

## ОБОСНОВАНИЕ ВАРИАНТА ВЫВЕДЕНИЯ ИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ РАДИОБИОЛОГИЧЕСКОЙ ЛАБОРАТОРИИ

А.И. Ксенофонтов, Д.А. Савин

Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ, Москва

**Цель:** Обоснование радиационной безопасности при проведении работ по выведению из эксплуатации радиобиологической лаборатории по выбранному варианту.

**Материал и методы:** Данные по оборудованию и набору радиоактивных источников радиобиологической лаборатории. Аналитические методы с учетом результатов комплексного инженерного и радиационного обследования лаборатории, а также с использованием программы RESRAD-BUILD.

**Результаты:** Оценка количества образующихся радиоактивных отходов (РАО) при выведении из эксплуатации лаборатории по варианту “немедленный демонтаж” на основе данных по уровням загрязнения систем и элементов лаборатории. Расчет величин очень низкоактивных, низкоактивных и среднеактивных РАО. Полученные результаты могут быть использованы для оценки финансовых средств, необходимых для передачи РАО Национальному оператору по обращению с РАО на захоронение.

С помощью программы RESRAD-BUILD проведены расчеты коллективных доз облучения персонала при проведении работ по выведению из эксплуатации лаборатории, а также минимального количества персонала, необходимого для безопасного проведения работ. Получено, что для проведения работ по выведению из эксплуатации представленной лаборатории необходимо 26 человек (из них 11 дезактиваторщиков, 11 монтажников и 4 специалиста по обращению с РАО).

**Заключение:** Полученные в ходе работы результаты могут служить примером для выполнения работ по выведению из эксплуатации медицинских лабораторий и центров, имеющих источники ионизирующего излучения. Использованные в работе методы могут быть предложены как для обоснования безопасности при проведении работ по выведению из эксплуатации аналогичных объектов, так и для обоснования других радиационно-опасных работ.

**Ключевые слова:** радиобиологическая лаборатория, выведение из эксплуатации, радиоактивные источники, программа RESRAD-BUILD, оценка доз облучения персонала

### Введение

В течение многих десятилетий радиоактивные материалы использовались и используются в медицинских, промышленных и исследовательских учреждениях. Объекты, в которых используют радиоактивные материалы и радиоактивные источники в различных областях применения, были построены и введены в

эксплуатацию во многих странах. Многие из этих объектов подходят к концу своего срока эксплуатации. Все эти объекты должны быть выведены из эксплуатации.

Под выведением из эксплуатации [1] понимается административное и техническое меры, осуществляемые в целях обеспечения возможности снятия всех мер регулирующего контроля в отношении объекта. Выведение из

эксплуатации является последней стадией жизненного цикла объекта, но при этом она становится всё более актуальной, включающей консервацию, демонтаж, дезактивацию радиохимического оборудования, помещений и конструктивных элементов, а также рекультивацию окружающей территории.

Поэтому реализация концепции “зеленой лужайки”, т.е. снос объекта использования атомной энергии и восстановление на его месте исходной природной среды обитания, требует существенных усилий и больших затрат и может привести к проблемам обеспечения безопасности [1, 2].

МАГАТЭ разработало ряд требований [2], среди которых выделены оптимизация защиты и соблюдение безопасности по выводу из эксплуатации объекта, дифференцированный подход и оценка безопасности при проведении работ.

Выведение из эксплуатации медицинских установок [3] предусматривает проведение комплекса административных и технических действий, направленных на обеспечение безопасности персонала, населения и охрану окружающей среды на всех этапах работы. Неиспользуемая установка, содержащая источники ионизирующего излучения, представляет собой потенциальную опасность. До момента списания и утилизации установки находятся под контролем и охраной эксплуатирующей организации. Запрещается выбрасывать на общую свалку неиспользуемые медицинские установки, предназначенные для рентгенорадиологических исследований и терапии пациентов. Они должны быть утилизированы.

К медицинским объектам использования радиоактивных материалов относятся:

1. Медицинские установки с приборами для радиологии и радиотерапии и другие установки, в которых используются радиоизотопы для диагностики и лечения.
2. Промышленные установки, производящие радиоизотопы, а также установки, производящие продукцию, которая включает в себя радиоактивные материалы.
3. Исследовательские установки, такие как ускорители и другие установки, связанные с ядерной промышленностью, фармацевтикой и медициной.
4. Учебные и научно-исследовательские лаборатории в университетах.

Примеры выведения из эксплуатации медицинских объектов приводятся в работах [4,

5]. Среди них выведение из эксплуатации небольшого медицинского объекта на территории госпиталя в Гаване, который предназначался для процедур брахитерапии и был закрыт после 40 лет работы. Разработанная стратегия выведения из эксплуатации была реализована по этапам: изъятие радиоактивных источников из места хранения, частичный демонтаж загрязненных частей стены, дезактивации с помощью вакуумной очистки. Загрязненные объекты помещали в различные контейнеры для отходов в соответствии с их физическими и радиологическими характеристиками. При проведении данных работ персонал получил эффективные дозы в пределах от 0,13 до 0,66 мЗв.

В публикации МАГАТЭ [5] перечислены типичные для радиационных лабораторий радиоактивные материалы (открытые и закрытые источники). Список основных открытых радионуклидных источников приведен в табл. 1.

Исходя из литературных данных и рекомендаций, в настоящей работе демонстрируется обоснование радиационной безопасности при проведении работ по выведению из эксплуатации радиобиологической лаборатории высокого уровня по выбранному сценарию.

## Материал и методы

В настоящей работе рассматривается пример выведения из эксплуатации радиобиологической лаборатории, включающей в том числе емкости-сборники жидких радиоактивных отходов (далее – РАО).

Лаборатория эксплуатировалась с 1970 г. и в ней проводились исследовательские работы с открытыми источниками ионизирующего излучения:  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{239}\text{Pu}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ . Радиационных аварий за период эксплуатации лаборатории зафиксировано не было. Отмечены лишь локальные нарушения нормальной эксплуатации (разлив и просыпи радиоактивных веществ), что не привело к выходу радиоактивных веществ за территорию площадки лаборатории и санитарно-защитной зоны.

Исходные данные, использованные для оценки количества РАО, следующие:

- ✓ общая площадь поверхности демонтируемого технологического оборудования и трубопроводов ~2000 м<sup>2</sup>;

Таблица 1

**Основные открытые радионуклидные источники, применяемые для медицинских и биологических исследований**

Область применения	Радионуклид	Период полураспада	Максимальная активность на рабочем месте, МБк
Биологические исследования	<sup>3</sup> H	12,3 год	5
	<sup>14</sup> C	5730 год	10
	<sup>32</sup> P	14,3 сут	200
	<sup>33</sup> P	25,4 сут	50
	<sup>35</sup> S	87,4 сут	5000
	<sup>51</sup> Cr	27,7 сут	5
Ядерная медицина диагностика	<sup>125</sup> I	60,1 сут	500
	<sup>18</sup> F	1,8 ч	500
	<sup>67</sup> Ga	3,3 год	200
	<sup>81m</sup> Kr	13,3 с	2000
	<sup>99m</sup> Tc	6,0 ч	1000
	<sup>111</sup> In	2,8 сут	500
Ядерная медицина терапия	<sup>123</sup> I	13,2 ч	500
	<sup>131</sup> I	8,0 сут	500
	<sup>32</sup> P	14,3 сут	200
	<sup>89</sup> Sr	50,5 сут	300
	<sup>90</sup> Y	2,7 сут	300
	<sup>131</sup> I	8,0 сут	500

- ✓ общая площадь вновь установленного оборудования и инструментов для проведения монтажных работ ~500 м<sup>2</sup>;
- ✓ общая площадь поверхности вентоборудования и воздуховодов ~1500 м<sup>2</sup>;
- ✓ общая площадь поверхности электротехнического оборудования ~150 м<sup>2</sup>.

Оценка количества РАО была выполнена на основе данных по поверхностному загрязнению систем и элементов лаборатории, а также на основе сведений о площади загрязнения. По результатам оценки получены значения для очень низкоактивных – 155 м<sup>3</sup>; низкоактивных – 56,15 м<sup>3</sup> и среднеактивных – 9,5 м<sup>3</sup> РАО.

Все помещения по радиационным характеристикам были условно разделены на четыре группы: чистые; условно чистые; грязные; особо грязные, рис. 1.

Для расчета потенциальных доз облучения человека при проведении работ на загрязненной территории использовалась программа RESRAD-BUILD [6], которая позволяет учитывать анализ путей радиационного облучения и связанных с ним рисков, а также критерии очистки или разрешенные пределы концентрации радионуклидов в загрязненной среде:

- ✓ внешнее облучение непосредственно от источника излучения;
- ✓ внешнее облучение от материалов, осажденных на пол;

- ✓ внешнее облучение от радиоактивных аэрозолей в воздухе рабочих помещений;
- ✓ вдыхание радиоактивных частиц в воздухе;
- ✓ вдыхание радона и его дочерних радионуклидов в воздухе рабочих помещениях и тритированного водяного пара;
- ✓ непреднамеренная ингаляция радиоактивной пыли из загрязнённого воздуха при проведении работ;
- ✓ непреднамеренное проглатывание материалов, отложившихся на поверхности строительных отсеков.



Рис. 1. Площадь помещений лаборатории по радиационным характеристикам, м<sup>2</sup>

Таблица 2

## Радиационные показатели для групп помещений лаборатории

Оборудование и строительные конструкции	Альфа-частицы, частиц/(см <sup>2</sup> ×мин)	Бета-частицы, частиц/(см <sup>2</sup> ×мин)	Мощность амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения, мкЗв/ч
	от внешних / внутренних поверхностей		
Чистые помещения	≤ 0,1 / ≤ 5	≤ 5 / ≤ 9500	≤ 0,15
Условно чистые помещения	≤ 1 / ≤ 1	≤ 100 / ≤ 200	≤ 0,15 / ≤ 0,5
Грязные помещения	≤ 0,1 / ≤ 5	≤ 1500 / ≤ 9500	≤ 5 / ≤ 0,5
Особо грязные помещения	≤ 1 / ≤ 5	≤ 10000 / ≤ 100000	≤ 15 / ≤ 20

Примерно половина помещений здания лаборатории были отнесены к чистым и условно чистым помещениям (~700 м<sup>2</sup> и ~500 м<sup>2</sup> соответственно). Еще половина помещений была отнесена к грязным помещениям (~1300 м<sup>2</sup>). Остальные помещения (~100 м<sup>2</sup>) были отнесены к особо грязным помещениям.

Радиационные показатели для каждой группы помещений представлены в табл. 2.

Исходные данные для оценки количества РАО:

- ✓ общая площадь поверхности демонтируемого технологического оборудования и трубопроводов ~2000 м<sup>2</sup>;
- ✓ общая площадь вновь установленного оборудования и инструментов для проведения демонтажных работ ~500 м<sup>2</sup>;
- ✓ общая площадь поверхности вентоборудования и воздуховодов ~1500 м<sup>2</sup>;
- ✓ общая площадь поверхности электротехнического оборудования 150 м<sup>2</sup>.

Передача радиоактивных отходов на переработку или захоронение должна производиться в специальных упаковках (контейнерах). Уровни радиоактивного загрязнения транспортных средств, технологического и контейнерного оборудования определенные в НРБ-99/2009.

Оценки доз облучения персонала при проведении работ по выведению из эксплуатации были выполнены на основе результатов комплексного инженерного и радиационного обследования (КИРО) радиобиологической лаборатории. При оценке предполагалось, что радионуклидный состав загрязнения всех помещений одинаковый и соответствует средним значениям загрязнения, полученным по результатам КИРО.

По результатам расчета был получен важный вывод, что дозы облучения персонала будут обусловлены в основном ингаляцией радиоактивных веществ при проведении работ по выводу из эксплуатации, а также величины доз не зависят от места нахождения персонала в помещении.

Для ограничения внутреннего облучения персонала было назначено использование персоналом средств индивидуальной защиты органов дыхания в виде респиратора типа Лепесток-200 [7]. При этом было учтено, что в местах неплотного прилегания респиратора к лицу человека возможно повышенное попадание радиоактивных аэрозолей под него [8].

Расчеты по программе показали, что при работе в особо грязных помещениях, годовые коллективные дозы облучения персонала составят примерно 360 чел.-мЗв/год. Так как в лаборатории существует только одно особо грязное помещение со сравнительно небольшой площадью (31 кв. м), принято, что работа в данном помещении должна длиться не более 30 дней, и таким образом коллективная доза облучения персонала составит примерно 44 чел.-мЗв.

По результатам расчета получено, что годовые коллективные дозы облучения персонала при работе в грязных помещениях не превысят 60 чел.-мЗв/год.

Оценка доз облучения персонала при проведении работ по сортировке РАО проводилась в следующих предположениях. Максимальная разрешенная мощность дозы гамма-излучения на расстоянии 1 м от сертифицированной упаковки (транспортная упаковка 3 категории) не должна превышать 100 мкЗв/ч. [9]. Было принято, что среднее количество упаковок в день

составляет до 3 штук, а время загрузки упаковок в контейнер – до 30 минут. Работы проводятся в течение 12 месяцев в году (250 дней). В этом случае величина дозы облучения персонала составит 37,5 чел.-мЗв/год.

### Результаты и обсуждение

На основе данных по уровням загрязнения систем и элементов радиобиологической лаборатории, а также сведений по размерам помещений выполнена оценка количества РАО, образующихся при выводе из эксплуатации лаборатории. По результатам оценки получены следующие значения: для очень низкоактивных – 155 м<sup>3</sup>; для низкоактивных – 56,15 м<sup>3</sup> и для среднеактивных – 9,5 м<sup>3</sup> РАО.

С помощью программы RESRAD-BUILD выполнен расчет коллективных доз облучения персонала при проведении работ по выводу из эксплуатации лаборатории. Источниками являются 4 стены и пол помещения. Загрязнение на потолке не обнаружено, в связи с чем не моделировалось. Каждая стена имеет размеры 5,56 м×3,3 м (ширина×высота). Персонал может находиться: 1) в центре помещения, 2) в углу стен, 3) рядом со стеной, рис. 2.

Рассчитанные значения коллективных доз облучения персонала составили:

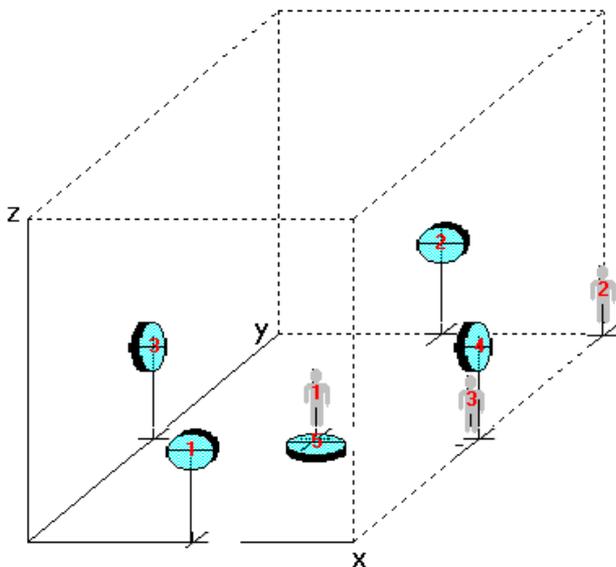


Рис. 2. Геометрия для расчета годовой МЭД

- ✓ работы в особо грязных помещениях – 44 чел.-мЗв/год;
- ✓ работы в грязных помещениях – 60 мЗв/год;
- ✓ при проведении работ по обращению с РАО – 37,5 чел.-мЗв/год.

Снос строительных конструкций проводится после проведения дезактивационных работ и таким образом все радиоактивное загрязнение конструкций будет удалено. Облучение персонала, занятого сносом строительных конструкций, исключено.

После проведения работ по сносу здания лаборатории и демонтажа временных конструкций необходимо провести работы по реабилитации территории. Для консервативности оценки было принято, что территория загрязнена на уровне условно-чистых помещений. В этом случае мощность дозы излучения на рабочих местах персонала не превысит 0,5 мкЗв/ч. Такая мощность дозы излучения позволяет пребывание персонала в течении неограниченного времени (1700 часов в год) в соответствии с требованиями п. 3.3.4 ОСПОРБ-99/2010 [10]. Таким образом, дозы облучения персонала при проведении работ по реабилитации территории гарантировано не превысят 10 мЗв/год.

Для оценки количества персонала, необходимого для проведения работ по выведению из эксплуатации принято, что значение контрольного уровня дозы облучения персонала составляет 10 мЗв/год, а работы по дезактивации и демонтаж будут проводиться одновременно.

Суммарная коллективная доза облучения персонала при проведении работ, не связанных с обращением с РАО, составит примерно 104 чел.-мЗв/год, таким образом для не превышения контрольного уровня для данных работ необходимо не менее 11 человек. При этом для проведения работ одновременно двумя людьми (один дезактиваторщик и один монтажник) необходимо не менее 22 человек.

Для обеспечения не превышения контрольного уровня при проведении работ по обращению с РАО необходимо задействовать не менее четырех работников.

Следует отметить, что на практике мощность дозы излучения на рабочих местах персонала будет значительно ниже, что позволит сократить число сотрудников, занятых работами по выведению из эксплуатации.

## Заключение

В рамках работы были получены результаты оценок:

- ✓ количества радиоактивных отходов, образующихся при выведении из эксплуатации радиобиологической лаборатории по варианту “немедленный демонтаж”;
- ✓ величин доз облучения персонала при проведении работ по выведению из эксплуатации радиобиологической лаборатории;
- ✓ минимального количества персонала, необходимого для безопасного проведения работ по выведению из эксплуатации радиобиологической лаборатории.

Полученные результаты могут служить примером для обоснования выполнения работ по выводу из эксплуатации медицинских лабораторий и центров, имеющих источники ионизирующего излучения. Используемые в работе методы могут быть предложены как для обоснования безопасности при проведении работ по выводу из эксплуатации аналогичных объектов, так и для обоснования других радиационно-опасных работ.

Авторы выражают благодарность за проведение расчетов магистру НИЯУ МИФИ Чан Чунг Туан, часть результатов которых вошли в успешно защищенную магистерскую диссертацию.

## Список литературы

1. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Decommissioning of Medical, Industrial and Research Facilities, IAEA Safety Standards Series No. SSG-49, IAEA, Vienna. 2019.
2. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Decommissioning of Facilities, IAEA Safety Standards Series No. GSR Part 6, IAEA, Vienna. 2014.
3. Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 07.07.2011 № 91 “Об утверждении СанПиН 2.6.1.2891-11 “Требования радиационной безопасности при производстве, эксплуатации и выводе из эксплуатации (утилизации) медицинской техники, содержащей источники ионизирующего излучения” (Зарегистрировано в Минюсте России 29.09.2011 № 21925).
4. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Record Keeping for the Decommissioning of Nuclear Facilities, Technical Reports Series No. 411, IAEA, Vienna. 2003.
5. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Decommissioning of Small Medical, Industrial and Research Facilities, Technical Reports Series No. 414, IAEA, Vienna. 2003.
6. C. Yu, D.J. LePoire, J.J. Cheng, et al. User's Manual for RESRAD-BUILD Version3 Argonne National Laboratory (2003).
7. Петрянов-Соколов И.В. и др. “Лепесток” – легкие респираторы. М.: Наука, 1984.
8. МУ 2.6.1.065-2014. Дозиметрический контроль профессионального внутреннего облучения. Общие требования. Методические указания. (утв. ФМБА России 06.11.2014).
9. Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 17 апреля 2003 г. № 54 “О введении в действие СанПиН 2.6.1.1281-03 “Санитарные правила по радиационной безопасности персонала и населения при транспортировании радиоактивных материалов (веществ)” (Зарегистрировано в Минюсте РФ 13.05.2003 № 4529).
10. Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 26.04.2010 № 40 “Об утверждении СП 2.6.1.2612-10 “Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010)” (Зарегистрировано в Минюсте России 11.08.2010 № 18115).

**JUSTIFICATION OF THE DECOMMISSIONING OPTION OF A RADIOBIOLOGICAL LABORATORY**

*A.I. Ksenofontov, D.A. Savin*

*National Research Nuclear University MEPhI, Moscow, Russia*

Purpose: The preparation for a radiation safety justification for the decommissioning of the radiobiological laboratory according to the selected decommissioning option.

Material and methods: Justification was carried out by the analytical and computational methods as well as using the RESRAD-BUILD software tool.

Results: The assessments of the amount of radioactive waste generated during the decommissioning of the radiobiological laboratory. Radiation doses to personnel during the decommissioning of this laboratory and the minimum number of personnel required for the safe work.

The assessment of the amount of radioactive waste generated during the decommissioning of the radiobiological laboratory was carried out on the basis of data on the levels of contamination of systems and elements of the radiobiological laboratory, as well as information on the size of the premises. This information can be used to assess the financial resources required for the management of radioactive waste for disposal.

With RESRAD-BUILD code was calculated the collective doses to the personnel performing the work on the decommissioning of radiobiological laboratory. Based on the results of the assessment of the collective radiation dose of personnel, the minimum number of personnel required for the safe implementation of decommissioning of the radiobiological laboratory was calculated. It was found that 26 people are needed for the safe implementation of decommissioning of the radiobiological laboratory (11 decontaminators, 11 dismantlers, 4 specialists in radioactive waste management).

Conclusion: Obtained results can be used to justify the selected decommissioning option for radiobiological laboratory. The methods used in this work can be used both to justify safety during the decommissioning of analog nuclear facilities, and for justification for other radiation hazardous works.

Key words: *radiobiological laboratory, decommissioning, radioactive sources, RESRAD-BUILD code, assessment of personnel exposure doses*

E-mail: [aiksenofontov@mephi.ru](mailto:aiksenofontov@mephi.ru)