представлены на региональных и международных конференциях по радиохимии, химии и технологии редкометалльного сырья, радиоэкологии и радиобиологии, экологии и рационального природопользования (Апатиты, Мурманск, Томск, Архангельск, Сыктывкар, Вологда, Петрозаводск, Тюмень, Самара и др.). После окончания вузов дипломированные выпускники работают по специальности на предприятиях Мурманской области – в том числе, на Кольской АЭС, в Лаборатории охраны окружающей среды (ЛООС КАЭС), ФГУП «Атомфлот», институтах Кольского научного центра, ОАО «Апатит» и др.

Участие студентов в научных исследованиях лаборатории позволяет выполнять комплексные междисциплинарные исследования, создающие базу знаний и данных, необходимых для выявления важнейших радиоэкологических факторов и закономерностей миграции радионуклидов, контролирующих состояние и динамику взаимодействия природных систем в полярном регионе Земли, определяющих ресурсный потенциал и стабильное поддержание условий для жизни и эффективной хозяйственной деятельности человека в Евро-Арктическом регионе.

# ОСОБЕННОСТИ ПРЕПОДАВАНИЯ РАДИОЭКОЛОГИИ В ВУЗЕ И ПОСТВУЗОВСКОМ ОБРАЗОВАНИИ

*С.В.Пугаев[1], А.С.Зенкин[2]*
[1]Мордовский научно-исследовательский институт сельского хозяйства, Саранск, Россия,
[2]Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, Аграрный институт, Саранск, Россия,
niish-mordovia@mail.ru

Радиоэкологическое образование в Аграрном институте Мордовского государственного университета им. Н.П.Огарева получают будущие специалисты сельскохозяйственного профиля, а менеджеры агробизнеса поствузовское обучение – в Институте повышения квалификации. Важным местом в программе подготовки является особенность, учитывающая факт выпадения осадков вследствие аварии на ЧАЭС на территории Республики Мордовия (РМ).

В целях получения обучаемыми знаний и навыков определения подвижности долгоживущих радионуклидов (РН) $^{137}Cs$ и $^{90}Sr$ в агроценозах использовались рекомендации, разработанные (Козьмин Г.В. и др., 1999). Однако, в Республике выявлены особенности миграции РН.

Значения КП $^{137}Cs$ для дерново-подзолистых почв песчаного и супесчаного гранулометрических составов отличаются от литературных как в большую сторону (зерно гречихи и озимой ржи), так и в меньшую – (у соломы озимой пшеницы и зерна ячменя). На легко- и среднесуглинистых дерново- подзолистых почвах отмечены повышенные значения КП у озимой ржи и вегетативной массы кукурузы, а на тяжелосуглинистой почве – у зерна ячменя. Результаты по серой лесной почве оказались выше у зерна озимой ржи и вегетативной массы кукурузы. На черноземе КП различались по всем культурам.

КП озимой ржи всегда был больше: у зерна в 5-10 раз, у соломы – в 2-7 раз. КП в зерне у озимой пшеницы был в 2-6 раз выше, а в соломе варьировал от более низкого на песчаных, до более высоких на тяжелосуглинистых дерново-подзолистых почвах. Пониженный КП $^{137}Cs$ был у ячменя на песчаных дерново-подзолистых почвах, на суглинистых и серой лесной почвах – в соломе, в зерне – до 10 раз больше. Для вегетативной массы кукурузы он более высокий, особенно на серой лесной почве.

Следовательно, с утяжелением гранулометрического состава и повышением плодородия различия, в основном, относились к увеличению КП $^{137}Cs$.

Все КП $^{90}Sr$ для культур, выращенных на дерново-подзолистых почвах супесчаного, легко- и среднесуглинистого гранулометрического составов, в 2–50 раз меньше, чем в рекомендациях. Вегетативная масса кукурузы, клубни картофеля и корнеплоды свеклы имели большее различие по КП, чем зерно. Растения на тяжелосуглинистых почвах этого типа и на черноземе имели как пониженные, так и повышенные значения КП: в зерне озимых более высокие, а в соломе яровых – более низкие.

Таким образом, генеративная часть урожая с супесчаных дерново-подзолистых почвах обладала более высоким КП $^{137}Cs$, чем вегетативная. Он был выше при иных гранулометрических составах почвы у соломы зерновых, чем у семян. С утяжелением ее гранулометрического состава КП $^{90}Sr$ у зерновых понижался, причем у соломы значительнее, чем у зерна. Выявленные специфические КП обусловлены, вероятно, сложной и разнообразной почвенно-климатической характеристикой в РМ. Они учитываются при разработке учебно-методического материала, чтении лекций и в лабораторно-практических занятиях.

# СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ «РАДИАЦИОННАЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ МЕДИЦИНА» СТУДЕНТАМИ МЕДИКО-ПРОФИЛАКТИЧЕСКОГО ФАКУЛЬТЕТА БЕЛОРУССКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО МЕДИЦИНСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

*А.Н. Стожаров, М.А. Назарова, Л.А. Квиткевич*
Белорусский государственный медицинский университет, Минск, Беларусь,
stojarov@mail.ru

Кафедра радиационной медицины и экологии занимается подготовкой студентов, обучающихся по специальности 1-79 01 03 Медико-профилактическое дело, в 10-12 семестрах по трем разделам: «Экологическая медицина», «Радиационная медицина», «Радиационная гигиена»

Цель преподавания дисциплины «Радиационная и экологическая медицина» состоит в приобретении студентами знаний о рисках развития и механизмах формирования радиационно и экологически обусловленной патологии; формировании у них профессиональной компетентности, позволяющей работать в учреждениях, осуществляющих оздоровительно-реабилитационную и научно-практическую деятельность в области медико-биологических исследований влияния окружающей среды на человека.

Актуальность изучения дисциплины обусловлена широким применением источников ионизирующего излучения во многих отраслях деятельности человека, обеспечения безопасных условий проживания после аварии на ЧАЭС. Она возрастает в связи со строительством БелАЭС.

На изучение дисциплины всего отведено 384 часов, в том числе 231 час аудиторных занятий (раздел «Экологическая медицина» - 63 часа в десятом семестре, раздел «Радиационная медицина» - 70 часов в одиннадцатом семестре и раздел «Радиационная гигиена» - 98 часов в двенадцатом семестре). Предусмотрено проведение: лекций, лабораторных, практических, занятий. После изучения разделов «Экологическая медицина» и «Радиационная медицина» студенты сдают экзамен (11 семестр). Изучение дисциплины завершается в 12 семестре итоговой аттестацией в форме государственного экзамена с включением в билет вопросов из всех трёх разделов.

Заведующий кафедрой д.б.н., профессор А.Н. Стожаров создал и поддерживает работу сайтов: www.radbez.bsmu.by; www.webradecomed. bsmu.by, которые позволяют студентам on-line: отрабатывать пропущенные занятия, закреплять навыки решения задач и работы с приборами, сдавать теоретическую часть зачета по радиационной гигиене.

Коллектив кафедры считает, что студенты должны получать не только теоретические знания и практические навыки в стенах вуза, но и приобретать их на рабочих местах в учреждениях здравоохранения. Для получения полного представления о специфике работы врача-гигиениста организовано проведение выездных занятий с привлечением высококвалифицированных специалистов. Занятия проводятся на базах: ГУ «Республиканский центр радиационного контроля и мониторинга окружающей среды», ГУ «Республиканский центр гигиены, эпидемиологии и общественного здоровья», ГУ «Минский областной центр гигиены, эпидемиологии и общественного здоровья», УЗ «10-я городская клиническая больница» (отделение радионуклидной диагностики).

Выездные занятия позволяют студентам ознакомиться не только с существующей системой радиационного контроля и мониторинга в Республике Беларусь, но и узнать основные направления ее развития и совершенствования.

# ОСОБЕННОСТИ ПРЕПОДАВАНИЯ РАДИОБИОЛОГИИ СТУДЕНТАМ ФАРМАЦЕВТИЧЕСКИХ ВУЗОВ

*О.Ю. Стрелова, Е.Н. Степанова*
Санкт-Петербургская химико-фармацевтическая академия, Россия,
ous.chim-tox@yandex.ru

Проблемы современного общества ставят перед образованием новые задачи. Особенно это касается высшей школы и, в частности, фармацевтических вузов и факультетов. Быстрый прогресс науки и техники с одной стороны позволил удовлетворить все потребности человеческого общества, но с другой стороны — ухудшил условия его существования. В связи с этим является весьма актуальным изучение дисциплины «Безопасность жизнедеятельности. Медицина катастроф» и особенно модуля «Токсикология и медицинская защита» с разделом «Радиобиология» именно в системе высшего фармацевтического образования.

В соответствии с программой учебной дисциплины вопросам радиобиологии отведено 6 часов лекций и 10 часов практических занятий. Они посвящены изучению основных форм радиационного поражения, технические средства защиты от воздействия радиации и, что наиболее важно для провизоров, – медицинские средства профилактики и лечения радиационных поражений. К сожалению, вопросы воздействия ионизирующего излучения на биологические системы практически не рассматриваются в системе высшего фармацевтического образования. В связи с этим, сотрудниками кафедры фармацевтической химии (с курсом токсикологической химии и токсикологии) СПХФА совместно со специалистами кафедры военной токсикологии и медицинской защиты Военно-медицинской академии им. С.М. Кирова подготовлено учебное пособие для студентов фармацевтических вузов «Основы радиобиологии и радиационной медицины» (проф. А.Н. Гребенюк, проф. В.И. Легеза, доцент О.Ю. Стрелова, доцент Е.Н. Степанова). Пособию присвоен гриф Учебно-методического объединения по медицинскому и фармацевтическому образованию вузов России. Пособие получило хорошие отзывы студентов, так как позволяет им разобраться в чрезвычайно сложных вопросах механизмов действия ионизирующего излучения, формах патологий, возникающих в организме под действием радиации, и арсенале фармакологических средств для профилактики и лечения данных заболеваний.

В проведении практических занятий большая роль отводится самостоятельной работе студентов: к занятию готовятся 2-3 доклада по теме занятия (например, «История открытия радиации», «Медицинское применение ионизирующего излучения» и др.). Студенты решают ситуационные задачи, основанные на реальных событиях. Работа над задачами проводится в форме деловой игры, в группах по 2-3 человека. Для текущего контроля знаний разработан комплект тестовых заданий на каждое занятие (12 вариантов по 10 заданий) и итоговый тест по всему разделу «Радиобиология». В оценке знаний студентов используется балльно-рейтинговая система, которая позволяет ежегодно освобождать от экзамена 37-40 % студентов с оценкой «отлично».

Проводимое в конце семестра анонимное анкетирование показало, что около 75 % студентов положительно относится к изучению вопросов радиобиологии. Это свидетельствует о понимании будущими провизорами важной роли ионизирующих излучений в жизни общества и необходимости изучения радиобиологии в фармацевтических вузах (факультетах).

# ПРЕПОДАВАНИЕ РАДИОБИОЛОГИИ В ПЕРВОМ МГМУ им. И.М. СЕЧЕНОВА

*А.А. Тимошевский, Л.А. Кушнир*
Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова, Москва, Россия, tialexandr@yandex.ru

Изучение радиобиологии является неотъемлемой частью военно-медицинского образования, как специальности способствующей подготовке будущих офицеров медицинской службы к осуществлению мероприятий медицинской защиты личного состава войск и населения от поражающего действия факторов радиационной природы в мирное и военное время. Преподавание радиобиологии в Первом Московском государственном медицинском университете имени И.М. Сеченова проводится в рамках дисциплины «Военная токсикология, радиология и медицинская защита» отделом военной токсикологии и медицинской защиты учебного военного центра. Обучение студентов в учебном военном центре проводится в соответствии с Программой военной подготовки, утвержденной и согласованной в 2010 г. В рабочей программе преподавание вопросов радиобиологии предусмотрено в разделах «военная радиология» и «медицинская защита» в объеме 54 часа.

В тематике данных разделов студенты получают знания о целях, задачах радиобиологии и военной радиологии, видах ионизирующих излучений и их свойства, о радиобиологических эффектах, основах биологического действия ионизирующих излучений на клетки, ткани, органы и системы организма. О лучевых поражениях в результате внешнего общего облучения, местных лучевых поражениях кожи и слизистых оболочек, поражениях в результате внутреннего радиоактивного заражения и об особенностях сочетанных и комбинированных радиационных воздействий. Кроме того, изучаются вопросы воздействия поражающих факторов ядерного взрыва, мероприятия по защите (радиационная разведка, контроль, специальная обработка) подразделений и частей медицинской службы, а также порядок применения медицинских средств профилактики и оказания помощи при радиационных поражениях.

При изучении дисциплины предусмотрено проведение лекций, семинаров, практических и лабораторных занятий с использованием тестового контроля (в компьютерном классе), решение ситуационных задач, программированная оценка радиационной обстановки с принятием решения на медицинское обеспечение.

В последний год широко используются для обучения студентов возможности электронного образовательного портала Университета. На портале, они могут самостоятельно изучать отдельные темы раздела «военная радиология», ответить на вопросы тестового контроля, результаты которого преподаватели могут оценить дистанционно, просмотреть учебные фильмы.

В соответствии с политикой в области качества Университета после окончания циклов обучения проводится анкетированный опрос студентов, для определения уровня их удовлетворенности, что позволяет учесть проблемные направления в организации учебного процесса, с целью повышения качества преподавания.

Помимо преподавания «военной радиологии», в Университете для студентов всех специальностей, в рамках дисциплины «Безопасность жизнедеятельности. Медицина катастроф» предусмотрено изучение вопросов связанных с медико-санитарным обеспечением населения при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций радиационной природы в объеме18 часов, где рассматриваются поражающие факторы радиационных аварий и ядерных взрывов, медицинская характеристика лучевых поражений, а также средства технической защиты, профилактики и терапии.

# АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ПРЕПОДАВАНИЯ ОСТРОЙ РАДИАЦИОННОЙ ПАТОЛОГИИ В ВЫСШИХ МЕДИЦИНСКИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЯХ В ХОДЕ РЕАЛИЗАЦИИ ТРЕБОВАНИЙ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО СТАНДАРТА ТРЕТЬЕГО ПОКОЛЕНИЯ

*Халимов Ю.Ш., Карамуллин М.А., Чеховских Ю.С., Язенок А.В. Кузьмич В.Г.*
Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова, Санкт-Петербург, Россия,
yula_spb@mail.ru

В настоящее время совершенствование высшего специального образования в России ориентировано на внедрение в образовательный процесс компетентностного подхода. Общеизвестной целью последнего является преодоление разрыва между теоретическими знаниями обучаемого и его способностью эффективно решать практические задачи по предназначению. Формирование у обучаемых на факультетах подготовки врачей лечебного профиля прочных знаний, навыков и умений по организации и оказанию медицинской помощи пациентам с острой радиационной патологией остается чрезвычайно актуальной задачей как для военной медицины, так и для медицины катастроф.

Пересмотр учебных дисциплин и курсов в соответствии с требованиями федерального государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования (ФГОС) третьего поколения на практике привел к сокращению в обязательной части программ профессионального образования количества учебных часов, отведенных на освещение вопросов радиационной медицины. Из обязательной части ФГОС оказалась исключенной учебная дисциплина «токсикология и медицинская защита», имеющая важное значение для освоения обучаемыми обсуждаемых компетенций. Вариативная часть образовательных программ подготовки специалиста, устанавливаемая в конкретном высшем медицинском учебном заведении (ВМедУЗ), создает условия для адаптации существующих, либо создания новых учебных дисциплин (курсов) для привития обучаемым знаний, умений, навыков необходимых выпускникам для успешной профессиональной деятельности с учётом современного уровня развития науки и практики в отрасли.

Значительный прогресс в развитии радиобиологической науки, совершенствование диагностической базы и появление более эффективных средств радиационной профилактики и раннего патогенетического лечения радиационных поражений, наряду с появлением международных рекомендаций и протоколов по организации и содержанию медицинской помощи при радиационных инцидентах мирного времени требуют внесения изменений в учебно-методические комплексы по дисциплинам «Военно-полевая (морская) терапия», раздел «токсикология и медицинская защита» дисциплины «Военная и экстремальная медицина" ("Безопасность жизнедеятельности. Медицина катастроф").

При изложении вопросов организации оказания первичной врачебной медико-санитарной помощи лицам с острыми радиационными поражениями на передовых этапах медицинской эвакуации (в процессе медицинской сортировки пострадавших) целесообразно использовать синдромологический принцип формулировки предварительного диагноза в соответствии с международными протоколами. Универсальность и простота описания формулой острого радиационного синдрома (синоним острой лучевой болезни) большинства клинических вариантов острого радиационного поражения позволят сформировать у обучаемых систему знаний, умений и навыков в объеме, требующемся выпускнику ВМедУЗа, не являющемуся специалистом в области клинической радиологии.

# ОПЫТ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ В ОБЛАСТИ МЕДИЦИНСКОЙ ФИЗИКИ В МГУ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА

*А.П. Черняев*[1,2], *П.Ю. Борщеговская*[1], *С.М. Варзарь*[1], *А.А. Николаева*[1]
[1]Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, физический факультет, Москва, Россия,
[2] НИИ ядерной физики им. Д.В. Скобельцына, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия,
borschegovskaya@physics.msu.ru

Применение в медицине последних достижений ядерной и ускорительной физики является одним из эффективных направлений развития методов лечения и диагностики заболеваний. Особенно заметна роль ядерно-физических технологий в области онкологии. В 2009 году в РФ стартовала Национальная онкологическая программа, которая рассчитана до 2015 года. Основная проблема, тормозящая развитие, связана с отсутствием специалистов, которые смогут работать на поставляемом оборудовании. В первую очередь речь идет о медицинских физиках, которые отвечают за обеспечение требований точности при подведении лечебной дозы радиации к опухоли с минимальным поражением соседних здоровых тканей, за гарантию качества и безопасность лучевого лечения. Проблемой является и квалификация специалистов, которые могут занимать такие должности.

Понимание этого имеется и в медицинских, и в научно-образовательных кругах. На кафедре физики ускорителей и радиационной медицины в МГУ специальная подготовка начинается в середине третьего курса и продолжается 3 года в течение 6 семестров. Рабочие планы кафедры включают 19 оригинальных спецкурсов по дисциплинам специализации. Часть лабораторных заданий студенты выполняют на действующем клиническом оборудовании.

Отличительной чертой учебного плана кафедры является летняя учебная практика по медицинской физике. Практика проводится с 1999 года в течение 14 дней в Дубне на базе ОИЯИ и ОЯИ (филиала НИИЯФ МГУ). В ходе практики студенты посещают научные лаборатории, реактор, циклотрон, синхрофазотрон и все другие ускорители, работающие в Дубне. Дипломные и курсовые работы студенты выполняют в МГУ и исследовательских центрах Москвы и Московской области, с которыми у кафедры сложился тесный рабочий контакт: физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, НИИЯФ МГУ, ФФМ МГУ, ИТЭФ, МНИОИ им. П.А.Герцена, РОНЦ им. Н.Н. Блохина, ММА им. И.М. Сеченова, ОИЯИ, ИФВЭ (Протвино), ГНЦ «Институт биофизики», РНЦРР и других. На базе этих организаций защищают свои кандидатские диссертации и аспиранты кафедры, а в дальнейшем устраиваются на работу.

С 2013 года на базе НИИЯФ МГУ организован компьютерный класс, в котором студентами выполняются практические занятия по лучевому планированию на двух установленных системах Monaco и Xio, широко используемые в клиниках России и стран Европы. В 2014 году для обучения Московскому университету фирмой ELEKTA и компанией «МСМ-Медимпекс» предоставлен учебный ускоритель ElektaSynergy (линейный ускоритель электронов с максимальной энергией до 18 МэВ, мощностью 110 кВт). Запуск ускорителя, оснащенного системами планирования, позволит создать первый в восточной Европе центр подготовки радиационных медицинских физиков, оснащенный современной техникой и программным обеспечением, что позволит внести вклад в Национальную онкологическую программу.

# ВКЛАД ИНСТИТУТА БИОФИЗИКИ МИНЗДРАВА РОССИИ – ФЕДЕРАЛЬНОГО МЕДИЦИНСКОГО БИОФИЗИЧЕСКОГО ЦЕНТРА ИМЕНИ А.И. БУРНАЗЯНА В СТАНОВЛЕНИЕ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ МЕДИЦИНСКОЙ РАДИОБИОЛОГИИ И РАДИАЦИОННОЙ МЕДИЦИНЫ

*Г.А. Шальнова*
ГНЦ РФ Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна ФМБА России, Москва, Россия,
a1931192@mail.ru

После атомной бомбардировки США в Японии в 1945 году актуальным в СССР стал вопрос обеспечения радиационной безопасности страны. Её выполнение было поручено Минздраву СССР. Решение задачи возглавил А.И. Бурназян. По инициативе И.В. Курчатова в 1946 г. организуется Радиационная лаборатория, ставшая основой будущего Института биофизики (ИБФ), в 1951 г. в нём создаётся клинический отдел. В 2008 г. ИБФ объединили с Клинической больницей № 6, новая организация получила название «Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна» (ФМБЦ). Руководителями ИБФ – ФМБЦ им. А.И. Бурназяна являлись последовательно Г.М. Франк (1946 – 51 г.г.), А.С. Архипов (1951 – 54 г.г.), А.В. Лебединский (1954 – 62 г.г.), П.Д. Горизонтов (1962 – 68 г.г.), Л.А. Ильин (1968 – 2008 г.г.), К.В. Котенко (с 2008 г. по настоящее время). Было создано многопрофильное научное учреждение, объединившее учёных различных специальностей.

Основная и главная задача созданного ИБФ – разработка основ радиационной безопасности и создание дозиметрических приборов, а также изучение биологического действия ионизирующего излучения на живой организм при внешнем воздействии и инкорпорации радионуклидов. Учёные ИБФ стали основоположниками различных разделов отечественной медицинской радиобиологии и радиационной медицины.

Впервые разработаны критерии оценки опасности различных видов ионизирующего излучения. ИБФ является идеологом индивидуальной дозиметрии. Начаты работы изучения количественной радиобиологии, получены данные по выявлению дозовой зависимости. Определены формы лучевой болезни при различных видах облучения. Изучено клиническое течение лучевой болезни (ЛБ) человека, разработаны меры её профилактики и лечения, создана схема лечения ЛБ, а также аптечка первой помощи при радиационных авариях для работающих и населения. Впервые в нашей стране в ИБФ начаты эксперименты по созданию и изучению противолучевых средств при внешнем облучении, при инкорпорации радионуклидов и для выведения их из организма. Началось разностороннее изучение гигиенических проблем, связанных с обеспечением радиационной безопасности работников атомной промышленности, энергетики и населения.

Впервые в стране начата разработка и создание радиофармпрепаратов.

ИБФ был назначен головной организацией по разработке и внедрению в народное хозяйство метода радиационной стерилизации.

ИБФ является одним из основоположников отечественной медицинской микробиологии, иммунологии и аллергологии, космической медицины в стране, а также космической иммуномикробиологии в мире.

Огромен вклад ИБФ в работах по ликвидации медицинских последствий в результате аварии на ЧАЭС.

ИБФ всегда решал стратегические, самые актуальные на данное время задачи и проблемы, будучи причастным к великой миссии создания ядерного щита Родины, обеспечения радиационной безопасности профессионалов атомной промышленности и населения регионов их расположения.

# РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ОБРАЗОВАНИЕ НА ФАКУЛЬТЕТЕ ПОЧВОВЕДЕНИЯ МГУ ИМ. М.В.ЛОМОНОСОВА

*А.И.Щеглов, С.В.Мамихин, О.Б.Цветнова*
Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия,
shchegl@mail.ru, svmamikhin@mail.ru, tsvetnova@mail.ru

На факультете почвоведения МГУ обучение студентов в области радиоэкологии было начато в 80-х годах XX века, когда профессором Ф.А. Тихомировым читался курс лекций «Радиоизотопы в почвоведении». Позднее он был трансформирован в спецкурс «Радиоэкология почвенно-растительного покрова». В 2005 году на факультете была создана кафедра радиоэкологии и экотоксикологии, и с этого периода началась полномасштабная подготовка специалистов по направлению Экология (020801) и специализации «Радиоэкология». В рамках этого направления учащиеся получают фундаментальные знания и практические навыки по предмету. Они изучают особенности распределения и миграции радионуклидов в почвах и сопредельных средах, в растительных сообществах, в системе «почва - растение», звеньям пищевой цепи наземных и водных экосистем в условиях радиоактивного загрязнения. Важным компонентом обучения является познание закономерностей формирования дозовых нагрузок на биоту и человека под воздействием ионизирующего излучения и последствий этого воздействия на состав, структуру и функционирование экосистем. Обучающиеся получают представление об основных понятиях и методах радиоэкологического мониторинга, его организации в условиях загрязнения. Для студентов факультета проводится практикум по радиоэкологии, а также организуются летние учебные и полевые практики, в ходе которых они приобретают практические навыки работы с измерительной аппаратурой. В процессе обучения студенты принимают активное участие в научной работе кафедры. На сайте факультета почвоведения МГУ создан информационно-учебный ресурс ЭкоРадМод, на котором студенты могут воспользоваться электронной библиотекой по различным направлениям радиоэкологии. Следует подчеркнуть, что такую целенаправленную подготовку специалистов в области радиоэкологии до настоящего времени не проводит ни один ВУЗ РФ.

В настоящее время в рамках подготовки учащихся с присвоением квалификаций (степеней) «бакалавр» и «магистр» факультет почвоведения МГУ проводит обучении е студентов по направлению 022000.68 «Экология и природопользование» по профилю «Радиоэкология». В перечень специализированных дисциплин по данному профилю входят следующие модули: «Радиоэкология природных и агроэкосистем», «Биологическое действие радионуклидов и радиационные эффекты в экосистемах», «Потоки радионуклидов в биосфере», «Радиоэкологический мониторинг в природных и агроэкосистемах», «Эколого-экономический анализ воздействий на природную среду». В рамках этих модулей предусматриваются лекционные, семинарские и практические занятия по основным курсам, таким как: «Лесная и сельскохозяйственная радиоэкология», «Радиоэкология водных экосистем», «Современные проблемы радиоэкологии и экотоксикологии»; «Биологическое действие радионуклидов», «Радиационные эффекты в экосистемах», «Экологическое нормирование радиационных воздействий», «Геохимия радионуклидов», «Биогеохимические циклы радионуклидов», «Основы радиоэкологического мониторинга», «Радиологические методы в экологических исследованиях», «Обращение с радиоактивными отходам», «Методы математической статистики в радиоэкологических исследованиях», «Эколого-экономическая оценка загрязненных земель» и ряд других. В данном профиле подготовки предусмотрен также набор дополнительных дисциплин по выбору.

# ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ТЕЗИСЫ

# ПРОГНОЗ ТЯЖЕСТИ И ИСХОДА ОСТРОЙ ЛУЧЕВОЙ БОЛЕЗНИ ПО ПОКАЗАТЕЛЯМ ПЕРЕКИСНОГО ОКИСЛЕНИЯ ЛИПИДОВ

*В.А.Гурьянова, И.Р.Юнусов, Г.И.Рахматуллина*
Федеральный центр токсикологической, радиационной и биологической безопасности, Казань, Россия
vnivi@mail.ru

Цель исследования – оценить значимость показателей перекисного окисления липидов для прогноза тяжести и исхода острой лучевой болезни у животных, подвергшихся воздействию ионизирующей радиации.

Опыты проведены на белых крысах живой массой 160-180 г. Моделирование лучевой болезни у лабораторных животных осуществляли путем облучения их на гамма-установке «Пума» в дозах от 3,0 (1-я группа); 6,0 (2-я группа); 8,0 (3-я группа) до 10,0 Гр (4-я группа), источник излучения $^{137}Cs$; при мощности экспозиционной дозы излучения $3{,}13\times10^{-5}$Кл/(кг*с). Белые крысы 5-й группы служили контролем биологическим.

О степени интенсивности процесса судили по накоплению вторичных продуктов ПОЛ – малонового диальдегида (МДА) по методу Е.Н.Гончаренко, А.М.Латиновой (1985).

Показало, что во всех опытных группах, за исключением первой, через 6, 24 и 72 ч происходит возрастание изучаемого показателя. Так, у белых крыс, облученных в дозе 10,0 Гр, его уровень достоверно возрастает и через 6 ч после лучевого воздействия составляет 8,33±0,34 мкмоль/мл, через 24 ч – 8,09±0,44, через 3-е сут – 8,28±0,72 при 6,01±0,48 мкмоль/мл в исходе или 138,6; 134,6 и 137,8 % соответственно срокам исследования. На 5 день содержание МДА в крови животных 2-й, 3-й и 4-й групп уменьшалось, а у белых крыс 1-й группы – возрастало. С 7 по 15 сут опыта отмечается повышение этого показателя при облучении в дозе 8,0 Гр, а при воздействии в дозах 6,0 и 10,0 Гр – на 10 сут после радиационного воздействия и составляет 163 и 150 % соответственно группам. В последующие сроки (20 и 30 сут) содержание МДА в крови опытных и контрольных животных выравнивается.

Динамика содержания продуктов ПОЛ в гемолизате эритроцитов имела ту же направленность, что и в крови.

Концентрация малонового диальдегида во внутренних (печень, селезенка) органах изменялась несколько иначе. Так, если с 3 до 72 ч после внешнего гамма-облучения происходило постепенное увеличение уровня МДА в печени, находящееся в прямой зависимости от дозы лучевого воздействия, то на 5 день он уменьшался, а к концу первой недели вновь возрастал, но обратно пропорционально дозе облучения. Максимум содержания продуктов ПОЛ в печени приходился на 7 сут опыта, который, по сравнению с исходом, достигало 181 % - в первой и второй, 163 % - в 3-й и 4-й группах. На 15 день концентрация МДА снижалась, затем вновь возрастала к 20 сут и достигала значений биологического контроля к концу эксперимента.

В гомогенате селезенки данный показатель изменялся волнообразно: вслед за облучением (3 и 6 ч) у белых крыс всех опытных групп в содержании МАД наблюдался подъем, затем снижение на первые сутки и вновь возрастание к третьему дню. Достоверное увеличение содержания продуктов ПОЛ к 7-му дню опыта носило обратно пропорциональную дозовую зависимость. Значимые уровни малонового диальдегида в селезенке приходились на 15 сут опыта – 15,12±1,12 против 6,36±0,57 мкмоль/мл в контроле.

# ВЛИЯНИЕ ОБЛУЧЕННОГО ЗЕРНА НА ВОСПРОИЗВОДИТЕЛЬНУЮ ФУНКЦИЮ БЕЛЫХ КРЫС

*А.В.Иванов, Г.В.Конюхов, Я.М.Курбангалеев, Г.З.Шигапова*
Федеральный центр токсикологической, радиационной и биологической безопасности,
Казань, Россия,
vnivi@mail.ru

В настоящее время в мире работают более 100 промышленных установок для стерилизации медицинских изделий, крупнотоннажные установки для дезинсекции зерна, удлинения сроков хранения картофеля и лука, предпосевного облучения семян, обеззараживания кормов, удлинения сроков хранения продуктов питания, половой стерилизации насекомых - вредителей растений и животных.

Известно, что в процессе облучения в растительных и животных тканях образуются свободные радикалы биологически активных соединений с образованием перекисных соединений - радиотоксинов (гидроперекиси и пероксиды, полифенолы, хиноны, ортохиноны, кетоальдегиды, биогенные амины), обладающих цитотоксическими свойствами.

В предыдущих исследованиях нами было установлено, что в облученных продуктах растительного и животного происхождения уже на 3 сут после облучения в РНГА-тесте обнаруживаются комплексы антигенной природы, вступающие в реакцию со специфическими антителами. Концентрация радиационных антигенов претерпевает существенные изменения в зависимости от срока облучения, имея тенденцию увеличения до 7-10 сут, постепенно убывая к 21 сут, и полностью исчезая к 30 сут после облучения.

В связи с этим целью работы явилось изучение безопасности зерна, подвергнутого лучевой обработке в инсектицидной дозе.

Исследования по изучению влияния облученного зерна на воспроизводительную функцию, а также эмбриотоксического и тератогенного действия облученного зерна проведены на белых крысах. В опытах было использовано 30 крысят-отъёмышей, по 10 самок и 5 самцов в опытной и контрольной группах. После достижения ими половозрелого возраста в каждой группе было отобрано по 6 самок и 3 самца. Крысам опытной группы в течение 1,5 лет ежедневно скармливали зерно овса, облученного в дозе 300 Гр, с 1-20 сут сроком хранения после облучения. За первые 7 мес было получено потомства 1-го поколения ($F_1$): в контрольной группе - 107 голов (11 пометов), в опытной группе - 114 голов (14 пометов). За 8 мес следующего года от потомства 1-поколения получено потомство 2-поколения ($F_2$): в контрольной группе - 111 крысят (14 пометов), в опытной группе - 91 крысенок (13 пометов). При этом как в 1-м, так и во 2-м поколениях у каждой самки было по 3 окота. Последний окот ($F_2$) получен через 15 мес с начала ежедневного скармливания облученного зерна.

Исследования показали, что скармливание облученного зерна в течение указанного периода не оказывает существенного отрицательного влияния на воспроизводительную функцию и плодовитость белых крыс, а также эмбриотоксического и тератогенного действия на их потомство 1-го и 2-го поколения. В то же время количество крысят в помете в $F_1$ и $F_2$ имело тенденцию к снижению с достоверными изменениями ($P<0,05$) в отдельных окотах, а именно: в $F_1$ - во 2-м окоте, а в $F_2$ - во 2-м и 3-м.

Живая масса крысят в 3 мес возрасте в $F_1$ не имела закономерных различий, а в $F_2$ - в 1-м, 2-м и 3-м окотах наблюдалось незначительное снижение этого показателя (соответственно на 2,7; 3,7 и 9,5%) с уровнем достоверности $P<0,05$ во 2-м и 3-м.

# ИЗМЕНЕНИЯ В КРОВЕТВОРНОЙ И ИММУННОЙ СИСТЕМАХ ПРИ КОМБИНИРОВАННОМ ПОРАЖЕНИИ РАДИАЦИЕЙ И Т-2 ТОКСИНОМ

*Г.В.Конюхов, Н.Б.Тарасова, М.Я.Тремасов*
Федеральный центр токсикологической, радиационной и биологической безопасности, Казань, Россия,
vnivi@mail.ru

В условиях радиационных аварий, длительной техногенной нагрузки на окружающую среду возможны комбинированные воздействия, эффекты которых еще мало изучены.

Целью настоящей работы являлось изучение биологических последствий комбинированного хронического воздействия гамма-радиации и Т-2 токсина на лабораторных животных.

Для проведения экспериментов были взяты белые крысы живой массой 180 г. Затравку Т-2 токсином проводили внутрижелудочно ежедневно 5 раз в неделю в дозе 1/5 и 1/10 $ЛД_{50}$. Внешнему гамма-облучению животных подвергали на гамма-установке «Пума» с источником излучения цезий-137 в суммарной дозе 1,0 Гр.

При выполнении работы было сформировано 6 экспериментальных групп по 10 белых крыс в каждой: 1-я – биологический контроль; 2-я – контроль облучения ( 1,0 Гр); 3-я – затравка Т-2 токсином в дозе 1/5 $ЛД_{50}$ в течение 5 дней; 4-я – затравка Т-2 токсином в дозе 1/5 $ЛД_{50}$ в течение 5 дней + хроническое гамма-облучение в дозе 1,0 Гр за 5 суток; 5-я – затравка Т-2 токсином в дозе 1/10 $ЛД_{50}$ в течение 10 дней; 6-я – затравка Т-2 токсином в дозе 1/10 $ЛД_{50}$ в течение 10 дней + хроническое гамма-облучение в дозе 1,0 Гр за 5 суток.

При комбинированном поражении, вызванном хроническим гамма-облучением и затравкой Т-2 токсином, гибели животных в течение 30 сут не наблюдалось. В опытных группах при дозах микотоксина 1/5 и 1/10 $ЛД_{50}$ выживаемость снижалась на 35 и 20%.

К 30сут исследований во всех опытных группах живая масса составляла 168-170 г (контроль 190-200 г). Отмечено некоторое уменьшение весовых коэффициентов селезенки, сердца и печени опытных белых крыс - 0,50-0,60 (контроль 0,70).

На 3 сут наблюдали снижение числа эритроцитов в опытных группах (13,9; 16,5 и 22,2 %) по отношению к биологическому контролю. У белых крыс 5-й и 6-й групп данный показатель составлял 16,5 и 10,2 %.

Регистрировали снижение числа сегментоядерных нейтрофилов при уменьшении числа лимфоцитов.

Содержание общего белка белых крыс 3-й и 5-й групп снижалось на 30,7 и 25,2 %, глобулиновой фракции - в 1,07 раза и увеличение в 2,6 раза содержания альбуминов. Фагоцитарная активность составляла во 2-6 группах 12,3; 33,2; 23,1; 18,3 и 15,6 % относительно контроля, фагоцитарный индекс был снижен в среднем на 38 %.

Установлено достоверное снижение бактерицидной активности сыворотки крови у белых крыс 2-й, 4-й и 6-й групп. В начальный период отмечалось снижение Т-лимфоцитов, которое прогрессировало со временем у животных 3-й, 4-й и 5-й групп с минимальными значениями на 14 сут исследований: 28,5±0,51; 26,6±0,30 и 24,3±0,34 при 37,1±0,45 % в биологическом контроле. Содержание В-клеток имело аналогичную направленность, однако темп их восстановления был более быстрым.

# ПОЛУЧЕНИЕ РАДИОЗАЩИТНОГО ПРЕПАРАТА НА ОСНОВЕ ПРОДУКТОВ МЕТАБОЛИЗМА БИФИДОБАКТЕРИЙ И ПРИРОДНОГО СОРБЕНТА

*Р.Н.Низамов, Д.Т.Шарифуллина, Г.В.Конюхов, А.С.Титов*
Федеральный центр токсикологической, радиационной и биологической безопасности, Казань, Россия,
vnivi@mail.ru

Введение в организм определенного количества микробных клеток (пробиотиков в качестве радиозащитных средств) как до-, так и после облучения, небезразлично для макроорганизма, которое сопровождается значительной антигенемией. Поэтому, перспективным является использование препаратов на основе продуктов метаболизма (ферментов, аминокислот, цитокинов) пробиотических микроорганизмов, имеющих наноразмеры, которые обеспечивают надежную и эффективную защиту при радиационном поражении.

Целью исследований является разработка технологии получения продуктов метаболизма пробиотика (B. bifidum) и конструирование на их основе радиозащитного препарата, включающего дополнительный иммуносорбент - гидросиликат алюминия.

Материалы и методы. Для получения продуктов микробного метаболизма B. bifidum выращивали в питательной среде Блаурокка в анаэробных условиях при 38$^{o}$ С.

После определения содержания в них биологически активных веществ, конъюгировали их с природным минералом - гидросиликатом алюминия (2 %-ная суспензия образующая фракция с размером частиц 600-900 микрометр) в соотношении 10:1. У полученного препарата из продуктов метаболизма на основе наночастиц бифидогенных субстанций и микрочастиц природного минерального иммуносорбента после установления аллергизирующих свойств, токсичности и безвредности, изучали радиозащитные свойства на летально-облученных (9,0 Гр) 87 белых крысах. В качестве критерия радиозащитного действия использовали 30 суточную выживаемость летально облученных животных.

Результаты исследований. Динамичные наблюдения за облученными и обработанными испытуемым препаратом белых крыс показали, что течение острой лучевой болезни (ОЛБ) у этих животных проходило в более легкой форме при увеличении средней продолжительности жизни (СПЖ) и повышения выживаемости.

Однократное подкожное применение полученного по вышеописанной технологии препарата при профилактическом применении (за 24 ч до облучения) обеспечивало до 73 % выживаемости летально-облученных крыс, а при лечебном (через 24 ч после облучения) - до 69 %, тем самым оказывая десенсибилизирующий эффект на фоне развития лучевой аутоаллергии.

Заключение. Таким образом, в результате проведенных исследований разработана технология получения радиозащитного препарата на основе пробиотика (B.bifidum) и природного иммуносорбента (гидросиликат алюминия), который при подкожном применении оказывал лечебный и профилактический эффект при радиационных поражениях.

# ПРЕПАРАТЫ НА ОСНОВЕ ПРОДУКТОВ ПЧЕЛОВОДСТВА В ЛЕЧЕНИИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ОСТРОЙ ЛУЧЕВОЙ БОЛЕЗНИ

*Р.Н.Низамов, З.Л.Тухфатуллов, В.П.Шашкаров, А.С.Титов, К.Т.Ишмухаметов*
Федеральный центр токсикологической, радиационной и биологической безопасности, Казань, Россия,
vnivi@mail.ru

Опыты проведены на белых мышах, овцах и подсвинках. Моделирование острой лучевой болезни осуществляли на гамма-установке «Пума». В работе использовали препараты на основе продуктов пчеловодства – Витафорце-1, Витафорце-2 и прополис, предоставленные ООО «Зооинженерия» Тукаевского района РТ, а для контроля – фитопрепараты Эраконд и Эра-Н, которые вводили через 2, 24, 48 и 72 ч после облучения в объеме 0,1 и 0,5 мл лабораторным и 1,0 мл – сельскохозяйственным животным.

Установлено, что однократное введение Витафорце-1 защищало 80-100 % облученных белых мышей при гибели 80 % животных из группы контроля облучения. При использовании Витафорце-2 выживало 60-75% белых мышей. Эффективность прополиса составляла 40, 80, 80 и 20% при использовании в те же сроки после радиационного воздействия. Под влиянием препарата средняя продолжительность жизни павших облученных белых мышей увеличивалась с 8,0±0,83 до 12,9±0,97 суток. Мобилизация нейтрофилов в системную циркуляцию и развитие лимфопении проявлялись в равной степени. Однако уже через 1 сут после облучения в группе леченых через 2 ч белых мышей регистрировалось нарастание лейкопении. У облученных белых мышей количество клеток костного мозга составляло 0,62-0,70, а после введения препаратов – 0,58-0,87 млн/на бедро.

При изучении динамики развития аутоинфекции у облученных и леченых животных установлено, что уже в ранние сроки после применения препарата Витафорце-1 отмечалось существенное снижение частоты высевов кишечной палочки из материала тонкой и подвздошной кишок, уменьшалось и среднее количество E.coli на 1 грамм ткани.

Облученным в дозах 4,2 и 4,0 Гр овцам и свиньям препараты Витафорце-1 и Эра-Н вводили в сочетании с противорадиационным лечебно-профилактическим иммуноглобулином, которые применялись в условиях однократного (по 10 мл через 24 ч) и трехкратного (3+3+4 мл через 2, 48 и 72 ч) введения. Выживаемость при этом составила 100 и 66,7 % соответственно.

Результаты сочетанного применения лечебных средств на уровень МДА у облученных в дозе 4,2 Гр овец характеризовались его снижением до 2,70±0,21 против 4,68±0,36 мкмоль/мл в контроле. У летально облученных овец без лечения выявлено повышенное содержание промежуточных продуктов перекисного окисления липидов при отсутствии изменения содержания ТБК-активных продуктов.

Установлено активизирующее влияние сочетанного введения Эра-Н и противорадиационного лечебно-профилактического иммуноглобулина на клеточное звено иммунитета, что проявлялось усилением реакции Т-лимфоцитов на фитогемагглютинин. Отмечалось повышение индекса $T_x/T_c$, обусловленное достоверным увеличением количества Т-хелперов. Применение лечебных препаратов на фоне радиационного воздействия в дозе 4,0 Гр у свиней способствовало менее выраженному течению острой лучевой болезни, менее значимому снижению числа лейкоцитов, эритроцитов, гемоглобина, общего белка, отмечалось увеличение поглотительной способности моноцитов, окислительного метаболизма в них.

# ИММУНОЛОГИЧЕСКАЯ РЕАКТИВНОСТЬ ПРИ КОМБИНИРОВАННОМ ПОРАЖЕНИИ ИОНИЗИРУЮЩИМ ИЗЛУЧЕНИЕМ И Т-2 ТОКСИНОМ

*Н.Б.Тарасова, К.Х.Папуниди, К.Т.Ишмухаметов, К.Н.Вагин*
Федеральный центр токсикологической, радиационной и биологической безопасности, Казань, Россия,
vnivi@mail.ru

Цель исследования – изучить состояние системы иммунитета при комбинированном поражении животных ионизирующим излучением и Т-2 токсином.

Опыты проведены на 80 белых крысах живой массой 180-200 г, разделенных по принципу аналогов на 4 группы по 20 животных в каждой: 1-я - облучение в дозе 5,0 Гр; 2-я - затравка в течение 5 дней Т-2 токсином в дозе 1/5 $ЛД_{50}$; 3-я - затравка в течение 5 дней Т-2 токсином в дозе 1/5 $ЛД_{50}$ и облучение в дозе 5,0 Гр; 4-я – биологический контроль.

Выживаемость белых крыс, подвергнутых гамма-облучению в дозе 5,0 Гр, составила 95%, средняя продолжительность жизни - 13,0 суток, при Т-2 токсикозе - 70%, средняя продолжительность жизни - 10,3 суток, при комбинированном поражении - 35% при средней продолжительности жизни павших животных 8,6 суток.

У облученных белых крыс с 3 сут отмечено достоверное снижение Т-лимфоцитов, которое оставалось таковым до 21 суток. Максимум снижения отмечен на 7 сут – 41,3 % от уровня биологического контроля. Восстановление содержания Т-лимфоцитов у животных этой группы происходило к 28 сут после облучения: 27,21±0,27 % при 27,06±0,30 % в группе биологического контроля. Во 2-й группе снижение количества Т-клеток также имело достоверные различия: максимум снижения отмечен на 14 сут и составлял 17,73±0,30 % при 28,74±0,10 % в группе биологического контроля. В последующем происходило восстановление количества Т-лимфоцитов, которое к 28 сут достигало 24,39±0,33 %. В 3-й группе отмечали резкое (на 30%) снижение числа Т-лимфоцитов, продолжающееся до 14 дня - 8,85±0,25%.

Содержание В-клеток уменьшалось и на 7 сут составляло по группам 52,8; 80,1 и 36,8 % от контрольного. В дальнейшем, за исключением группы комбинированного поражения, шло медленное восстановление данного показателя. На 21 сут содержание В-лимфоцитов в 3-й группе составляло 3,80±0,20, а на 28 сут – 7,86±0,23 % или 40,0 и 82,7 % от уровня биологического контроля.

Для изучения комбинированного воздействия на сельскохозяйственных животных Т-2 токсина и ионизирующего излучения опыты проводили на 11 овцах породы “Прекос” 12-15-мес возраста, разделенных по принципу аналогов на 5 групп: 1-я (3 овцы) – облучение в дозе 2,0 Гр; 2-я - Т-2 токсин в течение 5 дней в дозе 1/5 $ЛД_{50}$; 3-я в течение 5 дней Т–2 токсин в дозе 1/5 $ЛД_{50}$ с последующим облучением в дозе 2,0 Гр; 4-я группа (2 овцы) – биологический контроль.

Установлено, что у животных 3-й группы на 3 сут отмечалось достоверное снижение содержания Т-лимфоцитов. На 14 сут данный показатель составлял 85 %; на 21 сут – 88,2; на 28 сут – 85,2 % при 37,13±0,45 % в группе биологического контроля.

У овец, подвергнутых раздельному и комбинированному поражению Т-2 токсином и ионизирующим излучением, содержание В-клеток в 3-й группе снижалось на 32 %. В группах с раздельным поражением содержание В-лимфоцитов составляло на 7 сут 15,92±0,22 и 16,63±0,12 % или 82,7 и 86,4 % от биологического контроля. К концу срока исследований (28 сут) данный показатель в 1-й и 2-й группах был в рамках физиологических значений.

# РАДИОАКТИВНЫЕ ВЕЩЕСТВА В КОРМАХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЖИВОТНЫХ

*М.М.Шакуров, Н.Б.Тарасова, К.Н.Вагин*
Федеральный центр токсикологической, радиационной и биологической безопасности, Казань, Россия,
vnivi@mail.ru

Экспрессное радиометрическое определение содержания $^{134}Cs$ и $^{137}Cs$ в пробах проводили в соответствии с «Методикой экспрессного радиометрического определения по гамма-излучению объемной и удельной активности радионуклидов в воде, почве, продуктах питания, продукции животноводства и растениеводства».

За период 2010-2013 гг. в лаборатории радиационного контроля было проверено 1477 проб грубых кормов, поступивших из регионов ближнего и дальнего зарубежья. Установлено, что среднее содержание цезия-137 в сене варьировало от 1,8 до 14,8, стронция-90 – от 0,6 до 5,6 Бк/кг при допустимом уровне Cs/Sr 400/180 Бк/кг. Максимальная удельная активность по цезию-137 отмечалась в 2010 г. и составляла 15,6; по стронцию-90 – в 2011 году, составляя 5,6 Бк/кг.

При исследовании зернофуража установлено, что среднее содержание цезия-137 в нем колебалось от 0,4 до 4,5; стронция-90 – от 0,5 до 4,2 Бк/кг при допустимом уровне 200/140 Бк/кг. Максимальная удельная активность по цезию-137 зарегистрирована в 2010 г. – 4,5 Бк/кг; по стронцию-90 в 2013 г. – 4,2 Бк/кг.

По зернобобовым были получены следующие результаты: среднее содержание цезия-137 колебалось от 0,5 до 5,4; стронция-90 – от 0,7 до 1,9 Бк/кг с максимумом удельной активности в 2010 г. по цезию-137 (5,4 Бк/кг) и в 2011 г. – по стронцию-90 (1,9 Бк/кг), тем не менее все значения укладывались в допустимые уровни.

Загрязненность радионуклидами рыбной муки регистрировалась в среднем от 2,3 до 13,1 Бк/кг (цезий-137) и от 1,3 до 66,7 Бк/кг (стронций-90) с максимальной удельной активностью по стронцию-90 в 2011 г. – 66,7 Бк/кг при допустимых уровнях Cs/Sr – 600/200 Бк/кг.

Относительно жмыха рапсового значения удельной активности составляли в 2012 г. по цезию-137 – 6,0-8,9; по стронцию-90 – 0,9-20,5; в 2013 г. соответственно 2,4-6,0 и 0,9 Бк/кг при допустимом уровне 600/200 Бк/кг.

При исследовании жмыха подсолнечникого среднее содержание цезия-137 колебалось от 4,0 до 5,8; стронция-90 – от 0,6 до 1,5 Бк/кг; премиксов – по цезию-137 - 2,2-6,1; по стонцию-90 – 0,8-1,5 Бк/кг при допустимых уровнях 750/150 Бк/кг.

Максимальная удельная активность по цезию-137 в свекле кормовой составляла во все годы 9,5 Бк/кг; по стронцию-90 – 1,6 Бк/кг при допустимых уровнях 370/50 Бк/кг.

Среднее содержание цезия-137 в комбикормах составляло 1,4-8,3; по стронцию-90 – 0,5-28,0 Бк/кг с максимумом в 2012 году (ДУ 200/140 Бк/кг).

В дрожжах кормовых содержание цезия-137 колебалось от 0,3 (2010 г.) до 10,8 (2012 г.) Бк/кг; стронция-90 – от 2,0 (2010 г.) до 11,4 (2013 г.) Бк/кг при допустимых уровнях 750/150 Бк/кг.

В обследованных кормах, удельная активность по цезию-137 и стронцию-90, значительно ниже предельно допустимых Норм по ВП 13.5.13/06-01. Результаты исследований образцов с.-х продукции и продуктов питания дают основание использовать их без каких-либо ограничений.

# САНИТАРНО-ГИГИЕНИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ МЯСА ОБЛУЧЕННЫХ ЖИВОТНЫХ, ЗАЩИЩЕННЫХ МИКРОБНЫМ ПОЛИАНТИГЕНОМ

*Г.З.Шигапова, Е.Г.Конюхов, А.С.Титов*
Федеральный центр токсикологической, радиационной и биологической безопасности, Казань, Россия,
vnivi@mail.ru

Цель исследований - изучить ветеринарно-санитарные показатели мяса овец и свиней, облученных в летальных и сублетальных дозах и профилактированных противорадиационным микробным полиантигеном. В опытах использовано 36 подсвинков крупной белой породы живой массой 38,0-45,0 кг 3-5-мес. возраста. Для моделирования радиационных поражений использовали гамма-установку «Пума» с источником излучения $^{137}Cs$. Профилактику лучевой болезни осуществляли путем введения радиозащитного микробного полиантигена.

В результате проведенных исследований установлено, что показатели мясной продуктивности у облученных свиней относительно контроля были снижены: живая масса - на 8,2 (у облученных в дозе 3,5 Гр) и на 13,8 кг (у облученных в дозе 4,2 Гр), убойный выход на 7,45 и 10,81 кг, а выход туши на 5,37 кг и 8,18 кг соответственно. У свиней, больных ОЛБ средней степени, количество внутреннего жира было меньше на 24,7 %, при тяжелой степени - на 32,6 % по сравнению с таковым у контрольных животных. Аналогичная тенденция наблюдалась и при учете выхода субпродуктов.

Иммунизация опытных свиней профилактическим микробным антигеном не вызывала существенных изменений в химическом составе жира. У животных, облученных в дозе 4,2 Гр, наблюдали определенные изменения свойств подкожного и внутреннего жира.

Мясо облученных животных содержало больше воды (на 1,9 и 3,01 %), минеральных веществ (на 16,8 и 18,8 %), меньше белка (на 9,5 и 13,0 %), жира (на 43,0 и на 45,7), имело меньшую энергетическую ценность (на 4,13 и 27 %) соответственно.

У свиней всех групп реакция на пероксидазу мышечной ткани была положительной, а бульон при пробе варкой - прозрачным.

Результаты анализа бумажной хроматографии показали, что облучение животных в сублетальных и летальных дозах вызывало значительные нарушения аминокислотного состава, а применение микробного полиантигена за 30 сут до облучения обеспечивало сохранение стабильного соотношения незаменимых и заменимых аминокислот, которое составляло 0,61 у здоровых, 0,62 – у защищенных, 0,60 - у профилактированных до облучения в дозе 4,2 Гр и 0,51 – у только облученных свиней.

В процессе хранения количество микрофлоры в мясе, полученном от больных ОЛБ и профилактированных микробным препаратом животных, значительно уменьшалось. Видовой состав микрофлоры органов и мышечной ткани больных ОЛБ свиней, был представлен мезофильной аэробной и анаэробной микрофлорой следующих видов: E.coli, S.tiphimurium, S.enteritidis, St.aureus, Pr.vulgaris и St.pyogenes.

Мясо, полученное от животных, облученных в дозе 3,5 Гр, сохраняло свежесть 9 сут, а от облученных в дозе 4,2 Гр – только 6 дней, в то время как у интактных и защищенных до облучения оно оставалось свежим на протяжении всех сроков исследований (до 18 сут).

# ОГЛАВЛЕНИЕ

**ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ.** ……*3*

ХРОНИЧЕСКИЙ ЛУЧЕВОЙ СИНДРОМ У НАСЕЛЕНИЯ БАССЕЙНА РЕКИ ТЕЧА *Аклеев А. В.* ……..…….*4*

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОЙ РАДИОЭКОЛОГИИ *Р.М. Алексахин, С.А. Гераськин, А.А. Удалова*…….…… *5*

MOLECULAR MARKERS OF DSB REPAIR AND THEIR APPLICATION FOR ASSESMENT OF INDIVIDUAL RADIOSESNITIVITY *I. Belyae*……..... *6*

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАДИОТЕРАПИИ ОПУХОЛЕЙ ПОСРЕДСТВОМ БЛОКИРОВКИ СИСТЕМ РЕПАРАЦИИ ДНК *А.И. Газиев* ……*7*
ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ СОВРЕМЕННОЙ РАДИАЦИОННОЙ ФАРМАКОЛОГИИ *А.Н. Гребенюк* ……...……*8*

30 ЛЕТ СОТОВОЙ СВЯЗИ И ЗДОРОВЬЕ НАСЕЛЕНИЯ(СУЩЕСТВУЮЩИЕ РЕАЛИИ, ПРОГНОЗ ОПАСНОСТИ, РЕКОМЕНДАЦИИ) *Григорьев Ю.Г.* ……*9*

ОПУХОЛЕВЫЕ СТВОЛОВЫЕ КЛЕТКИ - РАДИОБИОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И НОВЫЕ ПОДХОДЫ К ОПТИМИЗАЦИИ ЛУЧЕВОЙ И КОМБИНИРОВАННОЙ ТЕРАПИИ *А.Г.Коноплянников, М.А.Коноплянников* ……...*10*

НОВЫЕ ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ ОПАСНОСТИ ГАЛАКТИЧЕСКИХ ТЯЖЁЛЫХ ИОНОВ ПРИ ПИЛОТИРУЕМЫХ МЕЖПЛАНЕТНЫХ ПОЛЁТАХ *Е.А. Красавин* …..*11*

АДАПТИВНЫЙ ОТВЕТ, ВОЗМОЖНЫЕ МЕХАНИЗМЫ И ЗАКОНОМЕРНОСТИ *И.И. Пелевина, А.В. Алещенко*, *М.М. Антощина, А.М. Серебряный* ……*12*

РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ МОНИТОРИНГА И АВАРИЙНОГО РЕАГИРОВАНИЯ ПРИ ТЯЖЕЛЫХ АВАРИЯХ *Б.С. Пристер* ……...*13*

РОЛЬ РАДИОНУКЛИДНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В МЕДИЦИНЕ *Черняев А.П., Белоусов А.В., Варзарь С.М., Николаева А.А., Колыванова М.А.* ……...*14*

**СЕКЦИЯ 1.**
**МОЛЕКУЛЯРНЫЕ И КЛЕТОЧНЫЕ МЕХАНИЗМЫ ДЕЙСТВИЯ РАДИАЦИИ НА ЖИВЫЕ ОРГАНИЗМЫ.**
**МЕХАНИЗМЫ ДЕЙСТВИЯ РАДИАЦИИ МАЛЫХ ДОЗ И НИЗКОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ.** ……*15*

ВСТРАИВАНИЕ МИТОХОНДРИАЛЬНОЙ ДНК В ЯДЕРНЫЙ ГЕНОМ: НОВАЯ РАДИАЦИОННО-ИНДУЦИРОВАННАЯ МУТАЦИЯ *С.А. Абдуллаев* ……...*16*

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ РЕАЛИЗАЦИИ РАДИАЦИОННО-ИНДУЦИРОВАННОГО АПОПТОЗА *Андрийчук Т.Р., Ракша Н.Г., Остапченко Л.И., Цудзевич Б.А*……...*17*

ЗНАЧЕНИЕ АПОПТОЗА И ИЗМЕНЕНИЯ АКТИВНОСТИ РЕПАРАЦИИ ГЕНОМНОЙ ДНК В ФОРМИРОВАНИИ РАДИАЦИОННО-ИНДУЦИРОВАННЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ У ДЕТЕЙ 1 – 2 ПОКОЛЕНИЙ ПОСЛЕ АВАРИИ НА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС
*Л.С. Балева, А.Е. Сипягина, Н.М. Карахан, Ю.М. Каган*…….. *18*

ОЦЕНКА ДИНАМИКИ СОСТОЯНИЯ ЩИТОВИДНОЙ ЖЕЛЕЗЫ У ДЕТЕЙ, ПОДВЕРГШИХСЯ ДЕЙСТВИЮ РАДИОНУКЛИДОВ В РЕЗУЛЬТАТЕ АВАРИИ НА ЧАЭС *Л.С. Балева, Л.И. Данилычева, Н.М. Карахан* ……*19*

ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ К ХИМИЧЕСКОМУ МУТАГЕНУ ЖИВОТНЫХ, ОБИТАЮЩИХ В УСЛОВИЯХ ПОВЫШЕННОГО РАДИАЦИОННОГО ФОНА, И МЫШЕЙ ЛИНИИ Af ПОСЛЕ ХРОНИЧЕСКОГО ОБЛУЧЕНИЯ *Л.А. Башлыкова*….. *20*

СТЕПЕНЬ ВЕСОМОСТИ РАДИОБИОЛОГИЧЕСКИХ ОБОСНОВАНИЙ ДЛЯ ВЫВОДА О РАДИАЦИОННОЙ ОБУСЛОВЛЕННОСТИ РАКОВ ЩИТОВИДНОЙ ЖЕЛЕЗЫ ПОСЛЕ ОБЛУЧЕНИЯ В МАЛЫХ ДОЗАХ *А.П. Бирюков, Л.Н. Ушенкова, А.Н. Котеров*…… *21*

ЭФФЕКТИВНОСТЬ РЕПАРАТИВНЫХ СИСТЕМ ДНК В ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ПРАЙМИРОВАНИЯ СЕМЯН САХАРНОЙ СВЕКЛЫ *И.И. Бубряк, А.П. Дмитриев, О.А. Бубряк, Д.М. Гродзинский, Т. В. Акимкина* ……..*22*

ВЛИЯНИЕ ОБЛУЧЕНИЯ И ИММОБИЛИЗАЦИОННОГО СТРЕССА НА СОСТОЯНИЕ КРОВИ И РЕПРОДУКТИВНОЙ СИСТЕМЫ КРЫС-САМЦОВ *Г.Г. Верещако, Г.А. Горох, Н.В. Чуешова, Д.В.Сухарева, А.Д. Наумов* ……..….*23*

МЕХАНИЗМ ПОСЛЕДЕЙСТВИЯ МАЛЫХ ДОЗ γ-ОБЛУЧЕНИЯ НА СУХИЕ СЕМЕНА *Т.В.Веселова, В.А. Веселовский* ……..…….*24*

ОТДАЛЕННЫЕ ПОСЛЕДСТВИЯ γ-ОБЛУЧЕНИЯ МАЛЫХ ДОЗ В РЕАКЦИЯХ ЛИМФОИДНОЙ ТКАНИ КИШЕЧНО-АССОЦИИРОВАННОЙ *Воронцова З.А., Шишкина В.В.* ……..... *25*

НАРУШЕНИЕ ФУНКЦИЙ ЦЕНТРАЛЬНОЙ НЕРВНОЙ СИСТЕМЫ ПРИ ИНКОРПОРАЦИИ СМЕШАННОГО ОКСИДА ОБЕДНЕННОГО УРАНА В ЭКСПЕРИМЕНТЕ *Герасимов Д.В., Афанасьев Р.В.* …….…….*26*

БИОЛОГИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ МАЛЫХ ДОЗ ИОНИЗИРУЮЩЕЙ РАДИАЦИИ *Р.И.Гончарова*……..... *27*

ВЛИЯНИЕ ОКИСЛИТЕЛЬНОГО СТРЕСС НА СОСТОЯНИЕ ЦИТОСКЕЛЕТА И ПОТРЕБЛЕНИЕ КИСЛОРОДА ТИМОЦИТАМИ КРЫС РАЗНОГО ВОЗРАСТА *А.И. Грицук, И.А. Никитина* …….*28*

КАРИОМЕТРИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА РЕАКЦИИ НЕЙРОНОВ МОЗЖЕЧКА НА ИОНИЗИРУЮЩЕЕ ИЗЛУЧЕНИЕ *О.П. Гундарова* ……..….*29*

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ СЕЗОННО – ЗАВИСИМОГО НАКОПЛЕНИЯ КАРОТИНОИДОВ В ОТДЕЛЬНЫХ ОРГАНАХ *ALHAGI PSEUDALHAGI*, ПРОИЗРАСТАЮЩЕГО В ЗАГРЯЗНЕННОМ РАЗНЫМИ РАДИОНУКЛИДАМИ УЧАСТКЕ *Э.С.Джафаров, Г.А.Годжаева, М.З.Гусейнова, Г.Г.Бабаев* ……...*30*

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ АКТИВНОСТИ СУПЕРОКСИДДИСМУТАЗЫ ОТ ПЕРИОДА ВЕГЕТАЦИИ В РАЗНЫХ ОРГАНАХ ХРОНИЧЕСКИ ОБЛУЧАЕМОЙ ПОПУЛЯЦИИ *ALHAGI PSEUDALHAGI Э.С.Джафаров, А.К.Джафарлы, Л.М. Гулиева, Г.Г.Бабаев* ……..…….*31*

СОДЕРЖАНИЕ ДНК В ЯДРАХ КОРЕШКОВ ЗАРОДЫШЕЙ СЕМЯН – КАК МОЛЕКУЛЯРНЫЙ МАРКЕР ПРАЙМИРОВАНИЯ *А.П. Дмитриев, И.И. Бубряк, О.А. Бубряк, Д.М. Гродзинский, Т. В. Акимкина* ……..….*32*

ГЕТЕРОГЕННОСТЬ ОПУХОЛЕВЫХ КЛЕТОК ПО ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ К РАДИАЦИОННЫМ И ХИМИЧЕСКИМ ВОЗДЕЙСТВИЯМ: РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ И КЛИНИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ С ПОЗИЦИИ ГИПОТЕЗЫ ОПУХОЛЕВЫХ СТВОЛОВЫХ КЛЕТОК *Замулаева И.А., Матчук О.Н., Макаренко С.А., Селиванова Е.И., Липунов Н.М., Ульяненко С.Е., Каплан М.А., Ткаченко Н.П., Андреев В.Г.* ……. *33*

ЧАСТОТА И СПЕКТР ЦИТОГЕНЕТИЧЕСКИХ АНОМАЛИЙ У РАБОТНИКОВ СИБИРСКОГО ХИМИЧЕСКОГО КОМБИНАТА *Д.С.Исубакова, Н.В.Литвяков, М.В.Халюзова, Е.Н.Альбах, А.Э.Сазонов, Р.М.Тахауов*…….…… *34*

ОЦЕНКА РЕПАРАТИВНОГО СТАТУСА У СПЕЦИАЛИСТОВ, РАБОТАВШИХ С РАЗЛИЧНЫМИ ВИДАМИ ИЗЛУЧЕНИЙ, В ОТДАЛЕННЫЕ СРОКИ *О.В. Калиновская, В.И. Нагиба, К.Ю. Иванов, Я.И. Медведев, Е.А. Никанорова* …..….*35*

ОЦЕНКА РАДИАЦИОННЫХ РИСКОВ ПРИ МАЛЫХ И СРЕДНИХ ДОЗАХ ОБЛУЧЕНИЯ: УРОКИ ЧЕРНОБЫЛЯ И ПРОГНОЗ ФУКУСИМЫ *Кащеев В.В., Чекин С.Ю., Максютов М.А., Меняйло А.Н. Иванов В.К.* ……..….*36*

МОЛЕКУЛЯРНЫЕ АСПЕКТЫ ДЛИТЕЛЬНОГО ДЕЙСТВИЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБЛУЧЕНИЯ В МАЛЫХ ДОЗАХ *Е.Н. Кириллова, М.Л. Захарова, Т.В. Лукьянова* …….....……...*37*

ВЛИЯНИЕ СОСТАВА И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛИПИДОВ ЛИПОСОМ НА ЗАВИСИМОСТЬ «ЭФФЕКТ-ДОЗА ОБЛУЧЕНИЯ *М.А. Климович, М.В. Козлов, Д.В. Парамонов, В.И. Трофимов, Л.Н. Шишкина* ...…….*38*

НАРУШЕНИЕ $Ca^{2+}$-ГОМЕОСТАЗА В КЛЕТКАХ ПЕРИФЕРИЧЕСКОЙ КРОВИ ЧЕЛОВЕКА И ЖИВОТНЫХ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ В МАЛЫХ ДОЗАХ *В.О. Кобялко, Э.Б. Мирзоев*……..…. *39*

ИНДУКЦИЯ ПОВРЕЖДЕНИЙ ДНК В КЛЕТКАХ СИСТЕМЫ КРОВИ У МЫШЕЙ, ПОДВЕРГНУТЫХ ВОЗДЕЙСТВИЮ РЕДКО- И ПЛОТНОИОНИЗИРУЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ, И У ИХ ПОТОМКОВ *Е.А. Кузнецова, С.И. Заичкина, Н.П. Сирота, С.А. Абдуллаев, О.М. Розанова, С.С. Сорокина, С.П. Романченко, Е.Н. Смирнова, О.А. Вахрушева, В.Н. Пелешко* …….*40*

ПОСТРАДИАЦИОННАЯ АКТИВАЦИЯ ПРОТЕАЗ, АССОЦИИРОВАННЫХ С ГИСТОНАМИ ЯДЕР СЕЛЕЗЕНКИ И ГОЛОВНОГО МОЗГА МОЛОДЫХ И СТАРЫХ КРЫС *М.П.Куцый* ……..*41*

ВНЕКЛЕТОЧНАЯ МИТОХОНДРИАЛЬНАЯ И ЯДЕРНАЯ ДНК В МОЧЕ КРЫС, ОБЛУЧЕННЫХ ИОНИЗИРУЮЩЕЙ РАДИАЦИЕЙ *Г.М. Минкабирова, С.А. Абдуллаев* ……..…..*42*

СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К ИЗУЧЕНИЮ РАДИОГОРМЕЗИСНЫХ ЭФФЕКТОВ У РАСТЕНИЙ *А.Н. Михеев, Л.Г. Овсянникова, Л.В. Войтенко, Д.М. Гродзинский*…….....*43*

ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕЙСТВИЯ ИМПУЛЬСНОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА УРОВЕНЬ ПОВРЕЖДЕНИЙ ДНК КЛЕТОК КРОВИ ЧЕЛОВЕКА *В.И. Нагиба, С.Л. Эльяш, Е.А. Никанорова* ……..…..*44*

РАДИОТЕХНОГЕННЫЙ ТЕРРОРИЗМ: Арсенал для ранней диагностики и терапии радиогенных патологий *Нейфах Е.А.* ……..….*45*

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СИСТЕМЫ РЕПАРАЦИИ ДНК В КЛЕТКАХ КРОВИ ЧЕЛОВЕКА ПОСЛЕ ДЕЙСТВИЯ ГАММА- ИЗЛУЧЕНИЯ $^{60}$Co И УФ-ИЗЛУЧЕНИЯ *Никанорова Е.А., Нагиба В.И, Медведев Я.И., Поленова И.А. …….46*

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМОВ ПЕРЕДАЧИ СИГНАЛА МЕЖДУ ОПУХОЛЕВЫМИ КЛЕТКАМИ ПОСРЕДСТВОМ ЭКСТРАЦЕЛЛЮЛЯРНЫХ ВЕЗИКУЛ *Павлюков М.С., Антипова Н.В., Карпов Н.А., Шендер В.О.' Шахпаронов М.И. ……47*

ВЛИЯНИЕ МАЛЫХ И СУБЛЕТАЛЬНЫХ ДОЗ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ НА НЕЙРОНАЛЬНЫЕ И МЕЗЕНХИМАЛЬНЫЕ СТВОЛОВЫЕ КЛЕТКИ ГОЛОВНОГО МОЗГА *Посыпанова Г.А., Москалева Е.Ю., Родина А.В., Попова О.Н. …….. 48*

ВЛИЯНИЕ ПРОЛИФЕРАТИВНОГО СОСТОЯНИЯ КЛЕТОЧНОЙ ПОПУЛЯЦИИ НА ЧАСТОТУ РАДИАЦИОННО-ИНДУЦИРОВАННОЙ НЕСТАБИЛЬНОСТИ ХРОМОСОМ *Пятенко В.С., Матчук О.Н., Замулаева И.А., Хвостунов И.К., Эйдельман Ю.А., Андреев С.Г. ……49*

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЭКОЛОГО-ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ У ЖИВОТНЫХ ЗОНЫ ВУРСа ПРИ ОЦЕНКЕ ОТДАЛЕННЫХ ПОСЛЕДСТВИЙ РАДИАЦИОННЫХ АВАРИЙ *Л.Н. Расина, А.Н. Вараксин …….50*

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ФОЛЛИКУЛЯРНОГО ЭПИТЕЛИЯ ЩИТОВИДНОЙ ЖЕЛЕЗЫ МЕЛКИХ МЛЕКОПИТАЮЩИХ ПРИ ХРОНИЧЕСКОМ ОБЛУЧЕНИИ В МАЛЫХ ДОЗАХ *О.В. Раскоша, О.В. Ермакова ……...51*

ИММУННЫЙ СТАТУС ЛИКВИДАТОРОВ АВАРИИ 1986-1987 гг. НА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС *А.П.Саливончик …….52*

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА РАДИАЦИОННО-ИНДУЦИРОВАННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ СЕНСОРНОЙ И МОТОРНОЙ ЗОН КОРЫ БОЛЬШОГО МОЗГА *Н.В. Сгибнева, Н.В. Маслов, О.П. Гундарова, В.П. Федоров …….53*

ЦИТОГЕНЕТИЧЕСКИЕ И ИММУНОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ СТИМУЛИРОВАННЫХ ЛИМФОЦИТОВ ПЕРИФЕРИЧЕСКОЙ КРОВИ ЧЕЛОВЕКА СВЯЗАНЫ СО СКОРОСТЬЮ ПРОЛИФЕРАЦИИ КЛЕТОК. *А.М. Серебряный, М.М. Антощина, А.В. Алещенко, О.В. Кудряшова, М.Ф. Никонова, А.А. Ярилин, И.И. Пелевина …….54*

СРАВНЕНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ И ТЕЧЕНИЯ ЗАБОЛЕВАНИЙ ЖКТ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ИНТЕНСИВНОСТИ ВНУТРЕННЕГО ОБЛУЧЕНИЯ У ДЕТЕЙ, ПРОЖИВАЮЩИХ В РЕГИОНАХ РАДИОНУКЛИДНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОСЛЕ АВАРИИ НА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС *А.Е. Сипягина, Л.С. Балева, Н.М. Карахан ……..55*

МОЛЕКУЛЯРНЫЕ СВОЙСТВА АЛЬБУМИНА ПЛАЗМЫ КРОВИ ДЕТЕЙ, ОБЛУЧЕННЫХ IN UTERO В РЕЗУЛЬТАТЕ КАТАСТРОФЫ НА ЧАЭС *А.Н.Стожаров, Т.В.Пономаренко ……...…….57*

РАДИАЦИОННОЕ ПРЕКОНДИЦИОНИРОВАНИЕ СЕТЧАТКИ ГЛАЗА *IN VIVO* МАЛОЙ ДОЗОЙ ПОВЫШАЕТ ЕЕ УСТОЙЧИВОСТЬ К ИНДУЦИРОВАННОЙ ДЕГЕНЕРАЦИИ И СТИМУЛИРУЕТ ВОССТАНОВЛЕНИЕ *В.А. Тронов, Ю.В. Виноградова, В.А. Поплинская, М.А. Островский …….58*

ОТДАЛЕННЫЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ВОЗДЕЙСТВИЯ ХРОНИЧЕСКОГО ОБЛУЧЕНИЯ НА МИКРОСКОПИЧЕСКИЕ ГРИБЫ *Т.И.Тугай, В.А. Желтоножский, М.В. Желтоножская, Л.В. Садовников, А.В.Тугай* ……*59*

ИЗУЧЕНИЕ ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ В ВОДЕ В РАДИОБИОЛОГИИ ЖИВЫХ СИСТЕМ *И.Б.Ушаков, В.В.Цетлин, С.С.Мойса, Е.Л.Нефедова* ……*60*

РАДИАЦИОННО-ИНДУЦИРОВАННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ НЕЙРОНОВ ГОЛОВНОГО МОЗГА *В.П. Федоров, О.П. Гундарова, Н.В. Сгибнева, Н.В. Маслов* ……..….*61*

ЭФФЕКТЫ ОТДАЛЕННЫХ ПОСЛЕДСТВИЙ $\gamma$ -ОБЛУЧЕНИЯ В ДИАПАЗОНЕ МАЛЫХ ДОЗ НА ЭНДОКРИННЫЕ ЖЕЛЕЗЫ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ *Ю.Б. Черкасова, А.А. Жемчужникова*…… *62*

ВЛИЯНИЕ ХРОНИЧЕСКОГО НИЗКОДОЗОВОГО ОБЛУЧЕНИЯ НА ГЕНЕТИЧЕСКИЕ, МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ И РЕПРОДУКТИВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ТРОСТНИКА ОБЫКНОВЕННОГО *Н.Л. Шевцова, Д.И. Гудков* ……*63*

О НЕКОТОРЫХ АСПЕКТАХ ИЗМЕНЕНИЯ СТРУКТУРЫ МЕМБРАН ЭРИТРОЦИТОВ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ИОНОВ УРАНИЛА В НИЗКИХ КОНЦЕНТРАЦИЯХ *Шевченко О.Г.* ……...….*64*

АКТИВНОСТЬ АДЕНИЛАТЦИКЛАЗЫ В ЛИМФОЦИТАХ И ТРОМБОЦИТАХ ОВЕЦ ПРИ ДЕЙСТВИИ ВНЕШНЕГО $\gamma$-ИЗЛУЧЕНИЯ *Т.С.Шевченко, В.О. Кобялко* …….*65*

АНТИОКСИДАНТНЫЙ СТАТУС КАК СОСТАВЛЯЮЩАЯ СИСТЕМЫ РЕГУЛЯЦИИ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ПОСЛЕДСТВИЙ ВОЗДЕЙСТВИЯ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ В МАЛЫХ ДОЗАХ *Л.Н. Шишкина, М.А. Климович, М.В. Козлов*……*66*

**СЕКЦИЯ 2.**
**РАДИАЦИОННАЯ ГЕНЕТИКА.**
**РАДИАЦИОННАЯ ИММУНОЛОГИЯ И ГЕМАТОЛОГИЯ.** ……...*67*

ЗАВИСИМОСТЬ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ НЕЙТРОФИЛОВ ПЕРИФЕРИЧЕСКОЙ КРОВИ ЧЕЛОВЕКА ОТ ДОЗЫ ОСТРОГО ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ *IN VITRO А.А. Аклеев* ……...….*68*

ГЕННАЯ КОНВЕРСИЯ В ЯДРЕ ЗИГОТЫ РЕГУЛЯРНО ЗАМЕЩАЕТ РАДИАЦИОННО-ПОВРЕЖДЕННЫЙ ОТЦОВСКИЙ ДИКИЙ АЛЛЕЛЬ МУТАНТНЫМ МАТЕРИНСКИМ У *DROSOPHILA MELANOGASTER* *И.Д. Александров, М.В. Александрова, К.П. Афанасьева, Л.Н. Давкова*…….…… *69*

МОЛЕКУЛЯРНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАДИАЦИОННОГО ЛОКУС-СПЕЦИФИЧЕСКОГО МУТАГЕНЕЗА И НОВЫЕ ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ ГЕНЕТИЧЕСКОГО РИСКА ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ *И.Д. Александров, М.В. Александрова, К.П. Афанасьева, Л.Н. Давкова* …….……*70*

БАНК БИОЛОГИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА СЕВЕРСКОГО БИОФИЗИЧЕСКОГО НАУЧНОГО ЦЕНТРА ФМБА РОССИИ – КРУПНЕЙШАЯ БАЗА ПО ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТОВ РАДИАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НИЗКОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ *Е.Н.Альбах, Н.В.Литвяков, М.В.Халюзова, Д.С.Исубакова, А.Э.Сазонов, А.Б. Карпов, Р.М.Тахауов* ……...……*71*

RADIATION-INDUCED DNA REPAIR FOCI: FUNDAMENTAL AND APPLIED ASPECTS *I. Belyaev, E. Markova, A. Somsedikova, S. Vasilyev, S. Sorokina, M. Durdik, P.Kosik, L. Zastko, P. Plavckova, L. Vokalova* ……....*72*

ПРОСПЕКТИВНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ОНКОЛОГИЧЕСКОЙ ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ ЛИКВИДАТОРОВ АВАРИИ НА ЧАЭС С РАЗНОЙ ЧАСТОТОЙ TCR-МУТАНТНЫХ КЛЕТОК *И.А. Замулаева, Н.И. Лозебной, Н.В. Орлова, С.Г. Смирнова* ……..….*73*

РАДИОЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ И АДАПТИВНЫЙ ОТВЕТ ЛИМФОЦИТОВ КРОВИ ДЕТЕЙ, ПОСТОЯННО ПРОЖИВАЮЩИХ НА ТЕРРИТОРИИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО БЕДСТВИЯ В РЕГИОНЕ АРАЛЬСКОГО МОРЯ *Ф.И.Ингель, Ш.Н.Хусаинова, Г.А.Косдаулетова, Е.К.Кривцова* ……*74*

РЕЗУЛЬТАТЫ МЕТА-АНАЛИЗА ЧАСТОТЫ ГЕННЫХ ПЕРЕСТРОЕК RET/PTC В КАРЦИНОМАХ ЩИТОВИДНОЙ ЖЕЛЕЗЫ ВЫЯВИЛИ СИСТЕМАТИЧЕСКИЙ СУБЪЕКТИВНЫЙ УКЛОН В ОРИГИНАЛЬНЫХ РАБОТАХ ПРИ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ОБЩЕГО МАССИВА ДАННЫХ *А.Н. Котеров, Л.Н. Ушенкова, А.П. Бирюков*……..…..*75*

ИЗУЧЕНИЕ ГИПЕРМЕТИЛИРОВАНИЯ В ЛЕЙКОЦИТАХ КРОВИ ЧЕЛОВЕКА В ОТДАЛЕННЫЙ ПЕРИОД ПОСЛЕ ОБЛУЧЕНИЯ *Кузьмина Н.С., Мязин А.Е., Лаптева Н.Ш., Рубанович А.В.* ……*76*

МИКРОЯДЕРНЫЙ ТЕСТ КАК СПОСОБ БИОИНДИКАЦИИ ИНКОРПОРАЦИИ МАЛЫХ ДОЗ РАДИОНУКЛИДОВ У ЛИЦ, ПРОЖИВАЮЩИХ НА РАДИАЦИОННО-ЗАГРЯЗНЁННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ. *Лопатин С. Н., Кравцов В.Ю., Дударенко С.В., Рожко А.В., Надыров Э.А., Ежова О.А., Мигащук Н.Ю.* ……..….*77*

ПОЛИМОРФИЗМ ЯДЕРНОЙ И МИТОХОНДРИАЛЬНОЙ ДНК КРОВИ ОНКОЛОГИЧЕСКИХ ПАЦИЕНТОВ ПОСЛЕ РАДИОХИМИОТЕРАПИИ *И.Ю.Митрошина, А.В.Агаджанян, М.Г.Ломаева, Л.А. Фоменко, Л.В.Малахова, ЕА Кононова, В.Г.Безлепкин* ……*78*

ИССЛЕДОВАНИЕ МОЛЕКУЛЯРНО-ГЕНЕТИЧЕСКИХ МЕХАНИЗМОВ РАДИАЦИОННОГО ГОРМЕЗИСА И РАДИОАДАПТИВНОГО ОТВЕТА *DROSOPHILA MELANOGASTER А.А. Москалев, М.В. Шапошников, Е.Н. Плюснина, Л.А. Шилова, Н.В. Земская, Д.О. Перегудова, А.А. Данилов, Е.В. Добровольская, А.В. Кудрявцева* ……..…….*79*

БИОЛОГИЧЕСКАЯ ИНДИКАЦИЯ И БИОЛОГИЧЕСКАЯ ДОЗИМЕТРИЯ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ В РАЗЛИЧНЫХ ГРУППАХ ЛИЦ, ПОДВЕРГШИХСЯ ВОЗДЕЙСТВИЮ РАДИАЦИИ *Е.Г. Неронова, С.С. Алексанин* ….*80*

ЭЛИМИНАЦИЯ РАДИАЦИОННО-ИНДУЦИРОВАННЫХ АБЕРРАЦИЙ ХРОМОСОМ И РЕТРОСПЕКТИВНАЯ ОЦЕНКА ДОЗЫ ПОСЛЕ РАЗЛИЧНЫХ АВАРИЙ *В.Ю.Нугис, А.В.Севанькаев, И.К.Хвостунов, Е.В.Голуб, М.Г.Козлова, Н.М.Надежина, И.А.Галстян*……...…….*81*

ОСОБЕННОСТИ ИММУНОЛОГИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ У ПЕРСОНАЛА СИБИРСКОГО ХИМИЧЕСКОГО КОМБИНАТА ПРИ РАДИАЦИОННОМ ВОЗДЕЙСТВИИ ОТ ИНКОРПОРИРОВАННОГО ПЛУТОНИЯ-239 *И.В. Орадовская, Т.Т. Радзивил* ……...…….*82*

ОЦЕНКА ЧАСТОТЫ И СТРУКТУРЫ ВРОЖДЕННЫХ ПОРОКОВ РАЗВИТИЯ У НАСЕЛЕНИЯ, ПРОЖИВАЮЩЕГО В РЕГИОНЕ РАЗМЕЩЕНИЯ АЭС, В СВЕТЕ НОВЕЙШИХ ДАННЫХ О РАДИАЦИОННО-ИНДУЦИРОВАННОЙ ПРИРОДЕ РАЗВИТИЯ ВПР *В.А. Осипов, А.М. Лягинская, , И.М. Петоян, А.П. Ермалицкий, Н.М. Карелина* ……...…….*83*

ГЕНОТОКСИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ ПРИРОДНЫХ ИСТОЧНИКОВ ИОНИЗИРУЮЩЕЙ РАДИАЦИИ В ЛИМФОЦИТАХ ПЕРИФЕРИЧЕСКОЙ КРОВИ И БУККАЛЬНОМ ЭПИТЕЛИИ ГОРНЫХ РАБОЧИХ *Д.А. Петрашова, В.В. Пожарская, Н.К. Белишева* ……84

ИЗМЕНЕНИЕ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ЖИЗНИ ОСОБЕЙ *DROSOPHILA MELANOGASTER* С РАЗЛИЧНОЙ АКТИВНОСТЬЮ ГЕНОВ РЕПАРАЦИИ ДНК В УСЛОВИЯХ ГАММА-ОБЛУЧЕНИЯ *Е.Н. Плюснина, Л.А. Шилова, Н.В. Земская, А.А. Москалев*……. 85

ИММУНОЛОГИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ ОТ ВНЕШНЕГО РАДИАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ У ПЕРСОНАЛА СИБИРСКОГО ХИМИЧЕСКОГО КОМБИНАТА (СХК) *Т.Т. Радзивил, И.В. Орадовская* ……...….86

ЦИТОГЕНЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЛИМФОЦИТОВ КРОВИ – ЗНАЧЕНИЕ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ И ПРИКЛАДНЫХ ПРОБЛЕМ РАДИОБИОЛОГИИ *Г.П. Снигирёва, А.А. Иванов*…….... 87

ВКЛАД КОГНИТИВНОЙ ХЕМОСИГНАЛИЗАЦИИ У МЫШЕЙ В ЗАВИСИМУЮ ОТ ГЕНОТИПА ДИСТАНЦИОННУЮ КОРРЕКЦИЮ ПОСТРАДИАЦИОННЫХ НАРУШЕНИЙ ИММУНИТЕТА *Б.П.Суринов, В.Г.Исаева, Л.П.Жовтун, Н.Н.Духова .88*

РЕАКЦИЯ ИММУННОЙ СИСТЕМЫ НА ГАММА-ОБЛУЧЕНИЕ В МАЛЫХ ДОЗАХ *М.А.Тамбовский, Р.И. Гайсин* ……...89

ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ ГЕРПЕТИЧЕСКОЙ ИНФЕКЦИИ У ЛИЦ, ПРОЖИВАЮЩИХ В ЗОНЕ УРАНОВЫХ ХВОСТОХРАНИЛИЩ *Р.Р. Тухватшин, А.А. Исупова, А.А. Койбагарова* ……...….90

ПОЛНЫЙ МЕТА-АНАЛИЗ ИССЛЕДОВАНИЙ ЧАСТОТЫ ГЕННЫХ (ХРОМОСОМНЫХ) ПЕРЕСТРОЕК RET/PTC КАК ОСНОВА ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ПЕРВИЧНОГО МАРКЕРА РАДИОГЕННЫХ ПАПИЛЛЯРНЫХ КАРЦИНОМ ЩИТОВИДНОЙ ЖЕЛЕЗЫ *Л.Н. Ушенкова, А.Н. Котеров, А.П. Бирюков*……..…….91

ТКАНЕСПЕЦИФИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПОЛИМОРФИЗМА ПРОСТЫХ ПОВТОРОВ ДНК У ПОТОМСТВА МЫШЕЙ РАЗНОГО ПОЛА, РОЖДЕННОГО ОТ ОБЛУЧЕННЫХ САМЦОВ ИЛИ САМОК. *Л.А. Фоменко*, *М.Г.Ломаева, В.Г.Безлепкин*…… 92

ШИРОКОГЕНОМНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ АССОЦИАЦИИ ПОЛИМОРФНЫХ ЛОКУСОВ С ПОВЫШЕННОЙ ЧАСТОТОЙ ХРОМОСОМНЫХ АБЕРРАЦИЙ, ИНДУЦИРУЕМЫХ ХРОНИЧЕСКИМ РАДИАЦИОННЫМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ *М.В.Халюзова, Н.В.Литвяков, Д.С.Исубакова, Е.Н.Альбах, А.Э.Сазонов, А.Б.Карпов....93*

МЕТОД РЕТРОСПЕКТИВНОЙ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ДОЗИМЕТРИИ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА СТАБИЛЬНЫХ ХРОМОСОМНЫХ АБЕРРАЦИЙ В ЛИМФОЦИТАХ КРОВИ ЧЕЛОВЕКА *Хвостунов И.К., Шепель Н.Н., Коровчук О.Н., Голуб Е.В., Нугис В.Ю.* ……..….94

ВЛИЯНИЕ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ В ДИАПАЗОНЕ МАЛЫХ ДОЗ (10-40 сГр) НА ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ ЖИЗНИ И УРОВЕНЬ ЭКСПРЕССИИ ГЕНОВ У *DROSOPHILA MELANOGASTER М.В. Шапошников, Д.О. Перегудова, Е.Н. Плюснина, А.А. Москалев* ……..….95

РОЛЬ МИКРОРНК, ВЛИЯЮЩИХ НА ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ P53-ЗАВИСИМОЙ СИСТЕМЫ СОХРАНЕНИЯ СТАБИЛЬНОСТИ ГЕНОМА, В ФОРМИРОВАНИИ ОТДАЛЕННЫХ ПОСЛЕДСТВИЙ РАДИАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ *Л.В.Шуленина*……..*96*

**СЕКЦИЯ 3.**
**МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ДЕЙСТВИЯ РАДИАЦИИ. РАДИОБИОЛОГИЯ ОПУХОЛЕЙ. ПРОБЛЕМЫ ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ.** ……*97*

МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ВОЗРАСТАНИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ НЕЙТРОНОВ У ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ *Н.К.Белишева*……... *98*

ЗНАЧЕНИЕ КИНЕТИКИ ПРОСТАТ-СПЕЦИФИЧЕСКОГО АНТИГЕНА У БОЛЬНЫХ РАКОМ ПРЕДСТАТЕЛЬНОЙ ЖЕЛЕЗЫ ПЕРЕД ДИСТАНЦИОННОЙ ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИЕЙ *О.А.Богомолов, Г.М.Жаринов, М.И.Школьник* ……..*99*

КОГНИТИВНЫЕ ФУНКЦИИ У ЛИЦ, ПОДВЕРГШИХСЯ АНТЕНАТАЛЬНОМУ ОБЛУЧЕНИЮ В ОТДАЛЕННЫЕ ПЕРИОДЫ ПОСЛЕ РАДИАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ *Е.Ю. Буртовая, М.В. Белова, Т.Э. Кантина, А.В. Аклеев* ……..….*100*

ВЫЯВЛЯЕМОСТЬ ЗАБОЛЕВАНИЙ С ВПЕРВЫЕ УСТАНОВЛЕННЫМ ДИАГНОЗОМ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ПЕРИОДИЧЕСКИХ МЕДИЦИНСКИХ ОСМОТРОВ (ПМО) РАБОТНИКОВ ПРЕДПРИЯТИЙ, ПРИКРЕПЛЕННЫХ НА МЕДИЦИНСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ К ЛПУ ФМБА РОССИИ *А.Ю. Бушманов, А.П. Бирюков, Э.П.Коровкина, Н.Н.Бухвостова, А.С.Кретов* ……....*101*

БИОЭФФЕКТЫ ОБЕДНЕННОГО УРАНА В МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЯВЛЕНИЯХ. *Воронцова З.А., Афанасьев Р.В., Зуев В.Г.* ……*102*

БИОЭФФЕКТЫ ОБЕДНЕННОГО УРАНА В МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЯВЛЕНИЯХ ОРГАНОВ-МИШЕНЕЙ. *Воронцова З.А., Кудаева Э.Ф.* …….……*103*

ЛУЧЕВЫЕ ОСЛОЖНЕНИЯ В ЭНДОВАСКУЛЯРНОЙ ХИРУРГИИ *И.А. Галстян, Н.М. Надежина, Н.М. Борисов*……... *104*

ЯЗВА-РАК КОЖИ В ИСХОДЕ МЕСТНОГО ЛУЧЕВОГО ПОРАЖЕНИЯ *И.А. Галстян, Н.М. Надежина, М.Г. Левадная, А.В. Аксененко* ……*105*

СРОКИ ЛЕЧЕНИЯ КАК ФАКТОР, ВЛИЯЮЩИЙ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ В САМОСТОЯТЕЛЬНОМ И КОМБИНИРОВАННОМ ПЛАНЕ У БОЛЬНЫХ РАКОМ ЯЗЫКА. *Геворков А.Р., Бойко А.В., Черниченко А.В., Плавник Р.Н., Носова Е.А., Хмелевский Е.В.* ……..….*106*

МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ И МОЛЕКУЛЯРНО-ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РАКА ЯЗЫКА. *Геворков А.Р., Бойко А.В., Завалишина Л.Э.* ……..….*107*

МЕДИЦИНСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ АВАРИИ НА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АТОМНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ И ПАТОЛОГИЯ ОРГАНОВ СИСТЕМЫ ПИЩЕВАРЕНИЯ У ПОСТРАДАВШЕГО НАСЕЛЕНИЯ *С.В.Дударенко, С.Н.Лопатин* ……..….*108*

СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ ЗЛОКАЧЕСТВЕННЫХ НОВООБРАЗОВАНИЙ *Жаринов Г.М., Некласова Н.Ю., Гребенюк А.Н., Баскин Л.М.*……*109*

ПЕРСОНАЛИЗАЦИЯ ЛЕЧЕНИЯ ОПУХОЛЕНОСИТЕЛЕЙ ПУТЕМ ПРЕДИКЦИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЛУЧЕВОЙ И ХИМИОЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ НА ОСНОВАНИИ РАДИОЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ДНК КРОВИ *С.Д.Иванов, Л.И.Корытова ……..….110*

ОНКОУРОЛОГИЧЕСКАЯ ЗАБОЛЕВАЕМОСТЬ ПЕРСОНАЛА ПРЕДПРИЯТИЯ АТОМНОЙ ИНДУСТРИИ *Д.Е.Калинкин, А.Б.Карпов, Р.М.Тахауов, Д.Б.Бульдович, А.А.Орешин ……..…….111*

РАДИОСЕНСИБИЛИЗАЦИЯ ОПУХОЛЕВЫХ КЛЕТОК С ПОМОЩЬЮ ИНГИБИТОРОВ АКТИВНОСТИ И ЭКСПРЕССИИ ШАПЕРОНОВ *В.А.Кудрявцев, А.В.Демидкина, В.А.Мосина, А.Е.Кабаков ……112*

ЭКСПРЕССИЯ МЕМБРАННЫХ МАРКЕРОВ ЭФФЕКТОРНЫХ И РЕГУЛЯТОРНЫХ ЛИМФОЦИТОВ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ ПРОФЕССИОНАЛЬНОМ ОБЛУЧЕНИИ *Т.В. Лукьянова, Е.Н. Кириллова, Т.И. Урядницкая ……...….113*

ПАТОГЕНЕЗ ИНФЕКЦИОННЫХ ОСЛОЖНЕНИЙ ОСТРОЙ ЛУЧЕВОЙ БОЛЕЗНИ *В.Н. Мальцев, Н.М. Ставракова ……114*

ЭТИОЛОГИЯ ИНФЕКЦИОННЫХ ОСЛОЖНЕНИЙ ОСТРОЙ ЛУЧЕВОЙ БОЛЕЗНИ *В.Н. Мальцев, Г.А. Шальнова ……..…….115*

ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ГОРНЯКОВ, ЗАНЯТЫХ В ПОДЗЕМНЫХ РАЗРАБОТКАХ РЕДКОМЕТАЛЬНЫХ РУД, СОДЕРЖАЩИХ ПРИМЕСИ ПРИРОДНЫХ РАДИОНУКЛИДОВ *А.А.Мартынова, Н.А.Мельник, Н.К. Белишева ……..……116*

РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСНОГО ЛЕЧЕНИЯ МЕЛКОКЛЕТОЧНОГО РАКА ЛЁГКИХ С ПРИМЕНЕНИЕМ ФОТОННОЙ И НЕЙТРОННОЙ ТЕРАПИИ *Л.И.Мусабаева, В.А.Лисин, С.В.Миллер, Е.О.Родионов……... 117*

РЕАКЦИЯ ЭКСПАНСИРУЮЩИХ ТКАНЕЙ НА ОДНОКРАТНОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ ОБЕДНЕННОГО УРАНА. *Набродов Г.М., Селявин С.С., Гуреев А.С. ……...118*

ПАТОГЕНЕТИЧЕСКИЕ МЕХАНИЗМЫ РАЗВИТИЯ ОТДАЛЕННЫХ МЕДИЦИНСКИХ ПОСЛЕДСТВИЙ У ЛИКВИДАТОРОВ АВАРИИ НА ЧАЭС *Н.М. Оганесян, А.Г. Карапетян…….……. 119*

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ХАРАКТЕРА ТЕЧЕНИЯ ОСТРОЙ ЛУЧЕВОЙ БОЛЕЗНИ ПРИ КОМБИНИРОВАННОМ ВОЗДЕЙСТВИИ ПОРАЖАЮЩИХ ФАКТОРОВ РАДИАЦИОННЫХ АВАРИЙ *Д.Б. Пономарев, О.А. Данилова, С.Ю. Краев, А.Б. Селезнёв ……..……120*

ИЗМЕНЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА ОПУХОЛЕВЫХ СТВОЛОВЫХ КЛЕТОК В БИОПСИЙНОМ МАТЕРИАЛЕ РАКА ВЕРХНИХ ДЫХАТЕЛЬНЫХ ПУТЕЙ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ РЕДКОИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ *Е.И. Селиванова, В.Г. Андреев, С. А. Макаренко, И.А. Замулаева……...…… 121*

РЕАКЦИЯ ОПУХОЛЕВЫХ И ОПУХОЛЕВЫХ СТВОЛОВЫХ КЛЕТОК НА ДЕЙСТВИЕ МАЛЫХ ДОЗ ГАММА-ОБЛУЧЕНИЯ *Семочкина Ю.П., Москалева Е.Ю., Кондрашева И.Г., Попова О.Н., Северин С.Е. ……..….122*

ОЦЕНКА ДОЗЫ ОБЛУЧЕНИЯ ПЕРСОНАЛА ОТДЕЛЕНИЙ ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ, РАБОТАЮЩЕГО С ЛИНЕЙНЫМИ МЕДЕЦИНСКИМИ УСКОРИТЕЛЯМИ С УЧЕТОМ НАВЕДЕННОЙ АКТИВНОСТИ *О.С.Сидоров, Д.М. Защиринский, Л.В. Владимиров…….... 123*

БИОФИЗИЧЕСКИЕ ПАТТЕРНЫ СИНДРОМА ДЕЗАДАПТАЦИИ У РАБОТНИКОВ РАДИОХИМИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА *Г.В. Талалаева* ……*124*

СОКРАЩЕНИЕ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ЖИЗНИ КАК ФАКТОР РАДИАЦИОННОГО РИСКА *В.И. Тельнов*……..……. *125*

НЕЙРОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ КОРРЕЛЯТЫ ПСИХОНЕВРОЛОГИЧЕСКИХ РАССТРОЙСТВ У ЛИКВИДАТОРОВ РАДИАЦИОННЫХ АВАРИЙ *И. Б. Ушаков, В. П. Федоров* ……...……*126*

ИЗУЧЕНИЕ ПРОТИВООПУХОЛЕВЫХ И РАДИОМОДИФИЦИРУЮЩИХ СВОЙСТВ NOS-ИНГИБИТОРА Т1023 НА МОДЕЛИ ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ *М.В. Филимонова, Л.И. Шевченко, В.М. Макарчук, Е.А. Чеснакова*…… *127*

РАЗРАБОТКА СТАНДАРТНОГО ФАНТОМА ГЛАЗА ЧЕЛОВЕКА ДЛЯ ОЦЕНОК ДОЗ ВНУТРЕННЕГО ОБЛУЧЕНИЯ *О.В.Фотина, Т.В.Гуляева, В.А.Дроздов, Д.О.Еременко, С.Ю.Платонов, О.А.Юминов, А.В.Тултаев* ……*128*

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ОРГАНИЗАЦИИ МЕДИЦИНСКОЙ СОРТИРОВКИ ПОРАЖЕННЫХ ИОНИЗИРУЮЩИМ ИЗЛУЧЕНИЕМ НА ПЕРЕДОВЫХ ЭТАПАХ МЕДИЦИНСКОЙ ЭВАКУАЦИИ *Халимов Ю.Ш., Карамуллин М.А., Кульнев С.В., Чеховских Ю.С., Язенок А.В., Кузьмич В.Г.* …… *129*

ПОВЕРХНОСТНАЯ ТЕРМОМЕТРИЯ С ХОЛОДОВОЙ НАГРУЗКОЙ БОЛЬНЫХ РАКОМ МОЛОЧНОЙ ЖЕЛЕЗЫ ДО- И ПОСЛЕ ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ *Е.В. Хмелевский* ……...……*130*

ИНФЕКЦИОННЫЙ СИНДРОМ У ОБЛУЧЁННЫХ МЫШЕЙ, ОПРЕДЕЛЯЕМЫЙ ПУТЁМ ВЫЯВЛЕНИЯ БАКТЕРИУРИИ *Г.А. Шальнова, И.Е. Андрианова, Н.М. Ставракова, Т.М. Булынина* ……..……...……*131*

**СЕКЦИЯ 4.**
**РАДИАЦИОННАЯ ЗАЩИТА И МОДИФИКАЦИЯ ЭФФЕКТОВ РАДИАЦИИ.** *132*

РЕАКЦИЯ СИСТЕМЫ ГЕМОПОЭЗА В РЕАЛИЗАЦИИ ЗАЩИТНОГО ЭФФЕКТА РАДИОПРОТЕКТОРОВ С РАЗЛИЧНЫМ МЕХАНИЗМОМ ДЕЙСТВИЯ *Н.В. Аксёнова, А.А. Аксёнова* ……...……*133*

РАЗРАБОТКА НОВОГО РАДИОЗАЩИТНОГО ПРЕПАРАТА НА ОСНОВЕ РЕКОМБИНАНТНОГО ИНТЕРЛЕЙКИНА-1β ЧЕЛОВЕКА *Г.В. Александров, А.В. Петров, А.С. Симбирцев, Н.В. Аксенова, А.Н. Гребенюк* ……..…*134*

К МОДИФИКАЦИИ ВИТАМИНОМ А ПОСЛЕДСТВИЙ ВНУТРИЛЁГОЧНОЙ ИНКОРПОРАЦИИ $^{239}PuO_2$ *И.К.Беляев, Е.С.Жорова, В.С.Калистратова, И.М.Парфенова, Г.С.Тищенко*……...…… *135*

РАДИОМОДУЛЯТОРЫ КАК ВАЖНЫЙ КОМПОНЕНТ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ ОТ ПОРАЖАЮЩЕГО ДЕЙСТВИЯ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ *М.В.Васин* ……..……*136*

ВОССТАНОВЛЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА ЖИРНЫХ КИСЛОТ И МАССЫ ТИМУСОВ У ОБЛУЧЕННЫХ РЕНТГЕНОВСКИМИ ЛУЧАМИ МЫШЕЙ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ЭМИ КВЧ *А.Б.Гапеев, А.В.Ариповский, Т.П.Кулагина* ……..……*137*

НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СРЕДСТВ ВЫВЕДЕНИЯ ИЗ ОРГАНИЗМА ПРОДУКТОВ ЯДЕРНОГО РАСПАДА *Гладких В.Д., Ковтун В.Ю., Назаров В.Б.* ..... *138*

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ РАДИОЗАЩИТНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ НАНОФОРМЫ СИНТЕТИЧЕСКОГО ГЕНИСТЕИНА *А.Н. Гребенюк, В.А. Башарин, Р.А. Тарумов, В.Ю. Ковтун, И.Е. Чикунов, Х.К. Нгуен, В.И. Швец, В.В. Чупин* .....*139*

ЭФФЕКТИВНОСТЬ СТАЗЕПИНА КАК СРЕДСТВА ПРОФИЛАКТИКИ И ЛЕЧЕНИЯ ОСТРЫХ РАДИАЦИОННЫХ ПОРАЖЕНИЙ *О.А. Данилова, И.И. Красильников* .....*140*

СОВРЕМЕННЫЕ СРЕДСТВА ПРОФИЛАКТИКИ И КУПИРОВАНИЯ ДИСПЕПСИЧЕСКОГО СИНДРОМА ПЕРВИЧНОЙ РЕАКЦИИ НА ОБЛУЧЕНИЕ *И.С. Драчёв, В.И. Легеза, А.Б. Селезнёв*..... *141*

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМОВ ФЕНОМЕНА ВЗАИМНОГО ОТЯГОЩЕНИЯ ПРИ СОЧЕТАННЫХ РАДИАЦИОННЫХ ПОРАЖЕНИЯХ И ЭФФЕКТИВНОСТИ СРЕДСТВ ЕГО МОДИФИКАЦИИ *Н.И. Заргарова, В.И. Легеза, А.Н. Гребенюк, А.Ю. Кондаков* .....*142*

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА РАДИОЗАЩИТНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОМБИНИРОВАННОГО ПРИМЕНЕНИЯ ПРЕПАРАТОВ С РАЗЛИЧНЫМИ МЕХАНИЗМАМИ ПРОТИВОЛУЧЕВОГО ДЕЙСТВИЯ ПРИ ОСТРОМ ОБЛУЧЕНИИ *В.В. Зацепин* .....*143*

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ И ЛУЧЕВОЕ ПОРАЖЕНИЕ *А.А. Иванов, И.Б. Ушаков*.....*144*

ПРОФИЛАКТИКА ОТДАЛЕННЫХ ПОСЛЕДСТВИЙ ВНЕШНЕГО И ВНУТРЕННЕГО ОБЛУЧЕНИЯ ПРИ ПОМОЩИ ВИТАМИНА А И ЕГО ПРЕДШЕСТВЕННИКА - БЕТА-КАРОТИНА *В.С. Калистратова, И.К. Беляев, Е.С. Жорова, И.М. Парфенова, Г.С. Тищенко* .....*145*

ДИГИДРОКВЕРЦЕТИН - АНТИОКСИДАНТ, СПОСОБНЫЙ ЗАЩИЩАТЬ ДНК ОТ ОКИСЛИТЕЛЬНЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ, ВЫЗВАННЫХ АКТИВНЫМИ ФОРМАМИ КИСЛОРОДА, И ПРОЯВЛЯТЬ РАДИОЗАЩИТНЫЕ СВОЙСТВА *О.Э. Карп, О.В. Шелковская, С.В. Гудков, В.И. Брусков* .....*146*

НОВЫЕ СРЕДСТВА ПРОФИЛАКТИКИ РАДИАЦИОННОГО СТРЕССА НА ОСНОВЕ СТАБИЛЬНЫХ МАГНИТНЫХ ИЗОТОПОВ *В.К. Кольтовер, В.Г. Королев, Ю.А. Кутлахмедов*..... *147*

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СРЕДСТВ КОНСЕРВАТИВНОГО ЛЕЧЕНИЯ ЛУЧЕВЫХ ОЖОГОВ ПРИ СОЧЕТАННЫХ РАДИАЦИОННЫХ ПОРАЖЕНИЯХ *А.Ю. Кондаков, Н.И. Заргарова* .....*148*

РОЛЬ ОКСИДАТИВНОГО СТРЕССА В МЕХАНИЗМАХ БИОЛОГИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БЕТАЛЕЙКИНА В ТЕРАПИИ МЕСТНЫХ И СОЧЕТАННЫХ РАДИАЦИОННЫХ ПОРАЖЕНИЙ *А.Ю. Кондаков, А.Б. Селезнев, Г.Г. Родионов, Н.И. Заргарова* .....*149*

ФОРМИРОВАНИЯ САНИТАРНО-ЭПИДЕМИОЛОГИЧЕСКИХ УЧРЕЖДЕНИЙ МО РФ, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫХ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ *В.В. Конев, Д.А. Сидоров, Ю.В. Шилов, И.И. Азаров* ……..……150

МОДЕЛЬ МЕСТНЫХ ЛУЧЕВЫХ ПОРАЖЕНИЙ ДЛЯ ДОКЛИНИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ КЛЕТОЧНОЙ ТЕРАПИИ *К.В. Котенко, Б.Б.Мороз, Т.А. Насонова, О.А.Добрынина, А.А. Липенгольц, Т.И.Гимадова, Ю.Б.Дешевой, В.Г.Лебедев, А.В.Лырщикова, И.И.Ерёмин* ……151

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ РАДИОЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ ЦИСТАМИНА ПРИ ИНТРАТРАХЕАЛЬНОМ ВВЕДЕНИИ *С.Ю. Краев, И.С. Драчёв* ……..…152

ИЗУЧЕНИЕ РАДИОЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ РЕЦЕПТУРЫ, ВКЛЮЧАЮЩЕЙ МОНОПРОБИОТИК И АНТИБИОТИК ДЛИТЕЛЬНОГО ДЕЙСТВИЯ *И. И. Красильников*……..…..153

РАДИОПРОТЕКТОРЫ И РАДИОМИТИГАТОРЫ – РОЛЬ И МЕСТО В СИСТЕМЕ ПРОТИВОРАДИАЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ *В.И. Легеза, А.Н. Гребенюк*……..…154

БИОЭФФЕКТЫ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ОБЛУЧЕНИЯ НА ФОНЕ ПРИМЕНЕНИЯ РАДИОМОДИФИКАТОРОВ *Логачева В.В., Жемчужникова А.А.* ……...……155

РАЦИОНАЛЬНАЯ РАЗРАБОТКА И СИНТЕЗ РАДИОЗАЩИТНЫХ СОЕДИНЕНИЙ НА БАЗЕ НОВЫХ ЭФФЕКТИВНЫХ ИНГИБИТОРОВ NO-СИНТАЗ *Мандругин А.А., Филимонова М.В., Шевченко Л. И.* ……156

ИЗУЧЕНИЕ МЕХАНИЗМА РАДИОЗАЩИТНОГО ДЕЙСТВИЯ НОВЫХ СОЛЕЙ 2-АМИНО-5,6-ДИГИДРО-4Н-1,3-ТИАЗИНА *Мандругин А.А., Борисова Г.С., Филимонова М.В., Шевченко Л. И.* ……157

СОЗДАНИЕ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ РАДИОЗАЩИТНЫХ СРЕДСТВ НА ОСНОВЕ ХИМИЧЕСКИХ ИНГИБИТОРОВ NO-СИНТАЗЫ *Мандругин А.А., Борисова Г.С., Филимонова М.В., Шевченко Л.И.* ……..…158

РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИМЕНЕНИЯ КЗАР «ЗЕЛЕНЫЕ ВОЛНЫ®» В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА РАННЕЙ СТАДИИ ОНТОГЕНЕЗА ЗЛАКОВЫХ РАСТЕНИЙ *Т.И. Милевич, Н.В. Шамаль, А.Д Наумов, В.П. Герасименя, С.В. Захаров*……159

ОЦЕНКА СОРБЦИОННЫХ СВОЙСТВ БИОМАССЫ БАЗИДИАЛЬНОГО ГРИБА «ВЕШЕНКА ОБЫКНОВЕННАЯ» *Т.И. Милевич, А.Д Наумов, В.П. Герасименя, С.В. Захаров*……. 160

НОВЫЕ ЭФФЕКТИВНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ОСЛАБЛЕНИЯ ТОКСИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ РАДИАЦИИ И ДРУГИХ ФАКТОРОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ НА ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА *А.А.Морозова, Н.В.Ананьева*……. 161

МУЛЬТИПЛЕТНОЕ БИОЛОГИЧЕСКОЕ ДЕЙСТВИЕ РАДИОПРОТЕКТОРОВ НА ОСНОВЕ ПРОИЗВОДНЫХ ТИАЗИНА, ТИАЗОЛИНА И ТИОМОЧЕВИНЫ *М.А.Орлова, Т.П.Трофимова, А.П.Орлов, М.В.Филимонова* ……...….162

АНТИОКСИДАНТНЫЕ ЭФФЕКТЫ МЕЛАТОНИНА ПРИ ОДНОКРАТНОМ $\gamma$-ОБЛУЧЕНИИ В ЭКСПЕРИМНТЕ *Л.В. Пикалова, В.А. Горбунов* ……..…..163

ВЛИЯНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО СТРЕССА НА РАДИОЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ ПОДОПЫТНЫХ БИООБЪЕКТОВ *В.Н. Полубояринов* ……...*164*

ОЦЕНКА ПРОТИВОЛУЧЕВОЙ ЛЕЧЕБНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЦИТОКИНОВ И ИХ КОМБИНАЦИИ НА МЫШАХ, ПОДВЕРГНУТЫХ ОСТРОМУ РЕНТГЕНОВСКОМУ ОБЛУЧЕНИЮ. *А.В.Пчелка, К.Ю.Трубицина, Л.М.Рождественский* ……..…..*165*

АНТИОКСИДАНТНЫЕ СВОЙСТВА РАДИОЗАЩИТНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПРИ ЛУЧЕВОМ ВОЗДЕЙСТВИИ РАЗЛИЧНОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ *Л.Н.Расина, О.Н.Чупахин* ……..……*166*

ВЛИЯНИЕ ИНТЕРЛЕЙКИНА-1β НА ТЕЧЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО КОМБИНИРОВАННОГО РАДИАЦИОННО-МЕХАНИЧЕСКОГО И МЕХАНО-ХИМИЧЕСКОГО ПОРАЖЕНИЯ *Д.В. Ремизов, Ю.В. Юркевич, В.П. Федонюк……167*

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ КЛАССИФИКАЦИИ ПРОТИВОЛУЧЕВЫХ МЕДИКАМЕНТОЗНЫХ СРЕДСТВ *Л.М.Рождественский …168*

ПОИСК ПРОТИВОЛУЧЕВЫХ СРЕДСТВ И ИНДИКАТОРОВ ИХ ЭФФЕКТИВНОСТИ НА МОДЕЛИ ПРОЛОНГИРОВАННОГО ОБЛУЧЕНИЯ МЫШЕЙ С НИЗКОЙ МОЩНОСТЬЮ ДОЗЫ *Л.М.Рождественский, В.Ф.Михайлов, Т.Г.Шлякова, Н.Ф.Раева, Р.А.Щеголева, Ж.М.Шагирова, Н.И.Лисина, Л.В.Шуленина, В.В.Зорин, А.В.Пчелка, К.Ю.Трубицина* ……*169*

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ РЕКОМБИНАНТНОГО ИНТЕРЛЕЙКИНА-1 БЕТА ЧЕЛОВЕКА В КАЧЕСТВЕ РАДИОЗАЩИТНОГО И АНТИТОКСИЧЕСКОГО СРЕДСТВА.*Симбирцев А.С.* ……..……*170*

ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ФИЗИЧЕСКИХ И ХИМИЧЕСКИХ АГЕНТОВ НА МЫШЕЙ, ОБЛУЧЕННЫХ МАЛЫМИ ДОЗАМИ НИЗКОИНТЕНСИВНОГО ПЛОТНОИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ *Сорокина С.С., Заичкина С.И., Розанова О.М., Романченко С.П., Смирнова Е.Н., Дюкина А.Р., Пелешко В.Н., Маевский Е.И., Гришина Е.В.* ……*171*

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА РАДИОЗАЩИТНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОТЕЧЕСТВЕННОГО РЕКОМБИНАНТНОГО ФЛАГЕЛЛИНА (предварительные результаты) *Г.А.Софронов, И.В.Духовлинов, Н.В.Аксенова, Е.В.Мурзина* ……*172*

ИЗУЧЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПИРАЗИНАМИДА В КАЧЕСТВЕ СРЕДСТВА СОХРАНЕНИЯ ФУНКЦИЙ ЦЕНТРАЛЬНОЙ НЕРВНОЙ СИСТЕМЫ ПРИ ОБЛУЧЕНИИ В СВЕРХВЫСОКИХ ДОЗАХ *А.В. Степанов, С.Ю. Краев, И.С. Драчёв* ……..……*173*

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ СИНТЕТИЧЕСКОГО ГЕНИСТЕИНА КАК СРЕДСТВА ПРОФИЛАКТИКИ ЛУЧЕВЫХ ПОРАЖЕНИЙ *Р.А. Тарумов ……174*

БАЗИДИОМИЦЕТЫ КАК ПЕРСПЕКТИВНЫЕ СРЕДСТВА ПРОФИЛАКТИКИ И ЛЕЧЕНИЯ РАДИАЦИОННЫХ НАРУШЕНИЙ *Н.И.Тимохина, С.Н.Сушко, Е.М.Кадукова , С.В.Гончаров, В.В.Трухоновец* ……..……....*175*

ВЛИЯНИЕ ОБЛУЧЕНИЯ В ВЫСОКИХ ДОЗАХ НА ПОКАЗАТЕЛИ СОСТОЯНИЯ ГАМК-ЕРГИЧЕСКИХ И БЕНЗОДИАЗЕПИНОВЫХ РЕЦЕПТОРОВ ГОЛОВНОГО МОЗГА *П.В. Тихомиров, А.Ю. Кондаков, В.Ф. Магира* ……..….*176*

РАДИОЗАЩИТНЫЕ СВОЙСТВА МОДИФИКАТОРОВ ЭНДОГЕННОГО СИНТЕЗА ОКСИДА АЗОТА *М.В. Филимонова, Л.И. Шевченко, В.М. Макарчук, Е.А. Чеснакова, Г.А. Лушникова* ……177

ИЗМЕНЕНИЕ СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ МОЛЕКУЛЫ СЫВОРОТОЧНОГО АЛЬБУМИНА И ВЫХОДА МИКРОЯДЕР У ОБЛУЧЕННЫХ ЖИВОТНЫХ ПРИ ПЕРОРАЛЬНОМ ПРИЕМЕ ВОДНОГО ЭКСТРАКТА МИЦЕЛИЯ ГЕРИЦИЯ ГРЕБЕНЧАТОГО (*HERICIUM ERINACEUS*) *Шафорост А.С., Чикунова К.Н.* ……178

ЭКСПРЕССИЯ ГЕНОВ, КОНТРОЛИРУЮЩИХ КЛЕТОЧНЫЙ ГОМЕОСТАЗ, В КЛЕТКАХ ЧЕЛОВЕКА, ОБРАБОТАННЫХ РАСТИТЕЛЬНЫМИ ПЕПТИДАМИ И СИНТЕТИЧЕСКИМ АНТИМУТАГЕНОМ, ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ИОНИЗИРУЮЩЕЙ РАДИАЦИИ *А.А.Шишкина, В.Ф.Михайлов, Л.В.Шуленина, Е.А.Рогожин, Н.Ф.Раева, И.М. Васильева, Г.Д.Засухина.* ……179

**СЕКЦИЯ 5.**
**РАДИОБИОЛОГИЯ ТЯЖЕЛЫХ ИОНОВ.**
**КОСМИЧЕСКАЯ РАДИОБИОЛОГИЯ.** ……180

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ КАЛИБРОВКИ БИОДОЗИМЕТРА ДЛЯ КОСМИЧЕСКИХ ПОЛЕТОВ *С.С. Бартенева, В.М.Петров* ……181

ИССЛЕДОВАНИЕ ОБМЕНА МОНОАМИНОВ В СТРУКТУРАХ ГОЛОВНОГО МОЗГА КРЫС В РАЗНЫЕ СРОКИ ПОСЛЕ ОБЛУЧЕНИЯ УСКОРЕННЫМИ ИОНАМИ $^{12}$C *К.В. Белокопытова, О.В. Белов, Е.А. Красавин, Г.Н. Тимошенко, В.С. Кудрин, А.С. Базян* ……182

INDUCTION OF THE HPRT MUTANTS IN THE CHINESE HAMSTER CELLS AFTER IRRADIATION WITH HEAVY IONS *Bláha P., Koshlan I.V., Koshlan N.A., Govorun R.D., Elsha D., Sidorina J.J., Bogdanova J.V.* ……183

ГЕМАТОЛОГИЧЕСКИЙ СТАТУС И ДВИГАТЕЛЬНАЯ АКТИВНОСТЬ МЫШЕЙ, ОБЛУЧЕННЫХ ПРОТОНАМИ С РАЗЛИЧНЫМ УРОВНЕМ ЛПЭ *Т.М. Булынина, А.Н. Абросимова, С.В. Ворожцова, Ю.С. Северюхин, А.Г. Молоканов*…… 184

ЦИТОГЕНЕТИЧЕСКИЕ ПОВРЕЖДЕНИЯ У МЫШЕЙ ПОСЛЕ ПОЛЕТА НА БИОСПУТНИКЕ «БИОН-М1» *О.В. Дорожкина, Е.А. Довгополая* ……185

ИНДУКЦИЯ ГЕННЫХ МУТАЦИЙ γ-ЛУЧАМИ И ТЯЖЕЛЫМИ ИОНАМИ В ГАПЛОИДНЫХ КЛЕТКАХ ДРОЖЖЕЙ *Жучкина Н. И., Шванева Н. В., Колтовая Н. А.* ……186

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИНДУКЦИИ И РЕПАРАЦИИ КЛАСТЕРНЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ ДНК ПРИ ДЕЙСТВИИ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ РАЗНОГО КАЧЕСТВА *Заднепрянец М.Г., Борейко А.В., Буланова Т.С., Валентова О., Давидкова М., Йежкова Л., Козубек С., Красавин Е.А., Круглякова Е.А., Фальк М., Фалькова И.* ……187

БИОМЕДИЦИНСКИЕ ЭФФЕКТЫ КОСМИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ: ПОЛЁТНЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ И НАЗЕМНАЯ ИМИТАЦИЯ *А.А. Иванов, Е.А. Красавин* ……188

METEORITES CATALYZED PREBIOTIC SYNTHESIS OF BIOMOLECULES FROM FORMAMIDE UNDER RADIATION CONDITIONS. *M. I. Kapralov, E. E. Solovova, E. Carota1, R. Saladino1, E. Di Mauro* ……189

ИНДУКЦИЯ СТРУКТУРНЫХ МУТАЦИЙ γ-ЛУЧАМИ И ТЯЖЕЛЫМИ ИОНАМИ В ГАПЛОИДНЫХ КЛЕТКАХ ДРОЖЖЕЙ *Кокорева А. Н., Колтовая Н. А.* ……190

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РЕПАРАЦИИ ДВУНИТЕВЫХ РАЗРЫВОВ ДНК ПРИ ДЕЙСТВИИ ИЗЛУЧЕНИЙ РАЗНОГО КАЧЕСТВА *М.С. Ляшко, О.В. Белов, Е.А. Красавин, М. Батмунх, Н.Х. Суэйлам*……..…. *191*

ЦИТОГЕНЕТИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ В СЕМЕНАХ САЛАТА, ОБЛУЧЕННЫХ БЫСТРЫМИ НЕЙТРОНАМИ С ЭНЕРГИЕЙ 1,6 МЭВ *Платова Н.Г.* ……..*192*

БИОЛОГИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ КОРОТКОПРОБЕЖНЫХ ТЯЖЕЛЫХ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ *В.И. Потетня, Е.В. Корякина, Е.В. Исаева, Н.Г. Болдуева, М.Н. Кузнецова* ……*193*

ПРОБЛЕМЫ РАДИАЦИОННОЙ НЕЙРОБИОЛОГИИ ДАЛЬНИХ КОСМИЧЕСКИХ ПОЛЕТОВ *А.О. Сапецкий* ……..……*194*

ПАТОЛОГО-МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛЕТОК ПУРКИНЬЕ В КОРЕ МОЗЖЕЧКА КРЫС ПОД ДЕЙСТВИЕМ ИОНИЗИРУЮЩЕЙ РАДИАЦИИ РАЗЛИЧНОГО КАЧЕСТВА *Ю.С. Северюхин, Н.Н.Буденная, К.Н.Ляхова* ……..*195*

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПОДХОДОВ К РАДИАЦИОННОМУ НОРМИРОВАНИЮ В КОСМОСЕ И ОПРЕДЕЛЕНИЮ РАДИАЦИОННОГО РИСКА ДЛЯ КОСМОНАВТОВ ПРИ ДЛИТЕЛЬНЫХ ОРБИТАЛЬНЫХ ПОЛЕТАХ И МЕЖПЛАНЕТНЫХ ЭКСПЕДИЦИЯХ. *Ушаков И.Б., Шафиркин А.В., Щуршаков В.А.* ……*196*

ПРОБЛЕМЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ КОМБИНИРОВАННОГО ДЕЙСТВИЯ РАДИАЦИОННОГО И НЕРАДИАЦИОННЫХ ФАКТОРОВ КОСМИЧЕСКОГО ПОЛЕТА НА ФУНКЦИИ ЦЕНТРАЛЬНОЙ НЕРВНОЙ СИСТЕМЫ В НАЗЕМНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТАХ НА ЖИВОТНЫХ *И.Б.Ушаков, А.С.Штемберг* ……...*197*

ВЛИЯНИЕ ЛПЭ ИЗЛУЧЕНИЯ НА ФОРМИРОВАНИЕ ДВУНИТЕВЫХ РАЗРЫВОВ ДНК В ПОСТРАДИАЦИОННОМ ПЕРИОДЕ В ЛИМФОЦИТАХ КРОВИ ЧЕЛОВЕКА *В.Н. Чаусов, А. В. Борейко, М. М. Кондратьева, Е.А. Красавин, Е. А. Кузьмина, С. И. Тиунчик* ……..……*198*

ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕЙСТВИЯ ГАЛАКТИЧЕСКОГО КОСМИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ РЕАКЦИИ ЦЕНТРАЛЬНОЙ НЕРВНОЙ СИСТЕМЫ В НАЗЕМНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТАХ НА УСКОРИТЕЛЯХ *А.С.Штемберг, М.И. Матвеева, В.С. Кохан, К.Б. Лебедева-Георгиевская, А.С. Базян, В.С.Кудрин*….. *199*

**СЕКЦИЯ 6.**
**РАДИОБИОЛОГИЯ НЕИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ. БИОЛОГИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ. ЭКОЛОГИЯ, ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ И НОРМИРОВАНИЕ.** ……..……*200*

ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ ПЕРЕКИСНОГО ОКИСЛЕНИЯ ЛИПИДОВ В СЫВОРОТКЕ КРОВИ КРЫС В РЕЗУЛЬТАТЕ ОБЛУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ПОЛЕМ МЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА *В.В. Алабовский, С.Ю. Перов, О.В. Маслов, Е.В. Богачева* ……...*201*

К НАУЧНО-ИСТОРИЧЕСКОЙ ПЕРИОДИЗАЦИИ ИССЛЕДОВАНИЙ БИОЭФФЕКТОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ В РОССИИ *В.А. Алексеева, О.А. Григорьев*…… *202*

ВЛИЯНИЕ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ РАЗНОГО ДИАПАЗОНА НА КАРРАГИНАН-ИНДУЦИРОВАННОЕ ВОСПАЛЕНИЕ КОЖИ КРЫС *А.А. Байжуманов, М.Я. Ахалая, Л.К. Трофимова, Н.Н. Родионова, Г.В.Максимов* ……*203*

АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ РЕПРОДУКТИВНОЙ, ЭНДОКРИННОЙ И КРОВЕТВОРНОЙ СИСТЕМ ОРГАНИЗМА КРЫС-САМЦОВ ПОСЛЕ ДЛИТЕЛЬНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭМИ В ДИАПАЗОНЕ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ *Г.Г. Верещако, А.Д. Наумов, В.И. Шалатонин, Г.А. Горох, Н.В. Чуешова, Д.В. Сухарева* ……...…….*204*

ЗАВИСИМОСТЬ РАДИОЗАЩИТНЫХ ЭФФЕКТОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ КРАЙНЕ ВЫСОКИХ ЧАСТОТ ОТ ПАРАМЕТРОВ ВОЗДЕЙСТВИЯ *А.Б.Гапеев, Н.А.Лукьянова, С.В.Гудков* …….*205*

ВЛИЯНИЕ УФ-В РАДИАЦИИ НА БИОХИМИЧЕСКИЕ РЕАКЦИИ И ПРОДУКТИВНОСТЬ ЯЧМЕНЯ *Л. И. Гончарова, В.М. Рачкова* ……..…….*206*

ТРАНСГЕНЕРАЦИОННАЯ ПЕРЕДАЧА АДАПТИВНЫХ ЭФФЕКТОВ К УФ-В ОБЛУЧЕНИЮ У РАСТЕНИЙ *Arabidopsis thaliana Н.И.Гуща, Ю.В. Шилина, А.П.Дмитриев*……..…… *207*

ВЛИЯНИЕ СОЧЕТАННОГО ХИМИЧЕСКОГО И ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ НА БИОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЧВ ЮГА РОССИИ *Т.В.Денисова, М.С.Мазанко, С.И. Колесников* …….….*208*

ИЗУЧЕНИЕ КЛЕТОЧНЫХ РЕАКЦИЙ У МЫШЕЙ, ОБЛУЧЕННЫХ НИЗКОИНТЕНСИВНЫМ КРАСНЫМ И БЛИЖНИМ ИНФРАКРАСНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ *IN VIVO А.Р. Дюкина, С.И. Заичкина, О.М. Розанова, С.П. Романченко, С.С. Сорокина, Н.Б. Симонова, Д.Т. Закржевская, В.И. Юсупов* ……....*209*

К ВОПРОСУ РЕГУЛЯЦИИ ЭРИТРОПОЭЗА У ЖИВОТНЫХ *А.С. Зенкин, Н.Ю. Калязина, А.И. Свитин*……. *210*

ЭФФЕКТЫ МОДИФИКАЦИИ ПРИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОМ ОБЛУЧЕНИИ *С.Н. Золотарева, С.А. Кособуцкая* …….*211*

ОБРАЗОВАНИЕ ПЕРЕКИСИ ВОДОРОДА В БЕЛКОВЫХ РАСТВОРАХ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ТЕПЛА *В.Е. Иванов, Н.Р. Попова, О.Э. Карп, С.В. Гудков, В.И. Брусков* …….……*212*

ТРАНСГЕНЕРАЦИОННЫЕ ЭФФЕКТЫ НИЗКОИНТЕНСИВНОГО РАДИОЧАСТОТНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ И АНАЛИЗ ЦИТОТОКСИЧНОСТИ *Иголкина Ю.В., Ускалова Д.В., Сарапульцева Е.И*……... *213*

ПОВЕДЕНЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ КРЫС-САМОК ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ИОНИЗИРУЮЩЕГО И ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЙ *Е.М. Кадукова, Д.Г. Сташкевич, Ф.И. Куц, И.И. Ефременко, Г.И. Наумова* ……...….*214*

ОСОБЕННОСТИ ВОЗДЕЙСТВИЯ ОПТИЧЕСКИХ ИЗЛУЧЕНИЙ ЧЕРЕЗ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫЕ ТОЧКИ НА ГЕМАТОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ КРОЛИКОВ *Н.Ю. Калязина, А.И. Свитин* ……...…….*215*

ВЛИЯНИЕ ПРЕДПОСЕВНОГО УФ ОБЛУЧЕНИЯ СЕМЯН НА МОРФОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПРОРОСТКОВ ЯЧМЕНЯ *А.Е. Крюков, П.Н. Цигвинцев, Л.И.Гончарова* …….….*216*

БИОЛОГИЧЕСКОЕ ДЕЙСТВИЕ СВЕРХНИЗКОЧАСТОТНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ *Ю.Б. Кудряшов, А.Б.Рубин* ……..*217*

СОЧЕТАННОЕ ДЕЙСТВИЕ НИЗКОИНТЕНСИВНОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ КРАЙНЕ ВЫСОКИХ ЧАСТОТ И ГЕНОТОКСИЧЕСКИХ АГЕНТОВ *Н.А.Лукьянова, А.Б.Гапеев*……*218*

БИОЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ГОЛОВНОГО МОЗГА В УСЛОВИЯХ ДЕЙСТВИЯ НИЗКОИНТЕНСИВНЫХ ЭМП РАДИОЧАСТОТ (АНАЛИЗ СОБСТВЕННЫХ МНОГОЛЕТНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ) *С.Н. Лукьянова* ……...*219*

ОЦЕНКА БИОЛОГИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ GSM 905 МГЦ НА МОДЕЛИ БАКТЕРИАЛЬНОЙ БИОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ
*И.М.Пархоменко, А.П.Зарубина, А.Я.Байжуманов, Л.И.Деев, Л.А.Новоселова* ……...*220*

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ АКТИВНОСТЬ НАДПОЧЕЧНИКОВ КРЫС ПРИ ДЕЙСТВИИ РАДИОЧАСТОТНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ НИЗКИХ ИНТЕНСИВНОСТЕЙ *С.Ю.Перов[1], Ю.Б.Кудряшов[1], Е.Н.Макарова-Землянская* …….*221*

РОЛЬ АКТИВНЫХ ФОРМ КИСЛОРОДА И ПРОЦЕССА ПОЛ ПРИ ДЕЙСТВИИ НАНОМАТЕРИАЛОВ НА ПЛАЗМАТИЧЕСКИЕ МЕМБРАНЫ МАКРОФАГОВ
*С.К. Пирутин, В.Б. Туровецкий, Ю.Б. Кудряшов* ……..….*222*

ОЦЕНКА УРОВНЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЧАСТОТЫ 50 ГЦ ВБЛИЗИ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕТКРОПЕРЕДАЧИ В МОСКОВСКОМ РЕГИОНЕ ПО КРИТЕРИЯМ IARC *А.С.Прокофьева, О.А.Григорьев*……..……. *223*

РАДИОЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ СТРУКТУРНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ ТОНКОЙ КИШКИ В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ ИМПУЛЬСОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ
*О.А. Свиридова* ……*224*

О ПЕРСПЕКТИВАХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОПТИЧЕСКИХ ИЗЛУЧЕНИЙ В ЖИВОТНОВОДСТВЕ *А.И. Свитин, Н.Ю. Калязина* …….*225*

МОДИФИКАЦИЯ СВОЙСТВ ЛЕКАРСТВЕННЫХ СРЕДСТВ ВОЗДЕЙСТВИЕМ НИЗКОИНТЕНСИВНОГО ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ *Б.П.Суринов, В.Г.Исаева, А.Н.Шарецкий, Л.П.Жовтун* ……..…….*226*

ДЕЙСТВИЕ γ-, УФ- И СВЧ-ОБЛУЧЕНИЯ НА КЛУБНИ КАРТОФЕЛЯ *А.В. Тихонов, А.Е. Крюков* ……...…….*227*

ПСИХОФИЗИЧЕСКОЕ ЗДОРОВЬЕ ДЕТЕЙ-ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗЬЮ: РЕЗУЛЬТАТЫ ЛОНГИТЮДНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ *Хорсева Н.И*…..... *228*

ОТВЕТНАЯ РЕАКЦИЯ ПРОРОСТКОВ ПОДОРОЖНИКА СРЕДНЕГО НА ДЕЙСТВИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЧАСТОТЫ (50 Гц)
*М.М. Шашурин, А.Н. Журавская* ……..…..….*229*

ЭФФЕКТЫ ВОЗДЕЙСТВИЯ НЕИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА РЕПРОДУКТИВНУЮ ФУНКЦИЮ САМОК ПРИ РАЗНЫХ МОДЕЛЯХ ЭКСПЕРИМЕНТА *Д.З. Шибкова, Т.В. Шилкова, А.В. Овчинникова*…….……*230*

**СЕКЦИЯ 7.**
**РАДИОЭКОЛОГИЯ……..** ……*231*

ВКЛАД $^{90}$Sr В ДОЗУ ОБЛУЧЕНИЯ НАСЕЛЕНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
*В.С. Аверин, К.Н. Буздалкин, Е.В. Копыльцова, Е.К. Нилова, Э.Н. Цуранков* ……....*232*

ПЕРЕХОД ТРАНСУРАНОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В МОЛОКО КОЗ ИЗ ПОЧВЕННОЙ КОМПОНЕНТЫ РАЦИОНА *В.С. Аверин, А.Б. Кухтевич, С.А. Тагай, А.А. Царенок ..233*

К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ТЕРМИНА «БИОЛОГИЧЕСКАЯ ДОСТУПНОСТЬ ПОЧВЕННОГО ВЕЩЕСТВА» *Автушко М.И.* ……..*234*

ВЛИЯНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ И ХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СОСТОЯНИЯ ПОЧВ НА ПОДВИЖНОСТЬ И БИОЛОГИЧЕСКУЮ ДОСТУПНОСТЬ $^{60}$CO И $^{65}$ZN И ИХ СТАБИЛЬНЫХ АНАЛОГОВ *В.С. Анисимов, И.В Кочетков, Д.В. Дикарев,. Л.Н Анисимова, Ю.Н. Корнеев* ……..……*235*

ВНУТРИ- И МЕЖГОДОВАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ АНОМАЛИЙ В РАЗВИТИИ ПОТОМСТВА ДИКОРАСТУЩИХ РАСТЕНИЙ ИЗ ЗОНЫ ВУРСа *Е.В.Антонова, В.Н.Позолотина,Э.М.Каримуллина* ……*236*

СОВРЕМЕННАЯ РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ СИТУАЦИЯ В КИЕВЕ *И.В. Белименко, И.Н. Гудков* ……..….*237*

ИЗМЕНЕНИЕ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ И ЦИТОГЕНЕТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ У РЯСКИ МАЛОЙ (LEMNA MINOR) ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ОСТРОГО ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ *И.С. Боднарь, В.Г. Зайнуллин*……. *238*

СРАВНЕНИЕ БИОДОСТУПНОСТИ УРАНА И ТЕХНОГЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ В ЭКОСИСТЕМЕ РЕКИ ЕНИСЕЙ *А.Я. Болсуновский, М.Ю. Медведева* ……..….*239*

КЛИНИКО-ГЕМАТОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАЛЛЕЛИ У КУР И ПОТОМСТВА ПРИ ХРОНИЧЕСКОМ ПОСТУПЛЕНИИ ВНУТРЬ РОДИТЕЛЬСКОГО ОРГАНИЗМА $^{131}$*I В.А.Бударков* ……*240*

РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ В РЕЗУЛЬТАТЕ ТЕРРОРИСТИЧЕСКИХ И ВОЕННЫХ ДЕЙСТВИЙ НА АЭС СОПРЕДЕЛЬНЫХ ГОСУДАРСТВ *К.Н. Буздалкин* ……*241*

ИССЛЕДОВАНИЕ ВТОРИЧНОГО РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ РОССИИ, ПОСТРАДАВШИХ ОТ АВАРИИ НА ЧАЭС *С.М. Вакуловский, Л.В. Колесникова, Э.Г. Тертышник, А.Д. Уваров, В.Н. Яхрюшин, Артемьев Г.Б.* ……..…….*242*

ВЛИЯНИЕ ХРОНИЧЕСКОГО ОБЛУЧЕНИЯ И КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА ПОПУЛЯЦИИ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ ПРОИЗРАСТАЮЩИХ НА ТЕРРИТОРИЯХ С КОНТРАСТНЫМ УРОВНЕМ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ В БРЯНСКОЙ ОБЛАСТИ *Васильев Д.В., Кузьменков А.Г., Дикарева Н.С., Гераськин С.А., Удалова А.А.* ……...…….*243*

АНАЛИЗ БИОЛОГИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ ХРОНИЧЕСКОГО РАДИАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ В ПОПУЛЯЦИЯХ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ *Волкова П.Ю. ……244*

ОТДАЛЕННЫЕ ЭФФЕКТЫ ХРОНИЧЕСКОГО ОБЛУЧЕНИЯ В ПОПУЛЯЦИЯХ РАСТЕНИЙ *С.А. Гераськин, А.А. Удалова, П.Ю. Волкова, Д.В. Васильев, Н.С. Дикарева, А.Г. Кузьменков, Д.О. Помелова* ……*245*

ВЛИЯНИЕ КОРЕННОГО УЛУЧШЕНИЯ СУХОДОЛЬНОГО ЛУГА НА ПЕРЕХОД $^{90}$Sr В ТРАВОСТОЙ *И.В. Гешель, Д.В. Крыленкин* ……..….*246*

ОСОБЕННОСТИ ВЕРТИКАЛЬНОЙ МИГРАЦИИ РАДИОНУКЛИДОВ В ПРОФИЛЕ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ ПОЧВ БЛИЖНЕЙ ЗОНЕ АВАРИИ НА ЧАЭС *В.В. Головешкин, А.Н.Чудинов* ……*247*

РОЛЬ ПОЛИВАРИАНТНОСТИ РАЗВИТИЯ МЕЛКИХ МЛЕКОПИТАЮЩИХ В ОЦЕНКЕ ПОСЛЕДСТВИЙ РАДИАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ *Григоркина Е.Б. Оленев Г.В., Тарасов О.В.* ……...……*248*

РЕЗУЛЬТАТЫ ДОЛГОВРЕМЕННОГО РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ В ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ ЗОНЕ ОТЧУЖДЕНИЯ *Д.И. Гудков, С.И. Киреев, С.М. Обризан, А.Е. Каглян, А.Б. Назаров, В.В. Беляев, В.Г. Кленус, К.Д. Ганжа* ……*249*

ЭФФЕКТЫ ХРОНИЧЕСКОГО РАДИАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ У ГИДРОБИОНТОВ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ ЗОНЫ ОТЧУЖДЕНИЯ НА РАЗЛИЧНЫХ УРОВНЯХ ОРГАНИЗАЦИИ БИОСИСТЕМ *Д.И. Гудков, Н.Л. Поморцева, Е.В. Дзюбенко, Н.Л. Шевцова, Н.К. Родионова, А.Е. Каглян, А.Б. Назаров* ……...*250*

ОСНОВЫ РАДИОЭКОЛОГИИ ЧЕРНОГО МОРЯ (к 85-летию академика Г.Г. Поликарпова) *С.Б. Гулин, В.Н. Егоров* ……....….*251*

НАКОПЛЕНИЕ РАДИОНУКЛИДОВ МИЦЕЛИЕМ И ПЛОДОВЫМИ ТЕЛАМИ ГРИБОВ В ПРИРОДНЫХ И ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ *Д.В. Дементьев, Н.С. Мануковский, Ю.В. Александрова* ……..*252*

ОСОБЕННОСТИ КОРМОПРОИЗВОДСТВА НА ЗАГРЯЗНЕННЫХ РАДИОНУКЛИДАМИ ЗЕМЛЯХ ГОМЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ *Демидович С.А.* …..….*253*

ДЕЙСТВИЕ БИОТИЧЕСКОГО И РАДИАЦИОННОГО СТРЕССА НА РАСТЕНИЯ В 30-КИЛОМЕТРОВОЙ ЗОНЕ ОТЧУЖДЕНИЯ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС *Дмитриев А.П., Гродзинский Д.М., Гуща Н.И.*……...*254*

ОЦЕНКА ВКЛАДА $^{241}$Am В РАДИАЦИОННО-ЭКОЛОГИЧЕСКУЮ СИТУАЦИЮ В ЧЁРНОМ МОРЕ ПОСЛЕ АВАРИИ НА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС *Дука М.С., Терещенко Н.Н.* ……..……. *255*

К ОЦЕНКЕ РАДИАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ИОНИЗИРУЮЩЕЙ РАДИАЦИИ НА ОРГАНИЗМ ОВЕЦ *В.Г. Епимахов, О.К. Власов, А.В. Васильев* ……..….*256*

ОЦЕНКА ТОКСИЧНОСТИ И ГЕНОТОКСИЧНОСТИ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ В ЗОНЕ РАДИАЦИОННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ Р.ЕНИСЕЙ С ПОМОЩЬЮ ВОДНЫХ РАСТЕНИЙ *Т.А.Зотина, М.Ю.Медведева, Е.А.Трофимова, А.Я.Болсуновский* ……....*257*

НАКОПЛЕНИЕ ТЕХНОГЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ ИХТИОФАУНОЙ р.ЕНИСЕЙ ДО И ПОСЛЕ ОСТАНОВКИ РЕАКТОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА НА ГОРНО-ХИМИЧЕСКОМ КОМБИНАТЕ *Т.А.Зотина, Е.А.Трофимова, Д.В.Дементьев, А.Я.Болсуновский* ……..…….*258*

ЕСТЕСТВЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ И ТЕХНИЧЕСКИЙ СПОСОБ РЕАБИЛИТАЦИИ ЗАГРЯЗНЕННЫХ ДОЛГОЖИВУЩИМИ РАДИОНУКЛИДАМИ ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ ГОМЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ *А.В.Зубарева, А.Г.Кравцов, А.Н.Никитин, С.В.Зотов* ……..…….*259*

ВЛИЯНИЕ МИКРОФЛОРЫ ПОЧВЫ НА ПОСТУПЛЕНИЕ РАДИОНУКЛИДОВ В РАСТЕНИЯ *В.В. Ильенко, Е.Ю. Паренюк, И.Н. Гудков* ……..….*260*

ВЛИЯНИЕ РАДИОАКТИВНЫХ ВЫБРОСОВ АЭС «ФУКУСИМА-1» НА СРЕДУ ЕВРО-АРКТИЧЕСКОГО РЕГИОНА *Г.В. Ильин, Н.Е. Касаткина, И.С. Усягина, Г.Г. Матишов* ……..…….*261*

ВЛИЯНИЕ ФЕРРОЦИНА И ПРЕМИКСА НА ПЕРЕХОД $^{137}$*Cs* В МОЛОКО КРС НА ТЕХНОГЕННО ЗАГРЯЗНЕННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ *Н.Н. Исамов(мл.) ,П.Н. Цыгвинцев, О.С. Губарева* ……*262*

СОВРЕМЕННЫЕ УРОВНИ РАДИОНУКЛИДНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ РЫБ ВОДОЕМОВ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ ЗОНЫ ОТЧУЖДЕНИЯ *А.Е. Каглян, Д.И. Гудков, В.Г. Кленус, З.О. Широкая, А.Б. Назаров, Л.П. Юрчук* ……...…….*263*

ОСОБЕННОСТИ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НАКОПЛЕНИЯ РАДИОНУКЛИДОВ ($^{137}$Cs, $^{90}$Sr) ВЫСШЕЙ ВОДНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТЬЮ ОЗЕРА ПЕРСТОК ПОСЛЕ АВАРИИ НА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС *С.А.Калиниченко* ……...*264*

ОСОБЕННОСТИ ЛАТЕРАЛЬНОЙ МИГРАЦИИ $^{137}$Cs, $^{90}$Sr, $^{241}$Am В ПОЧВЕ СОСНОВОГО ЛЕСА С НИЗКИМ УГВ НА ТЕРРИТОРИИ ЗОНЫ ОТЧУЖДЕНИЯ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС *С.А.Калиниченко* …….*265*

НАКОПЛЕНИЕ РАДИОНУКЛИДОВ ($^{137}$Cs, $^{90}$Sr) ВЫСШИМИ ГИДРОФИТАМИ РАЗЛИЧНЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ГРУПП В УСЛОВИЯХ ЗОНЫ ОТЧУЖДЕНИЯ АВАРИИ НА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС *С.А.Калиниченко, Ю.Д.Марченко, О.А.Шуранкова*…….…….*266*

УРОВЕНЬ ПОВРЕЖДЕНИЯ И СКОРОСТЬ РЕПАРАЦИИ ДНК В КЛЕТКАХ ДОЖДЕВЫХ ЧЕРВЕЙ ИЗ ПОПУЛЯЦИЙ, ДЛИТЕЛЬНОЕ ВРЕМЯ ОБИТАЮЩИХ В ПОЧВЕ С ПОВЫШЕННЫМ СОДЕРЖАНИЕМ РАДИОНУКЛИДОВ И ДРУГИХ ХИМИЧЕСКИХ МУТАГЕНОВ *А.В. Канева, Е.С. Белых, Т.А. Майстренко, Д.М. Шадрин, Я.И. Пылина, И.О. Велегжанинов* …….*267*

ИСКУССТВЕННЫЕ РАДИОНУКЛИДЫ В СЪЕДОБНЫХ ДИКОРАСТУЩИХ ГРИБАХ И ЯГОДАХ МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ *Н.Е. Касаткина, Д.А. Валуйская, Г.Г. Матишов* ……..…….*268*

ПРАКТИКА И ПОДХОДЫ ВОЗВРАЩЕНИЯ К НОРМАЛЬНЫМ УСЛОВИЯМ ЖИЗНИ РЕГИОНОВ, ПОСТРАДАВШИХ В РЕЗУЛЬТАТЕ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АВАРИИ В УКРАИНЕ *В.А. Кашпаров* …….*269*

НАКОПЛЕНИЕ $^{137}$*CS* В ЗЕРНЕ ГРЕЧИХИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СОРТОВОЙ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ *Н.А. Кимаковская* …….*270*

СОДЕРЖАНИЕ РАДИОНУКЛИДОВ В ПРОДУКЦИИ ПЧЕЛОВОДСТВА, ПОЛУЧЕННОЙ НА ТЕРРИТОРИЯХ ПОДВЕРГШИХСЯ РАДИОАКТИВНОМУ ЗАГРЯЗНЕНИЮ ПОСЛЕ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ КАТАСТРОФЫ *Е.А. Клементьева, А.Н. Никитин* ……...…….*271*

СОДЕРЖАНИЕ СВИНЦА-210 И ПОЛОНИЯ-210 В ПОЧВАХ ЮГО-ВОСТОЧНЫХ РЕГИОНОВ БЕЛАРУСИ *Е.А. Клементьева, С.В. Овсянникова* …….*272*
НАКОПЛЕНИЕ РАДИОНУКЛИДОВ $^{137}$*Cs* И $^{90}$*Sr* СОРТАМИ КАРТОФЕЛЯ НА ПОЧВАХ РАЗЛИЧНОГО ТИПА *Л.И.Козлова* …….*273*

КАМЕРНАЯ МОДЕЛЬ ТРАНСПОРТА ПОЛИДИСПЕРСНЫХ РАДИОАКТИВНЫХ ЧАСТИЦ В ПИЩЕВАРИТЕЛЬНОМ ТРАКТЕ КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА *Г.В. Козьмин, В.Г. Епимахов*……..……. *274*

МИГРАЦИЯ РАДИОНУКЛИДОВ ПОСЛЕ ПОЖАРОВ В РАДИОАКТИВНО ЗАГРЯЗНЕННЫХ ЛЕСАХ *Г.А. Кононова, И.И. Марадудин* …….…….*275*

РЕЗУЛЬТАТЫ РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ РЯДА МАЛЫХ РЕК, ОТНОСЯЩИХСЯ К ОБЬ - ИРТЫШСКОМУ РЕЧНОМУ БАССЕЙНУ *А.В.Коржавин, А.В.Трапезников, В.Н.Трапезникова, А.П.Платаев, Е.И.Попова* …….*276*

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ СОДЕРЖАНИЯ КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА НА ПЕРЕХОД ТУЭ В МОЛОЧНУЮ ПРОДУКЦИЮ *Король Р.А.* ……..…….*277*

РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ: ПРИНЦИПЫ, КРИТЕРИИ, ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ НОРМАТИВЫ *И.И.Крышев, Т.Г.Сазыкина ……..278*

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА БИОХИМИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ В ТКАНЯХ МЫШЕВИДНЫХ ГРЫЗУНОВ НА СОВМЕСТНОЕ ДЕЙСТВИЕ ФИЗИЧЕСКИХ И ХИМИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ В МАЛЫХ ДОЗАХ *А.Г. Кудяшева., Н.Г. Загорская., О.Г. Шевченко, Л.Н. Шишкина ……..…….279*

МОНИТОРИНГ НАЗЕМНЫХ (ПРИРОДНЫХ И АГРАРНЫХ) ЭКОСИСТЕМ В РЕГИОНЕ РАЗМЕЩЕНИЯ КУРСКОЙ АЭС *Кузнецов В.К., Санжаров А.И., Прохорова Т.В., Салимова И.В. ……. 280*

ВЛИЯНИЕ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ И ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА КАЧЕСТВО И РЕПРОДУКТИВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СЕМЯН СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ *Кузьменков А.Г., Васильев Д.В. …….281*

ОЦЕНКА ДОЗОВЫХ НАГРУЗОК НА БИОТУ В РАЙОНЕ РАСПОЛОЖЕНИЯ БЕЛОЯРСКОЙ АЭС *В.Э. Куртмулаева, Е.И. Карпенко, С.И. Спиридонов ……..…….282*

ПРОБЛЕМЫ РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ ЭКОСИСТЕМ *Ю.А. Кутлахмедов, И.В.Матвеева, В.В.Родина……..……. 283*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ АРЕАЛА И ПЛОЩАДИ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ТЕРРИТОРИИ В РЕЗУЛЬТАТЕ ПОСТУПЛЕНИЯ РАДИОНУКЛИДА *Sr-90* С ГРУНТОВЫМИ ВОДАМИ *Лаврентьева Г.В., Мирзеабасов О.А. …….284*

АККУМУЛИРОВАНИЕ ПОЛОНИЯ-210 ЧЕРНОМОРСКИМ МИКРОПЛАНКТОНОМ *Г.Е. Лазоренко, В.С. Муханов, О.А. Рылькова, Д.Е. Пейдус ……..…….285*

РАДИОАКТИВНЫЕ ОТХОДЫ И ПРОБЛЕМЫ РАДИОЭКОЛОГИИ *И.И. Линге, С.С. Уткин ……..…….286*

ВЛИЯНИЕ ПОЧВЕННЫХ СВОЙСТВ НА КОЭФФИЦИЕНТЫ КВАЗИДИФФУЗИИ РАДИОЦЕЗИЯ В СЕРЫХ ЛЕСНЫХ ПОЧВАХ *Д.Н.Липатов, А.И.Щеглов 287*

РАДИАЦИОННЫЕ И ПОСТРАДИАЦИОННЫЕ ЭФФЕКТЫ ХРОНИЧЕСКОГО ГАММА-ОБЛУЧЕНИЯ СЕМЯН И ПРОРОСТКОВ *A. THALIANA* В МАЛЫХ ДОЗАХ *Литвинов С.В. ……. 288*

МОДИФИЦИРУЮЩЕЕ ВЛИЯНИЕ РЕГУЛЯТОРОВ РОСТА РАСТЕНИЙ НА РАЗВИТИЕ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ В ПОЧВЕ, ЗАГРЯЗНЕННОЙ $^{137}Cs$ И *Cd Н.Н. Лой, Н.И. Санжарова ……..…….289*

СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА БЕЗОПАСНЫХ УРОВНЕЙ ОБЛУЧЕНИЯ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ ВОДНОЙ И НАЗЕМНОЙ ФАУНЫ *Лунёва К.В. ……..…….290*

ОЦЕНКА БИОЛОГИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ У ВТОРОГО ПОСЛЕАВАРИЙНОГО ПОКОЛЕНИЯ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ ПО МОРФОЛОГИЧЕСКИМ ПОКАЗАТЕЛЯМ ХВОИ *Е.С.Макаренко, А.В.Телюева, А.А.Удалова ……..…….291*

АЛГОРИТМЫ ИМИТАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ ПОВЕДЕНИЯ $^{90}Sr$ И $^{137}Cs$ В ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ *С.В.Мамихин, Манахов Д.В. ……292*

КЛАССИФИКАЦИЯ РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ *И.И. Марадудин, А.Н. Раздайводин, А.И. Радин, Д.Ю.Ромашкин, А.П.Рябинков……293*

РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ НАДЕЖНОСТЬ ЛОКАЛЬНОЙ АГРОЭКОСИСТЕМЫ *И. В. Матвеева ……294*

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ МОРСКИХ ЭКОСИСТЕМ БАРЕНЦЕВО-КАРСКОГО РЕГИОНА *Г.Г. Матишов, Д.Г. Матишов, И.С. Усягина, Д.А. Валуйская* ……295

НАУЧНЫЕ ПОДХОДЫ К ОБЕСПЕЧЕНИЮ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ЖИВОТНОВОДСТВА НА ТЕХНОГЕННО ЗАГРЯЗНЕННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ *Э.Б. Мирзоев, В.О. Кобялко* ……296

$^{90}$Sr В СОЛЁНЫХ ОЗЕРАХ КРЫМА ПОСЛЕ АВАРИИ НА ЧАЭС *Н.Ю. Мирзоева, С.И. Архипова, Н.Ф. Коркишко, В.Н. Поповичев* ……..297

НАКОПЛЕНИЕ РАДИОНУКЛИДОВ ГЛОБАЛЬНЫХ ВЫПАДЕНИЙ РАСТЕНИЯМИ НАЗЕМНЫХ ЭКОСИСТЕМ *Л.Н. Михайловская, И.В. Молчанова* ……....298

СОВРЕМЕННЫЕ ОЦЕНКИ ИНТЕГРАЛЬНЫХ ЗАПАСОВ $^{90}$Sr $^{137}$Cs и $^{239,240}$Pu В ПОЧВАХ ГОЛОВНОЙ ЧАСТИ ВОСТОЧНО-УРАЛЬСКОГО РАДИОАКТИВНОГО СЛЕДА И СОПРЕДЕЛЬНЫХ ТЕРРИТОРИЙ *И.В.Молчанова, Л.Н.Михайловская, К.Л.Антонов, Е.В.Антонова, В.Н.Позолотина* …….299

ПРИМЕНЕНИЕ ОРГАНОМИНЕРАЛЬНЫХ СОРБЕНТОВ НА ЗАГРЯЗНЕННЫХ РАДИОНУКЛИДАМИ ПОЧВАХ БЕЛАРУСИ *Л.Н. Москальчук, А.А. Баклай, Т.Г. Леонтьева* …….300

ЭФФЕКТЫ ДЕЙСТВИЯ РАДИАЦИОННЫХ ФАКТОРОВ НА ГЕНЕРАЦИЮ МАГНИТНЫХ НАНОЧАСТИЦ В РАСТЕНИЯХ *А.Н.Насибова, Р.И.Халилов* ……301

ФУНКЦИОНАЛЬНО-МЕТАБОЛИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ДЕЙСТВИЯ РАДИАЦИИ НА ПРИРОДНЫЕ ПОПУЛЯЦИИ ГРЫЗУНОВ В ЗОНЕ ВУРСа *Н.А. Орехова, М.В. Модоров* ……...…….302

ДЕПОНИРОВАНИЕ ЦЕЗИЯ-137 В НАДЗЕМНОЙ И ПОДЗЕМНОЙ ФРАКЦИЯХ ФИТОМАССЫ ТРАВЯНИСТЫХ СООБЩЕСТВ ПЛАВСКОГО РАДИОАКТИВНОГО ПЯТНА *Т.А.Парамонова, Е.Н.Мачаева, В.Р.Беляев* ……303

ОЦЕНКА РОЛИ ЛЕСОПОЛОС В ПРОСТРАНСТВЕННОМ РАСПРЕДЕЛЕНИИ ЦЕЗИЯ-137 В ПАХОТНЫХ ПОЧВАХ АГРОЛАНДШАФТОВ *Т.А.Парамонова, А.И.Семенихин, Я.В.Матвеев, А.О.Гаврюченкова*……... 304

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЦЕЗИЯ-137 ПО АГРЕГАТНЫМ ФРАКЦИЯМ ПАХОТНЫХ ЧЕРНОЗЕМОВ СКЛОНОВОГО ЛАНДШАФТА *Т.А.Парамонова, А.М.Туник, Е.Н.Шамшурина, А.П.Жидкин* ……....305

НАКОПЛЕНИЕ АМЕРИЦИЯ-241, ПЛУТОНИЯ-239,240, ЕВРОПИЯ-154 И ЦЕЗИЯ-137 В ПЕЧЕНИ ДИКИХ КОПЫТНЫХ В БРЯНСКОЙ ОБЛАСТИ. *А.Н. Пельгунов, Л.А. Пельгунова.* ……..… 306

ОЦЕНКА ПОВЕРХНОСТНОЙ АКТИВНОСТИ $^{137}Cs$ ГЛОБАЛЬНОГО И ЧЕРНОБЫЛЬСКОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ В ЛЕСНЫХ ПОЧВАХ *Т.В. Переволоцкая, А.Н. Переволоцкий*…….307

ОЦЕНКА ВКЛАДА РАЗЛИЧНЫХ ИСЧТОНИКОВ ИЗЛУЧЕНИЯ В ДОЗУ ВНЕШНЕГО ОБЛУЧЕНИЯ ШКОЛЬНИКОВ В СЕЛЬСКОЙ МЕСТНОСТИ *А.Н. Переволоцкий, Е.В. Красовская, Е.В. Великоборец* ……..308

СОДЕРЖАНИЕ $^{40}K$, $^{226}Ra$ И $^{232}Th$ В ЛЕСНЫХ ПОЧВАХ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ ЛЕСОРАСТИТЕЛЬНЫХ УСЛОВИЙ *А.Н. Переволоцкий, Т.В. Переволоцкая* ….……309

ИЗМЕНЕНИЯ В СТРУКТУРЕ МИКРООРГАНИЗМОВ ПРИ ГАММА ОБЛУЧЕНИИ СПЕЦИЙ *Пименов Е.П., Павлов А.Н., Морозова А.И., Спирин Е.В. ……...310*

ОЦЕНКА ДОЗ ОБЛУЧЕНИЯ РАБОТНИКОВ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ОПЕРАЦИЙ НА ЗАГРЯЗНЕННОЙ РАДИОНУКЛИДАМИ ТЕРРИТОРИИ *А.Г. Подоляк, С.А. Тагай, К.Н. Буздалкин, Е.К. Нилова ……..……311*

РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОМЫСЛОВЫХ ВИДОВ РЫБ КИЕВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА *Полякова Н.И., Пельгунова Л.А. ……..312*

АНАЛИЗ ВКЛАДА ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ, ЗАГРЯЗНЕННЫХ РАДИОНУКЛИДАМИ, В ФОРМИРОВАНИЕ ДОЗ ВНУТРЕННЕГО ОБЛУЧЕНИЯ НАСЕЛЕНИЯ НА РАЗЛИЧНЫХ ЭТАПАХ ПОСЛЕ АВАРИИ НА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС *В.В. Пономаренко, А.В. Панов, Е.В. Марочкина ……..…….313*

ИЗУЧЕНИЕ ФИКСАЦИИ $^{137}Cs$ В ПОЧВАХ И МИНЕРАЛЬНЫХ СОРБЕНТАХ С ПОМОЩЬЮ ИЗМЕРЕНИЯ РАДИОАКТИВНОСТИ В ТВЕРДОЙ ФАЗЕ *Попов В.Е., Степина И.А., Маслова К.М. ……..….314*

ВЛИЯНИЕ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИХ ДОБАВОК НА ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЕ ФОРМ $^{137}Cs$ В ПОЧВЕ *Попова О.И., Спиров Р.К., Шуранкова О.А., Шамаль Н.В., Никитин А.Н., Дворник А.А. ……...…….315*

ВЛИЯНИЕ ЛИОФИЛИЗАТА ИЗ ЩИРИЦЫ ЗАПРОКИНУТОЙ НА ФИЗИОЛО-БИОХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОРОСТКОВ ПШЕНИЦЫ ПРИ ОСТРОМ ПРЕДПОСЕВНОМ ГАММА-ОБЛУЧЕНИИ ЗЕРНОВОК *Е.Р. Поскачина, И.В. Воронов, Журавская А.Н., И.В. Слепцов ……....316*

РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ СИСТЕМЫ ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ НА РАДИОАКТИВНО ЗАГРЯЗНЕННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДЕЛИ ПОВЕДЕНИЯ РАДИОНУКЛИДОВ В СИСТЕМЕ «ПОЧВА – РАСТЕНИЕ» *Б.С. Пристер, В.Д. Виноградская……..……. 317*

РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ КОММУНАЛЬНЫХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ АВАРИЙ С ВЫБРОСОМ РАДИОНУКЛИДОВ В ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ *Б.С. Пристер…….…….318*

$^{241}$Pu В ЧЁРНОМ МОРЕ *В.Ю. Проскурнин, Н.Н. Терещенко ……..….319*

ИССЛЕДОВАНИЕ ИХТИОФАУНЫ РАДИОАКТИВНО-ЗАГРЯЗНЕННОЙ РЕКИ ТЕЧА *Е.А. Пряхин, Г.А. Тряпицына, Д.И. Осипов, Е.А. Шишкина, И.А. Шапошникова, Е.А. Егорейченков, Г. Рудольфсен, Х.-К. Тейен, А.В. Аклеев ……...……320*

ОБ ИЗМЕНЕНИИ КОЭФФИЦИЕНТОВ ПЕРЕХОДА РАДИОНУКЛИДОВ ПОСЛЕ «СВЕЖИХ» ВЫПАДЕНИЙ *С.В.Пугаев ……...……321*

ФАЗОВОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ И МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА СОДЕРЖАНИЯ ЕСТЕСТВЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ В ИМПАКТНЫХ ВОДОЁМАХ БЫВШЕГО РАДИЕВОГО ПРОМЫСЛА *Рачкова Н.Г., Шуктомова И.И. ……322*

РЕГЛАМЕНТАЦИЯ ЗАЩИТНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЛЕСОВ, ЗАГРЯЗНЕННЫХ РАДИОНУКЛИДАМИ *Д.Ю.Ромашкин, И.И. Марадудин, А.П.Рябинков, А.Н. Раздайводин, А.И. Радин ……...…….323*

ОЦЕНКА РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ ПРИ ХРАНЕНИИ И ЗАХОРОНЕНИИ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ *Т.Г.Сазыкина, И.И.Крышев …….324*

ВОЗДЕЛЫВАНИЕ ДОННИКА БЕЛОГО В ЮЖНЫХ РАЙОНАХ БЕЛОРУССКОГО ПОЛЕСЬЯ, ПОСТРАДАВШИХ В РЕЗУЛЬТАТЕ КАТАСТРОФЫ НА ЧАЭС
*Самусев А.М.* ……*325*

ВОЗВРАЩЕНИЕ ПОСТРАДАВШИХ ПОСЛЕ АВАРИИ ЧАЭС ТЕРРИТОРИЙ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ К НОРМАЛЬНОЙ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ: ПОДХОДЫ, КРИТЕРИИ, ПРОЦЕДУРЫ *Н.И. Санжарова* ……...….*326*

ЗАДАЧИ РАЗВИТИЯ РАДИАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО ПРОФИЛЯ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ *Н.И. Санжарова, С.А. Гераськин, Г.В. Козьмин, В.О. Кобялко, В.Я. Саруханов* ……*327*

ЗАВИСИМОСТЬ РАДИОЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ СВИНЕЙ ОТ ЖИВОЙ МАССЫ
*Саруханов В.Я., Конюхов Г.В., Колганов И.М.* ……*328*

О ВОЗМОЖНОСТИ ВОЗВРАЩЕНИЯ В ОБОРОТ ЗЕМЕЛЬ, ВЫВЕДЕННЫХ ПОСЛЕ КАТАСТРОФЫ НА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС *Седукова Г.В., Исаченко С.А.* …….*329*

РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ $^{234}$ТН В ЧЕРНОМ МОРЕ
*Сидоров И. Г.* ……...….*330*

ОЦЕНКА РАДИАЦИОННО-ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ БАЛАКОВСКОЙ И КОЛЬСКОЙ АЭС НА ВОДНУЮ БИОТУ ПО ДАННЫМ МОНИТОРИНГА РАДИАЦИОННОЙ ОБСТАНОВКИ *М.А. Скакунова* …….……*331*

РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В МЕСТАХ ПРОВЕДЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ И ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ НА РАДИОАКТИВНОЕ СЫРЬЕ В ЯКУТИИ *П.И.Собакин, Я.Р.Герасимов, А.А.Перк…..332*

БИОЛОГИЧЕСКАЯ ДОСТУПНОСТЬ АМЕРИЦИЯ РАСТЕНИЯМ И ВОЗМОЖНОСТИ ЕЕ УМЕНЬШЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ ГУМИНОВОКИСЛОТНЫХ ПРЕПАРАТОВ
*Г.А. Соколик, С.В. Овсянникова, Т.Г. Иванова, М.В. Попеня, С.Л. Лейнова* ……..*333*

ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ РЕАБИЛИТАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ НА РАДИОАКТИВНО ЗАГРЯЗНЕННЫХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ УГОДЬЯХ *Н.А. Сотникова, А.В. Панов* …….*334*

РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ РИСКИ ПРИ НОРМАЛИЗОВАННЫХ И АВАРИЙНЫХ ВЫБРОСАХ ПРЕДПРИЯТИЙ ЯДЕРНОГО ТОПЛИВНОГО ЦИКЛА *С.И. Спиридонов, Е.И. Карпенко, Р.А. Микаилова, Л.А. Шарпан, В.Э. Куртмулаева* …….*335*

БАЛАНС ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ОПАСНОСТИ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ ЯДЕРНОГО ТОПЛИВНОГО ЦИКЛА И ПРИРОДНОГО УРАНА ДЛЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ *Е.В. Спирин, Р.М. Алексахин, С.И. Спиридонов* ……..*336*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОДЗЕМНЫХ ВОД – ИСТОЧНИК ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ОБЛУЧЕНИЯ НАСЕЛЕНИЯ И ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ *И.П.Стамат, Э.П.Лисаченко*…….. *337*

ВЛИЯНИЕ ИОНИЗИРУЮЩЕГО И ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЙ НА КРОВЕНОСНУЮ СИСТЕМУ ЖИВОТНЫХ *Д.Г. Сташкевич, Е.М. Кадукова, М.А. Бакшаева, Д.В. Тютрюмова, А.Д. Наумов* ……....*338*

ЗАВИСИМОСТЬ СЕЛЕКТИВНОЙ СОРБЦИИ $^{137}$Cs ПОЧВАМИ И СОРБЕНТАМИ ОТ КОНЦЕНТРАЦИИ $K^+$, $NH_4^+$ И $Ca^{2+}$ *Степина И.А., Попов В.Е.* …….*339*

РАЗРАБОТКА ГЕОФИЛЬТРАЦИОННО-ГЕОМИГРАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ПОЛИГОНА ЗАХОРОНЕНИЯ ЖРО «СЕВЕРНЫЙ» *В.В.Сускин, В.А.Иванов …….340*

ОЦЕНКА РАДИАЦИОННОГО РИСКА И ХАРАКТЕРИСТИКА ЕГО НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЕЙ ДЛЯ БИОЦЕНОЗА РЕГИОНАЛЬНОГО ХРАНИЛИЩА РАО *Б.И.Сынзыныс, О.А.Мирзеабасов, Г.В.Лаврентьева, О.А.Момот, Р.Р.Шошина 341*

ОСОБЕННОСТИ МИГРАЦИИ ПЛУТОНИЯ В ЧЁРНОМ МОРЕ ПОСЛЕ АВАРИИ НА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС *Н.Н. Терещенко, С.Б. Гулин, В.Ю. Проскурнин, В.Н. Егоров…….. 342*

ВКЛАД ЗЕЛЕННЫХ ОВОЩНЫХ КУЛЬТУР В ФОРМИРОВАНИЕ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ДОЗЫ ВНУТРЕННЕГО ОБЛУЧЕНИЯ НАСЕЛЕНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ *Е.А.Тимченко ……..….343*

ИЗУЧЕНИЕ ВКЛАДА РЕК ОБЬ И ИРТЫШ В РАДИОАКТИВНОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ КАРСКОГО МОРЯ *А.В.Трапезников, В.Н.Трапезникова, А.В.Коржавин, А.П.Платаев 344*

РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ВОДОЕМА-ОХЛАДИТЕЛЯ БЕЛОЯРСКОЙ АЭС В РЕЗУЛЬТАТЕ МНОГОЛЕТНЕЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ АТОМНОЙ СТАНЦИИ *В.Н.Трапезникова, А.В.Трапезников, А.В.Коржавин, А.П.Платаев…….. 345*

СОСТОЯНИЕ ПЕРИФЕРИЧЕСКОЙ КРОВИ У РЫБ, ОБИТАЮЩИХ В РАДИОАКТИВНО ЗАГРЯЗНЕННОЙ РЕКЕ ТЕЧА *Г.А. Тряпицына, Г. Рудольфсен, И.А. Шапошникова, Е.А. Шишкина, Н.А. Обвинцева, Е.А. Пряхин, А.В. Аклеев …..….346*

РАДИАЦИОННАЯ ЗАЩИТА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ: СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ *А.А.Удалова …….347*

РЕКОНСТРУКЦИЯ ПОТОКОВ $^{137}$Cs И $^{90}$Sr В БАРЕНЦЕВОМ МОРЕ *И.С. Усягина, Н.Е. Касаткина, Д.Г. Матишов …….348*

СОВРЕМЕННАЯ ГИГИЕНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА РАДИАЦИОННОЙ ОБСТАНОВКИ НА ТЕРРИТОРИЯХ, ПРИЛЕГАЮЩИХ К МЕСТАМ ПРОВЕДЕНИЯ МИРНЫХ ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ *Е.В. Храмцов, В.П. Рамзаев, В.С. Репин, К.В. Шилова……. 349*

ОСОБЕННОСТИ БИОЛОГИЧЕСКОГО КРУГОВОРОТА $^{137}$CS И ИЗОТОПОВ КАЛИЯ В ЛЕСНЫХ И АГРОФИТОЦЕНОЗАХ ЛЕСОСТЕПИ В ОТДАЛЕННЫЙ ПЕРИОД ПОСЛЕ ЧЕРНОБЫЛЬСКИХ ВЫПАДЕНИЙ. *О.Б.Цветнова, А.И.Щеглов, А.А. Касацкий ……..….350*

АНАЛИЗ КОМПОНЕНТОВ РАДОНОВОГО ПОКАЗАТЕЛЯ, УКАЗЫВАЮЩЕГО НА НАЛИЧИЕ РАДОНА В ПОЧВЕ *Л.А.Чунихин, А.Л.Чеховский, Д.Н.Дроздов ……....351*

МОДИФИКАЦИЯ γ-ОБЛУЧЕНИЕМ СЕМЯН РАЗВИТИЯ РАСТЕНИЙ ЯЧМЕНЯ НА РАННИХ ЭТАПАХ ОНТОГЕНЕЗА *Чурюкин Р.С., Гераськин С.А. ……. 352*

ВНЕКОРНЕВОЕ ПОСТУПЛЕНИЕ ТРАНСУРАНОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В РАСТЕНИЯ ЛУГОВОЙ ЭКОСИСТЕМЫ *Н.В.Шамаль, Р.А.Король, Е.А.Клементьева, А.Н.Никитин, Ю.К.Симончик …….353*

МИГРАЦИЯ ЦЕЗИЯ-137 В ГЕОКОМПЛЕКСАХ СРЕДНЕРУССКОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИ *Е.Н. Шамшурина, В.Н. Голосов, В.Р. Беляев, М.М. Иванов, М.В. Маркелов …….354*

ОЦЕНКА ВКЛАДА В ДОЗУ ВНУТРЕННЕГО ОБЛУЧЕНИЯ НАСЕЛЕНИЯ, ПРОЖИВАЮЩЕГО НА ЗАГРЯЗНЕННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ БРЯНСКОЙ ОБЛАСТИ, В РЕЗУЛЬТАТЕ ПОТРЕБЛЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ГРИБОВ-АККУМУЛЯТОРОВ.
*К.В. Шилова, В.С. Репин …….…….355*

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В ОЦЕНКЕ ВЫБРАКОВКИ КОРОВ ПРИ ВЛКРС НА ТЕРРИТОРИИ ЧЕЛЯБИНСКОЙ ОБЛАСТИ *Н.А. Шкаева, А.Э. Шкаев ……...…….356*

РАДИОАКТИВНОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ ИЗОТОПАМИ $^{235}U/^{238}U$ ЗОНЫ ОТЧУЖДЕНИЯ ЧАЭС И ПРИЛЕГАЮЩЕЙ К НЕЙ ТЕРРИТОРИИ
*Шуранкова О.А., Никитин А.Н., Бажанова Н.Н., Попова О.И…….357*

ИЗМЕНЕНИЕ ЦИТОГЕНЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК В КЛЕТКАХ КРОВИ *RANA ARVALIS*, ОБИТАЮЩИХ НА РАДИАЦИОННО-ЗАГРЯЗНЕННОЙ ТЕРРИТОРИИ *Юшкова Е.А., Боднарь И.С., Зайнуллин В.Г. ……...358*

**СОВМЕСТНОЕ ЗАСЕДАНИЕ**
**СЕКЦИЯ 8.**
**РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ И НОРМИРОВАНИЕ.**
**РАДИАЦИОННАЯ ФИЗИКА И ДОЗИМЕТРИЯ.**
**СЕКЦИЯ 9.**
**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ РАДИОБИОЛОГИИ.**
**СИСТЕМНАЯ РАДИОБИОЛОГИЯ.** *…….359*

МОНИТОРИНГ $^{131}I$ В АТМОСФЕРНОМ ВОЗДУХЕ Г. ОБНИНСКА КАЛУЖСКОЙ ОБЛАСТИ *Н.В. Агеева ……...…….360*

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМОЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ ДОЗИМЕТРОВ ДТГ-4 И ТЛД-1011(Т) ДЛЯ ДОЗИМЕТРИИ В ПУЧКАХ ЛЕГКИХ ИОНОВ *А.Г.Алексеев, Н.А.Карпов……. 361*

СООТНОШЕНИЕ ДОЗА-ЭФФЕКТ ДЛЯ НЕСТАБИЛЬНОСТИ ХРОМОСОМ, ИНДУЦИРОВАННОЙ РЕДКОИОНИЗИРУЮЩЕЙ РАДИАЦИЕЙ В КЛЕТКАХ СНО-К1 *Андреев С.Г.Пятенко В.С., Хвостунов И.К., Эйдельман Ю.А. ……..362*

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ РАДИОНУКЛИДОВ ПРИ ГОРЕНИИ РАДИОАКТИВНОГО ГРАФИТА *Н.М. Барбин ……...363*

ОСОБЕННОСТИ РАДИАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ И НОРМИРОВАНИЯ УСТАНОВОК, ИСПОЛЬЗУЮЩИХ ОГРАНИЧЕННЫЕ СКАНИРУЮЩИЕ ПУЧКИ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ *А.Н.Барковский, Н.В.Титов …….364*

СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ $^{137}Cs$ В ВОДНОЙ СРЕДЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЖИДКОСТНО-СЦИНТИЛЛЯЦИОННОЙ СПЕКТРОМЕТРИИ *О.Н. Бей, В.Ю. Проскурнин, С.Б. Гулин…….. 365*

К ВОПРОСУ ОБОСНОВАНИЯ ПОВТОРНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ОТХОДОВ, СОДЕРЖАЩИХ РАДИОНУКЛИДЫ *П.А. Блохин, Ю.Е. Ванеев, С.В. Панченко ……...…….366*

РАДИАЦИОННО-ГИГИЕНИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ И ТРЕБОВАНИЯ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ ПРОЦЕДУРЫ ПЕРЕХОДА НАСЕЛЕНИЯ, ПРОЖИВАЮЩЕГО НА РАДИОАКТИВНО ЗАГРЯЗНЕННЫХ ВСЛЕДСТВИЕ АВАРИИ НА ЧАЭС ТЕРРИТОРИЯХ, К УСЛОВИЯМ НОРМАЛЬНОЙ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ
*А.Н. Барковский, Г.Я. Брук, И.К. Романович …….367*

ВЛИЯНИЕ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ НА ТРАНСПОРТ СИГНАЛОВ В НЕРВНОЙ СИСТЕМЕ *Бугай А.Н., Пархоменко А.Ю.* ……*368*

МЕТОДИЧЕСКОЕ И НАУЧНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОВЕДЕНИЯ ПЕРВИЧНОЙ РЕГИСТРАЦИИ РАО В ЧАСТИ ОТНЕСЕНИЯ НАКОПЛЕННЫХ РАО К ОСОБЫМ РАО *М.В. Ведерникова* ……...…….*369*

ВОЗМОЖНОСТИ СНИЖЕНИЯ ДОЗ ПАЦИЕНТОВ В ЦИФРОВОЙ РЕНТГЕНОГРАФИИ ОРГАНОВ ГРУДНОЙ КЛЕТКИ *Водоватов А. В., Камышанская И.Г., Дроздов А. А.* ……..….*370*

АЛГОРИТМ ДЛЯ РАСЧЕТА ДОЗ ВНУТРЕННЕГО ОБЛУЧЕНИЯ ЭМАЛИ ЗУБОВ ОТ $^{90}Sr+^{90}Y$, ИНКОРПОРИРОВАННЫХ В ЗУБНЫХ ТКАНЯХ *А.Ю.Волчкова, Е.А.Шишкин, В.А.Кривощапо, Е.И.Толсты, М.О.Дегтев* ……...…….*371*

РАДИОБИОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ НЕЭФФЕКТИВНОСТИ ЗАЩИТЫ ЛИЦ РЕПРОДУКТИВНОГО ВОЗРАСТА В ОТЕЧЕСТВЕННЫХ НОРМАХ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ *А.П. Ермалицкий, А.М. Лягинская, В.А. Осипов, И.М. Петоян*…… *372*

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ РАДИАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ В ОТДЕЛЕНИИ ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ С ЛИНЕЙНЫМИ МЕДЕЦИНСКИМИ УСКОРИТЕЛЯМИ *Д.М. Защиринский, О.С.Сидоров, Л.В. Владимиров* ……..*373*

ОЦЕНКА РАДИАЦИОННЫХ РИСКОВ НА ИНДИВИДУАЛЬНОМ УРОВНЕ ПРИ МНОГОКРАТНОМ ИСПОЛЬЗОВАНИИ В ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ЦЕЛЯХ КОМПЬЮТЕРНОЙ ТОМОГРАФИИ *В.К. Иванов, В.В. Кащеев, С.Ю. Чекин, А.Н. Меняйло, Е.А. Пряхин*…….…… *374*

РАДИАЦИОННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ МИНЕРАЛЬНОЙ ВОДЫ В САНКТ–ПЕТЕРБУРГЕ *Кадука М.В., Басалаева Л.Н., Гочарова Ю.Н., Салазкина Н.В., Швыдко Н.С., Кадука А.Н.* ……*375*

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ РУТИННОЙ ДОЗИМЕТРИИ ХРУСТАЛИКА ГЛАЗА *Н.А. Карпов, С.Е. Охрименко, С.И. Иванов, О.В. Кирюхин, Н.А. Акопова, А.М. Афиногенов*……..…… *376*

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ФОРМИРОВАНИЯ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ НА РАДИАЦИОННО ОПАСНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ *С.В. Копин, В.В. Степанов 377*

РАДИОЛОГИЧЕСКАЯ БАЗА ДЛЯ ЗАЩИТЫ НАСЕЛЕНИЯ В СИТУАЦИИ АВАРИЙНОГО ОБЛУЧЕНИЯ *В.А. Кутьков* ……..…….*378*

ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ТЕХНОЛОГИЙ РЕДКОМЕТАЛЛЬНОГО СЫРЬЯ И УТИЛИЗАЦИИ ОБРАЗУЮЩИХСЯ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ *Мельник Н.А.* ……..…….*379*

ПРОБЛЕМЫ РАСЧЕТНОГО ОБОСНОВАНИЯ ПЕРИОДА ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ОПАСНОСТИ РАО *О.Г.Мызникова* ……..…….*380*

УПРОЩЕННЫЙ КАСКАДНЫЙ СПОСОБ ДЕЗАКТИВАЦИИ ЖИДКИХ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ СОЕДИНЕНИЙ УГЛЕКИСЛОТЫ, МЕЧЕННЫХ РАДИОИЗОТОПОМ $^{14}C$ *В.Н. Поповичев, В.Д. Чмыр, О.В. Плотицына*……*381*

СИСТЕМАТИЗАЦИЯ СЦЕНАРИЕВ ОБЛУЧЕНИЯ В ПОДСИСТЕМЕ ОЦЕНКИ РИСКОВ ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ РАДИАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ РОСПОТРЕБНАДЗОРА *Репин Л.В., Николаевич М.С.* ……*382*

АНАЛИЗ ИНДУКЦИИ И РЕПАРАЦИИ ДВУНИТЕВЫХ РАЗРЫВОВ ДНК, ИНДУЦИРОВАННЫХ ИОНАМИ АЗОТА *И.В.Сальников, Ю.А.Эйдельман* ……..….*383*

МОДЕЛЬ ДЛЯ ОЦЕНКИ ОТДАЛЕННЫХ ПОСЛЕДСТВИЙ ОБЛУЧЕНИЯ КЛЕТКИ *С.А.Смирнова, С.Ю.Смирнов, А.С.Смирнов* ……..*384*

НОВАЯ ГИПОТЕЗА О СУТИ АДАПТИВНОГО ОТВЕТА *С.А.Смирнова, С.Ю.Смирнов, А.С.Смирнов* ……...…….*385*

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕНОСА РАДИОАКТИВНЫХ И ВРЕДНЫХ ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ В ЗАЩИТНЫХ УКРЫТИЯХ НА РАДИАЦИОННО ОПАСНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ *А.Б. Сулин, В.В. Степанов, Д.В. Неганов, А.А. Седова* ……*386*

ОЦЕНКА ВНУТРЕННЕГО ОБЛУЧЕНИЯ ИНКОРПОРИРОВАННЫМИ РАДИОНУКЛИДАМИ С ПОМОЩЬЮ УСТАНОВКИ СИЧ-Э *В.А. Тарита, В.Б. Фирсанов* ……..……*387*

ОЦЕНКА ОТДАЛЁННЫХ ПОСЛЕДСТВИЙ РАДИАЦИИ С УЧЁТОМ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ВОЗДЕЙСТВИЯ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ЧЕЛОВЕКА *А.Р.Туков, А.П.Бирюков, И.Л.Шафранский* ……...*388*

ИОНИЗИРУЮЩИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ, ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ПОЛЯ СВЕРХВЫСОКИХ ЧАСТОТ, ДРУГИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ И СОЦИАЛЬНЫЕ ФАКТОРЫ В РАМКАХ КОНЦЕПЦИИ УСКОРЕННОГО СТАРЕНИЯ И РИСКА ОТДАЛЕННЫХ НЕБЛАГОПРИЯТНЫХ ПОСЛЕДСТВИЙ ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ ЧЕЛОВЕКА *Шафиркин А.В., Григорьев Ю.Г., Васин А.Л.* ……..*389*

ПРОБЛЕМА ИНДИВИДУАЛЬНОЙ УЯЗВИМОСТИ В ОЦЕНКЕ РАДИАЦИОННОГО РИСКА *И.Л.Шафранский, А.Р. Туков,* ……..….*390*

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ РАДИАЦИОННОЙ ОПАСНОСТИ РАДОНА *Шкрабо И.В., Зуевич Ф.И., Воронин Л.А.* ……*391*

РЕЗУЛЬТАТЫ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ДОЗИМЕТРИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ПЕРСОНАЛА МЕДИЦИНСКИХ УЧРЕЖДЕНИЙ *Е.Н. Шлеенкова* ……..….*392*

РАДИАЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ В ХОДЕ КОСМИЧЕСКИХ ПОЛЁТОВ С УЧАСТИЕМ ЖИВЫХ СИСТЕМ *В.А. Шуршаков, И.Б. Ушаков, В.А. Бондаренко, О.А. Иванова* ……*393*

ИССЛЕДОВАНИЕ ДОЗОВОЙ ЗАВИСИМОСТИ РАДИАЦИОННО-ИНДУЦИРОВАННОЙ НЕСТАБИЛЬНОСТИ ХРОМОСОМ МЕТОДАМИ БИОФИЗИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ *Ю.А.Эйдельман, С.В.Сланина, С.Г.Андреев*……..…. *394*

НЕАДЕКВАТНОСТЬ ОСНОВНЫХ ПОСТУЛАТОВ ДОЗОВОЙ КОНЦЕПЦИИ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ *А. В. Яблоков* ……*395*

**КРУГЛЫЙ СТОЛ.**
**«ПРОБЛЕМЫ РАДИОБИОЛОГИЧЕСКОГО И РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ»** ……...*396*

ПОДГОТОВКА СПЕЦИАЛИСТОВ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА ДЛЯ РАБОТЫ НА РАДИОАКТИВНО ЗАГРЯЗНЕННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ *Асташева Н.П.* …… *397*

РОЛЬ РАДИАЦИОННОЙ БИОХИМИИ В ФОРМИРОВАНИИ МИРОВОЗЗРЕНИЯ И ПОДГОТОВКЕ МЕДИЦИНСКИХ СПЕЦИАЛИСТОВ *Грицук А.И., Свергун В.Т., Коваль А.Н., Сергеенко С.М.* ……..….*398*

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ПРЕПОДАВАНИЯ РАДИОБИОЛОГИИ В СИСТЕМЕ ДОДИПЛОМНОЙ ПОДГОТОВКИ ВРАЧЕЙ *Е.В. Давыдова, Д.А. Сидоров, Н.А. Смирнов, Т.Н. Преображенская* ……....*399*

ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ *Зенкин А.С*..……..….*400*

РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ОБРАЗОВАНИЕ В АГРАРНОМ ИНСТИТУТЕ «МГУ ИМ. Н.П. ОГАРЕВА» РЕСПУБЛИКИ МОРДОВИЯ *Кизим Э.В.* ……..…….*401*

ИСТОРИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ В ИЗУЧЕНИИ КУРСА РАДИОБИОЛОГИИ В ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЯХ *О.П. Майдебура, И.Н. Гудков* ……..*402*

ОПЫТ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ В ОБЛАСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ *Мельник Н.А.* ……....*403*

ОСОБЕННОСТИ ПРЕПОДАВАНИЯ РАДИОЭКОЛОГИИ В ВУЗЕ И ПОСТВУЗОВСКОМ ОБРАЗОВАНИИ *С.В.Пугаев, А.С.Зенкин* ……*404*

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ «РАДИАЦИОННАЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ МЕДИЦИНА» СТУДЕНТАМИ МЕДИКО-ПРОФИЛАКТИЧЕСКОГО ФАКУЛЬТЕТА БЕЛОРУССКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО МЕДИЦИНСКОГО УНИВЕРСИТЕТА *А.Н. Стожаров, М.А. Назарова, Л.А. Квиткевич* …….....*405*

ОСОБЕННОСТИ ПРЕПОДАВАНИЯ РАДИОБИОЛОГИИ СТУДЕНТАМ ФАРМАЦЕВТИЧЕСКИХ ВУЗОВ *О.Ю. Стрелова, Е.Н. Степанова* ……*406*

ПРЕПОДАВАНИЕ РАДИОБИОЛОГИИ В ПЕРВОМ МГМУ им. И.М. СЕЧЕНОВА *А.А. Тимошевский, Л.А. Кушнир* ……*407*

АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ПРЕПОДАВАНИЯ ОСТРОЙ РАДИАЦИОННОЙ ПАТОЛОГИИ В ВЫСШИХ МЕДИЦИНСКИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЯХ В ХОДЕ РЕАЛИЗАЦИИ ТРЕБОВАНИЙ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО СТАНДАРТА ТРЕТЬЕГО ПОКОЛЕНИЯ *Халимов Ю.Ш., Карамуллин М.А., Чеховских Ю.С., Язенок А.В. Кузьмич В.Г.* ……..*408*

ОПЫТ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ В ОБЛАСТИ МЕДИЦИНСКОЙ ФИЗИКИ В МГУ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА *А.П. Черняев, П.Ю. Борщеговская, С.М. Варзарь, А.А. Николаева*……...*409*

ВКЛАД ИНСТИТУТА БИОФИЗИКИ МИНЗДРАВА РОССИИ – ФЕДЕРАЛЬНОГО МЕДИЦИНСКОГО БИОФИЗИЧЕСКОГО ЦЕНТРА ИМЕНИ А.И. БУРНАЗЯНА В СТАНОВЛЕНИЕ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ МЕДИЦИНСКОЙ РАДИОБИОЛОГИИ И РАДИАЦИОННОЙ МЕДИЦИНЫ *Г.А. Шальнова*…….. *410*

РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ОБРАЗОВАНИЕ НА ФАКУЛЬТЕТЕ ПОЧВОВЕДЕНИЯ МГУ ИМ. М.В.ЛОМОНОСОВА *А.И.Щеглов, С.В.Мамихин, О.Б.Цветнова* ……..*411*

**ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ТЕЗИСЫ**……...……*412*

**ОГЛАВЛЕНИЕ**……...……*421*

**АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ**……*450*

# Авторский указатель


*Belyae I. 6, 72*
*Bláha P. 183*
*Bogdanova J.V. 183*
*Carota1 E. 189*
*Durdik M. 72*
*Elsha D. 183*
*Govorun R.D. 183*
*Kapralov M. I. 189*
*Koshlan I.V. 183*
*Koshlan N.A. 183*
*Kosik P. 72*
*Markova E. 72*
*Mauro E. Di. 189*
*Plavckova P. 72*
*Saladino1 R. 189*
*Sidorina J.J. 183*
*SolovovaE. E. 189*
*SomsedikovaA. 72*
*SorokinaS. 72*
*Vasilyev S. 72*
*Vokalova L. 72*
*Zastko L. 72*
*Абдуллаев С.А. 16, 40, 42*
*Абросимова А.Н. 184*
*Аверин В.С. 232, 233*
*Автушко М.И. 234*
*Агаджанян А.В. 78*
*Агеева Н.В. 360*
*Азаров И.И. 150*
*Акимкина Т. В. 22, 32*
*Аклеев А. В. 4, 100, 320, 346*
*Аклеев А.А. 68*
*Акопова Н.А. 376*
*Аксененко А.В. 105*
*Аксёнова А.А. 133*
*Аксёнова Н.В. 133, 134, 172*
*Алабовский В.В. 201*
*Александров Г.В. 134*
*Александров И.Д. 69, 70*
*Александрова М.В. 69, 70*
*Александрова Ю.В. 252*
*Алексанин С.С. 80*
*Алексахин Р.М. 5, 336*
*Алексеев А.Г. 361*
*Алексеева В.А. 202*
*Алещенко А.В. 12, 54*
*Альбах Е.Н. 34, 71, 93*
*Ананьева Н.В. 161*
*Андреев В.Г. 33, 121*
*Андреев С.Г. 49, 362, 394*
*Андрианова И.Е. 131*
*Андрийчук Т.Р. 17*
*Анисимов В.С. 235*
*Анисимова Л.Н. 235*
*Антипова Н.В. 47*
*Антонов К.Л. 299*
*Антонова Е.В. 235, 299*
*Антощина М.М. 12, 54*
*Ариповский А.В. 137*
*Артемьев Г.Б. 242*
*Архипова С.И. 297*
*Асташева Н.П. 397*
*Афанасьев Р.В.*
*Афанасьев Р.В. 26, 102*
*Афанасьева К.П.*
*Афанасьева К.П. 69, 70*
*Афиногенов А.М. 376*
*Ахалая М.Я. 203*
*Бабаев Г.Г. 30, 31*
*Бажанова Н.Н. 357*
*Базян А.С. 182, 199*
*Байжуманов А.А. 203*
*Байжуманов А.Я. 220*
*Баклай А.А. 300*
*Бакшаева М.А. 338*
*Балева Л.С. 18,19, 55*
*Барбин Н.М. 363*
*Барковский А.Н. 364, 367*
*Бартенева С.С. 181*
*Басалаева Л.Н. 375*
*Баскин Л.М. 109*
*Батмунх М. 191*
*Башарин В.А. 139*
*Башлыкова Л.А. 20*
*Безлепкин В.Г. 78, 92*
*Бей О.Н. 365*
*Белименко И.В. 237*
*Белишева Н.К. 84, 98, 116*
*Белов О.В. 182, 191*
*Белова М.В. 100*
*Белокопытова К.В. 182*
*Белоусов А.В. 14*
*Белых Е.С. 267*
*Беляев В.В. 249*
*Беляев В.Р. 303, 354*
*Беляев И.К. 135, 145*
*Бирюков А.П. 21, 75, 91, 101, 388*
*Блохин П.А. 366*
*Богачева Е.В. 201*
*Богомолов О.А. 99*
*Боднарь И.С.*
*Боднарь И.С. 238, 358*
*Бойко А.В. 106, 107*
*Болдуева Н.Г. 193*
*Болсуновский А.Я. 239, 257, 258*
*Бондаренко В.А. 393*
*Борейко А. В. 187, 198*
*Борисов Н.М. 104*
*Борисова Г.С. 157, 158*
*Борщеговская П.Ю. 409*
*Брук Г.Я. 367*
*Брусков В.И. 146, 212*
*Бубряк И.И. 22, 32*
*Бубряк О.А. 22, 32*
*Бугай А.Н. 368*
*Бударков В.А. 240*
*Буденная Н.Н. 195*
*Буздалкин К.Н. 232, 241, 311*
*Буланова Т.С. 187*
*Булынина Т.М. 131, 184*
*Бульдович Д.Б. 111*
*Буртовая Е.Ю. 100*
*Бухвостова Н.Н. 101*
*Бушманов А.Ю. 101*
*Вакуловский С.М. 242*
*Валентова О. 187*
*Валуйская Д.А. 268, 295*
*Ванеев Ю.Е. 366*
*Вараксин А.Н. 50*
*Варзарь С.М. 14, 409*
*Васильев А.В. 256*

*Васильев Д.В. 243, 245, 281*
*Васильева И.М. 179*
*Васин А.Л. 389*
*Васин М.В. 136*
*Вахрушева О.А. 40*
*Ведерникова М.В. 369*
*Велегжанинов И.О. 267*
*Великоборец Е.В. 308*
*Верещако Г.Г. 23, 204*
*Веселова Т.В. 24*
*Веселовский В.А. 24*
*Виноградова Ю.В. 58*
*Виноградская В.Д. 317*
*Владимиров Л.В. 123, 373*
*Власов О.К. 256*
*Водоватов А. В. 370*
*Войтенко Л.В. 43*
*Волкова П.Ю. 244, 245*
*Волчкова А.Ю.371*
*Ворожцова С.В. 184*
*Воронин Л.А. 391*
*Воронов И.В. 316*
*Воронцова З.А. 25, 102, 103*
*Гаврюченкова А.О. 304*
*Газиев А.И. 7*
*Гайсин Р.И. 89*
*Галстян И.А. 104, 105*
*Галстян И.А. 81*
*Ганжа К.Д. 249*
*Гапеев А.Б. 137, 205, 218*
*Геворков А.Р. 106, 107*
*Герасименя В.П. 159, 160*
*Герасимов Д.В. 26*
*Герасимов Я.Р. 332*
*Гераськин С.А. 5, 243, 245, 327, 352*
*Гешель И.В. 246*
*Гимадова Т.И. 151*
*Гладких В.Д. 138*
*Годжаева Г.А. 30*
*Головешкин В.В. 247*
*Голосов В.Н. 354*
*Голуб Е.В. 81, 94*
*Гончаров С.В. 175*
*Гончарова Л. И. 206, 216*
*Гончарова Р.И. 27*
*Горбунов В.А. 163*
*Горох Г.А. 23, 204*
*Гочарова Ю.Н. 375*
*Гребенюк А.Н. 8, 110, 134, 139, 142, 154*
*Григоркина Е.Б. 248*
*Григорьев О.А. 202, 223*
*Григорьев Ю.Г. 9, 389*
*Грицук А.И. 28, 398*
*Гришина Е.В. 171*
*Гродзинский Д.М. 22, 32, 43, 254*
*Губарева О.С. 262*
*Гудков Д.И. 63, 249, 250, 263*
*Гудков И.Н. 237, 260, 402*
*Гудков С.В. 146, 205, 212*
*Гулиева Л.М. 31*
*Гулин С.Б. 251, 342, 365*
*Гуляева Т.В. 128,*
*Гундарова О.П. 29, 53, 61*
*Гуреев А.С. 118*
*Гусейнова М.З. 30*
*Гуща Н.И 207, 254.*
*Давидкова М. 187*
*Давкова Л.Н. 69, 70*
*Давыдова Е.В. 399*
*Данилов А.А. 79*
*Данилова О.А. 120, 140*
*Данилычева Л.И. 19*
*Дворник А.А. 315*
*Дегтев М.О. 371*
*Деев Л.И. 220*
*Дементьев Д.В. 252, 258*
*Демидкина А.В. 112*
*Демидович С.А. 253*
*Денисова Т.В. 208*
*Дешевой Ю.Б. 151*
*Джафарлы А.К. 31*
*Джафаров Э.С. 30, 31*
*Дзюбенко Е.В. 250*
*Дикарев Д.В. 235*
*Дикарева Н.С. 243, 245*
*Дмитриев А.П. 22, 32, 207, 254*
*Добровольская Е.В. 79*
*Добрынина О.А. 151*
*Довгополая Е.А. 185*
*Дорожкина О.В. 184*
*Драчёв И.С. 141, 152, 173*
*Дроздов А. А. 370*
*Дроздов В.А.128*
*Дроздов Д.Н. 351*
*Дударенко С.В. 77, 108*
*Дука М.С. 254*
*Духова Н.Н. 88*
*Духовлинов И.В. 172*
*Дюкина А.Р. 171, 209*
*Егорейченков Е.А. 320*
*Егоров В.Н. 251, 342*
*Ежова О.А. 77*
*Епимахов В.Г. 256, 274*
*Еременко Д.О.128*
*Ерёмин И.И.151*
*Ермакова О.В. 51*
*Ермалицкий А.П. 83, 372*
*Ефременко И.И. 214*
*Жаринов Г.М. 99, 109*
*Желтоножская М.В. 59*
*Желтоножский В.А. 59*
*Жемчужникова А.А. 62, 155*
*Жидкин А.П.305*
*Жовтун Л.П. 88, 226*
*Жорова Е.С. 135, 145*
*Журавская А.Н. 229, 316*
*Жучкина Н. И. 186*
*Завалишина Л.Э. 107*
*Загорская Н.Г. 279*
*Заднепрянец М.Г. 187*
*Заичкина С.И. 40, 171, 209*
*Зайнуллин В.Г. 238, 358*
*Закржевская Д.Т. 209*
*Замулаева И.А. 33, 49, 73, 121*
*Заргарова Н.И. 142, 148, 149*
*Зарубина А.П. 220*
*Засухина Г.Д. 179*
*Захаров С.В. 159, 160*
*Захарова М.Л. 37*
*Зацепин В.В. 143*
*Защиринский Д.М. 123, 373*
*Земская Н.В. 79, 85*

*Зенкин А.С. 210, 400, 404*
*Золотарева С.Н. 211*
*Зорин В.В. 169*
*Зотина Т.А.*
*Зотина Т.А. 257, 258*
*Зотов С.В. 259*
*Зубарева А.В. 259*
*Зуев В.Г. 102*
*Зуевич Ф.И. 391*
*Иванов А.А. 87, 144, 188*
*Иванов В.А. 340*
*Иванов В.Е. 212*
*Иванов В.К. 36, 374*
*Иванов К.Ю. 35*
*Иванов М.М. 354*
*Иванов С.Д. 110*
*Иванов С.И. 376*
*Иванова О.А. 393*
*Иванова Т.Г. 333*
*Иголкина Ю.В. 213*
*Ильенко В.В. 260*
*Ильин Г.В. 261*
*Ингель Ф.И.74*
*Исаева В.Г. 88, 226*
*Исаева Е.В. 193*
*Исамов(мл.) Н.Н. 262*
*Исаченко С.А. 329*
*Исубакова Д.С. 34, 71, 93*
*Исупова А.А. 90*
*Йежкова Л. 187*
*Кабаков А.Е. 112*
*Каган Ю.М. 18*
*Каглян А.Е. 249, 250, 263*
*Кадука А.Н. 375*
*Кадука М.В. 375*
*Кадукова Е.М. 175, 214, 338*
*Калиниченко С.А. 264, 265, 266*
*Калинкин Д.Е. 111*
*Калиновская О.В. 35*
*Калистратова В.С. 135, 145*
*Калязина Н.Ю. 210, 215, 225*
*Камышанская И.Г. 370*
*Канева А.В. 267*
*Кантина Т.Э. 100*
*Каплан М.А. 33*
*Карамуллин М.А. 129, 408*
*Карапетян А.Г. 119*
*Карахан Н.М. 18, 19, 55*
*Карелина Н.М. 83*
*Каримуллина Э.М. 236*
*Карп О.Э. 146, 212*
*Карпенко Е.И. 282, 335*
*Карпов А.Б. 71, 93, 111*
*Карпов Н.А. 47, 361, 376*
*Касаткина Н.Е. 261, 268, 348*
*Касацкий А.А. 350*
*Кашпаров В.А. 269*
*Кащеев В.В. 36, 374*
*Квиткевич Л.А. 405*
*Кизим Э.В. 401*
*Кимаковская Н.А. 270*
*Киреев С.И. 249*
*Кириллова Е.Н. 37, 113*
*Кирюхин О.В. 376*
*Клементьева Е.А. 271, 272, 353*
*Кленус В.Г. 249, 263*
*Климович М.А. 38, 66*
*Кобялко В.О. 39, 65, 296, 327*
*Коваль А.Н. 398*
*Ковтун В.Ю. 138, 139*
*Козлов М.В. 38, 66*
*Козлова Л.И. 273*
*Козлова М.Г. 81*
*Козубек С. 187*
*Козьмин Г.В. 274, 327*
*Койбагарова А.А. 90*
*Кокорева А. Н. 190*
*Колганов И.М. 328*
*Колесников С.И. 208*
*Колесникова Л.В. 242*
*Колтовая Н. А. 186, 190*
*Колыванова М.А. 14*
*Кольтовер В.К. 147*
*Кондаков А.Ю. 142, 148, 149, 176*
*Кондратьева М. М. 198*
*Кондрашева И.Г. 122*
*Конев В.В. 150*
*Кононова Г.А. 275*
*Кононова Е.А. 78*
*Коноплянников А.Г.10*
*Коноплянников М.А. 10*
*Конюхов Г.В. 328*
*Копин С.В. 377*
*Копыльцова Е.В. 232*
*Коржавин А.В.276, 344, 345*
*Коркишко Н.Ф. 297*
*Корнеев Ю.Н. 235*
*Коровкина Э.П.101*
*Коровчук О.Н. 94*
*Королев В.Г. 147*
*Король Р.А. 277, 353*
*Корытова Л.И. 110*
*Корякина Е.В. 193*
*Косдаулетова Г.А. 74*
*Кособуцкая С.А. 211*
*Котенко К.В. 151*
*Котеров А.Н. 21, 75, 91*
*Кохан В.С. 199*
*Кочетков И.В. 235*
*Кравцов А.Г.259*
*Кравцов В.Ю. 77*
*Краев С.Ю. 120, 152, 173*
*Красавин Е.А. 11, 182, 187, 188, 191, 198*
*Красильников И. И. 140, 153*
*Красовская Е.В. 308*
*Кретов А.С. 101*
*Кривощапо В.А. 371*
*Кривцова Е.К. 74*
*Круглякова Е.А. 187*
*Крыленкин Д.В. 246*
*Крышев И.И.278, 324*
*Крюков А.Е. 216, 227*
*Кудаева Э.Ф. 103*
*Кудрин В.С. 182, 199*
*Кудрин В.С.*
*Кудрявцев В.А. 112*
*Кудрявцева А.В. 79*
*Кудряшов Ю.Б. 217, 221, 222*
*Кудряшова О.В. 54*
*Кудяшева А.Г. 279*
*Кузнецов В.К. 280*
*Кузнецова Е.А. 40*
*Кузнецова М.Н. 193*

*Кузьменков А.Г. 243, 245, 281*
*Кузьмина Е. А. 198*
*Кузьмина Н.С. 76*
*Кузьмич В.Г. 129, 408*
*Кулагина Т.П. 137*
*Кульнев С.В. 129*
*Куртмулаева В.Э. 282, 335*
*Кутлахмедов Ю.А. 147, 283*
*Кутьков В.А. 378*
*Мельник Н.А. 379*
*Кухтевич А.Б. 233*
*Куц Ф.И. 214*
*Куцый М.П. 41*
*Кушнир Л.А. 407*
*Лаврентьева Г.В. 284, 341*
*Лазоренко Г.Е. 285*
*Лаптева Н.Ш. 76*
*Лебедев В.Г.151*
*Лебедева-Георгиевская К.Б. 199*
*Левадная М.Г. 105*
*Легеза В.И. 141, 142, 154*
*Лейнова С.Л. 333*
*Леонтьева Т.Г. 300*
*Линге И.И. 286*
*Липатов Д.Н. 287*
*Липенгольц А.А. 151*
*Липунов Н.М. 33*
*Лисаченко Э.П. 337*
*Лисин В.А. 117*
*Лисина Н.И. 169*
*Литвинов С.В. 288*
*Литвяков Н.В. 34, 71, 93*
*Логачева В.В. 155*
*Лозебной Н.И. 73*
*Лой Н.Н. 289*
*Ломаева М.Г. 78, 92*
*Лопатин С. Н. 77, 108*
*Лукьянова Н.А. 205, 218*
*Лукьянова С.Н. 219*
*Лукьянова Т.В. 37, 113*
*Лунёва К.В. 290*
*Лушникова Г.А. 177*
*Лырщикова А.В. 151*
*Лягинская А.М. 83, 372*
*Ляхова К.Н.195*
*Ляшко М.С. 191*
*Магира В.Ф. 176*
*Маевский Е.И. 171*
*Мазанко М.С.208*
*Майдебура О.П. 402*
*Майстренко Т.А. 267*
*Макаренко Е.С. 291*
*Макаренко С. А. 33, 121*
*Макарова-Землянская Е.Н. 221*
*Макарчук В.М. 127, 177*
*Максимов Г.В. 203*
*Максютов М.А. 36*
*Малахова Л.В. 78*
*Мальцев В.Н. 114, 115*
*Мамихин С.В. 292, 411*
*Манахов Д.В. 292*
*Мандругин А.А. 156, 157, 158*
*Мануковский Н.С. 252*
*Марадудин И.И. 275, 293, 323*
*Маркелов М.В. 354*
*Марочкина Е.В. 313*
*Мартынова А.А. 116*
*Марченко Ю.Д. 266*
*Маслов Н.В. 53, 61*
*Маслов О.В. 201*
*Маслова К.М. 314*
*Матвеев Я.В. 304*
*Матвеева И.В. 283, 294*
*Матвеева М.И. 199*
*Матишов Г.Г. 261, 268, 295*
*Матишов Д.Г. 295, 348*
*Матчук О.Н. 33, 49*
*Мачаева Е.Н. 303*
*Медведев Я.И. 35, 46*
*Медведева М.Ю. 239, 257*
*Мельник Н.А. 116, 403*
*Меняйло А.Н. 36, 374*
*Мигащук Н.Ю. 77*
*Микаилова Р.А. 335*
*Милевич Т.И. 159, 160*
*Миллер С.В. 117*
*Минкабирова Г.М. 42*
*Мирзеабасов О.А. 284, 341*
*Мирзоев Э.Б. 39, 296*
*Мирзоева Н.Ю. 297*
*Митрошина И.Ю. 78*
*Михайлов В.Ф. 169, 179*
*Михайловская Л.Н. 298, 299*
*Михеев А.Н. 43*
*Модоров М.В. 302*
*Мойса С.С. 60*
*Молоканов А.Г. 184*
*Молчанова И.В. 298, 299*
*Момот О.А. 341*
*Мороз Б.Б. 151*
*Морозова А.А. 161*
*Морозова А.И. 310*
*Мосина В.А. 112*
*Москалев А.А. 79, 85, 95*
*Москалева Е.Ю. 48, 122*
*Москальчук Л.Н. 300*
*Мурзина Е.В. 172*
*Мусабаева Л.И. 117*
*Муханов В.С. 285*
*Мызникова О.Г. 380*
*Мязин А.Е. 76*
*Набродов Г.М. 118*
*Нагиба В.И 35, 44, 46*
*Надежина Н.М. 81, 104, 105*
*Надыров Э.А. 77*
*Назаров А.Б. 249, 250, 263*
*Назаров В.Б. 138*
*Назарова М.А. 405*
*Насибова А.Н. 301*
*Насонова Т.А. 151*
*Наумов А.Д. 23, 159, 160, 204, 338*
*Наумова Г.И. 214*
*Неганов Д.В. 386*
*Нейфах Е.А. 45*
*Некласова Н.Ю. 109*
*Неронова Е.Г. 80*
*Нефедова Е.Л. 60*
*Никанорова Е.А. 35, 44*
*Никанорова Е.А. 46*
*Никитин А.Н. 259, 271, 315, 353, 357*
*Никитина И.А. 28*
*Николаева А.А. 14, 409*
*Николаевич М.С. 382*

*Никонова М.Ф. 54*
*Нилова Е.К. 232, 311*
*Новоселова Л.А. 220*
*Носова Е.А. 106*
*Нугис В.Ю. 81, 94*
*Обвинцева Н.А. 346*
*Обризан С.М. 249*
*Овсянникова Л.Г. 43*
*Овсянникова С.В. 272, 333*
*Овчинникова А.В. 230*
*Оганесян Н.М. 119*
*Оленев Г.В. 248*
*Орадовская И.В. 82, 86*
*Орехова Н.А. 302*
*Орешин А.А. 111*
*Орлов А.П. 162*
*Орлова М.А. 162*
*Орлова Н.В. 73*
*Осипов В.А. 83, 372*
*Осипов Д.И. 320*
*Остапченко Л.И. 17*
*Островский М.А. 58*
*Охрименко С.Е. 376*
*Павлов А.Н. 310*
*Павлюков М.С. 47*
*Панов А.В. 313, 334*
*Панченко С.В. 366*
*Парамонов Д.В. 38*
*Парамонова Т.А.303, 304, 305*
*Паренюк Е.Ю. 260*
*Парфенова И.М. 135, 145*
*Парфенова И.М.*
*Пархоменко А.Ю. 368*
*Пархоменко И.М. 220*
*Пейдус Д.Е. 285*
*Пелевина И.И. 12, 54*
*Пелешко В.Н. 40, 171*
*Пельгунов А.Н. 306*
*Пельгунова Л.А. 306, 312*
*Переволоцкая Т.В. 307, 309*
*Переволоцкий А.Н. 307, 308, 309*
*Перегудова Д.О. 79, 95*
*Перк А.А. 332*
*Перов С.Ю. 201, 221*
*Петоян И.М. 83, 372*
*Петрашова Д.А. 84*
*Петров А.В. 134*
*Петров В.М. 181*
*Пикалова Л.В. 163*
*Пименов Е.П. 310*
*Пирутин С.К. 222*
*Плавник Р.Н. 106*
*Платаев А.П. 276, 344, 345*
*Платова Н.Г. 192*
*Платонов С.Ю.128*
*Плотицына О.В. 381*
*Плюснина Е.Н. 79, 85, 95*
*Подоляк А.Г. 311*
*Пожарская В.В. 84*
*Позолотина В.Н. 236, 299*
*Поленова И.А. 46*
*Полубояринов В.Н. 164*
*Полякова Н.И. 312*
*Помелова Д.О. 245*
*Поморцева Н.Л. 250*
*Пономарев Д.Б. 120*
*Пономаренко В.В. 313*
*Пономаренко Т.В. 57*
*Попеня М.В. 333*
*Поплинская В.А. 58*
*Попов В.Е. 314, 339*
*Попов В.Е.*
*Попова Е.И. 276*
*Попова Н.Р. 212*
*Попова О.И. 315, 357*
*Попова О.Н. 48, 122*
*Поповичев В.Н. 297, 381*
*Поскачина Е.Р. 316*
*Посыпанова Г.А. 48*
*Потетня В.И. 193*
*Преображенская Т.Н. 399*
*Пристер Б.С. 13, 317, 318*
*Прокофьева А.С. 223*
*Проскурнин В.Ю. 319, 342, 365*
*Прохорова Т.В. 280*
*Пряхин Е.А. 320, 346, 374*
*Пугаев С.В. 321, 404*
*Пчелка А.В. 165, 169*
*Пылина Я.И. 267*
*Пятенко В.С. 49, 362*
*Радзивил Т.Т. 82, 86*
*Радзивил Т.Т.*
*Радин А.И. 293, 323*
*Раева Н.Ф. 169, 179*
*Раздайводин А.Н. 293, 323*
*Ракша Н.Г. 17*
*Рамзаев В.П. 349*
*Расина Л.Н. 50, 166*
*Раскоша О.В. 51*
*Рачкова В.М. 206*
*Рачкова Н.Г. 322*
*Ремизов Д.В. 167*
*Репин В.С. 349, 355*
*Репин Л.В. 382*
*Рогожин Е.А. 179*
*Родина А.В. 48*
*Родина В.В. 283*
*Родионов Г.Г. 149*
*Родионов Е.О. 117*
*Родионова Н.К. 250*
*Родионова Н.Н. 203*
*Рождественский Л.М. 165, 168, 169*
*Рожко А.В. 77*
*Розанова О.М. 40, 171, 209*
*Романович И.К. 367*
*Романченко С.П.*
*Романченко С.П.*
*Романченко С.П. 40, 171, 209*
*Ромашкин Д.Ю. 293, 323*
*Рубанович А.В. 76*
*Рубин А.Б. 217*
*Рудольфсен Г. 320, 346*
*Рылькова О.А. 285*
*Рябинков А.П. 293, 323*
*Садовников Л.В. 59*
*Сазонов А.Э. 34, 71, 93*
*Сазыкина Т.Г. 278, 324*
*Салазкина Н.В. 375*
*Саливончик А.П. 52*
*Салимова И.В. 280*
*Сальников И.В. 383*
*Самусев А.М. 325*
*Санжаров А.И. 280*

*Санжарова Н.И. 289, 326, 327*
*Сапецкий А.О. 194*
*Сарапульцева Е.И 213*
*Саруханов В.Я. 327, 328*
*Свергун В.Т. 398*
*Свиридова О.А. 224*
*Свитин А.И. 210, 215, 225*
*Сгибнева Н.В. 53, 61*
*Севанькаев А.В. 81*
*Северин С.Е. 122*
*Северюхин Ю.С. 184, 195*
*Седова А.А. 386*
*Седукова Г.В. 329*
*Селезнёв А.Б. 120, 141, 149*
*Селиванова Е.И. 33, 121*
*Селявин С.С. 118*
*Семенихин А.И. 304*
*Семочкина Ю.П. 122*
*Сергеенко С.М. 398*
*Серебряный А.М. 12, 54*
*Сидоров Д.А. 150, 399*
*Сидоров И. Г. 330*
*Сидоров О.С. 123, 373*
*Симбирцев А.С. 134, 170*
*Симонова Н.Б. 209*
*Симончик Ю.К. 353*
*Сипягина А.Е. 18, 55*
*Сирота Н.П. 40*
*Скакунова М.А. 331*
*Сланина С.В. 394*
*Слепцов И.В. 316*
*Смирнов А.С. 384, 385*
*Смирнов Н.А. 399*
*Смирнов С.Ю. 384, 385*
*Смирнова Е.Н. 40, 171*
*Смирнова С.А.384, 385*
*Смирнова С.Г. 73*
*Снигирёва Г.П. 87*
*Собакин П.И.332*
*Соколик Г.А. 333*
*Сорокина С.С. 40, 171, 209*
*Сотникова Н.А. 334*
*Софронов Г.А. 172*
*Спиридонов С.И. 282, 335, 336*
*Спирин Е.В. 310, 336*
*Спиров Р.К. 315*
*Ставракова Н.М. 114, 131*
*Стамат И.П. 337*
*Сташкевич Д.Г. 214, 338*
*Степанов А.В. 173*
*Степанов В.В. 377, 386*
*Степанова Е.Н. 406*
*Степина И.А. 314, 339*
*Стожаров А.Н. 57, 405*
*Стрелова О.Ю. 406*
*Сулин А.Б. 386*
*Суринов Б.П. 88, 226*
*Сускин В.В. 340*
*Сухарева Д.В. 23, 204*
*Сушко С.Н. 175*
*Суэйлам Н.Х. 191*
*Сынзыныс Б.И. 341*
*Тагай С.А. 233, 311*
*Талалаева Г.В. 124*
*Тамбовский М.А. 89*
*Тарасов О.В. 248*
*Тарита В.А. 387*
*Тарумов Р.А. 139, 174*
*Тахауов Р.М. 34, 71, 111*
*Тейен Х.-К. 320*
*Тельнов В.И. 125*
*Телюева А.В. 291*
*Терещенко Н.Н. 255, 319, 342*
*Тертышник Э.Г. 242*
*Тимохина Н.И. 175*
*Тимошевский А.А. 407*
*Тимошенко Г.Н. 182*
*Тимченко Е.А. 343*
*Титов Н.В. 364*
*Тиунчик С. И. 198*
*Тихомиров П.В. 176*
*Тихонов А.В. 227*
*Тищенко Г.С. 135, 145*
*Ткаченко Н.П. 33*
*Толсты Е.И. 371*
*Трапезников А.В. 276, 344, 345*
*Трапезникова В.Н. 276, 344, 345*
*Тронов В.А. 58*
*Трофимов В.И. 38*
*Трофимова Е.А. 257, 258*
*Трофимова Л.К. 203*
*Трофимова Т.П. 162*
*Трубицина К.Ю. 165, 169*
*Трухоновец В.В. 175*
*Тряпицына Г.А. 320, 346*
*Тряпицына Г.А.*
*Тугай А.В. 59*
*Тугай Т.И. 59*
*Туков А.Р. 388, 390*
*Тултаев А.В. 128*
*Туник А.М. 305*
*Туровецкий В.Б. 222*
*Тухватшин Р.Р. 90*
*Тютрюмова Д.В. 338*
*Уваров А.Д. 242*
*Удалова А.А. 5, 243, 245, 291, 347*
*Ульяненко С.Е. 33*
*Урядницкая Т.И. 113*
*Ускалова Д.В. 213*
*Усягина И.С. 261, 295, 348*
*Уткин С.С. 286*
*Ушаков И.Б. 60, 126, 144, 196, 197, 393*
*Ушенкова Л.Н. 21, 75, 91*
*Фальк М. 187*
*Фалькова И. 187*
*Федонюк В.П. 167*
*Федоров В.П. 53, 61, 126*
*Филимонова М.В. 127, 156, 157, 158, 162, 177*
*Фирсанов В.Б. 387*
*Фоменко Л.А. 78, 92*
*Фотина О.В. 128*
*Халилов Р.И. 301*
*Халимов Ю.Ш. 129, 408*
*Халюзова М.В. 34, 71, 93*
*Хвостунов И.К. 19, 81, 94, 362*
*Хмелевский Е.В. 106, 130*
*Хорсева Н.И. 228*
*Храмцов Е.В. 349*
*Хусаинова Ш.Н. 74*

*Царенок А.А. 233*
*Цветнова О.Б. 350, 411*
*Цетлин В.В. 60*
*Цигвинцев П.Н. 216*
*Цудзевич Б.А. 17*
*Цуранков Э.Н. 232*
*Цыгвинцев П.Н. 262*
*Чаусов В.Н. 198*
*Чекин С.Ю. 36, 374*
*Черкасова Ю.Б. 62*
*Черниченко А.В. 106*
*Черняев А.П. 14, 409*
*Чеснакова Е.А. 127, 177*
*Чеховский А.Л. 351*
*Чеховских Ю.С. 129, 408*
*Чикунов И.Е. 139*
*Нгуен Х.К. 139*
*Чикунова К.Н. 178*
*Чмыр В.Д. 381*
*Чудинов А.Н. 247*
*Чуешова Н.В. 23, 204*
*Чунихин Л.А. 351*
*Чупахин О.Н. 166*
*Чупин В.В. 139*
*Чурюкин Р.С. 352*
*Шагирова Ж.М. 169*
*Шадрин Д.М. 267*
*Шалатонин В.И. 204*
*Шальнова Г.А. 115, 131, 410*
*Шамаль Н.В. 159, 315, 353*
*Шамшурина Е.Н. 305, 354*
*Шапошников М.В. 79, 95*
*Шапошникова И.А. 320, 346*
*Шарецкий А.Н. 226*
*Шарпан Л.А. 335*
*Шафиркин А.В. 196, 389*
*Шафорост А.С. 178*
*Шафранский И.Л. 388, 390*
*Шахпаронов М.И. 47*
*Шашурин М.М. 229*
*Шванева Н. В. 186*
*Швец В.И. 139*
*Швыдко Н.С. 375*
*Шевцова Н.Л. 63, 250*
*Шевченко Л. И. 127, 156, 157, 158, 177*
*Шевченко О.Г. 64, 279*
*Шевченко Т.С. 65*
*Шелковская О.В. 146*
*Шендер В.О. 47*
*Шепель Н.Н. 94*
*Шибкова Д.З. 230*
*Шилина Ю.В. 207*
*Шилкова Т.В. 230*
*Шилов Ю.В. 150*
*Шилова К.В. 349, 355*
*Шилова Л.А. 79, 85*
*Широкая З.О. 263*
*Шишкин Е.А. 371*
*Шишкина А.А. 179*
*Шишкина В.В. 25*
*Шишкина Е.А. 320, 346*
*Шишкина Л.Н. 38, 66, 279*
*Шкаев А.Э. 356*
*Шкаева Н.А. 356*
*Школьник М.И. 99*
*Шкрабо И.В. 391*
*Шлеенкова Е.Н. 392*
*Шлякова Т.Г. 169*
*Шошина Р.Р. 341*
*Штемберг А.С. 197, 199*
*Шуктомова И.И. 322*
*Шуленина Л.В. 96, 169, 179*
*Шуранкова О.А. 266, 315, 357*
*Шуршаков В.А. 393*
*Щеглов А.И. 287, 350, 411*
*Щеголева Р.А. 169*
*Щуршаков В.А. 196*
*Эйдельман Ю.А. 49, 362, 383, 394*
*Эльяш С.Л. 44*
*Юминов О.А. 128*
*Юркевич Ю.В. 167*
*Юрчук Л.П. 263*
*Юсупов В.И. 209*
*Юшкова Е.А. 358*
*Яблоков А. В. 395*
*Язенок А.В. 129, 408*
*Язенок А.В.*
*Ярилин А.А. 54*
*Яхрюшин В.Н. 242*

*Научное издание*

# VII СЪЕЗД ПО РАДИАЦИОННЫМ ИССЛЕДОВАНИЯМ (радиобиология, радиоэкология, радиационная безопасность)

Издание подготовлено в авторской редакции

Технический редактор *Н.А. Ясько*
Дизайн обложки *М.В. Рогова*

Подписано в печать 10.10.2014 г. Формат 60×84/8.
Бумага офсетная. Печать офсетная. Гарнитура Таймс.
Усл. печ. л. 57,5. Тираж 300 экз. Заказ 1390.

Российский университет дружбы народов
115419, ГСП-1, г. Москва, ул. Орджоникидзе, д. 3

Типография РУДН
115419, ГСП-1, г. Москва, ул. Орджоникидзе, д. 3, тел. 952-04-41