
РАДИОЛОГИЯ И РАДИОБИОЛОГИЯ, РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

RADIOLOGY AND RADIOBIOLOGY, RADIATION SAFETY

УДК 535.231.16:614.876.06:621.039.58

ОЦЕНКА ДИНАМИКИ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ДОЗ ВНУТРЕННЕГО ОБЛУЧЕНИЯ ПГРЭЗ РАБОТНИКОВ ПОЛЕССКОГО РАДИАЦИОННО-ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ЗАПОВЕДНИКА

М. А. ШАБАЛЕВА¹⁾, Н. Н. ДЕМЕНКОВЕЦ²⁾, Р. А. НЕНАШЕВ²⁾

¹⁾Гомельский государственный медицинский университет,
ул. Карла Маркса, 11а, 246000, г. Гомель, Беларусь

²⁾Полесский государственный радиационно-экологический заповедник,
ул. Терешковой, 7, 247618, г. Хойники, Гомельская область, Беларусь

Проведен анализ многолетней динамики дозы внутреннего облучения сотрудников Полесского радиационно-экологического заповедника (ПГРЭЗ), а также дано определение факторов, обуславливающих варьирование ее показателей у разных категорий обследованного персонала. Проведен статистический анализ дозы внутреннего облучения сотрудников заповедника за 2007–2021 гг. Исследованы результаты 9525 измерений, полученных по результатам контроля дозы внутреннего облучения персонала на спектрометре (счетчике) излучений человека СКГ-АТ 1316.

Образец цитирования:

Шабалева МА, Деменковец НН, Ненашев РА. Оценка динамики индивидуальных доз внутреннего облучения ПГРЭЗ работников Полесского радиационно-экологического заповедника. *Журнал Белорусского государственного университета. Экология*. 2024;4:35–43.
<https://doi.org/10.46646/2521-683X/2024-4-35-43>

For citation:

Shabaleva MA, Demenkovec NN, Nenashev RA. Assessment of the dynamics of individualized internal exposure dose irradiation of PSRER workers of the Polesie State Radiation-Ecological Reserve. *Journal of the Belarusian State University. Ecology*. 2024;4:35–43. Russian.
<https://doi.org/10.46646/2521-683X/2024-4-35-43>

Авторы:

Марина Александровна Шабалева – кандидат биологических наук; доцент кафедры гистологии, цитологии и эмбриологии.
Николай Николаевич Деменковец – заведующий отделом радиационной безопасности и режима.
Роман Алексеевич Ненашев – старший научный сотрудник отдела радиационно-экологического мониторинга.

Authors:

Maryna A. Shabaleva, PhD (biology); associate professor at the department of histology, cytology and embryology.
histagom@gmail.com
Nikolai N. Demenkovec, head of the department of radiation safety and regime.
zap-orb@mail.ru
Roman A. Nenashev, senior researcher at the department of radiation-ecological monitoring.
rm@tut.by

Определены многолетние, гендерные, профессиональные, возрастные и локальные различия полученных данных. Выявлено, что уровень дозы внутреннего облучения персонала в большинстве случаев (4317 измерений) не превышает 0,01 мЗв/год, а в 87 % измерений не превышает 0,055 мЗв/год; лишь у 1,3 % сотрудников определены показатели дозы внутреннего облучения были выше 2 мЗв/год. За многолетний период наблюдений наибольшими показателями отличались 2010 и 2011 г. – 0,029 и 0,027 мЗв/год соответственно. Анализ дозы внутреннего облучения у представителей разных специальностей позволил определить самые высокие медианные уровни дозы у охотоведов (0,02 мЗв/год), коневодов, пожарных и водителей, а наименьшие – у инженерно-исследовательского персонала. На основе проведенных измерений персонал заповедника можно разделить на 3 профессиональные группы. Согласно полученным данным уровень дозы внутреннего облучения был статистически значим ($p < 0,05$) выше у мужчин, по сравнению с женщинами, в 2 раза. Среди работников из различных населенных пунктов наибольшие показатели отмечены у жителей г. Наровля (0,3 мЗв/год). Относительно высокие уровни дозы внутреннего облучения определены для сотрудников из д. Березовка и д. Малишев (0,1 мЗв/год). При анализе возрастных зависимостей формирования дозы внутреннего облучения выделено 5 возрастных групп, отличающихся статистически значимыми различиями данного показателя: максимальные уровни выявлены у лиц 35–46 лет (0,015 мЗв/год), а минимальные – в возрасте 18–26 лет (0,007 мЗв/год).

Ключевые слова: радиоактивное загрязнение; доза внутреннего облучения; ППРЭЗ; СИЧ-измерения.

ASSESSMENT OF THE DYNAMICS OF INDIVIDUALIZED INTERNAL EXPOSURE DOSE IRRADIATION OF PSRER WORKERS OF THE POLESIE STATE RADIATION-ECOLOGICAL RESERVE

M. A. SHABALEVA^a, N. N. DEMENKOVIC^b, R. A. NENASHEV^b

^aGomel State Medical University,

11a Karl Marx Street, Gomel 246000, Belarus

^bPolesie State Radiation-Ecological Reserve,

7 Tserashkova Street, Khoyniki 247618, Gomel region, Belarus

Corresponding author: M. A. Shabaleva (histagom@gmail.com)

The purpose of the study was to analyze the long-term dynamics of the internal radiation dose of PSRER employees, as well as to determine the factors that determine the variation of its indicators in different categories of the examined personnel. A statistical analysis of the internal radiation dose of the reserve employees for the period from 2007 to 2021 was carried out. The results of 9525 measurements obtained from monitoring the internal radiation dose of personnel on a spectrometer (counter) of human radiation SKG-AT 1316 were studied. Long-term, gender, professional, age and local differences in the obtained data were determined. It was revealed that the level of internal radiation dose of personnel in most cases (4317 measurements) does not exceed 0.01 mSv/year, and in 87 % of measurements it does not exceed 0.055 mSv/year; only 1.3 % of employees had internal radiation dose indicators higher than 2 mSv/year. Over the long-term observation period, the highest values were observed in 2010 and 2011 – 0.029 and 0.027 mSv/year, respectively. Analysis of the internal radiation dose in representatives of different specialties allowed us to determine the highest median dose levels in gamekeepers (0.02 mSv/year), horse breeders, firefighters and drivers, and the lowest in engineering and research personnel. Based on the measurements, the reserve personnel can be divided into 3 professional groups. According to the data obtained, the level of internal radiation dose was statistically significantly ($p < 0.05$) higher in men than in women (2 times). Among workers from various populated areas, the highest values were noted among residents of the city of Narovlya (0.3 mSv/year). Relatively high levels of internal radiation dose were determined for employees from the villages of Berезovka and Malishev (0.1 mSv/year). When analyzing the age dependencies of the formation of the internal radiation dose, 5 age groups were identified, which were distinguished by statistically significant differences in this indicator: the maximum levels were found in individuals aged 35–46 years (0.015 mSv/year), and the minimum levels were found in individuals aged 18–26 years (0.007 mSv/year).

Keywords: radioactive contamination; internal dose; PSRER; WBC measurements.

Введение

С момента создания Полесского государственного радиационно-экологического заповедника его приоритетными задачами являются природоохранная деятельность, а также мероприятия, направленные на предотвращение пожаров, переноса радионуклидов, мониторинговые исследования и т. д. Вместе с тем не менее важная проблема – обеспечение безопасных условий труда персонала, работающего на загрязненной радионуклидами территории.

Следование существующим нормативам в соответствии с Законом «О радиационной безопасности» в заповеднике проводится индивидуальный дозиметрический контроль, учет, анализ и оценка внешнего и внутреннего облучения персонала¹. Согласно Закону «О социальной защите граждан, пострадавших от катастрофы на Чернобыльской АЭС, других радиационных аварий», наиболее значимым критерием ограничения трудовой деятельности на территории радиоактивного загрязнения является средняя годовая эффективная доза облучения населения, которая не должна превышать 1 мЗв², а ее предел при профессиональном облучении составлять 20 мЗв.

Как известно, основными факторами, оказывающими влияние на формирование дозы внутреннего облучения, является, социальный³, в том числе «лесной» фактор, обусловленный потреблением ягод, грибов и дичи [1–4]. За многолетний период мониторинга дозовых нагрузок сотрудников заповедника получен значительный массив данных, анализ которых представляет не только прикладной интерес в рамках соблюдения установленных пределов, но и дает обширный материал для изучения основных закономерностей формирования дозы внутреннего облучения, а также параметров, определяющих ее уровень.

Материалы и методы исследования

Контроль внутреннего облучения персонала ПГРЭС осуществляется на спектрометре (счетчике) излучений человека (СИЧ) СКГ-АТ 1316 с периодичностью 1–2 раза в год. В качестве методического обеспечения руководствовались документацией по эксплуатации прибора [5]. В исследовании использовались данные СИЧ-измерений персонала ПГРЭС за 2007–2022 гг.

В соответствии с рассчитанными коэффициентами Шапиро – Уилка в ходе статистической обработки установлено, что распределение показателей дозы отличается от нормального, являясь логнормальным. При этом распределения показателей возраста, роста и веса имеют характер, близкий к нормальному. Дальнейшая обработка осуществлялась с помощью методов непараметрической и параметрической статистики с использованием программы *Statistica 13.0*.

Количественные данные приведены в виде медианы и квартилей – Me (Q25; Q75). Для сравнения двух независимых выборок применялся непараметрический U-критерий Манна – Уитни. Результаты определяются как статистически значимые при $p < 0,05$.

Результаты исследования и их обсуждение

За весь период исследований было проведено 9525 измерений дозы внутреннего облучения, из них 7827 чел. (82 %) составляли мужчины и 1698 (18 %) – женщины. Средний возраст составил 43,2 года (43,4 – у мужчин и 42,2 года у женщин). Для 186 сотрудников имеются данные за период 10 и более лет; для 403 сотрудников результаты измерений имеются за 5 лет.

Изучение всего массива полученных данных свидетельствует, что в абсолютном большинстве случаев уровень дозы внутреннего облучения персонала не превышает 0,01 мЗв/год (4317 случаев); показатели 87 % всех измерений не превышают 0,055 мЗв/год (рис. 1).

В то же время в 11 % случаев были получены значения в диапазоне 0,1–0,2 мЗв/год, и лишь у 1,3 % сотрудников определены показатели дозы внутреннего облучения, превышающие 2 мЗв/год.

Анализ многолетней динамики данных за весь период исследований показал, что уровень дозы внутреннего облучения достигал наибольших значений в 2010 и 2011 г. – 0,029 (0,014–0,100) и 0,027 (0,013–0,100) мЗв/год соответственно. Дальнейшая динамика этого показателя зафиксирована на рис. 2.

В последующие годы показатели постепенно снижались и, начиная с 2015 г., изменялись не столь резко. Тем не менее, заметна определенная ежегодная вариабельность признака. В частности, в большинстве случаев изменение дозы внутреннего облучения за год является статистически значимым (относительно предыдущего года). Так, в 2010 г. наблюдалось резкое повышение медианного показателя дозы относительно 2009 г. на 270 % ($p < 0,05$). В последующий период отмечено постепенное снижение дозы, статистически значимое в 2012, 2014, 2015 и 2016 г. Однако в отдельные годы происходит отклонение от данной тенденции: в 2017 и 2021 г. отмечено возрастание показателя дозы на 3,5 и 4,3 % соответственно. Последующее уменьшение дозы в 2018 и 2022 гг. (на 2,5 и 4,3 % соответственно) было статистически значимым.

¹Закон РБ «О радиационной безопасности», 18 июня 2019 г. № 198-3 [Электронный ресурс]. Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. URL: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=H11900198> (дата обращения: 18.12.2023).

²Закон РБ «О социальной защите граждан, пострадавших от катастрофы на Чернобыльской АЭС, других радиационных аварий», 6 января 2009 г. № 9-3 [Электронный ресурс]. Эталон-онлайн. Информационно-поисковая система. URL: <https://etalonline.by/document/?regnum=h10900009> (дата обращения: 18.12.2023).

³МВИ.МН 1958-2003. Методика выполнения измерений активности гаммаизлучающих радионуклидов в теле человека с помощью спектрометра излучения человека СКГ-АТ 1316: дата выдачи свидетельства об аттестации 29.08.2016. Номер свидетельства об аттестации 968/2016. Номер в реестре ФР.1.38.2016.24656 / УП «АТОМТЕХ» ОАО «МНИПИ».

Анализ показателей дозы внутреннего облучения в зависимости от профессиональной занятости сотрудников позволил выявить значительные различия у представителей отдельных специальностей. Количественные показатели профессиональной структуры обследованного персонала представлены в табл. 1.

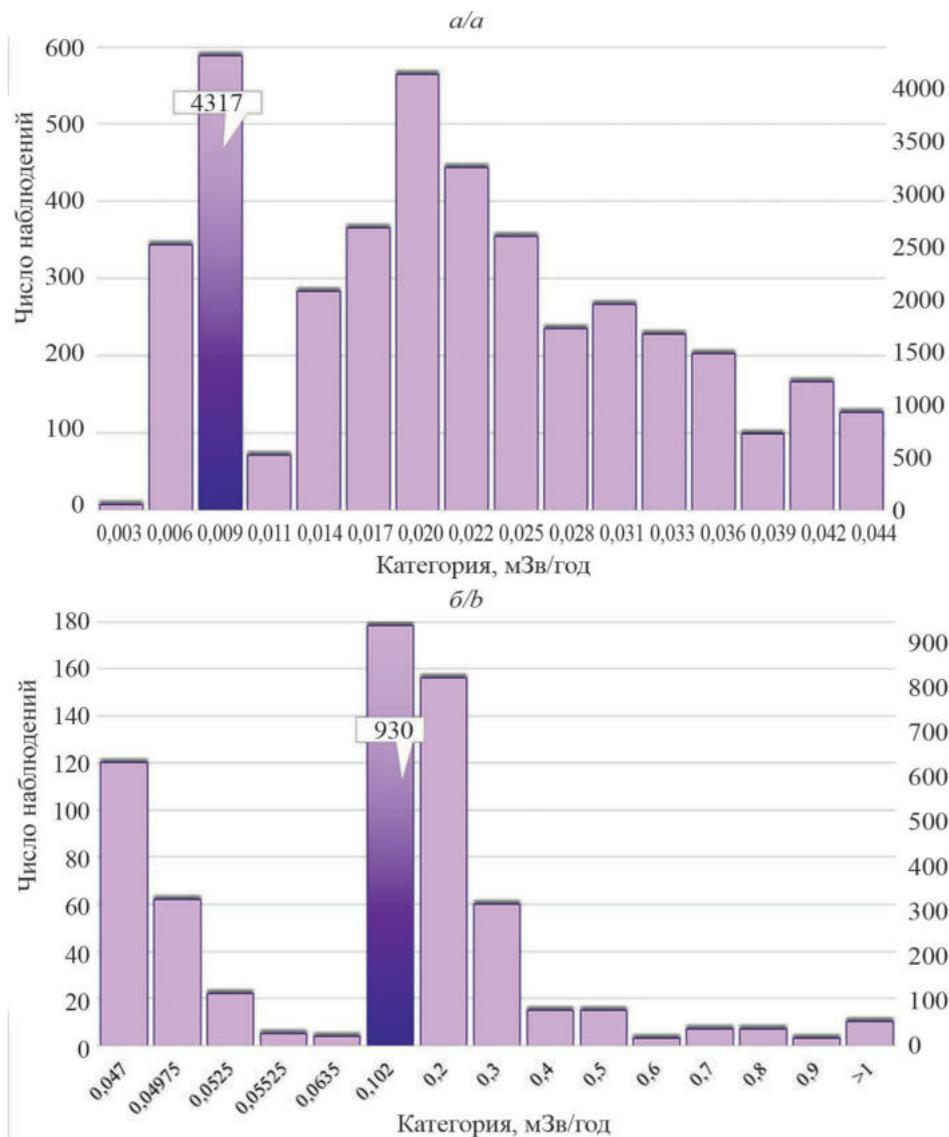


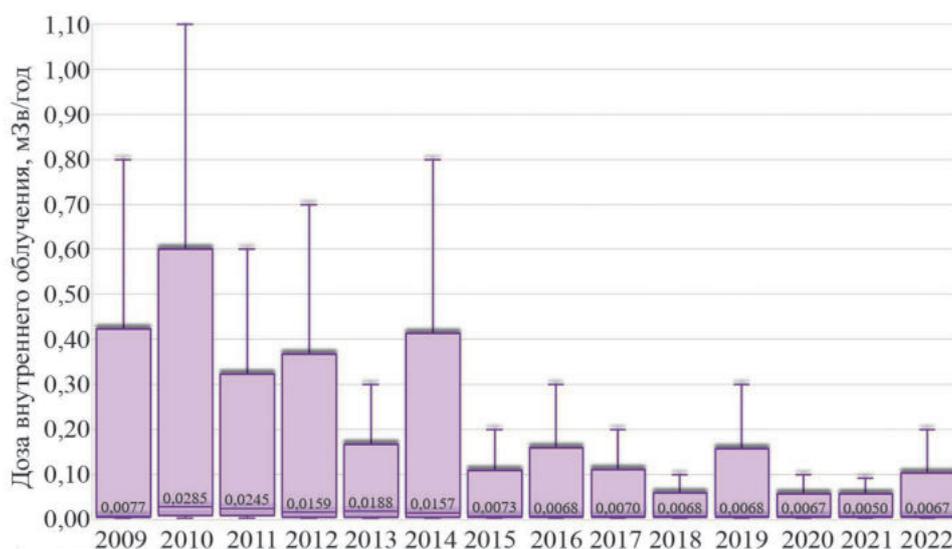
Рис. 1. Гистограмма распределения величин индивидуальных доз внутреннего облучения сотрудников ПГРЭС: а) число наблюдений для диапазона доз от 0,00575 до 0,0085; б) от 0,00635 до 0,102

Fig. 1. Histogram of the distribution of individual doses of internal radiation of PSRER employees: а) 0,00575–0,0085; б) 0,00635–0,102

Согласно данным табл. 1, наибольшую численность среди обследованных составляют работники отдела лесного хозяйства (проведено 3878 измерений) и водители (1334 измерения).

Полученные результаты статистического анализа различий дозы внутреннего облучения у представителей отдельных специальностей в порядке убывания представлены на рис. 3. Максимальные показатели медианы дозы внутреннего облучения определены у охотоведов, коневодов, пожарных и водителей, а наименьшие – у обследованных лиц, не являющихся сотрудниками заповедника, а также инженерно-исследовательского персонала.

Установлено, что медиана дозы внутреннего облучения у охотоведов статистически значимо ($p < 0,05$) превысила показатели представителей всех остальных профессий (в 1,4–3,9 раза), за исключением пожарных, у которых данный показатель также значимо ($p < 0,05$) превышает дозу остальных профессиональных групп (в 1,1–3,0 раза).



Примечание. Внутри столбцов подписаны значения медианы, верхушки и основания прямоугольников соответствуют квартилям (Q25 и Q75), «усы» отображают минимумы и максимумы.

Рис. 2. Многолетняя динамика дозы внутреннего облучения сотрудников ПГРЭЗ

Fig. 2. Long-term dynamics of internal exposure doses of employees of PSRER

Таблица 1

**Количество измерений показателей дозы внутреннего облучения
у представителей различных специальностей персонала ПГРЭЗ**

Table 1

Number of measurements of internal exposure dose indicators for representatives of various specialties of the PSRER personnel

Специальность	Количество	% от общего числа
Машинисты	1	0,01
Охотоведы	77	0,85
Коневоды	25	0,28
Пожарные	435	4,81
Водители	1334	14,72
Работники отдела лесного хозяйства	3878	42,79
Дезактиваторы	68	0,75
Зоотехники	24	0,26
Руководящие лица	260	2,87
Рабочие	805	8,88
Специалисты	909	10,03
Обслуживающий персонал	512	5,65
Лаборанты	122	1,35
Ветврачи	20	0,22
Дозиметристы	81	0,89
Лица, не являющиеся сотрудниками ПГРЭЗ	40	0,44
Инженеры	368	4,06
Механики	48	0,53
Сотрудники научного отдела	441	4,87

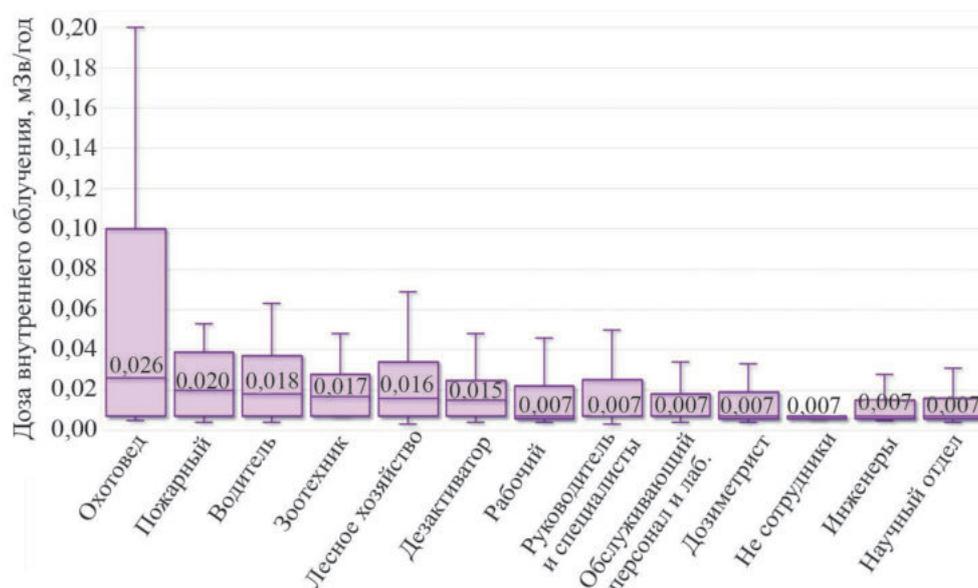


Рис. 3. Показатели дозы внутреннего облучения представителей различных специальностей ППРЭЗ

Fig. 3. Internal exposure dose rates for representatives of various specialties of PSRER

Следует отметить, что персонал заповедника можно поделить на 3 группы специальностей, между которыми имеются статистически значимые отличия. К *первой группе* с самыми высокими показателями дозы внутреннего облучения можно отнести охотоведов, пожарных, водителей, зоотехников, работников отдела лесного хозяйства и дезактиваторов. *Вторая группа* со средними уровнями дозы – это рабочие, руководители и специалисты, а также обслуживающий персонал и лаборанты. К *группе с наименьшими значениями дозы* относятся дозиметристы, инженеры, механики и научные сотрудники.

Известно, что в группах населения, потребляющих «природную» продукцию («дары» леса, дичь, рыба), ее вклад в поступление радионуклида в организм существенно вырос в отдаленные периоды после аварии и преобладает над другими путями поступления радионуклида в организм [6]. Очевидно, что главным отличием представителей первой выделенной профессиональной группы в определенной степени является возможные особенности рациона питания [7], либо влияние (например, у пожарных) ингаляционного пути поступления радионуклидов на формирование эффективной дозы облучения, хотя, по данным других исследований [8], вклад ингаляционной компоненты является незначительным⁴.

Изучение влияния гендерного фактора на уровень дозы внутреннего облучения показало значимое ($p < 0,05$) превышение данного показателя у мужчин, по сравнению с женщинами, в 2 раза. Возможно, данные отличия обусловлены в определенной степени профессиональной составляющей. Если доля работников отдела лесного хозяйства, инженеров и научных сотрудников примерно одинакова среди мужчин и женщин, то доля пожарных, водителей, дезактиваторов существенно выше у мужчин (женщины также не занимают должность охотоведа). В то же время доля зоотехников, лаборантов, обслуживающего персонала, специалистов и руководящих работников среди женщин выше.

Очевидно, что значимым фактором, определяющим уровень дозы внутреннего облучения, является число жителей населенного пункта (так называемый демографический критерий) [9]. В этой связи проводилось сопоставление показателей дозы внутреннего облучения у сотрудников заповедника, проживающих в различных населенных пунктах (табл. 2).

Как следует из табл. 2, наиболее высокие медианные значения дозы внутреннего облучения отмечены у жителей г. Наровля⁵. Помимо того, что город находится в относительной близости от лесных насаждений и р. Припять, обуславливающие высокие показатели [10], среди сотрудников заповедника большинство жителей Наровли работают в отделе лесного хозяйства (51 чел.).

⁴МВИ.МН 1958-2003. Методика выполнения измерений активности гаммаизлучающих радионуклидов в теле человека с помощью спектрометра излучения человека СКГ-АТ 1316: дата выдачи свидетельства об аттестации 29.08.2016. Номер свидетельства об аттестации 968/2016. Номер в реестре ФР.1.38.2016.24656 / УП «АТОМТЕХ» ОАО «МНИПИ».

⁵Там же.

Близость леса к д. Березовка, Борисовщина и Новоселки также может служить объяснением относительно высоких уровней дозы внутреннего облучения в данных населенных пунктах. В непосредственной близости от г. Хойники находится д. Малишев, которая в 2009 г. была включена в состав города. Тем не менее, определена статистически значимая ($p < 0,05$) разница в уровнях дозы внутреннего облучения сотрудников из деревни и города. В данном случае однозначным объяснением может быть профессиональный состав сотрудников д. Малишев (19 чел. – водители и 17 сотрудников – пожарные).

Таблица 2

Различия в показателях дозы внутреннего облучения у персонала ПГРЭС,
проживающих в различных населенных пунктах

Table 2

Differences in internal exposure dose rates among PSRER personnel living in different populated areas

Населенный пункт	Район	Плотность загрязнения почв ¹³⁷ Cs, Ки/км ²	Численность населения, человек	Число измерений	Внутренняя доза, мЗв/год		
					Квартиль Q25	Медиана	Квартиль Q75
Наровля	Наровлянский	5–15	8374	68	0,100	0,300	0,500
Березовка	Калинковичский	1–5	169	51	0,042	0,100	0,100
Малишев	Хойникский	5–15	436	36	0,069	0,100	0,150
Борисовщина	Хойникский	5–15	275	45	0,021	0,046	0,100
Новоселки	Хойникский	5–15	38	29	0,028	0,042	0,100
Храпков	Хойникский	5–15	376	74	0,018	0,040	0,100
Судково	Хойникский	5–15	577	78	0,015	0,028	0,100
Козелужье	Хойникский	1–5	487	91	0,008	0,023	0,035
Великий Бор	Хойникский	1–5	1052	91	0,012	0,022	0,032
Глинище	Хойникский	1–5	513	50	0,007	0,022	0,040
Стреличево	Хойникский	15–40	749	94	0,007	0,014	0,025
Велетин	Хойникский	5–15	376	20	0,006	0,011	0,023
Хойники	Хойникский	5–15	13248	7747	0,007	0,008	0,027
Езапов	Хойникский	5–15	166	30	0,006	0,007	0,017
Дворище	Хойникский	5–15	258	88	0,007	0,007	0,100
Брагин	Брагинский	5–15	4546	116	0,006	0,007	0,020
Бурки – Ковали	Брагинский	5–15	474	42	0,006	0,007	0,007
Минск	–	–	1 995 471	210	0,006	0,007	0,007
Гомель	–	1–5	503 984	71	0,006	0,006	0,015

Предсказуемо наименьшие уровни дозы внутреннего облучения характерны для иногородних работников заповедника из Минска и Гомеля.

Исследование возрастных зависимостей формирования дозы позволило определить 5 возрастных групп, между которыми существуют статистически значимые различия данного показателя (рис. 4).

Наибольшие уровни дозы внутреннего облучения определены для группы 35–46 лет, а минимальные у самых молодых (18–26 лет). Таким образом, лица среднего возраста характеризуются наибольшей дозовой нагрузкой.

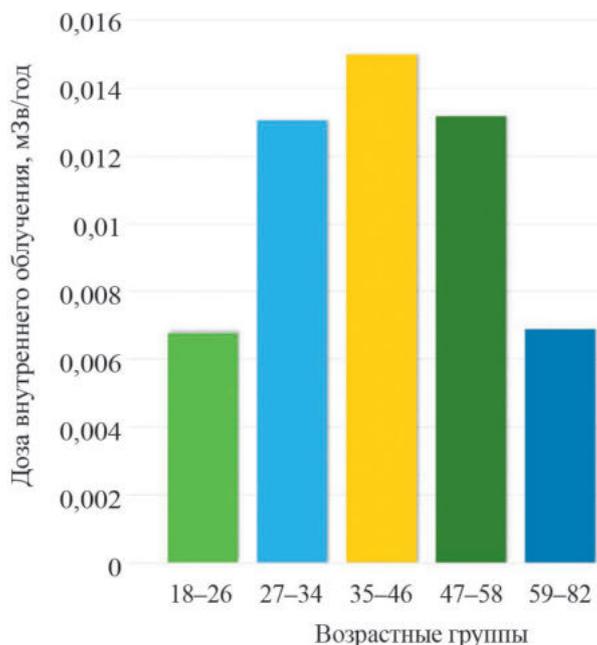


Рис. 4. Сопоставление показателей дозы внутреннего облучения в различных возрастных группах за 2021–2022 гг.

Fig. 4. Comparison of internal exposure dose indicators in different age groups of PSRER employees for 2021–2022

Заключение

В 87 % измерений показатели дозы внутреннего облучения сотрудников ППРЭС не превышают уровня 0,055 мЗв/год.

За многолетний период исследований уровень дозы внутреннего облучения был наибольшим в 2010 и 2011 гг. соответственно 0,029 и 0,027 мЗв/год.

Максимальные медианные значения дозы внутреннего облучения выявлены у охотоведов (в 1,4–3,9 раза выше показателей представителей остальных профессий, $p < 0,05$). Наименьшие значения определены у инженерно-исследовательского персонала (менее 0,04 мЗв/год).

Максимальные показатели дозы внутреннего облучения отмечены у сотрудников заповедника, проживающих в г. Наровля, а самые низкие у работающих вахтовым методом и постоянно проживающих на территориях, отдаленных от зоны отселения.

Определен значимо более высокий ($p < 0,05$) уровень дозы у мужчин, по сравнению с женщинами, в 2 раза.

Среди представителей различных возрастных групп самыми высокими показателями дозы внутреннего облучения характеризуются работники 35–46 лет (0,015 мЗв/год), а наименьшими – молодые люди 18–26 лет (0,007 мЗв/год).

Библиографические ссылки

1. Власова НГ, Висенберг ЮВ, Евтушкова ГН, Дрозд ЕА. Оценка доз облучения населения в отдаленном периоде после Чернобыльской аварии. *Проблемы здоровья и экологии*. 2014;4(42):129–134.
2. Ракицкий ВН, Кузмичев МК, Клепиков ОВ Сравнительная оценка средних доз облучения населения Иркутской и Воронежской областей по данным ЕСКИД. *Радиационная гигиена*. 2021;2(14):72–78. DOI: <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2021-14-2-72-78>.
3. Эвентова ЛН, Матарас АН, Батян АН. Дозы облучения населения Беларуси вследствие аварии на Чернобыльской атомной электростанции на 2021–2025 гг. *Журнал Белорусского государственного университета. Экология*. 2022;4:70–78. DOI: <https://doi.org/10.46646/2521-683X/2022-4-70-78>.
4. Братилова АА, Базюкин АБ, Громов АВ. Обзор средних текущих и накопленных эффективных доз облучения жителей населенных пунктов Российской Федерации, отнесенных к зонам радиоактивного загрязнения. *Технологии гражданской безопасности*. 2024;21(S1):53–60.
5. Власова НГ. Оценка средних годовых эффективных доз облучения жителей населенных пунктов, расположенных на территориях, загрязненных радионуклидами в результате аварии на ЧАЭС. *Радиационная гигиена*. 2012;5(2):9–13.
6. Балонов МИ, Брук ГЯ, Звонова ИА. Методология реконструкции дозы внутреннего облучения населения России вследствие Чернобыльской аварии. *Радиационная гигиена*. 2008;1(3):12–20.

7. Панов АВ, Комарова ЛН, Ляпунова ЕР. Особенности формирования дозовых нагрузок на население наиболее пострадавших после Чернобыльской аварии районов России. *Известия высших учебных заведений. Ядерная энергетика*. 2023;3:73–84. <https://doi.org/10.26583/npe.2023.3.06>.
8. Кляус ВВ, Жукова ОМ, Гусейнова ДИ. Метод оценки доз облучения персонала и населения в результате ингаляционного поступления радионуклидов при пожарах на территориях с высоким уровнем радиоактивного загрязнения. *Журнал Белорусского государственного университета. Экология*. 2023;2:57–67. DOI: <https://doi.org/10.46646/2521-683X/2023-2-57-67>
9. Дроздов ДН, Аверин ВС. Использование методов факторного анализа для выявления обобщающих характеристик, позволяющих оценить вариацию средней годовой дозы внутреннего облучения. *Проблемы здоровья и экологии*. 2008;(2):10–14. DOI: <https://doi.org/10.51523/2708-6011.2008-5-2-2>.
10. Власова НГ. Сравнительный анализ средних годовых эффективных доз облучения жителей населенных пунктов Республики Беларусь по данным Каталогов доз-2015 и 2009. *Известия Гомельского государственного университета имени Ф. Скорины. Серия Естественные науки*. 2017;1(102):20–24.

References

1. Vlasova NG, Visenberg YuV, Evtushkova GN, Drozd EA. *Otsenka doz oblucheniya naseleniya v otдалennom periode posle chernobyl'skoy avari* [Assessment of radiation doses to the population in the long-term period after the Chernobyl accident]. *Health and Ecology Issues*. 2014;4(42):129–134. Russian.
2. Rakitsky VN, Kuzmichev MK, Klepikov OV, Kurenkova GV. *Sravnitel'naya otsenka srednikh doz oblucheniya naseleniya Irkutskoi i Voronezhskoi oblasti po dannym ESKID* [Comparative evaluation of average doses of radiations of population of Irkutsk and Voronezh regions according to «Unified state system of control of individual doses»]. *Radiation Hygiene*. 2021;2(14):72–78. DOI: <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2021-14-2-72-78>. Russian.
3. Eventova LN, Mataras AN, Batyan AN. *Dozy oblucheniya naseleniya Belarusi vsledstvie avarii na Chernobyl'skoi atomnoi elektrostantsii na 2021–2025 gg.* [Exposure doses to the population of Belarus from the Chernobyl accident in 2021–2025]. *Journal of the Belarusian State University. Ecology*. 2022;4:70–78. DOI: <https://doi.org/10.46646/2521-683X/2022-4-70-78>. Russian.
4. Bratilova AA, Bazyukin AB, Gromov AV. *Obzor srednikh tekushchikh i nakoplenykh effektivnykh doz oblucheniya zhitelei naselennykh punktov Rossiiskoi Federatsii, otnesennykh k zonam radioaktivnogo zagryazneniya* [Overview of average current and accumulated effective radiation doses of the Russian federation settlements residents classified as zones of radioactive contamination]. *Civil security technologies*. 2017;10(4):73–78. Russian.
5. Vlasova NG. *Otsenka srednikh godovykh effektivnykh doz oblucheniya zhitelei naselennykh punktov, raspolozhennykh na territoriyakh, zagryaznennykh radionuklidami v rezul'tate avarii na ChAES* [Assessment of the average annual effective doses for the inhabitants of the settlements located in the territories contaminated due to the Chernobyl accident]. *Radiation hygiene*. 2012;5(2):9–13. Russian.
6. Balonov MI, Bruk GYa, Zvonova IA. *Metodologiya rekonstruktsii dozy vnutrennego oblucheniya naseleniya Rossii vsledstvie Chernobyl'skoi avarii* [Methodology of internal dose reconstruction for the Russian population after the Chernobyl accident]. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2008;1(3):12–20. Russian.
7. Panov AV, Komarova LN, Lyapunova ER, Mel'nikova AA. *Osobennosti formirovaniya dozovykh nagruzok na naselenie naibolee postradavshikh posle Chernobyl'skoi avarii raionov Rossii* [Peculiarities of the exposure dose formation on the population in the most affected regions of Russia after the Chernobyl NPP accident. News of higher educational institutions]. *Nuclear energy*. 2023;3:73–84. DOI: <https://doi.org/10.26583/npe.2023.3.06>. Russian.
8. Kliaus VV, Zhukova OM, Huseinava DI. *Metod otsenki doz oblucheniya personala i naseleniya v rezul'tate ingyalyatsionnogo postupleniya radionuklidov pri pozharakh na territoriyakh s vysokim urovnem radioaktivnogo zagryazneniya* [Method for dose assessment to workers and public as a result of inhalation intake of radionuclides during fires at the territories with a high level of radioactive contamination]. *Journal of the Belarusian State University. Ecology*. 2023;2:57–67. DOI: <https://doi.org/10.46646/2521-683X/2023-2-57-67>. Russian.
9. Drozdou DN, Averin VS. *Ispol'zovanie metodov faktornogo analiza dlya vyyavleniya obobshchayushchikh kharakteristik, pozvolyayushchikh otsenit' variatsiyu srednei godovoi dozy vnutrennego oblucheniya* [Use of methods of the factorial analysis for revealing the generalizing characteristics, allowing to estimate the variation of the average annual dose of the internal irradiation]. *Health and Ecology Issues*. 2008;(2):10–14. DOI: <https://doi.org/10.51523/2708-6011.2008-5-2-2>. Russian.
10. Vlasova NG. *Sravnitel'nyi analiz srednikh godovykh effektivnykh doz oblucheniya zhitelei naselennykh punktov Respubliki Belarus' po dannym Katalogov doz-2015 i 2009* [Comparative analysis of average annual effective radiation doses to residents of populated areas of the Republic of Belarus according to the Dose Catalogues-2015 and 2009]. *Proceedings of the Francisk Skorina Gomel State University. Series: Natural Sciences*. 2017;1(102):20–24. Russian.