

### **Заключение**

Таким образом, разработанный ЭУМК отражает основные требования нормативных документов, регламентирующих образовательный процесс в медицинском университете, а его содержание направлено как на расширение кругозора студентов о средствах сохранения здоровья в процессе производственной деятельности, так и на овладение ими специальными знаниями и компетенциями, навыками и умениями в области ОТ для решения практических задач профилактики производственного травматизма и профессиональных заболеваний.

### **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Игнатова, Н. Ю. Образование в цифровую эпоху: монография / Н. Ю. Игнатова // М-во образования и науки РФ ; Нижнетагил. технол. ин-т (фил.). – Нижний Тагил : НТИ (филиал) УрФУ, 2017. – 128 с.
2. Мателенок, А. П. Методические аспекты интерактивного взаимодействия студентов и преподавателя на основе УМК нового поколения / А. П. Мателенок // Вестн. МГИРО. – 2019. – № 3 (39). – С. 16–20.
3. Наумов, И. А. Безопасность жизнедеятельности человека : учеб. пособие для студентов учреждения высш. образования по мед. специальностям / И. А. Наумов. – Гродно : ГрГМУ, 2020. – 372 с.
4. Наумов, И. А. Репродуктивное здоровье женщин-врачей акушеров-гинекологов: проблемы и решения : монография / И. А. Наумов, Е. С. Лисок. – Гродно : ГрГМУ, 2022. – 212 с.
5. Охрана труда в здравоохранении : практ. рук. / И. А. Наумов [и др.]. – 2-е изд., дополн. и переработ. – Минск : Энергопресс, 2018. – 384 с. : с электрон. прил.

УДК 614.876:614.73:53.083.91

***Е. К. Нилова<sup>1</sup>, К. Н. Буздакин<sup>2,3</sup>, В. Н. Бортновский<sup>2</sup>***

*<sup>1</sup>Государственное научное техническое учреждение*

*«Центр по ядерной и радиационной безопасности»*

*г. Минск, Республика Беларусь,*

*<sup>2</sup>Учреждение образования*

*«Гомельский государственный медицинский университет»,*

*<sup>3</sup>Государственное учреждение*

*«Республиканский научно-практический центр радиационной медицины  
и экологии человека»*

*г. Гомель, Республика Беларусь*

## **ЭКСПРЕСС-МЕТОД ОЦЕНКИ ПЛОТНОСТИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ТЕРРИТОРИИ РАДИОНУКЛИДАМИ ПРИ ОФОРМЛЕНИИ ДОПУСКА К РАБОТАМ**

### **Введение**

В белорусском секторе зоны отчуждения Чернобыльской АЭС допускаются некоторые виды деятельности, например, связанные с ликвидацией природных пожаров [1]. В связи с эксплуатацией Белорусской АЭС принимается решение о сооружении пункта захоронения радиоактивных отходов (ПЗРО). Согласно Санитарным нормам и правилам «Требования к обеспечению радиационной безопасности при проведении работ в зонах радиоактивного загрязнения», утвержденных постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь № 89 от 02.07.2015, до начала строительства на

территории зоны отчуждения Чернобыльской АЭС необходимо разработать локальные нормативные правовые акты по обеспечению радиационной безопасности при выполнении строительных работ. Для разработки документов необходимо оперативно установить значения параметров радиационной обстановки на площадке строительства. Высокая дисперсность чернобыльских выпадений и фрагментарность имеющихся данных (измерения и отбор проб почвы в зоне отчуждения проводился в основном по сетке  $2 \times 2$  км) не позволяют без дополнительного обследования с достаточной достоверностью оценить все пути облучения персонала на промплощадке и обеспечить выполнение требований законодательства о ядерной и радиационной безопасности, предложить при необходимости адекватные меры радиационной защиты.

Оценка концентрации трансурановых элементов, стронция-90 и цезия-137 в зоне дыхания необходима для обоснования применения средств защиты органов дыхания при выполнении ряда технологических операций. Оценка объемной активности приземного слоя атмосферного воздуха, как правило, выполняется путем отбора проб аэрозолей на рабочих местах с последующей гамма-спектрометрией фильтров в лабораторных условиях, а в случае присутствия изотопов плутония, америция-241 и стронция-90 – с последующим озолением фильтров, последовательным радиохимическим выделением радионуклидов и электроосаждением на мишень с альфа-спектрометрическим окончанием, что занимает несколько суток с риском получить измеряемую активность меньше минимально детектируемой [2]. Для экспресс-оценки объемной активности ( $\text{Бк}\cdot\text{м}^{-3}$ ) был разработан метод ее расчета по известной плотности загрязнения территории ( $\text{Бк}\cdot\text{м}^{-2}$ ) [3].

Соответственно представляет интерес и экспресс-метод определения плотности загрязнения территории гамма-излучающими радионуклидами, исключающий отбор проб почвы, их доставку и подготовку, лабораторные процедуры. Следует отметить, что оперативная информация об уровнях загрязнения территории в случае радиологической аварии является основой построения долгосрочных прогнозов ожидаемых доз внешнего и внутреннего облучения населения, планирования защитных мер.

В отличие от традиционной Методики крупномасштабного агрохимического и радиологического исследования почв сельскохозяйственных угодий Республики Беларусь (Одобрена Минсельхозпродом БССР 4 июля 1991 г и зарегистрирована в НРПА РБ 11 февраля 2000 г. № 8/2803), а также ранее предложенного метода *in situ*, рекомендованного Международным агентством по атомной энергии [4], оригинальный метод расчета геометрического фактора позволяет учесть особенности распределения радионуклидов по профилю почвы при оценке плотности загрязнения территории цезием-137 [5]. Метод основан на анализе линии гамма-спектра не только в областях фотопиков полного поглощения, но и областях, соответствующих комптоновскому рассеянию.

**Цель** – расширить область применения и снизить неопределенность метода оценки плотности загрязнения сельскохозяйственных земель цезием-137 без отбора проб.

#### **Материалы и методы исследования**

Объектами исследования являлись гамма-спектры, набор которых выполнен на участках территории с различной геометрией источника. Метод исследования – гамма-спектрометрический.

В исследованиях применялась мобильная лаборатория Центра по ядерной и радиационной безопасности МЧС Республики Беларусь. Лаборатория представляет собой комплекс спектрометрического и дозиметрического оборудования, размещенного на базе малотоннажного грузового автомобиля Mercedes Sprinter. Лаборатория укомплек-

тована оборудованием компании Mirion Technologies (США): бортовыми сцинтилляционными спектрометрами – боковыми с размерами кристалла NaI (Тl)  $7,62 \times 7,62$  см и передним LaBr<sub>3</sub> (Сe)  $2,54 \times 2,54$  см, помещенными в свинцовые коллиматоры толщиной 5 см, а также переносным спектрометром высокого разрешения Falcon 5000 (США) с полупроводниковым германиевым детектором. Для управления спектрометрами установлено программное обеспечение Genie 2000 того же производителя.

Оборудование позволяло оценивать радиационную обстановку в единицах скорости счета,  $\text{имп}\cdot\text{с}^{-1}$ . Нормативные правовые акты Республики Беларусь, как и международные рекомендации, требуют результаты представлять, в частности, в значениях плотности загрязнения,  $\text{Бк}\cdot\text{м}^{-2}$ . Параллельно решалась проблема адаптировать функциональные характеристики и выходные параметры оборудования мобильной лаборатории с целью получения необходимых количественных характеристик.

Средняя плотность загрязнения реперных площадок цезием-137 чернобыльского происхождения определялась путем их радиологического обследования по традиционной методике. Измерение активности цезия-137 в пробах почвы проводилось гамма-спектрометрическим методом на радиометре «РКГ-АТ1320» (Атомтех, г. Минск, Республика Беларусь) с использованием свинцовой защиты.

### ***Результаты исследования и их обсуждение***

Область применения ранее разработанного метода оценки плотности загрязнения [5] расширена на установленный состав гамма-излучающих радионуклидов. В отличие от случая оформления допусков к работам на территории чернобыльского загрязнения, где из гамма-излучающих радионуклидов практическое значение имеет только цезий-137, при мониторинге территории в зоне воздействия атомных электростанций необходимо, согласно законодательству о ядерной и радиационной безопасности Республики Беларусь, оценивать плотность загрязнения штатными (и незапланированными) выбросами гамма-излучающих йода-131, цезия-134, цезия-137 и кобальта-60. В случае аварийных выбросов радионуклидный состав может быть значительно шире.

В настоящей работе предлагается заменить приближение калибровочного фактора полиномом второй степени [5] на степенную функцию, которая в большей мере соответствует описываемому физическому процессу, в том числе при предельных значениях отношения интеграла в комптоновской области спектра к «чистой» площади фотопика полного поглощения:

$$\sigma_i = c_i \cdot \frac{N_{i,0}}{T} = a_{i,1} \cdot \left( \frac{N_{i,c}}{N_{i,0}} \right)^{a_{i,2}} \cdot \frac{N_{i,0}}{T}, \quad (1)$$

где  $\sigma_i$  – плотность загрязнения участка территории  $i$ -м радионуклидом,  $\text{Ки}\cdot\text{км}^{-2}$  (для получения результата в  $\text{кБк}\cdot\text{м}^{-2}$  величину в  $\text{Ки}\cdot\text{км}^{-2}$  следует умножить на 37);

$a_{i,1}$  и  $a_{i,2}$  – коэффициенты (значения параметров) регрессионных кривых, размерность  $a_{i,1}$  –  $\text{Ки}\cdot\text{км}^{-2}\cdot\text{с}$ ;

$N_{i,c}$  – интеграл в комптоновской области спектра, соответствующей энергии фотонов (гамма-линии)  $i$ -го радионуклида;

$N_{i,0}$  – «чистая» площадь анализируемого фотопика полного поглощения  $i$ -го радионуклида в спектре (здесь и далее под «чистой» площадью фотопика полного поглощения подразумевается значение интеграла в границах фотопика из которого вычтено значение «постаменты», т. е. площади трапеции, над которой расположен фотопик);

$T$  – «живое» (за вычетом времени на обработку сигналов) время набора спектра, с.

Подход (1) позволяет учесть абсолютную эффективность регистрации гамма-квантов, испускаемых  $i$ -ми радионуклидами, распределенными по профилю почвы, в том числе внутреннюю эффективность детектора и эффективность по пику полного поглощения. Преимуществом метода является возможность автоматически учитывать изменение потоков гамма-квантов от всех техногенных гамма-излучающих радионуклидов в результате их рассеяния в верхнем слое почвы. Вкладом в аппаратную линию спектра природных радионуклидов уран-ториевого ряда в случае незапланированных и тем более аварийных выбросов можно пренебречь.

Для калибровки метода, т. е. определения значений коэффициентов регрессионного уравнения (1), выполнен анализ гамма-спектров, набранных на участках территории с различной геометрией источника (распределением радионуклидов по профилю почвы), и проанализированы линии гамма-спектра не только в областях фотопиков полного поглощения, но и областях, соответствующих комптоновскому рассеянию. Для проверки предложенного подхода проведена калибровка как полупроводникового, так и сцинтилляционных детекторов, размещенных как в кузове автомобиля, так и на штативе на местности. Калибровка проводилась по цезию-137, так как участков с достаточным загрязнением другими техногенными гамма-излучающими радионуклидами в настоящее время на территории Беларуси нет. Территория с плотностью загрязнения цезием-137 от 37 до 555 кБк·м<sup>-2</sup> (от 1 до 15 Ки·км<sup>-2</sup>) была найдена в 65 км от Минска.

Установлено, что дисперсность выпадений наиболее выражена в лесах, где после выпадений радионуклидов в основном не нарушался верхний слой почвы. В лесах относительная погрешность с учетом стандартного отклонения выборочного среднего значения плотности загрязнения и систематической ошибки прибора – 39 %, на пашке – 42 %. На пашне погрешность составила 23 %, на лугу с поверхностным улучшением – 29 %, т. е. на регулярно обрабатываемых почвах ошибка оценки средней плотности загрязнения по пяти пробам в два раза ниже.

Погрешности определения спектральных характеристик (интегралов области спектра, «чистых» площадей пиков полного поглощения и времени набора спектра) < 1 %, что значительно, на порядки ниже погрешностей определения плотности загрязнения традиционным методом. Предложенный метод дистанционной оценки плотности загрязнения практически не вносит дополнительной ошибки. В то же время продолжительность набора спектра при указанных плотностях загрязнения и его автоматической обработки не превышает 1 мин.

### ***Заключение***

В результате проведенных исследований расширена область применения и снижена неопределенность ранее разработанного метода, применявшегося при радиологическом обследовании сельскохозяйственных земель, загрязненных цезием-137, без отбора проб. Установлено, что при наличии на радиоактивном следе не только цезия-137, но и цезия-134, кобальта-60, йода-131 предложенный методический подход позволяет оперативно выбрать подходящие области спектра для каждого загрязнителя, а также создать референтные площадки в зоне загрязнения и откалибровать блоки детектирования на актуальный радионуклидный состав. Экспресс-метод позволяет оперативно выполнять измерения плотности загрязнения территории гамма-излучающими радионуклидами *in situ* при принятии решений о применении защитных мер.

### **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Буздалкин, К. Н. Ингаляционное поступление трансурановых элементов в организм при чрезвычайных ситуациях в зоне отчуждения Чернобыльской АЭС / К. Н. Буздалкин, В. Н. Бортовский //

Медико-биологические и социально-психологические проблемы безопасности в чрезвычайных ситуациях. – 2019. – № 3. – С. 59–65.

2. Буздалкин, К. Н. Мониторинг ожидаемых доз облучения спасателей в случаях пожаров на территории радиоактивного загрязнения / К. Н. Буздалкин, Е. К. Нилова, А. Б. Кухтевич // Чрезвычайные ситуации : образование и наука. – 2015. – № 10 (2). – С. 61–64.

3. Буздалкин, К. Н. Метод оперативной оценки доз облучения персонала, ожидаемых в результате ингаляции радионуклидов при тушении пожаров / К. Н. Буздалкин // Медико-биологические проблемы жизнедеятельности. – 2019. – № 1 (21). – С. 36–42.

4. IAEA-TECDOC-1092. Generic procedures for monitoring in a nuclear or radiological emergency. – Vienna : IAEA, 1999. – 305 p.

5. Буздалкин, К. Н. Автоматизированный мобильный комплекс контроля радиационной обстановки / К. Н. Буздалкин, Ю. М. Жученко, Л. А. Чунихин // Вісник Львів. ун-ту. Серія фіз. – 2010. – Вип. 45. – С. 86–92.

УДК 614.876; 547.962.3; 543.426

*Н. Д. Пузан, И. А. Чешик*

*Государственное научное учреждение*

*«Институт радиобиологии НАН Беларуси»*

*г. Гомель, Республика Беларусь*

## **РАДИАЦИОННО-ИНДУЦИРУЕМЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ СЫВОРОТОЧНОГО АЛЬБУМИНА ПРИ ОБЛУЧЕНИИ МАЛЫМИ ДОЗАМИ *IN VITRO***

### ***Введение***

Биосфера может адаптироваться к самым разнообразным внешним и внутренним стимулам средней силы, пока они не достигают порога, при котором адаптация невозможна. Было установлено, что когда интенсивность воздействия превосходила некоторый порог, биосфера никогда не возвращалась в исходное состояние. Менялись циркуляция атмосферы, структура океанических течений, структура осадков и конечное распределение температуры, а, значит, и распределение биоты. Переход в новое качественное состояние может произойти в результате незначительных, но постоянно действующих возмущений, что представляется и наиболее важным, и наиболее опасным, поскольку переход в другое, новое состояние на начальных этапах незаметен и непредсказуем. В то же время низкоинтенсивные длительно действующие факторы, не индуцируя адаптационные процессы, могут активно влиять на состояние биосферы через бифуркационные процессы. В какое состояние перейдет система, будет зависеть от громадного количества слабых взаимодействующих нарушений, которые мы в настоящий момент еще не умеем интегрировать. Для низкоинтенсивного облучения необходимость в этом является наиважнейшей [1].

В 2015 г. J. S. Kim и коллегами [2] было отмечено, что в настоящее время облучение малыми дозами ионизирующего излучения (ИИ) является растущей проблемой в современном обществе, поскольку многие люди потенциально подвергаются его воздействию. Тем не менее, влияние низких доз облучения на развитие заболеваемости не изучалось и, именно поэтому необходимы дальнейшие исследования в данной области, чтобы уменьшить беспокойство общественности.