

А.В. Симаков, Ю.В. Абрамов, Н.Л. Проскурякова, Т.М. Алферова

ГИГИЕНИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ РАДИАЦИОННОЙ ОБСТАНОВКИ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ТЕХНОЛОГИИ НА ПРЕДПРИЯТИИ ЯДЕРНОГО ТОПЛИВНОГО ЦИКЛА

Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна ФМБА России, Москва

Контактное лицо: Юрий Викторович Абрамов, e-mail: abramov-1948@yandex.ru

РЕФЕРАТ

Цель: Выбор и обоснование гигиенических критериев, необходимых и достаточных при оценке потенциальной опасности для персонала и населения, реализации планируемого мероприятия, которое может привести к ухудшению радиационной обстановки на предприятии ядерного топливного цикла (ЯТЦ).

Результаты: Для оперативной оценки целесообразности проведения планируемого на предприятии ЯТЦ мероприятия разработана методология оценки состояния радиационной безопасности при возможном ухудшении радиационной обстановки.

Заключение: Любое планируемое мероприятие, которое может привести к ухудшению радиационной обстановки на предприятии ЯТЦ, не должно приводить к значимым изменениям радиационной обстановки и к превышению установленных гигиенических критериев. Такими критериями являются:

- не превышение основных дозовых пределов;
- не повышение категории потенциальной радиационной опасности предприятия ЯТЦ;
- не повышение класса работ с открытыми источниками излучения;
- допустимое повышение класса условий труда персонала по результатам специальной оценки условий труда (СОУТ).

При сравнительной оценке конкурентоспособности радиационных технологий следует спрогнозировать возможное изменение радиационной обстановки и стоимость выполнения компенсирующих мер по защите персонала и населения в случае ухудшения радиационной обстановки после внедрения новых технологий.

Ключевые слова: радиационная безопасность, радиационная обстановка, изменение технологии, гигиенический критерий, персонал, неопределённость измерения

Для цитирования: Симаков А.В., Абрамов Ю.В., Проскурякова Н.Л., Алферова Т.М. Гигиенические критерии оценки радиационной обстановки при изменении технологии на предприятии ядерного топливного цикла // Медицинская радиология и радиационная безопасность. 2023. Т. 68. № 3. С. 11–15. DOI:10.33266/1024-6177-2023-68-3-11-15

A.V. Simakov, Y.V. Abramov, N.L. Proskuryakova, T.M. Alferova

Health Physics Criteria for Assessing the Radiation Situation with Changing Technology at a Nuclear Fuel Cycle Enterprise

A.I. Burnazyan Federal Medical Biophysical Center, Moscow, Russia

Contact person: Y.V. Abramov, e-mail: abramov-1948@yandex.ru

ABSTRACT

Purpose: To select and justify health physics criteria necessary and sufficient in assessing the potential hazard for the personnel and public from the implementation of the planned activity, which can lead to deterioration in the radiation situation at the nuclear fuel cycle (NFC) enterprise.

Results: To promptly assess the feasibility of carrying out an event planned at the NFC enterprise, a methodology has been developed for assessing radiation safety and protection in case of potential deterioration in the radiation situation.

Conclusion: Each planned event that may lead to deterioration in the radiation situation at a NFC enterprise should result in neither significant changes in the radiation situation nor exceeding the established health physics criteria:

- non-exceeding main dose constraints;
- non-increasing the category of potential radiation hazard of the NFC enterprise;
- non-increasing the class of work with unsealed radiation sources;
- permissible increase in the class of working conditions of the personnel based on the findings of special assessment of working conditions.

In a comparative assessment of the competitiveness of radiation technologies, potential change in the radiation situation and the cost of implementing compensatory measures should be pre-evaluated to protect the personnel and public in case of deterioration in the radiation situation following the introduction of new technologies.

Keywords: radiation safety, radiation protection, changing technology, health physics criterion, personnel, measurement uncertainty

For citation: Simakov AV, Abramov YV, Proskuryakova NL, Alferova TM. Health Physics Criteria for Assessing the Radiation Situation with Changing Technology at a Nuclear Fuel Cycle Enterprise. Medical Radiology and Radiation Safety. 2023;68(3):11–15. (In Russian). DOI:10.33266/1024-6177-2023-68-3-11-15

Введение

Стратегия развития атомной энергетики в России предусматривает переход предприятий ЯТЦ на замкнутый цикл, включающий в себя обязательную регенерацию отработавшего топлива атомных электростанций (АЭС), изготовление и рецикл вторичного топлива как на основе урана, так и смешанного уран-плутониевого ядерного топлива (МОКС-топлива, РЕМИКС-топлива, СНУП-топлива).

Неизбежным следствием перехода предприятий ЯТЦ на замкнутый цикл будет неуклонное, в зависимости от количества рециклов, увеличение содержания в регенерированном ядерном топливе изотопов уран-236, -232 и трансураниевых элементов, а в свежем МОКС-, РЕМИКС- и СНУП- топливе – наличие плутония с последующим накоплением в ходе кампании трансплутониевых элементов, что может негативно влиять на радиационную обстановку в производственных помещениях АЭС при различных режимах ее эксплуатации.

Результаты радиационно-гигиенического сопровождения работ по изготовлению тепловыделяющих элементов из регенерированного урана, полученного из отработавшего топлива АЭС, показывают, что использование данного вида сырья приводит к изменению радиационной обстановки практически на всех технологических пределах [1, 2].

При изменении технологии на предприятии ЯТЦ, его реконструкции и/или перепрофилировании, использовании сырья с худшими радиационными характеристиками и т.п. необходимо исполнение требований НРБ-99/2009 и ОСПОРБ 99/2010 [3, 4] о реализации принципов обоснования и оптимизации в целях обеспечения радиационной безопасности.

При любом планируемом мероприятии, которое может привести к ухудшению радиационной обстановки, для персонала и населения следует оценивать потенциальную опасность реализации данного мероприятия и разработку, при необходимости, компенсирующих мер по их защите.

Сравнительная оценка состояния радиационной безопасности

Разработка методологии сравнительной оценки состояния радиационной безопасности при возможном ухудшении радиационной обстановки на предприятии ЯТЦ должна базироваться на определении гигиенических критериев, необходимых и достаточных для оперативной оценки целесообразности проведения планируемого мероприятия, и включать следующие этапы:

- выбор радиационно-гигиенических критериев для прогностических оценок изменения параметров радиационной обстановки на конкретных рабочих местах персонала;
- повышение качества управления радиационной безопасностью персонала при изменении параметров радиационной обстановки на конкретных рабочих местах;
- выбор радиационно-гигиенических критериев для прогностических оценок изменения параметров радиационной обстановки на предприятии ЯТЦ и потенциального риска для населения.

В соответствии с [5] любое планируемое мероприятие, которое может привести к ухудшению радиационной обстановки на предприятии ЯТЦ, на отдельном производственном участке или в производственном помещении, должно быть обосновано экономическими, техническими, социальными и/или другими причина-

ми. При обосновании целесообразности проведения планируемого мероприятия, которое может привести к ухудшению радиационной обстановки, необходимо использовать следующие радиационно-гигиенические критерии:

- не превышение основных дозовых пределов;
- не повышение категории потенциальной радиационной опасности предприятия ЯТЦ;
- не повышение класса работ с открытыми источниками излучения;
- допустимое повышение класса условий труда персонала по результатам СОУТ.

Непревышение основных дозовых пределов

В качестве гигиенических критериев для принятия решения о целесообразности и/или возможности реализации планируемых мероприятий, способных привести к ухудшению радиационной обстановки на предприятии ЯТЦ, приняты [5]:

- прогнозируемые эффективные дозы облучения персонала с учётом максимальных неопределённостей измерения отдельных составляющих эффективной дозы, которые могут сформироваться после реализации данных мероприятий;
- прогнозируемые эквивалентные дозы облучения хрусталика глаза, кожи, кистей и стоп персонала с учётом максимальных неопределённостей измерения отдельных составляющих эквивалентных доз в отдельных органах и тканях тела, которые могут сформироваться после реализации данных мероприятий;
- прогнозируемые эффективные дозы облучения населения с учётом максимальных неопределённостей измерения отдельных составляющих эффективной дозы, которые могут сформироваться после реализации данных мероприятий.

Данные критерии для принятия решения о целесообразности и/или возможности реализации планируемых мероприятий, способных привести к ухудшению радиационной обстановки, применимы только в условиях нормальной эксплуатации предприятия ЯТЦ.

Для прогнозируемой среднегодовой эффективной дозы облучения персонала должно выполняться условие, учитывающее максимальные неопределённости определения эффективной дозы применяемыми методами радиационного контроля:

$$D_{\gamma} + D_n + D_{\text{внутр.}} + \sqrt{0,09 D_{\gamma}^2 + 0,25 D_n^2 + 2,25 D_{\text{внутр.}}^2} \leq 20 \text{ мЗв/год, (1)}$$

где: D_{γ} – вклад внешнего гамма-облучения в годовую эффективную дозу;
 D_n – вклад внешнего нейтронного облучения в годовую эффективную дозу;
 $D_{\text{внутр.}}$ – вклад внутреннего облучения в годовую эффективную дозу.

В случае, когда эффективная доза формируется только гамма-излучением, для прогностической оценки годовой дозы гамма-излучения должно выполняться условие:

$$D_{\gamma} \leq 15,4 \text{ мЗв/год,}$$

т.е., если эффективная доза формируется только гамма-излучением, величина 15,4 мЗв/год будет являться допустимой эффективной дозой, гарантирующей не превышение величины 20 мЗв/год у любого лица из числа персонала группы А после реализации планируемых мероприятий, способных привести к ухудшению радиационной обстановки.

Если эффективная доза обусловлена только внутренним облучением, то для прогностической оценки вклада внутреннего облучения в эффективную дозу должно выполняться условие:

$$D_{\text{внутр.}} \leq 8,0 \text{ мЗв/год},$$

т.е., если эффективная доза формируется только внутренним излучением, величина 8,0 мЗв/год будет являться допустимой эффективной дозой, гарантирующей не превышение величины 20 мЗв/год у любого лица из числа персонала в среднем за 5 последовательных лет, после реализации планируемых мероприятий, способных привести к ухудшению радиационной обстановки.

Для облучения кожи, кистей и стоп бета-гамма-излучением это условие имеет вид:

$$1,5 \cdot D_{\beta+\gamma} \leq 500 \text{ мЗв/год или } D_{\beta+\gamma} \leq 330 \text{ мЗв/год} \quad (2),$$

где: $D_{\beta+\gamma}$ – годовая эквивалентная доза облучения внешним бета-гамма-излучением, т.е., если происходит облучения кожи, кистей и стоп бета-излучением, значение эквивалентной дозы 330 мЗв/год будет являться допустимой дозой, гарантирующей не превышение величины 500 мЗв/год у любого лица из числа персонала после реализации планируемых мероприятий, способных привести к ухудшению радиационной обстановки.

Для облучения хрусталика глаза бета-гамма-излучением условие записывается в виде:

$$1,5 \cdot D_{\beta+\gamma} \leq 150 \text{ мЗв/год или } D_{\beta+\gamma} \leq 100 \text{ мЗв/год} \quad (3),$$

т.е., если происходит облучение хрусталика глаза бета-гамма-излучением, эквивалентная доза 100 мЗв/год будет являться допустимой дозой, гарантирующей не превышение величины 150 мЗв/год в хрусталике глаза у любого лица из числа персонала после реализации планируемых мероприятий, способных привести к ухудшению радиационной обстановки.

Соотношения (1, 2, 3) получены при консервативном подходе к способу определения индивидуальных доз с учётом максимальных неопределённостей измерения отдельных составляющих эффективной дозы и эквивалентных доз в отдельных органах и тканях тела – 30 % для дозы внешнего гамма-излучения, 50 % для дозы внешнего нейтронного излучения и 150 % для дозы внутреннего облучения. При использовании методов контроля с меньшей неопределённостью результата контроля эти параметры могут быть уменьшены.

Для прогнозируемой среднегодовой эффективной дозы облучения населения должно выполняться условие:

$$D_{\gamma} + D_{\text{внутр.}} + \sqrt{0,09 D_{\gamma}^2 + 2,25 D_{\text{внутр.}}^2} \leq 1 \text{ мЗв/год}, \quad (4)$$

где: D_{γ} – вклад внешнего гамма-облучения в годовую эффективную дозу;

$D_{\text{внутр.}}$ – вклад внутреннего облучения в годовую эффективную дозу.

Таблица 1

Классификация условий труда при работе с ИИИ
Classification of working conditions when managing radiation sources

Максимальная потенциальная доза за год, мЗв/год	Класс (подкласс) условий труда					
	допустимый	вредный				опасный
		2	3.1	3.2	3.3	
Эффективная доза	≤ 5	> 5–10	> 10–20	> 20–50	> 50–100	> 100
Эквивалентная доза в хрусталике глаза	≤ 37,5	> 37,5–75	> 75–150	> 150–225	> 225–300	> 300
Эквивалентная доза в коже, кистях и стопах	≤ 125	> 125–250	> 250–500	> 500–750	> 750–1000	> 1000

Неповышение класса работ с открытыми источниками излучения

Одним из основных мероприятий по обеспечению радиационной безопасности персонала при работах с открытыми источниками ионизирующих излучений являлось установление класса работ. Классом работ определяется зональность производственных помещений, требования к их отделке, компоновке технологического оборудования и т.д.

Согласно нормативным и методическим документам [4, 6], класс работ устанавливается в зависимости от группы радиационной опасности радионуклида как потенциального источника внутреннего облучения и суммарной активности радионуклидов на рабочем месте при условии, что удельная активность радионуклида превышает его минимально значимую удельную активность.

Группа радиационной опасности радионуклида определяется величиной минимально значимой активности на рабочем месте, приведённой в приложении П-4 НРБ-99/2009 [3], т.е. активностью открытого радионуклидного источника ионизирующего излучения (ИИИ) в помещении или на рабочем месте, при превышении которой требуется разрешение федерального органа исполнительной власти, уполномоченного осуществлять федеральный государственный санитарно-эпидемиологический надзор, на использование этого источника, если при этом также превышено значение минимально значимой удельной активности.

Согласно требованиям [6] проведение планируемого мероприятия, которое может привести к ухудшению радиационной обстановки, целесообразно и возможно при условии невыполнения установленного класса работ с открытыми источниками излучения.

Допустимое повышение класса условий труда персонала по результатам СОУТ

В настоящее время порядок проведения СОУТ определяется Федеральным законом № 426-ФЗ «О специальной оценке условий труда», утвержденным президентом Российской Федерации в 2013 г., и соответствующей методикой [7]. Установленный порядок проведения СОУТ основывается на следующих критериях классификации условий труда, определенных Руководством [8]:

- мощность максимальной потенциальной эффективной дозы;
- мощность максимальной потенциальной эквивалентной дозы в хрусталике глаза, коже, кистях и стопах.

В табл. 1 приведена существующая классификация условий труда при работе с ИИИ.

Согласно требованиям [6], проведение планируемого мероприятия, которое может привести к ухудшению радиационной обстановки, целесообразно и возможно при условии невыполнения класса условий труда персонала более чем на единицу (допускается повышение класса условий труда персонала с допустимых – класс 2 до вредных – класс 3.1; с вредных – класс 3.1 до вредных – класс 3.2), но не выше класса 3.2.

Алгоритмы расчета максимальной потенциальной эффективной дозы и максимальной эквивалентной дозы в хрусталике глаза, коже, кистях и стопах и методология оценки условий труда персонала при работе с источниками ионизирующего излучения, регламентированы в методических документах [7, 8].

Неповышение категории потенциальной радиационной опасности предприятия ЯТЦ

Для прогностических оценок изменения параметров радиационной обстановки на предприятии ЯТЦ и потенциального риска для населения, наряду с прогнозируемой среднегодовой эффективной дозой облучения населения, следует оценивать возможность изменения категории потенциальной радиационной опасности объекта.

Согласно требованиям [9], при установлении категории потенциальной радиационной опасности радиационного объекта оцениваются эффективные дозы потенциального облучения персонала и населения в результате максимальной радиационной аварии в следующих пространственных зонах:

- помещения, где осуществляется непосредственное обращение с ИИИ (производственное помещение);
- остальная территория радиационного объекта (промышленная площадка);
- санитарно-защитная зона (СЗЗ) радиационного объекта;
- территория за пределами СЗЗ.

По результатам этих оценок определяется территория возможного распространения аварийного радиационного воздействия.

Основой для установления категории потенциальной опасности является характеристика максимальной радиационной аварии на радиационном объекте, при которой масштаб (территория) аварийного радиационного воздействия на персонал или население является наибольшим.

При установлении категории радиационного объекта для определения масштабов возможного аварийного радиационного воздействия на различные категории облучаемых лиц используются следующие уровни эффективных доз потенциального облучения:

- для персонала группы А – 20 мЗв/год;
- для персонала группы Б – 5 мЗв/год;
- для населения – 1 мЗв/год.

По потенциальной радиационной опасности устанавливаются четыре категории объектов.

К I категории относятся радиационные объекты, при аварии на которых возможно их радиационное воздействие на население и могут потребоваться меры по его защите.

Во II категории объектов радиационное воздействие при аварии ограничивается территорией СЗЗ.

К III категории относятся объекты, радиационное воздействие при аварии которых ограничивается территорией объекта.

К IV категории относятся объекты, радиационное воздействие от которых при аварии ограничивается помещениями, где проводятся работы с ИИИ.

Согласно требованиям [6], проведение планируемого мероприятия, которое может привести к ухудшению радиационной обстановки, целесообразно и возможно при условии неповышения установленной категории потенциальной радиационной опасности предприятия ЯТЦ.

Сравнительная оценка конкурентоспособности радиационных технологий

Для оценки конкурентоспособности радиационных технологий необходимо спрогнозировать возможное из-

менение радиационной обстановки и стоимость выполнения компенсирующих мер по защите персонала и населения в случае ухудшения радиационной обстановки после внедрении новых технологий.

При выборе оптимальной ядерной технологии при проектировании и/или реконструкции радиационных объектов, цехов, участков следует использовать указанные выше гигиенические критерии, а также обосновать и использовать экономические критерии, необходимые для расчета стоимости выполнения компенсирующих мер по защите для конкретных радиационных объектов, производственных участков и рабочих мест.

Для оперативной оценки целесообразности внедрения новой технологии целесообразно применять соответствующие информационно-аналитические системы.

Алгоритм принятия решения

Для оценки целесообразности и/или возможности реализации планируемых мероприятий, способных привести к ухудшению радиационной обстановки, следует спрогнозировать максимальные эффективные и эквивалентные дозы облучения персонала и максимальные эффективные дозы облучения населения, которые могут сформироваться после реализации данных мероприятий.

Для прогноза максимальных эффективных и эквивалентных доз облучения необходимо, применяя консервативный подход, определить максимальные уровни воздействия радиационных факторов. Если прогностические оценки показывают, что планируемые мероприятия не приведут к повышению категории потенциальной радиационной опасности объекта, не приведут к повышению класса работ с открытыми источниками излучения и не приведут к повышению класса условий труда персонала более чем на единицу, следует сопоставить прогнозируемые значения максимальных эффективных и эквивалентных доз облучения персонала с допустимыми значениями, рассчитанными на основании формул (1)–(4).

Реализация планируемых мероприятий, способных привести к ухудшению радиационной обстановки, будет целесообразна и/или возможна, если прогнозируемые эффективные и эквивалентные дозы облучения персонала и населения не превысят расчетные допустимые величины, а именно:

- в случае суммарного воздействия на персонал внешнего фотонного и внутреннего облучения прогнозируемая эффективная доза не превысит 20 мЗв/год;
- в случае воздействия только внешнего гамма-излучения прогнозируемая эффективная доза будет менее 15,4 мЗв/год;
- в случае воздействия только внутреннего облучения прогнозируемая эффективная доза будет менее 8,0 мЗв/год;
- в случае воздействия бета-излучения на кожу, кисти и стопы персонала прогнозируемая эквивалентная доза будет менее 330,0 мЗв/год;
- в случае воздействия бета-излучения на хрусталик глаза прогнозируемая эквивалентная доза будет менее 100,0 мЗв/год;
- среднегодовая эффективная доза на население не должна превышать 1 мЗв/год.

Выводы

1. Любое планируемое мероприятие, которое может привести к ухудшению радиационной обстановки на предприятии ЯТЦ, не должно приводить к значимым изменениям радиационной обстановки и к превышению установленных гигиенических критериев.

2. При сравнительной оценке конкурентоспособности радиационных технологий следует спрогнозировать возможное изменение радиационной обстановки и стоимость выполнения компенсирующих мер по защите персонала и населения в случае ухудшения радиационной обстановки после внедрения новых технологий.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Симаков А.В., Абрамов Ю.В., Петров С.В., Рогожкин В.Ю. и др. Прогностическая оценка изменения радиационной обстановки при изготовлении топлива для реактора ВВЭР-440 из регенерированного урана // VII международный Симпозиум «Урал атомный»: Сборник тезисов. Екатеринбург: УО РАН, 1999. С. 5-7.
2. Симаков А.В., Абрамов Ю.В., Петров С.В., Степанов С.В., Исаев О.В. Методические подходы к оценке вклада примесных радионуклидов в формирование величин эффективных доз облучения персонала предприятий ЯТЦ // VII международный Симпозиум «Урал атомный»: Сборник тезисов. Екатеринбург: УО РАН, 1999. С. 3-4.
3. СанПиН 2.6.1.2523—09. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009).
4. СП 2.6.1.2612-10. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010).
5. МУ 2.6.1.15—06. Критерии принятия решения при планируемом изменении технологии на предприятии ЯТЦ, его реконструкции и перепрофилировании: Методические указания / Под ред. Симакова А.В., Абрамова Ю.В. и др.
6. МУ 2.6.1.044-08. Установление класса работ при обращении с открытыми источниками излучения: Методические указания / Под ред. Симакова А.В., Абрамова Ю.В. и др.
7. Методика проведения специальной оценки условий труда (Утверждена приказом Минтруда России от 14 ноября 2016 г., № 642н).
8. Р 2.6.5.07-19. Гигиенические критерии специальной оценки и классификации условий труда при работах с источниками ионизирующего излучения: Руководство / Под ред. Симакова А.В., Абрамова Ю.В., Проскуряковой Н.Л. и др.
9. МУ 2.6.5. 08-2019. Установление категорий потенциальной опасности радиационных объектов: Методические указания / Под ред. Симакова А.В., Абрамова Ю.В., Барковского А.Н. и др.

REFERENCE

1. Simakov A.V., Abramov Yu.V., Petrov S.V., Rogozhkin V.Yu., et al. Prognostic Assessment of Changing Radiation Situation when Manufacturing Fuel for PWR Reactor VVER-440 from Regenerated Uranium. *Sbornik Tezisev VII Mezhdunarodnogo Simpoziuma Ural Atomnyy* = VII International Symposium Ural Atomic. Collection of Abstracts. Ekaterinburg Publ., 1999. P. 5-7 (In Russ.).
2. Simakov A.V., Abramov Yu.V., Petrov S.V., Stepanov S.V., Isayev O.V. Methodic Approaches to Assessing the Contribution of Impurity Radionuclides to the Formation of Effective Doses of Occupational Exposure at NFC Enterprises. *Sbornik Tezisev VII Mezhdunarodnogo Simpoziuma Ural Atomnyy* = VII International Symposium Ural Atomic. Collection of Abstracts. Ekaterinburg Publ., 1999. P. 3-4 (In Russ.).
3. SanPiN 2.6.1.2523—09. Radiation Safety Standards (NRB-99/2009) (In Russ.).
4. SP 2.6.1.2612-10. Main Medical Rules for Radiation Safety (OSPORB-99/2010) (In Russ.).
5. MU 2.6.1.15 – 06. Decision Making Criteria in the Event of Planned Change in Technology at the NFC Enterprise, the Facility Reconstruction and Change of Functions. Guidelines. Ed. Simakov A.V., Abramov Yu.V., et al. (In Russ.).
6. MU 2.6.1.044 -08. Establishing a Class of Works when Managing Unsealed Radiation Sources. Guidelines. Ed. Simakov A.V., Abramov Yu.V., et al. (In Russ.).
7. Method for Conducting the Special Assessment of Work Conditions (Approved by Order of Ministry of Labor of the Russian Federation Dated November 14, 2016, No. 642n); (In Russ.).
8. R 2.6.5.07 - 19. Health Physics Criteria for the Special Assessment and Classification of Work Conditions when Managing Radiation Sources. Guidance. Ed. Simakov A.V., Abramov Yu.V., Proskuryakova N.L., et al. (In Russ.).
9. MU 2.6.5. 08 – 2019. Establishing Categories of Potential Hazard of Radiation Facilities. Guidelines. Ed. Simakov A.V., Abramov Yu.V., Barkovskiy A.N., et al. (In Russ.).

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Участие авторов. Статья подготовлена с равным участием авторов.

Поступила: 20.01.2022. Принята к публикации: 25.02.2023.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Financing. The study had no sponsorship.

Contribution. Article was prepared with equal participation of the authors.

Article received: 20.01.2022. Accepted for publication: 25.02.2023.