

3. Официальный сайт Thermo Fisher Scientific. PackEye Radiation Detection Backpack. URL: <https://www.thermofisher.com/order/catalog/product/FHT1377>

4. Каралова, З. К. Актиний (Аналитическая химия элементов) / З. К. Каралова, Б. Ф. Мясоедов. – М. : Наука, 1982. – 144 с.

5. Закон Республики Таджикистан «О радиационной безопасности». – Душанбе : Дониш, 2004. – С. 98–121.

## **РАДИАЦИОННО-ГИГИЕНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ БЕЛОРУССКОЙ АЭС ДЛЯ НАСЕЛЕНИЯ**

### **RADIATION-HYGENIC MAINTENANCE OF THE SAFETY OF THE BELARUSIAN NPP FOR THE POPULATION**

***В. В. Кляус, Е. В. Николаенко***

***V. V. Kliaus, A. U. Nikalayenka***

*Республиканское унитарное предприятие «Научно-практический центр гигиены»,  
г. Минск, Республика Беларусь  
vkliaus@gmail.com*

*Republican unitary enterprise «Scientific-practical centre of hygiene», Minsk, Republic of Belarus*

В связи с реализацией в Республике Беларусь первой ядерно-энергетической программы и пуском в эксплуатацию Белорусской АЭС в соответствии с международными требованиями и рекомендациями возникла необходимость разработки и усовершенствования нормативно-правовой базы в области обеспечения радиационной безопасности и оценки воздействия атомной станции на здоровье населения. В настоящей статье приведены результаты радиационно-гигиенического мониторинга, проведенного в 2017–2020 гг., до пуска Белорусской АЭС в эксплуатацию. В статье также приведены результаты оценки доз облучения населения Республики Беларусь от выбросов и сбросов радиоактивных веществ в окружающую среду Белорусской АЭС, как при ее работе в штатном режиме, так и при возможных радиационных авариях. Результаты оценки показали, что дозы облучения населения при штатном режиме работы Белорусской АЭС более чем в два раза ниже установленного норматива граничной дозы, даны рекомендации по проведению защитных мероприятий для населения при возможных авариях.

In connection with the implementation of the first nuclear power program in the Republic of Belarus and the commissioning of the Belarusian NPP, it became necessary to develop and improve the legal framework in the field of ensuring radiation safety in accordance with international requirements and recommendations and assess the impact of a nuclear power plant on public health. This article presents the results of radiation-hygienic monitoring carried out in 2017–2020 before the commissioning of the Belarusian NPP. The article also presents the results of dose assessment for the population of the Republic of Belarus from gaseous releases and liquid discharges of radioactive substances into the environment from the Belarusian NPP, both during its normal operation and during possible radiation accidents. The results of the assessment showed that the exposure doses to the public during the normal operation of the Belarusian NPP are more than two times lower than the regulatory established value of dose constraint, recommendations were given for taking protective measures for the public in case of potential accidents.

*Ключевые слова:* Белорусская АЭС, радиационно-гигиенический мониторинг, доза облучения, население, нормальная эксплуатация, радиационная авария.

*Keywords:* Belarusian NPP, radiation-hygienic monitoring, exposure dose, population, normal operation, radiation emergency.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2022-2-265-268>

Республика Беларусь в настоящее время реализует свою первую ядерную энергетическую программу. В 2021 г. введен в промышленную эксплуатацию первый энергоблок Белорусской АЭС и осуществлен физический пуск второго энергоблока.

В соответствии с обязательствами Республики Беларусь в рамках ратифицированных международных соглашений, согласно рекомендациям Международного агентства по атомной энергии (далее – МАГАТЭ), а также требованиями национальных нормативных документов в случае эксплуатации АЭС оценка радиационного риска для населения является обязательной. Мерилом радиационного риска являются величины доз облучения населения. В процессе эксплуатации АЭС для контроля облучения населения и определения необходимости введения ограничительных или защитных мер обычно используют величины доз облучения, расчет которых базируется на

данных о выбросах и сбросах, т.к. сами концентрации радионуклидов в выбросе при нормальной эксплуатации АЭС слишком малы чтобы быть измеренными непосредственно, особенно на значительных расстояниях от АЭС, и не могут выступать в качестве репрезентативных величин для оценки риска.

Оценка доз облучения репрезентативного лица в результате запланированных выбросов и сбросов, является также одним из этапов подготовки получения АЭС лицензии на проведение выбросов и сбросов.

**Разработка нормативно-правовых документов.** Для обеспечения радиационной безопасности населения, в том числе от действующей Белорусской АЭС специалистами Министерства здравоохранения Республики Беларусь с 2010 г. разработан и утвержден ряд нормативно-правовых документов, среди которых:

- Санитарные нормы и правила «Требования к радиационной безопасности», утвержденные постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 28.12.2012 № 213;
- Гигиенический норматив «Критерии оценки радиационного воздействия», утвержденные постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 28.12.2012 № 213 [1];
- Санитарные нормы, правила и гигиенические нормативы «Гигиенические требования к проектированию и эксплуатации атомных электростанций», утвержденные постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 31.03.2010 № 39 (далее – СП АЭС-2010) [2];
- Санитарные нормы и правила «Требования к обеспечению радиационной безопасности персонала и населения при осуществлении деятельности по использованию атомной энергии и источников ионизирующего излучения», утвержденные постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 31.12.2013 № 137;
- Санитарные нормы и правила «Требования к обеспечению радиационной безопасности персонала и населения при обращении с радиоактивными отходами», утвержденные постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 31.12.2015 № 142.

Нормативные требования, закрепленные в вышеперечисленных нормативных документах, соответствуют современным рекомендациям МАГАТЭ.

**Результаты радиационно-гигиенического мониторинга до пуска Белорусской АЭС в эксплуатацию.** Радиационно-гигиенический мониторинг (далее – РГМ) – это сбор, анализ и оценка информации о состоянии здоровья персонала и населения в зависимости от радиационной и санитарно-эпидемиологической обстановки среды обитания человека, оценка доз и риска облучения для жизни и здоровья персонала и населения, разработка мероприятий, направленных на предупреждение, уменьшение и устранение неблагоприятного воздействия облучения на организм человека [3]. В соответствии с законодательством в области санитарно-эпидемиологического благополучия населения РГМ проводится Министерством здравоохранения Республики Беларусь в рамках проведения социально-гигиенического мониторинга.

На стадии строительства Белорусской АЭС РГМ выполнялся для оценки «фоновых» уровней радиоактивного загрязнения питьевой воды, продуктов питания, а также медико-демографических данных на территории зоны наблюдения (далее – ЗН) в радиусе 12,9 км от площадки в 15 реперных населенных пунктах.

Основными контролируруемыми параметрами являлись: удельная и объемная активность радионуклидов ( $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ) в продуктах питания и питьевой воде и объемная суммарная альфа- и бета-активность в питьевой воде. Измерения проводились аккредитованными лабораториями государственного предприятия «НПЦГ», Государственного учреждения «Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды», Республиканского унитарного предприятия «Белорусский государственный институт метрологии» и Государственного научного учреждения «Институт радиобиологии Национальной академии наук Беларуси».

За период наблюдений 2017–2020 гг. проанализировано 285 проб питьевой воды: 115 проб из централизованных источников водоснабжения (далее – артскважин) и 170 проб из шахтных колодцев (далее – колодцев). Удельная активность  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в пробах воды из артскважин не превышала значений МДА метода, за исключением нескольких НП (д. Рыганы, д. Бобровники, д. Чехи, д. Подольцы), где содержание  $^{90}\text{Sr}$  в пробах питьевой воды составило от  $0,004\pm 0,001$  до  $0,009\pm 0,002$  Бк/л. Значения объемной суммарной альфа-активности в артскважинах варьировали от  $0,013\pm 0,003$  Бк/л (д. Чехи и д. Трокеники) до  $0,42\pm 0,063$  Бк/л (д. Гервяты). Значения объемной суммарной бета-активности во всех пробах воды из артскважин не превышали МДА метода, и только в 1 пробе воды, отобранной из артскважины д. Бобровники значение объемной суммарной бета-активности составило  $0,38\pm 0,057$  Бк/л. В пробах воды из колодцев значения объемной суммарной альфа-активности варьировали от  $0,01$  Бк/л до  $0,730\pm 0,12$  Бк/л, в некоторых пробах были установлены превышения норматива объемной суммарной бета-активности ( $1$  Бк/л) [1], максимальное зарегистрированное значение составило  $3,65\pm 0,44$  Бк/л.

По результатам проведения РГМ установлены «фоновые» уровни радиоактивного загрязнения  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  пищевых продуктах в ЗН Белорусской АЭС:

- удельная активность  $^{90}\text{Sr}$  в молоке – от  $0,05$  до  $1$  Бк/л, в мясе – от  $0,09$  до  $0,42$  Бк/кг, в картофеле – от  $0,08$  до  $0,46$  Бк/кг, в остальных пробах плодоовощной продукции от  $0,04$  Бк/кг (помидоры, яблоки) до  $0,94$  Бк/кг (лук);
- удельная активность  $^{137}\text{Cs}$  в молоке – от  $0,7$  до  $5,3$  Бк/л, в мясе – менее  $0,9$  Бк/кг, в картофеле – от  $0,9$  до  $1,6$  Бк/кг, в плодоовощной продукции – от  $0,9$  Бк/кг (лук, огурцы, томаты) до  $1$  Бк/кг (капуста, яблоки, лук).

В целом, до пуска Белорусской АЭС в эксплуатацию уровни удельной и объемной активности  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в пробах пищевых продуктов и питьевой воды в ЗН не превышали нормативов, установленных РДУ–99 [4], а уровни содержания природных радионуклидов в питьевой воде – не превышали референтных уровней содержания радионуклидов в питьевой воде, установленных в [1].

Расчетные значения доз внутреннего облучения населения, проживающего в ЗН, до пуска Белорусской АЭС от потребления продуктов питания с данными уровнями содержания радионуклидов  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  составили порядка 30 мкЗв/год.

**Оценка радиационного воздействия Белорусской АЭС на здоровье населения.** За период с 2010 г. и по настоящее время проводилась оценка радиационного воздействия Белорусской АЭС на население Республики Беларусь и сопредельных и других государств, как при нормальной эксплуатации станции, так и при возможных авариях различной степени тяжести. Данная оценка выполнялась в рамках проведения процедуры ОВОС, оценки необходимых размеров санитарно-защитной зоны (далее – СЗЗ) вокруг площадки размещения станции, расчета предельно допустимых значений выбросов и сбросов радионуклидов в окружающую среду, установления размеров зон аварийного планирования и разработки мероприятий по защите населения при возможных радиационных авариях.

Оценка прогнозируемых годовых эффективных доз (далее – ГЭД) облучения населения при нормальной эксплуатации Белорусской АЭС выполнялась на основе проектных данных об ожидаемых выбросах и сбросах радионуклидов в окружающую среду, а также на данных о фактических выбросах и сбросах радионуклидов станций-аналогов с реакторами типа ВВЭР-1200.

Моделирование атмосферного переноса радионуклидов и расчет доз облучения населения от выбросов радиоактивных газов и аэрозолей выполнялось с помощью лицензионного программного пакета PC CREAM-08 [5]. Расчет ГЭД от выбросов радионуклидов в атмосферу также выполнялся с использованием Руководства по безопасности при использовании атомной энергии «Рекомендации по содержанию документов, обосновывающих нормативы ПДВ радиоактивных веществ в атмосферный воздух и нормативы допустимых сбросов радиоактивных веществ в водные объекты» (РБ-085-13), утв. приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору (Ростехнадзор) от 19.08.2013 № 362 и Методики разработки и установления нормативов ПДВ радиоактивных веществ атомных станций в атмосферный воздух МТ 1.2.1.15.1176-2016, введенной в действие приказом ОАО «Концерн Росэнергоатом» от 29.12.2016 № 9/1786-П.

Моделирование рассеяния радионуклидов в атмосфере проведено на основании результатов анализа реальных метеорологических условий в районе расположения Белорусской АЭС (метеостанция Лынтупы) за 20-летний период по данным Республиканского центра по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды. Моделирование разбавления примеси в р. Вилия проводилось с использованием фактических гидрологических и морфометрических характеристик р. Вилия.

Для оценки ГЭД использовалась концепция репрезентативного лица, которое определено на основании данных об образе жизни, особенностях ведения личного подсобного хозяйства, потребления продуктов питания среди взрослого населения Островецкого района. Уровни потребления питьевой воды, интенсивность ингаляции, а также дозовые коэффициенты для различных возрастных групп использованы в соответствии с [1].

Результаты оценки ГЭД облучения населения при нормальной эксплуатации Белорусской АЭС показали, что максимальное значение ГЭД от выбросов радионуклидов на расстоянии 2 км от площадки будет равно 0,2 мкЗв/год, от сбросов радионуклидов в р. Вилия – порядка 20 мкЗв/год, что суммарно более чем в 2 раза ниже установленной граничной дозы облучения – 50 мкЗв/год [2]. К радиационно-значимым радионуклидам, участвующим в формировании ГЭД от выбросов, относятся:  $^{14}\text{C}$  (84,8 %),  $^3\text{H}$  (2,8 %),  $^{135}\text{Xe}$  (1,5 %),  $^{131}\text{I}$  (0,7 %),  $^{137}\text{Cs}$  (0,4 %),  $^{134}\text{Cs}$  (0,3 %). Основными дозообразующими радионуклидами, которые вносят вклад более 99 % в ГЭД от сбросов в р. Вилия, будут являться:  $^{137}\text{Cs}$  (42 %),  $^{134}\text{Cs}$  (39,7 %),  $^3\text{H}$  (17,8 %),  $^{60}\text{Co}$  (0,1 %),  $^{131}\text{I}$  (0,2 %). Основными путями облучения населения от выбросов и сбросов Белорусской АЭС будут внутреннее облучение от перорального поступления и от ингаляции радионуклидов, суммарный вклад в ГЭД которых составит до 90 %.

Результаты оценки ГЭД облучения населения при нормальной эксплуатации Белорусской АЭС использованы при разработке расчетного обоснования размеров СЗЗ Белорусской АЭС, а также при разработке расчетного обоснования нормативов предельно допустимых и допустимых газоаэрозольных выбросов и жидких сбросов Белорусской АЭС.

Оценка последствий проектных и запроектных аварий на Белорусской АЭС проводилась с использованием лицензионных программных кодов InterRas [6] и JRODOS [7]. Аварийные сценарии для реактора типа ВВЭР-1200 определялись на основании рекомендаций МАГАТЭ (IAEA EPR-Public Protective Actions, 2013), проектной документации Белорусской АЭС и по данным станций-аналогов с реакторами типа ВВЭР-1000.

Результаты проведенной оценки прогнозируемых доз облучения населения при максимально проектных авариях на Белорусской АЭС с выбросом радионуклидов порядка  $10^{14}$  Бк показали, что максимальное значение ожидаемой общей эффективной дозы за пределами площадки составит 0,07 мЗв, а дозы облучения щитовидной железы – порядка 1 мЗв. Мероприятий по защите населения в данном случае не потребуются. При наиболее тяжелой с точки зрения радиологических последствий для населения запроектной аварии с выбросом радионуклидов в окружающую среду порядка  $10^{16}$  Бк максимальное значение ожидаемой общей эффективной дозы облучения населения за пределами площадки (на расстоянии 3–5 км) может составить 1,7–2,7 мЗв. Максимальное значение дозы облучения щитовидной железы составит до 94 мГр у детей и до 43 мГр у взрослых, что превысит установленные в [1] критерии аварийного реагирования и в соответствии с Внешним аварийным планом Белорусской АЭС [8] потребует таких мероприятий по защите населения как блокирование щитовидной железы, запрет на потребление местных пищевых продуктов, проведение аварийного радиационного мониторинга.

Усилия Республики Беларусь, направленные на соблюдение международных требований и рекомендаций МАГАТЭ в области обеспечения радиационной безопасности Белорусской АЭС для населения, отмечены

экспертами МАГАТЭ в ходе проведенных в республике экспертных миссий: INIR (2020), IRRS (2016, 2021), EPREV (2018).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Критерии оценки радиационного воздействия : гигиен. нормативы : утв. постановлением М-ва здравоохранения Респ. Беларусь 28 дек. 2012 г. № 213 // Радиационная гигиена. – Вып. 2. – Минск, 2013. – С. 34–167.
2. Гигиенические требования к проектированию и эксплуатации атомных электростанций: Санитарные нормы, правила и гигиенические нормативы: утв. постановлением Мин-ва здравоохранения Респ. Беларусь, 31.03.2010 г., № 39. – Минск: ГУ «РЦГЭ и ОЗ», 2010. – 116 с.
3. О радиационной безопасности: Закон Респ. Беларусь, 18 июня 2019 г. № 198-З. Доступно: [https://pravo.by/upload/docs/op/H11900198\\_1561496400.pdf](https://pravo.by/upload/docs/op/H11900198_1561496400.pdf) (дата обращения: 20.11.2020).
4. Республиканские допустимые уровни содержания радионуклидов в пищевых продуктах и питьевой воде: гигиен. норматив 10-117-99, утв. постановлением Главного гос. сан. врача Респ. Беларусь от 26.04.1999 № 16.
5. PC-CREAM 08 User Guide. RPD-EA-9-2009 / J. Smith [ et al.]; Health Protection Agency. – Didcot, HPA, 2009. – 89 p.
6. INTERRAS 1.2 : учеб. пособие / Междунар. агентство по атомной энергии / Вена : МАГАТЭ, 2000. – 105 с.
7. JRodos User Guide [Electronic resource] / I. Ievdin [et al.]. – Режим доступа: [https://resy5.iiket.kit.edu/JRODOS/documents/JRodos\\_UserGuide.pdf](https://resy5.iiket.kit.edu/JRODOS/documents/JRodos_UserGuide.pdf). – Дата доступа: 03.06.2020.
8. План защитных мероприятий при радиационной аварии на белорусской атомной электростанции (внешний аварийный план) [Электронный ресурс] : утв. постановлением Совета Министров Республики Беларусь 22 марта 2018 г. № 211. – Режим доступа: <https://energodoc.by/document/view?id=3245>. – Дата доступа: 01.06.2020.

## ВЛИЯНИЕ ОТДЕЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ДИАГНОСТИЧЕСКОГО ПРОТОКОЛА НА КАЧЕСТВЕННЫЕ И КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДИАГНОСТИЧЕСКОГО ПЭТ ИЗОБРАЖЕНИЯ FREQUENTLY USED PARAMETERS OF THE DIAGNOSTIC PROTOCOL ON THE QUALITATIVE AND QUANTITATIVE CHARACTERISTICS OF THE DIAGNOSTIC PET IMAGE

***Е. В. Емельяненко<sup>1,2</sup>, К. В. Поддубный<sup>3</sup>***  
***E. V. Emialyanenko, K. V. Paddubny***

<sup>1</sup>*Белорусский государственный университет, г. Минск, Республика Беларусь*

<sup>2</sup>*Учреждение образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ, г. Минск, Республика Беларусь*

<sup>3</sup>*РНПЦ им. Н.Н. Александрова, аг. Лесной, Республика Беларусь*  
*zheka-ava@mail.ru*

<sup>1</sup>*Belarusian State University, BSU, Minsk, Republic of Belarus*

<sup>2</sup>*International Sakharov Environmental Institute of Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus*

<sup>3</sup>*N. N. Alexandrov national cancer centre of Belarus, Lesnoy, Republic of Belarus*

Выполнен анализ влияния длительности сканирования и реконструкционных алгоритмов на качество диагностического ПЭТ изображения, определены тенденции зависимости шума и соотношения сигнал/шум от длительности сканирования.

The analysis of the influence of the scan duration and reconstruction algorithms on the quality of the diagnostic PET image was performed, the trends in the dependence of noise and signal-to-noise ratio on the scan duration were determined.

*Ключевые слова:* диагностический протокол, длительность сканирования, реконструкционные параметры, шум, качество изображения.

*Keywords:* diagnostic protocol, strength, recovery parameters, noise, image quality.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2022-2-268-271>

**Введение.** Позитронно-эмиссионная томография, совмещенная с компьютерной рентгеновской томографией (ПЭТ/КТ) используются для первичной диагностики злокачественных новообразований, стадирования,