

# Полевые методы исследования радиационной обстановки в районе размещения Белорусской АЭС в предэксплуатационный период

В статье представлены результаты полевых исследований в районе размещения Белорусской АЭС в предэксплуатационный период. Определены «фоновые» содержания гамма-излучающих радионуклидов в отдельных компонентах окружающей среды. Основной массив результатов измерений мощности дозы в районе строительной площадки АЭС находится в интервале 0,048–0,089 мкЗв/ч. Внешнее облучение на обследованной территории формируется на 96% за счет  $^{40}\text{K}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  и  $^{232}\text{Th}$ . Полученная информация может быть использована для корректной интерпретации данных будущего радиационного мониторинга при нормальной эксплуатации АЭС.

## **Ключевые слова:**

*Белорусская АЭС, радиационный мониторинг, окружающая среда, мощность дозы, радионуклиды, удельная активность, средство измерения.*

**А.А.Екидин<sup>1</sup>, А.В.Васильев<sup>1</sup>,  
М.Е.Васянович<sup>1</sup>,  
Е.И.Назаров<sup>1</sup>, М.Д.Пышкина<sup>1</sup>,  
А.О.Ничипорчук<sup>2</sup>,  
В.А.Кожемякин<sup>2</sup>,  
И.А.Капустин<sup>3</sup>, И.А.Привалов<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Институт промышленной экологии УрО РАН, г. Екатеринбург

<sup>2</sup> Научно-производственное унитарное предприятие «АТОМТЕХ», г. Минск

<sup>3</sup> МИРЭА – Российский технологический университет, г. Москва

**З**а последние десятилетия деятельность человека в области применения ядерных технологий привела к поступлению антропогенных радиоактивных материалов в окружающую среду. Испытания ядерного оружия, катастрофы на объектах использования атомной энергии имеют глобальный масштаб радиационных последствий для населения и окружающей среды. В локальном масшта-

бе радиоэкологическая обстановка меняется в результате непрерывных выбросов и сбросов предприятий ядерного топливного цикла. В целом, любое обращение с радиоактивными материалами может привести к поступлению характерных радионуклидов в окружающую среду. Согласно рекомендациям Международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ), проведение радиационного мониторинга вокруг АЭС на всех этапах жизни станции (строительство, эксплуатация, вывод из эксплуатации) является необходимым [1]. Для каждого этапа жизненного цикла АЭС существуют специфические источники радиационного воздействия, характерные наборы радионуклидов, определяющих основной вклад в облучение критической группы населения.

Выбор места размещения первой АЭС в Республике Беларусь инициировал проведение широкомасштабных комплексных исследований состояния окружающей среды в Островецком районе Гродненской области [2]. Программа комплексного экологического мониторинга включает наблюдение загрязненности радионуклидами объектов окружающей среды и гигиенических параметров, необходимых для оценки доз облучения. В качестве контролируемых параметров выбраны основные техногенные радионуклиды, присутствующие в сбросах, выбросах и радиоактивных отходах в период эксплуатации АЭС, а также естественные радионуклиды [3,4]. Включение в программу контроля естественных радионуклидов обусловлено не только необходимостью учета «фонового» радиационного воздействия, но и возможностью применения метода радионуклидных отношений для идентификации источников поступления радиоактивных веществ в окружающую среду [5,6].

Систематические наблюдения радиационных характеристик окружающей среды, начиная со стадии выбора площадки строительства, позволяют получить адекватную оценку

радиационного воздействия на каждом этапе жизненного цикла АЭС. Ключевым моментом, обеспечивающим объективность таких оценок, является полнота и качество результатов предэксплуатационных исследований в районе планируемого размещения атомной станции. Полнота и качество исследований во многом определяются доступностью необходимых средств измерения и методов, наличием ресурса времени и квалифицированных специалистов. Существенное влияние на объем и качество результатов оказывает тщательность анализа исходных данных и планирование исследований, в рамках которого необходимо рассмотреть [1]:

- предполагаемые характеристики источников выбросов, сбросов и радиоактивных отходов, включая состав радионуклидов, их физическую и химическую форму;
- состав радионуклидов в объектах окружающей среды на момент строительства АЭС;
- механизмы переноса радионуклидов в природных средах, особенности окружающей среды, влияющие на перенос, а также их сезонные изменения;
- возможные критические группы населения.

Данные о радионуклидном составе технологических сред действующих АЭС необходимы для обоснованного выбора средств измерения и методов мониторинга с целью идентификации основных дозообразующих радионуклидов и определения их фонового уровня в окружающей среде до начала эксплуатации АЭС. В результате ядерных превращений в активной зоне реактора образуются сотни радионуклидов, но только ограниченное их количество может формировать радиационное воздействие на население и окружающую среду за счет выбросов, сбросов и образования радиоактивных отходов [7-12]. Поступающие в окружающую среду радиоактивные вещества могут находиться в твердом, жидком, газообразном состоянии [13,14]. В число

радионуклидов, важных для обеспечения радиационной безопасности населения, входит ряд трудно определяемых бета-излучающих радионуклидов ( $^3\text{H}$ ,  $^{14}\text{C}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ), для измерения которых требуются сложные методы детектирования или подготовки счетных образцов, не реализуемые в полевых условиях [15-19].

Наличие гамма-излучающих радионуклидов в числе значимых, с точки зрения радиационного контроля, позволяет применять полевые методы мониторинга, обеспечивающие оперативность получения данных о радиационной обстановке окружающей среды. Полевые спектрометры, переносные дозиметры и радиометры для пешеходной гамма-съемки позволяют выполнять детальные исследования на локальных участках местности. В свою очередь, мобильные системы радиационного сканирования обеспечивают значительный охват территорий обследования. В результате полевых предэксплуатационных исследований важно получить не только меры средних тенденций контролируемых параметров (медианы, средние значения), но и их вариабельность и частотное распределение полученных результатов измерения. Любое отклонение результатов мониторинга после начала эксплуатации АЭС от полученных закономерностей распределения значений контролируемых параметров, установленных границ вариабельности будет указывать на наличие нового источника радиоактивных веществ или изменение условий их распространения. Выполненные в Островецком районе предэксплуатационные исследования позволили получить радиоэкологические характеристики окружающей среды (удельные и объемные активности гамма-излучающих радионуклидов, мощности амбиентного эквивалента дозы) для использования при прогнозировании доз облучения населения от сбросов и выбросов радиоактивных веществ при нормальной эксплуатации Белорусской АЭС.

## Материалы и методы

Полевая гамма-спектрометрическая съемка территории вокруг Белорусской АЭС осуществлялась по регулярной сетке 100 м на 200 м (рис.1). Для выполнения измерений был выбран сцинтилляционный спектрометр МКС-АТ6101ДР (рис.2а) Данный спектрометр способен определять удельную активность естественных радионуклидов ( $^{40}\text{K}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ), а также  $^{134}\text{Cs}$  и  $^{137}\text{Cs}$  в геометриях  $2\pi$  и  $4\pi$ . Кроме этого, в МКС-АТ6101ДР доступна функция измерения мощности амбиентного эквивалента дозы и GPS-привязка точек измерения.

Верификация полученных данных с помощью МКС-АТ6101ДР проводилась путем дублирования измерений портативными сцинтилляционными спектрометрами МКС-АТ6102А (рис.3а), МКС-АТ6101С (рис.3б). Для исследования *in situ* содержания гамма-излучающих радионуклидов в воде и донных отложениях применялся погружной сцинтилляционный гамма-спектрометр МКС-АТ6104ДМ (рис.2б).



Рис.1. Точки полевой гамма-спектрометрической съемки.



**Рис.2.** Средства измерения для проведения исследования *in situ*: а – МКС-АТ6101ДР, б – МКС-АТ6104ДМ, в – планшетный ПК.

В состав МКС-АТ6101ДР и МКС-АТ6104ДМ входил блок обработки информации (планшетный ПК), позволяющий визуализировать спектр гамма-излучения в измеряемой точке местности (рис.2в). Измерения были дополнены автомобильной гамма-съемкой при помощи спектрометра для радиационного сканирования МКС-АТ6101С с GPS-привязкой точек измерения, что позволило расширить площадь обследования.

Корректность оценки содержания радионуклидов *in situ* подтверждалась путем отбора проб почвы глубиной до 30 см для последующих лабораторных исследований содержания радионуклидов. Местоположение точек отбора проб представлено на рис.4. С учетом макси-

мального значения фактора разбавления, обусловленного многолетними метеорологическими условиями, была определена «критическая точка» – участок, где реализуется максимальное радиационное воздействие от выбросов радиоактивных веществ АЭС с учетом всех путей облучения (точка 1 на рис.4).

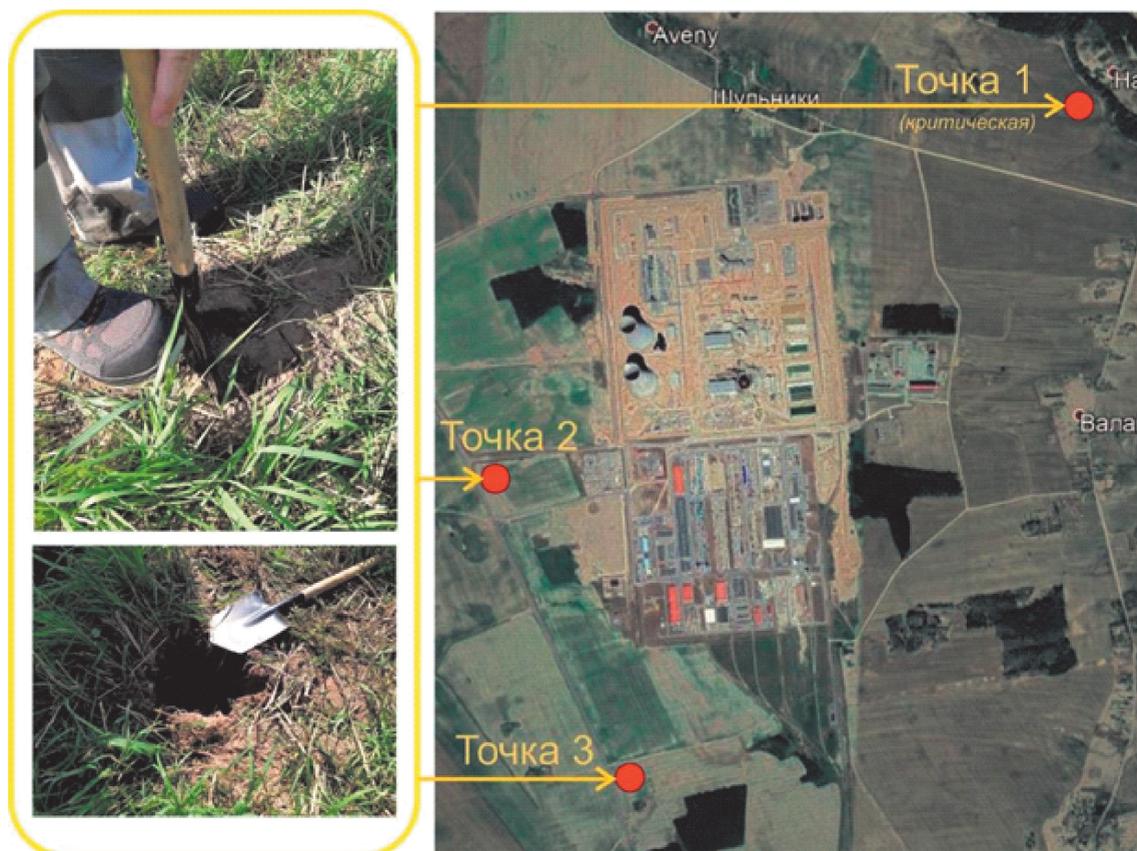
Для исследования береговой линии на трех участках реки Вилия протяженностью 1 км каждый (рис.5) применялся метод полевой спектрометрии. Участок 1 расположен ниже устья реки Полпе. Участок 2 расположен ниже места забора воды для нужд атомной станции, но выше точки сброса промышленной ливневой канализации (ПЛК) АЭС. Участок 3 расположен ниже точки сброса ПЛК АЭС.

На каждом участке выполнено по 11 гамма-спектрометрических измерений речного дна. Проведение гамма-спектрометрического измерения воды в геометрии 4π оказалось возможным только в четырех точках, где глубина реки Вилия превышала 1,5 м.

На каждом участке обследования реки Вилия выполнено не менее 11 гамма-спектрометрических



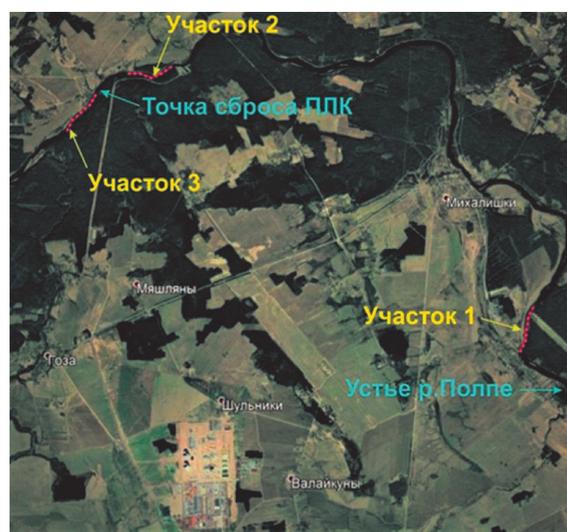
**Рис.3.** Дублирующие средства измерений: а – спектрометр МКС-АТ6102А, б – спектрометр МКС-АТ6101С.



**Рис.4.** Расположение точек отбора проб почвы.

измерений береговой линии, отобраны по одной пробе воды и по одной пробе донных отложений. Гамма-спектрометрические исследования участков береговой линии выполнялись параллельно несколькими портативными спектрометрами, в число которых входили: МКС-АТ6101ДР, МКС-АТ6102А, МКСАТ6101С.

Оценка фоновое содержание радиоактивных аэрозолей в приземных слоях атмосферного воздуха сделана при помощи воздухо-фильтрующих установок ВФУ-1200 (рис.6) и последующего лабораторного определения содержания радионуклидов в счетных образцах. Отбор проб воздуха выполнялся на штатном пункте наблюдений на метеорологической станции Маркуны. Радиоактивные аэрозоли улавливали аналитическим фильтрующим материалом ФПС-ВГ, который был разработан специально для проведения низкоуровневого



**Рис.5.** Расположение участков обследования реки Виляя.

радионуклидного мониторинга атмосферы [20]. Высокая производительность воздухо-фильтрующей установки позволяет концентрировать большие количества радиоактивных аэрозолей. В качестве сорбционно-фильтрующих мате-



**Рис. 6.** Внешний вид ВФУ-1200.

газообразного радиоактивного йода в любых химических формах. Через фильтрующий материал с помощью воздухофильтрующей установки было прокачено 32000 м<sup>3</sup> и 27000 м<sup>3</sup> воздуха для аэрозольного и сорбционно-фильтрующего материала соответственно.

### Результаты

Практика эксплуатации АЭС в России показывает, что фактические сбросы и выбросы оказывают пренебрежимо малое радиационное воздействие на население и окружающую среду. Тем не менее, поступление в окружающую среду долгоживущих радионуклидов может приводить к локальным аномальным проявлениям их содержания в различных объектах окружающей среды [9,10]. Атмосферные выбросы формируют неравномерное распределение радионуклидов по площади. В результате миграционных процессов радиоактивные вещества депонируются в различных почвенных горизонтах, накапливаются в растительности и живых организмах на территории выпадения. Сбросы приводят к накоплению

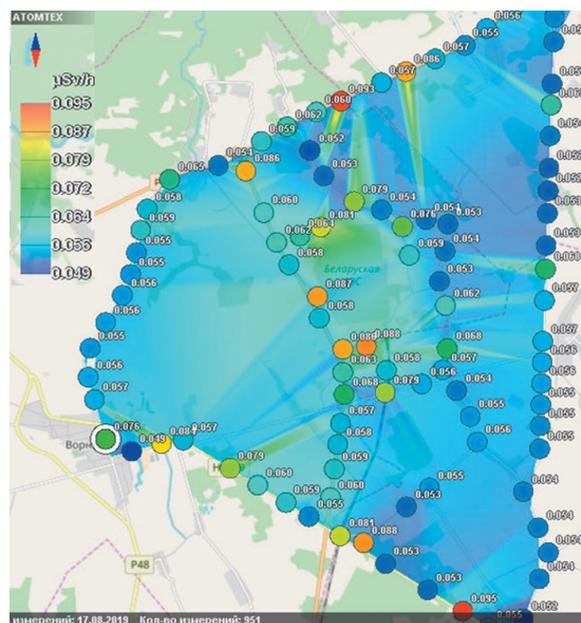
риалов для улавливания радиоактивного газообразного йода использовались материалы СФМ-2И-ПС. Импрегнированный сорбент, содержащийся в материале, имеет высокие показатели эффективности улавливания

радионуклидов в донных отложениях, водной и прибрежной флоре и фауне.

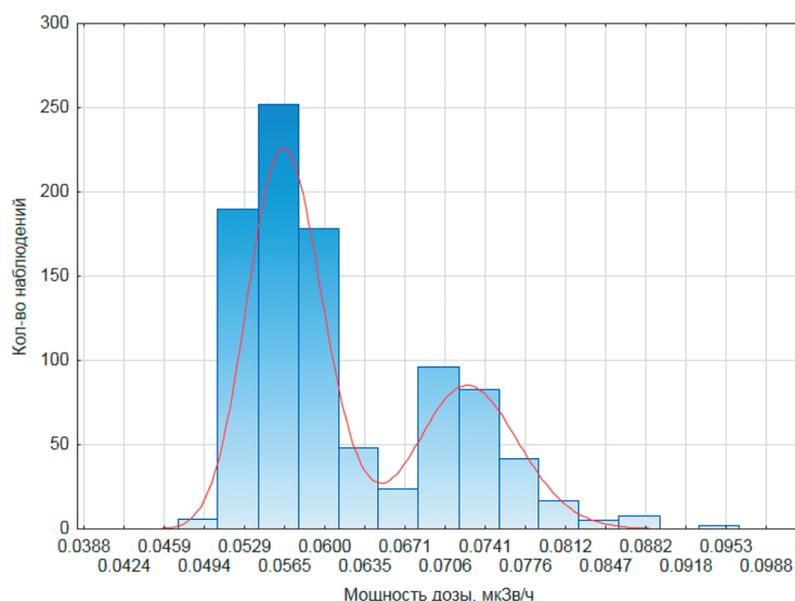
Установленные свойства поверхностного распределения плотности активности выпавших радионуклидов показывают [21]:

- непрерывность функции, характеризующей распределение плотности активности по поверхности на территории выпадения;
- независимость вариабельности наборов данных от величины единицы масштаба отбора проб;
- квазистационарность – длительность во времени изменения функции распределения плотности активности по поверхности.

Основным следствием установленных свойств поверхностного распределения плотности активности выпавших радионуклидов является то, что адекватная оценка радиационной обстановки конкретных участков территории не должна ограничиваться оценкой средних арифметических значений измеряемых величин. Требуется проведение исследования статистических характеристик, полученных данных о мощности дозы, удельной активности, плотности поверхностной активности



**Рис. 7.** Результаты автомобильной гамма-съемки. Мощность дозы (мкЗв/ч).



**Рис.8.** Распределение полученных результатов автомобильной гамма-съемки.

и т. д., полученных для конкретных площадок – определение функции распределения. Другими словами – поиск семейства распределений, которое наилучшим образом описывает выборки полученных данных. Согласно данным, полученным в результате обследования чернобыльского отложения, приближенной моделью выборок плотности активности для определенного класса участков является семейство логнормального распределения.

В настоящей работе для обследования территории выбран метод полевой гамма-спектрометрической съемки (*in situ*), обеспечивающей оперативность получения достаточного

объема данных для статистически достоверного определения функции поверхностного распределения гамма-излучающих радионуклидов на обследуемых участках. Использование площадок для *in situ* измерений в случаях проведения экспрессных оценок обеспечивает оперативное получение информации о свежих выпадениях.

На рис.7 представлены результаты автомобильной гамма-съемки при помощи спектрометра для радиационного сканирования МКС-АТ6101С.

Распределение полученных результатов может быть представлено в виде суммы двух логнормальных распределений (рис.8). Данная мультимодальность может быть объяснена различиями в покрытии автомобильных дорог (грунтовая и асфальтированная). Так, второй пик распределения может быть обусловлен повышенным содержанием  $^{40}\text{K}$  на удобренных землях, предназначенных для сельскохозяйственного пользования. В табл.1 представлены параметры полученных распределений с указанием количества результатов выше условного порога в 0,07 и 0,08 мкЗв/час.

**Табл.1.** Параметры распределений значений мощности дозы по результатам автомобильной гамма-съемки.

N	Среднее арифм., мкЗв/ч	Среднее геом., мкЗв/ч	sigma LN	Процент выше 0,07 мкЗв/ч	Процент выше 0,08 мкЗв/ч	Число точек
1	0,057	0,057	0,06	0,02%	<0,01%	691
2	0,074	0,074	0,06	80,60%	8,06%	260

**Табл.2.** Параметры распределения значений мощности дозы по результатам пешеходной гамма-съемки.

Среднее арифметическое, мкЗв/ч	Среднее геометрическое, мкЗв/ч	sigma LN	Процент выше 0,07 мкЗв/ч	Процент выше 0,08 мкЗв/ч	Число точек
0,066	0,066	0,12	30,92%	5,36%	141

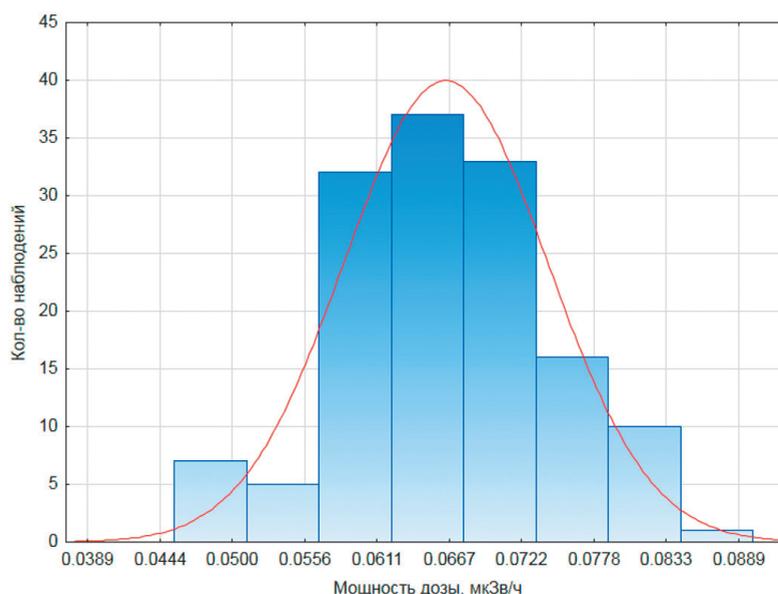
Результаты пешеходной гамма-съемки вокруг периметра площадки Белорусской АЭС представлены на рис.9 и в табл.2.

На рис.10 и в табл.3 представлены результаты гамма-съемки береговой линии реки Виля в 1-км зоне ниже точки водозабора, точки сброса и контрольного створа ниже впадения реки Полпе.

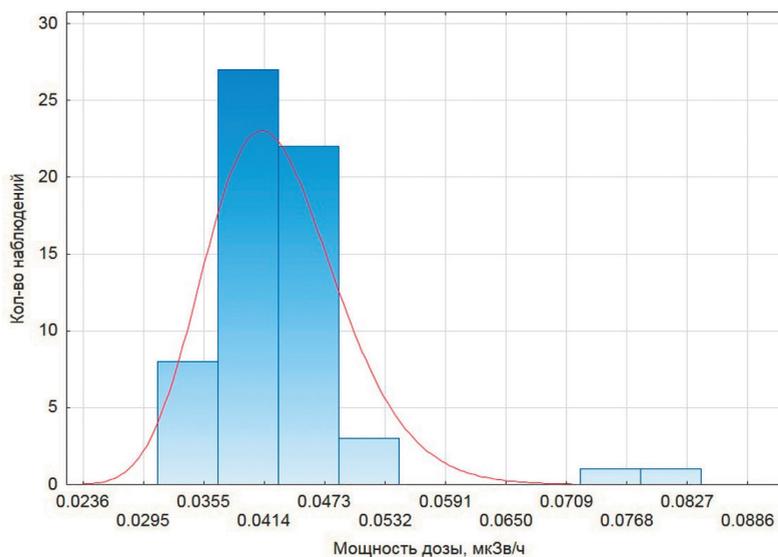
В результате выполнения пешеходной гамма-спектрометрической съемки вокруг периметра площадки Белорусской АЭС (включая контрольный участок) и береговой линии р. Виля установлено среднее значение мощности дозы на уровне  $67 \pm 8$  нЗв/ч. Мощность дозы формируется за счет космического излучения (~32 нЗв/ч), природных радионуклидов в земной коре и воздухе (до 30 нЗв/ч), техногенных радионуклидов (около 1–2 нЗв/ч) (рис.11). Результаты измерений мощности дозы с помощью МКС-АТ6101ДР и МКС-АТ6102 получены путем расположения спектрометров на поверхности земли, то есть на границе раздела двух сред: воздух–почва.

Корреляционное отношение между мощностью дозы и удельной активностью отдельных

радионуклидов сохраняется на различных участках гамма-спектрометрической съемки, что говорит об однородном радиогеохимическом спектре территории (что косвенно свиде-



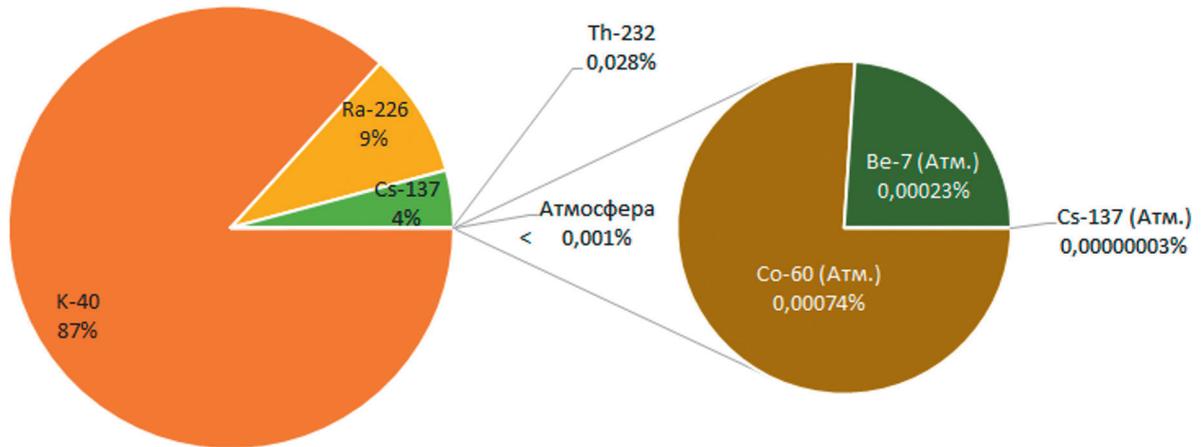
**Рис.9.** Распределение полученных результатов пешеходной гамма-съемки.



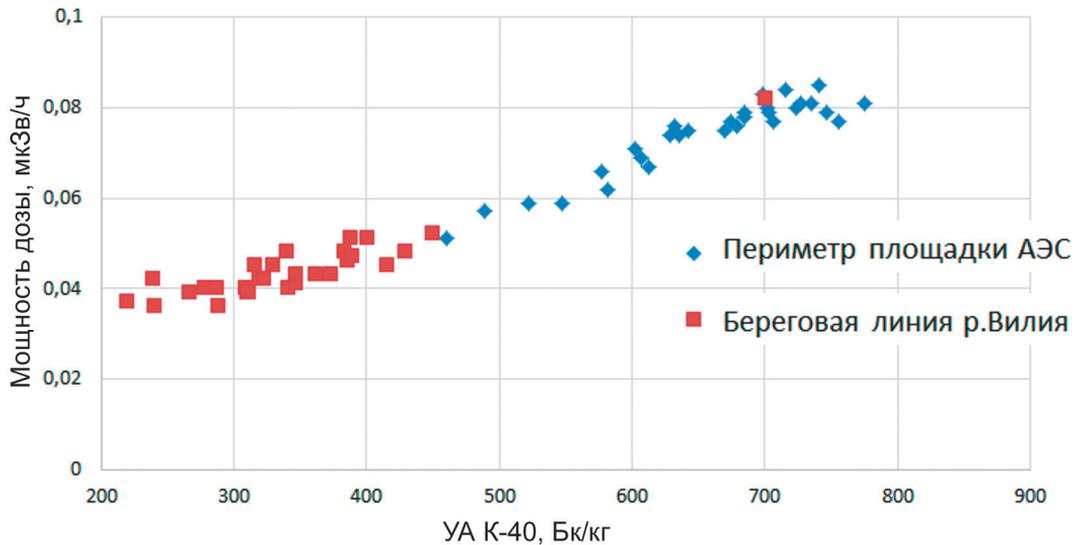
**Рис.10.** Распределение полученных результатов гамма-съемки береговой линии реки Виля.

**Табл.3.** Параметры распределения значений мощности дозы по результатам гамма-съемки береговой линии реки Виля.

Среднее арифметическое, мкЗв/ч	Среднее геометрическое, мкЗв/ч	sigma LN	Процент выше 0,07 мкЗв/ч	Процент выше 0,08 мкЗв/ч	Число точек
0,043	0,042	0,15	0,04%	<0,01%	62



**Рис.11.** Вклад отдельных радионуклидов в почве и атмосфере в формирование дозовой нагрузки на население.



**Рис.12.** Корреляционное отношение между мощностью дозы и УА <sup>40</sup>К на различных участках гамма-спектрометрической съемки.

тельствует об однородном литогенном составе верхнего геологического разреза) (рис.12).

Результаты измерения удельной активности радионуклидов в пробах почвы и донных отложений представлены в табл.4.

Полученные значения удельной активности <sup>137</sup>Cs в отобранных образцах почвы на прилегающей к Белорусской АЭС территории находятся ниже минимально детектируемой активности данного радионуклида для использованных в работе полевых спектрометров (50 Бк/кг). Достоверность полученных данных может основываться на сравнении

результатов *in situ* и результатов измерения в лабораторных исследованиях активности <sup>40</sup>K, <sup>226</sup>Ra, <sup>232</sup>Th. Измерения выполнялись с использованием сцинтилляционного гамма-спектрометра в геометрии 4π. Данные таблиц по содержанию природных радионуклидов полностью совпадают с результатами измерений *in situ*. Таким образом, результаты всех измерений *in situ* показали, что содержание <sup>137</sup>Cs находится ниже 50 Бк/кг, это подтвердили и результаты лабораторных исследований проб почвы, отобранных на территории проведения полевой гамма-спектрометрической съемки.

**Табл.4.** Удельная активность  $^{40}\text{K}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  в пробах почвы и донных отложений.

Участок	N	Наименование пробы	$A_{удел.}$ , Бк/кг			
			$^{40}\text{K}$	$^{137}\text{Cs}$	$^{226}\text{Ra}$	$^{232}\text{Th}$
Критическая точка	1	0-10 см	555±21	7,6±3,3	33,3±3,2	19,5±2,5
	2	10-20 см	581±23	7,3±3,5	35,6±3,4	21,5±2,8
	3	20-30 см	580±23	8,2±3,8	36,7±3,5	19,3±2,9
	4	Нижний правый участок	599±22	7,4±3,4	33,4±3,2	26,6±2,6
	5	Нижний левый участок	572±27	8,3±4,3	35,3±4,2	20,9±3,3
Непаханое поле	6	Непаханое поле	679±22	5,2±3,5	37,4±3,4	29,3±2,7
Паханое поле	7	Паханое поле	686±28	6,2±3,8	51,3±4,2	31,6±2,9
р. Вилия	8	Выше сбросного канала	666±22	6,7±3,5	44,6±3,3	37,1±2,7
	9	Ниже сбросного канала	411±20	8,4±3,4	36,9±3,1	17,2±2,6
	10	д. Маркуны, ниже по течению Полпе	559±19	6,1±3,5	35,9±3,2	27,6±2,2

**Табл.5.** Объемная активность  $^7\text{Be}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  на СФМ-2И-ПС.

Р/н	A, Бк	Время прокачки, ч	Средний расход воздуха, м <sup>3</sup> /ч	Объемная активность, Бк/м <sup>3</sup>
$^7\text{Be}$	81,3±12,2	53	515	$(3,0±0,5) \cdot 10^{-3}$
$^{60}\text{Co}$	3,3±0,5	53	515	$(1,2±0,2) \cdot 10^{-4}$
$^{137}\text{Cs}$	3,2±0,5	53	515	$(1,2±0,2) \cdot 10^{-4}$

**Табл.6.** Объемная активность  $^7\text{Be}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  на ФПС-ВГ.

Р/н	A, Бк	Время прокачки, ч	Средний расход воздуха, м <sup>3</sup> /ч	Объемная активность, Бк/м <sup>3</sup>
$^7\text{Be}$	122,2±18,3	53	600	$(3,9±0,6) \cdot 10^{-3}$
$^{60}\text{Co}$	7,3±1,1	53	600	$(2,3±0,3) \cdot 10^{-4}$
$^{137}\text{Cs}$	4,9±0,8	53	600	$(1,6±0,2) \cdot 10^{-4}$

Все результаты полевых измерений мощности дозы и удельной активности радионуклидов не противоречат данным наблюдений, полученным в ходе специальных исследований на территории строительства белорусской АЭС [22].

Через фильтрующий материал с помощью воздухофильтрующей установки ВФУ-1200 было прокачено 32000 м<sup>3</sup> и 27000 м<sup>3</sup> воздуха для аэрозольного и сорбционно-фильтрующего материала соответственно. На полупроводниковом спектрометре с детектором из особо чистого германия был определен радионуклидный состав аэрозолей, осевших на материале. Для всех радионуклидов была рассчитана объемная активность в воздухе в период полевых исследований. Результаты измерения

активности  $^7\text{Be}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  представлены в табл. 5 и 6.

Зафиксированные в предэксплуатационный период фоновые значения объемной активности  $^{137}\text{Cs}$  значительно превышают оценки вероятного содержания радиоцезия в приземном слое, которые будут обусловлены выбросами Белорусской АЭС при нормальной эксплуатации (до  $10^{-5}$  Бк/м<sup>3</sup>) [23].

Результаты определения объемной активности гамма-излучающих радионуклидов в приземном слое атмосферы использованы для оценки облучения критической группы за счет нахождения в облаке, ингаляционного поступления и поступления по трофическим путям (рис.11).

### Заключение

Выполнение комплексной программы полевых исследований на территории потенциального воздействия Белорусской АЭС позволило сделать оценку радиационной обстановки в районе размещения в предэксплуатационный период. В настоящей работе оценка «нулевого

фона» означала определение важных параметров, характеризующих радиационную ситуацию до начала эксплуатации Белорусской АЭС. В качестве таких ключевых параметров были выбраны:

- мощность дозы фотонного излучения (мкЗв/ч) на прилегающей к АЭС территории, на участке расположения критической точки, на участках береговой линии р. Виляя;
- содержание гамма-излучающих радионуклидов (удельная активность, Бк/кг) в почве исследуемой территории, воде и донных отложениях обследованных участков р. Виляя.

В результате выполнения пешеходной гамма-спектрометрической съемки в 158 точках вокруг периметра площадки Белорусской АЭС (включая контрольный участок) установлены диапазоны изменения измеряемых параметров:

- мощность дозы от 0,048 до 0,085 мкЗв/ч. Измерение околофоновых уровней мощности дозы ниже 0,100 мкЗв/ч для используемых средств измерения описывается в публикациях [24-26] в соответствии с требованиями стандартов МЭК 61017:2016 и 60846-1:2009 [27-28];
- удельная активность  $^{40}\text{K}$  (природный радионуклид) от 460 до 1100 Бк/кг;
- удельная активность  $^{226}\text{Ra}$  (природный радионуклид) от 6,3 до 30,4 Бк/кг;
- удельная активность  $^{232}\text{Th}$  (природный радионуклид) от 15,1 до 53,6 Бк/кг;
- удельная активность  $^{137}\text{Cs}$  (техногенный радионуклид) во всех измеренных точках достоверно меньше 50,0 Бк/кг.

Результаты автомобильной гамма-съемки в 951 точке территории, удаленной от промышленной площадки Белорусской АЭС,

в целом совпадают по диапазону значений мощности дозы (от 0,049 до 0,093 мкЗв/ч) с результатами пешеходной, но отличаются бимодальностью формы функции распределения повторяемости результатов (рис.8). Наличие двух мод объясняется различием в покрытии автомобильных дорог (грунтовая и асфальтированная), по которым передвигался автомобиль в ходе гамма-съемки.

Полевая гамма-спектрометрическая съемка в 33 точках выбранных участков береговой линии р. Виляя позволила достоверно определить содержание  $^{40}\text{K}$  (природный радионуклид) в диапазоне от 220 до 701 Бк/кг, мощность дозы от 0,033 до 0,082 мкЗв/ч. Определение значений удельной активности  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  на выбранных участках в ходе полевого этапа измерений было затруднено по причине обводненности территории, значения были получены позднее в результате лабораторных исследований отобранных проб. Гамма-спектрометрическая съемка донных отложений в 33 точках русла р. Виляя на выбранных трех участках позволила достоверно определить содержание  $^{40}\text{K}$  (природный радионуклид) в диапазоне от 357 до 745 Бк/кг. Удельная активность  $^{137}\text{Cs}$  (техногенный радионуклид) во всех измеренных точках береговой линии и дна достоверно меньше 50,0 Бк/кг.

Обработка полученных данных в полевой период экспедиции позволила получить функции распределения мощности дозы и активности радионуклидов для всех обследованных участков. Изменение установленных диапазонов значений или изменение установленных форм функций распределений мощности дозы полученных величин будет означать изменение радиоэкологической ситуации, вызванное внешним фактором.

## Литература

1. Мониторинг окружающей среды и источников для целей радиационной защиты МАГАТЭ. Серия норм безопасности МАГАТЭ, N RS-G-1.8, Вена, 2016.
2. Кадацкая М.М. Требования к организации радиационного мониторинга в зоне наблюдения Белорусской АЭС для целей оценки дозы репрезентативного человека. В сборнике: Здоровье и окружающая среда. Сборник материалов республиканской научно-практической конференции с международным участием, посвященной 90-летию республиканского унитарного предприятия «Научно-практический центр гигиены»: в 2-х томах. Главный редактор Сычик С.И. 2017. С. 71-73.
3. Николаенко Е.В. Анализ основных аспектов организации радиационно-гигиенического мониторинга на этапе строительства Белорусской АЭС // Здоровье и окружающая среда. 2015. Т. 1. N 25. С. 75-78.
4. Николаенко Е.В., Кляус В.В. Радиационно-гигиенический мониторинг для оценки «нулевого» фона вокруг Белорусской АЭС // Здоровье и окружающая среда. 2016. N 26. С. 49-53.
5. М.Е. Vasyanovich, А.А. Ekidin, I.V. Yarmoshenko. Radionuclide ratio in TENORM studies. В сборнике: RAD Conference Proceedings 2. Сер. "RAD 2014 – 2nd International Conference on Radiation and Dosimetry in Various Fields of Research, Proceedings" 2014. С. 163-166.
6. Екидин А.А., Васянович М.Е., Наливайко А.В. Применение гамма-спектрометрии для выявления техногенного загрязнения почвы ураном // Принципы экологии. 2013. N 2(6). С. 29-35.
7. Екидин А.А., Жуковский М.В., Васянович М.Е. Идентификация основных дозообразующих радионуклидов в выбросах АЭС // Атомная энергия. 2016. Т. 120. N 2. С. 106-108.
8. Пышкина М.Д. Определение основных дозообразующих нуклидов в выбросах АЭС PWR и ВВЭР // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2017. N 2(18). С. 98-107.
9. М. Vasyanovich, А. Vasilyev, А. Ekidin, I. Kapustin, А. Kryshev, «Special monitoring results for determination of radionuclide composition of Russian NPP atmospheric releases», *Nuclear Engineering and Technology*, vol, 51, no. 4, pp. 1176-1179, 2019.
10. М.Е. Vasyanovich, А.А. Ekidin, А.В. Vasilyev, А.И. Kryshev, Т.Г. Sazykina, I.V. Kosykh, I.A. Kapustin, «Determination of radionuclide composition of the Russian NPPS atmospheric releases and dose assessment to population», *Journal of Environmental Radioactivity*, vol. 208-209, pp. 106006, 2019.
11. Екидин А.А., Малиновский Г.П., Рогозина М.А., Васильев А.В., Васянович М.Е., Ярмошенко И.В. Оценка вклада техногенных радионуклидов в суммарную активность сбросов АЭС на основе имитационной модели // Атомная энергия. 2015. Т. 119. N 4. С. 219-221.
12. Васильев А.В., Екидин А.А., Юсупов Р.И., Пудовкин А.В. Нормативно-методическое обеспечение для подтверждения критериев приемлемости радиоактивных отходов АЭС для захоронения // АНРИ. 2017. N 4(91). С. 23-30.
13. Пыркова А.А., Екидин А.А., Антонов К.Л. Поступление инертных радиоактивных газов в атмосферу при нормальной эксплуатации АЭС. В сборнике: Физика. Технологии. Инновации. Сборник материалов VI Международной молодежной научной конференции, посвященной 70-летию основания Физико-технологического института УрФУ. Под редакцией Иванова В.Ю., Байtimiрова Д.Р. Министерство образования и науки РФ, Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина. 2019. С. 279-287.
14. Екидин А.А., Антонов К.Л., Васянович М.Е., Капустин И.А., Филатов И.Ю. Поступление радиоактивного йода в атмосферу при нормальной эксплуатации АЭС // Радиохимия. 2019. N 3. С. 251-262.
15. Мурашова Е.Л., Антушевский А.С., Васянович М.Е., Екидин А.А. Метод жидкой сцинтилляции для определения объемной активности стронция-90 в источниках выброса // АНРИ. 2019. N 1(96). С. 17-26.

16. Васянович М.Е., Екидин А.А. Способ измерения объемной активности инертных радиоактивных газов техногенного происхождения. Патент на изобретение RU 2714085 С1, 11.02.2020. Заявка N 2019111585 от 07.09.2018.
17. Десятов Д.Д., Екидин А.А. Оценка поступления трития в окружающую среду от выбросов АЭС // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2018. N 1(21). С. 88-96.
18. Назаров Е.И., Екидин А.А., Васильев А.В. Оценка поступления углерода-14 в атмосферу, обусловленного выбросами АЭС // Известия высших учебных заведений. Физика. 2018. Т. 61. N 12-2 (732). С. 67-73.
19. Крышев А.И., Крышев И.И., Васянович М.Е., Екидин А.А., Капустин И.А., Мурашова Е.Л. Оценка дозы облучения населения от выброса  $^{14}\text{C}$  АЭС с РБМК-1000 и ЭП-6 // Атомная энергия. 2020. Т. 128. N 1. С. 46-52.
20. I.A. Kapustin, I.Y. Filatov, Y.N. Filatov, «Development of production technology for non-woven filtering materials for monitoring atmospheric aerosols at RF radionuclide stations», *Fibre Chemistry*, vol. 44, no. 5, pp. 299-303, 2013.
21. Грубич А.О. Загрязнение почвы атмосферными выпадениями. Статистические свойства. Минск: ИВЦ Минфина, 2017. 230 с.
22. Подоляк А.Г., Седукова Г.В., Исаченко С.А. Мониторинг содержания радионуклидов в компонентах агроэкосистем в зоне воздействия строящейся Белорусской АЭС. В сборнике: Экологическая и радиационная безопасность объектов атомной энергетики. Материалы IV научно-практической конференции. Под ред. Орловой М.И., Ежовой Е.Е. 2017. С. 56-60.
23. Переволоцкая Т.В., Переволоцкий А.Н. Прогнозная оценка содержания  $^{137}\text{Cs}$  в лесных грибах и ягодах в зоне штатных выбросов Белорусской АЭС // Радиация и риск. 2013. Том 22. N 2. С. 61-66.
24. Лукашевич Р.В., Гузов В.Д., Кожемякин В.А., Оборин А.В. Сцинтилляционные блоки-компараторы для измерений мощности кермы в воздухе в диапазоне от 0,03 нГр/с до 50 нГр/с // Метрология и приборостроение. 2017. N 1. С. 33-37.
25. Лукашевич Р.В., Гузов В.Д., Кожемякин В.А. Дозиметрия полей гамма-излучения околофонового уровня с использованием высокочувствительного сцинтилляционного блока-компаратора // АНРИ. 2019. N 3(98). С. 29-41.
26. R. Lukashovich, Yu. Verhusha, V. Guzov, V. Kozemyakin. Application scintillation comparators for calibration low intense gamma radiation fields by dose rate in the range of 0.03–0.1  $\mu\text{Sv/h}$ . Engineering of scintillation materials and radiation technologies, Korhzik M, Gektin. A. (eds). Springer Proceedings Physics. 2019. vol. 227. P. 221-235.
27. Radiation protection instrumentation – Transportable, mobile or installed equipment to measure photon radiation for environmental monitoring: IEC 61017:2016. – Introd. 10.02.16. – Geneva: Intern. Electrotechnical Commiss., 2016. P. 86.
28. Radiation protection instrumentation – Ambient and/or directional dose equivalent (rate) meters and/or monitors for beta, X and gamma radiation. Part 1: Portable workplace and environmental meters and monitors: IEC 60846-1:2009. Introd. 16.04.09. Geneva: Intern. Electrotechnical Commiss., 2009. P. 116.

## Field Methods for Studying the Radiation Situation in the Area of the Belarusian NPP in the Pre-Operational Period

Ekidin Aleksey<sup>1</sup>, Vasiliev Aleksey<sup>1</sup>, Vasyanovich Maxim<sup>1</sup>, Nazarov Evgeniy<sup>1</sup>, Pyshkina Mariya<sup>1</sup>, Nichiporchuk Andrei<sup>2</sup>, Kozhemyakin Valery<sup>2</sup>, Kapustin Ivan<sup>3</sup>, Privalov Ivan<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Institute of Industrial Ecology, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia

<sup>2</sup> Scientific Production Unitary Enterprise «АТОМТЕХ», Minsk, Belarus

<sup>3</sup> MIREA – Russian Technological University, Moscow, Russia

**Abstract.** The article presents the results of field studies in the area of the Belarusian NPP in the pre-operational period. The «background» contents of gamma-emitting radionuclides in individual components of the environment are determined. The main array of dose rate measurements in the area of the NPP construction site is in the range 0.048 ч 0.089  $\mu\text{Sv/h}$ . External radiation in the surveyed area is formed at 96% due to  $^{40}\text{K}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  and  $^{232}\text{Th}$ . The information obtained can be used to correctly interpret the data of future radiation monitoring during normal operation of nuclear power plants.

**Key words:** Belarusian NPP, radiation monitoring, environment, dose rate, radionuclides, concentration, measuring instrument.

А.А.Екидин<sup>1</sup> (к.ф.-м.н., доцент, в.н.с.), А.В.Васильев<sup>1</sup> (к.т.н., зав.лаб.),  
М.Е.Васянович<sup>1</sup> (к.ф.-м.н., м.н.с.), Е.И.Назаров<sup>1</sup> (м.н.с.), М.Д.Пышкина<sup>1</sup> (м.н.с.),  
А.О.Ничипорчук<sup>2</sup> (инж.), В.А.Кожемякин<sup>2</sup> (к.т.н., с.н.с., директор),  
И.А.Капустин<sup>3</sup> (к.т.н., н.с.), И.А.Привалов<sup>3</sup> (инж.)

<sup>1</sup>Институт промышленной экологии УрО РАН, г. Екатеринбург

<sup>2</sup>Научно-производственное унитарное предприятие «АТОМТЕХ», г. Минск

<sup>3</sup>МИРЭА – Российский технологический университет, г. Москва

Контакты: e-mail – e.nazarov1005@gmail.com.