

## АНАЛИЗ ЗАРУБЕЖНОЙ ПРАКТИКИ РЕГУЛИРОВАНИЯ БЕЗОПАСНОГО ОБРАЩЕНИЯ С ОТХОДАМИ, СОДЕРЖАЩИМИ ТЕХНОГЕННЫЕ РАДИОНУКЛИДЫ С ОЧЕНЬ НИЗКИМИ УРОВНЯМИ АКТИВНОСТИ (ОБЗОР)

**В. Г. Барчуков** — ФГБУ «Государственный научный центр Российской Федерации — Федеральный медицинский биофизический центр им. А. И. Бурназяна» ФМБА России, заведующий лабораторией, профессор, доктор медицинских наук; **О. А. Кочетков** — ФГБУ «Государственный научный центр Российской Федерации — Федеральный медицинский биофизический центр им. А. И. Бурназяна» ФМБА России, ведущий научный сотрудник, кандидат технических наук; **Л. И. Кузнецова** — ФГБУ «Государственный научный центр Российской Федерации — Федеральный медицинский биофизический центр им. А. И. Бурназяна» ФМБА России, старший научный сотрудник; **А. А. Максимов** — ФГБУ «Государственный научный центр Российской Федерации — Федеральный медицинский биофизический центр им. А. И. Бурназяна» ФМБА России, инженер-исследователь.

### ANALYSIS OF FOREIGN PRACTICES FOR THE SAFE MANAGEMENT REGULATION OF WASTE CONTAINING VERY LOW ACTIVE MANMADE RADIONUCLIDES (REVIEW)

**V. G. Barchukov** — State Research Center — Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency, Head of Laboratory, Professor, DSc; **O. A. Kochetkov** — State Research Center — Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency, Leading Researcher, PhD; **L. I. Kuznetsova** — State Research Center — Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency, Senior Researcher; **A. A. Maksimov** — State Research Center — Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency, Research Engineer.

Дата поступления — 25.07.19 г.

Дата принятия в печать — 05.12.2019 г.

**Барчуков В. Г., Кочетков О. А., Кузнецова Л. И., Максимов А. А.** Анализ зарубежной практики регулирования безопасного обращения с отходами, содержащими техногенные радионуклиды с очень низкими уровнями активности (обзор). Саратовский научно-медицинский журнал 2019; 15 (4): 971–976.

В настоящее время вокруг отходов, которые имеют уровни удельной активности ниже отнесения к твердым радиоактивным отходам (ТРО), но выше уровней, разрешенных для неограниченного использования, возник правовой вакуум, что определяет необходимость поиска законодательных и нормативных решений. В качестве примера для наиболее приемлемого решения в обзоре рассматривается практика решения аналогичных задач в странах с развитой атомной энергетикой, а также оцениваются рекомендации международных организаций по формированию системы безопасного обращения с такой категорией отходов. Исходя из представленного в обзоре материала, представляется, что наиболее логичным и учитывающим практику обращения с радиоактивными отходами в настоящее время в России может быть выделение этого вида отходов в отдельную категорию с установлением законодательно-нормативных требований по безопасному обращению с ней.

**Ключевые слова:** радиоактивные отходы, регулирование обращения с низкоактивными отходами.

**Barchukov VG, Kochetkov OA, Kuznetsova LI, Maksimov AA.** Analysis of foreign practices for the safe management regulation of waste containing very low active manmade radionuclides (review). *Saratov Journal of Medical Scientific Research* 2019; 15 (4): 971–976.

Today, wastes that have specific activities lower than those assigned to solid radioactive waste, but higher than levels permitted for unrestricted use are enclosed in a legal vacuum. This fact necessitates searching for legislative and regulatory solutions. In order to find the most acceptable solution, this review examines the practice of solving similar problems in countries with developed nuclear energy. Recommendations of international organizations on the development of a safe management system of such waste are reviewed as well. Based on the information presented in this review, the allocation of this waste category including the establishment of legislative and regulatory requirements for its safe management seems the most logical and taking into account the current practice of waste management in Russia.

**Key words:** radioactive waste, regulation of low-level waste management.

**Введение.** При эксплуатации и в особенности при снятии с эксплуатации атомных объектов образуется большое количество отходов и материалов с очень низким уровнем активности. Выбор экономичного и экологически безопасного способа обращения с такими материалами сопряжен с определенными трудностями, обусловленными их специфическими особенностями: очень малым радиационным воздействием на человека при весьма значительных исходных количествах. Поэтому, с одной стороны, отходы с такой низкой радиоактивностью неэкономично размещать в специализированных дорогостоящих хранилищах и могильниках радиоактивных отходов (РАО), а с другой стороны, есть определенные опасения в безопасности направления их на полигоны захоронения обычных (нерадиоактивных) отходов либо отнесения таких отходов к материалам для ограниченного или неограниченного повторного использования.

Существующая в России классификация РАО [1, 2] имеет особенности. Эти особенности состоят в том, что в России к твердым радиоактивным отходам (ТРО) относятся отходы, у которых уровень удельной активности превышает величины минимально значимой удельной активности (МЗУА). Для освобождения из-под радиационного контроля взяты уровни удельной активности, которые отвечают критериям освобождения, изъятия или исключения из-под регулирующего контроля в контексте радиационной защиты, представленные в Приложении 3 ОСПОРБ-99/2010 [3].

Таким образом, очевиден правовой вакуум, возникший вокруг отходов, которые имеют уровни удельной активности ниже отнесения к ТРО, но выше уровней, разрешенных для неограниченного использования, что определяет необходимость поиска законодательных и нормативных решений, в частности предлагаемых в работе Е.А. Иванова, Д.А. Шарова, А.В. Курындина (2018) [4]. Тем более это может быть актуально для возможности законодательно-нормативного решения вопроса о совместном захоронении отмеченной категории отходов и катего-

**Ответственный автор** — Барчуков Валерий Гаврилович  
Тел.: +7 (916) 4364315  
E-mail: barchval@yandex.ru

рии «очень низкоактивные радиоактивные отходы» [5]. Для принятия взвешенного решения по данному вопросу целесообразно рассмотреть накопленный к настоящему времени опыт решения аналогичных задач в других странах, а также оценить рекомендации международных организаций по формированию системы безопасного обращения с такой категорией отходов.

Чтобы найти приемлемое экологически безопасное и экономически низкочастотное решение вопроса обращения с отходами, содержащими техногенные радионуклиды, проведен анализ практики решений аналогичных ситуаций в странах с развитой атомной энергетикой и рекомендаций МАГАТЭ.

**1. Международные подходы к организации обращения с отходами, содержащими техногенные радионуклиды с очень низкими уровнями активности.** К настоящему времени проблема закрытия объектов с истекшими сроками эксплуатации, дезактивации и реабилитации производственных территорий с последующим удалением образовавшихся РАО является актуальной для всех стран с развитой атомной энергетикой. При этом особую значимость имеют вопросы регулирования безопасности при обращении с отходами, уровни активности которых ниже или на границе отнесения их к РАО, а также возможности и условия вывода их из-под регулирующего контроля.

Согласно мировой практике и глоссарию МАГАТЭ [6] отходы, образующиеся при производстве и реабилитации радиационно загрязненных территорий, содержащие техногенные радионуклиды с низкими уровнями удельной активности, называются очень низкоактивными отходами, сокращенно VLLW. Учитывая интерес стран к этой проблеме, в целях достижения международного согласия в подходах, критериях и количественных параметрах, необходимых для принятия оптимальных решений по всем аспектам обращения с такими отходами, МАГАТЭ организовало ее системное изучение. В первую очередь потребовалось определение нижней границы удельной активности отнесения к этой категории отходов. Эта проблема тем более актуальна в связи с необходимостью определить, с какими уровнями активности можно без вреда для населения и окружающей среды снимать такие отходы с регулирующего контроля. Другими словами, необходимо установление требований к процедуре их изъятия из-под регулирующего контроля.

Хронологически уже в 1988 г. МАГАТЭ издало руководство по безопасности №89 «Принципы изъятия источников излучения и видов работ из-под регулирующего контроля» [7]. Этот документ в основном определил круг проблем, связанных с обеспечением безопасного обращения с такими отходами. В последующие годы изучение проблемы активно и детально продолжалось. В исследованиях обозначились два направления: дальнейшее развитие общих принципов процедуры изъятия (т.е. ее «идеологии») и установление регламентирующих количественных параметров.

Следующим важным шагом в формировании понимания, как должна быть построена система безопасного обращения с такими отходами, стала серия публикаций МАГАТЭ по программе RADWASS (Radioactive Waste Safety Standards). Основной целью этих рекомендаций является помощь странам в разработке нормативных документов по безопасному обращению с радиоактивными отходами, включая

безопасное захоронение отходов. Например, по этой программе МАГАТЭ разработало классификацию отходов в зависимости от возможного способа их захоронения [8], в которой введена новая категория отходов: «отходы, выведенные из-под регулирующего контроля» (Exempt Waste) с удельной активностью ниже уровней выведения из-под регулирующего контроля (Clearance Levels).

В ходе работ в рамках программы RADWASS было высказано предложение о целесообразности введения в практику такой категории РАО, как очень низкоактивные отходы (ОНАО). Однако однозначного мнения по обращению с этой категорией промышленных отходов в настоящее время еще нет. Попытки разработать официальные рекомендации МАГАТЭ по вопросам выведения ОНАО из-под регулирующего контроля с указанием безопасных предельных уровней радионуклидов не прекращаются до настоящего времени. В частности, под эгидой МАГАТЭ проведен ряд крупных рабочих совещаний (уровня конференции), постоянно организуются технические комитеты и другие мероприятия. Выпущено несколько научно-технических материалов уровня «технический документ» или «рабочий документ».

**2. Классификация РАО и международные подходы по обоснованию необходимости выделения категории промышленных отходов, содержащих радионуклиды с очень низкими уровнями удельной активности.** Для совершенствования и создания сопряженной законодательно-нормативной базы государств — членов МАГАТЭ в области регулирования радиационной защиты и безопасности, а также практической реализации основных международных норм безопасности, опубликованных в серии изданий МАГАТЭ по безопасности, был подготовлен технический документ IAEA TECDOC 1067 [9]. В этом документе отмечено, что одним из основных этапов процесса обращения с радиоактивными отходами является их классификация.

В 2009 г. в серии стандартов безопасности МАГАТЭ для защиты человека и окружающей среды разработано руководство №GSG-1 «Классификация радиоактивных отходов» [10]. В этом документе представлен новый вариант классификации РАО. Классификация была модифицирована так, чтобы отражать опыт, накопленный при разработке, осуществлении контроля и оценке безопасности могильников (предприятий по захоронению). Определен довольно обширный диапазон классов отходов, сформулированы граничные условия между классами.

Эта классификация более гибко, точнее и технологичнее позволяет распределить РАО и материалы, содержащие низкие уровни радионуклидов. В классификации выделяется 6 классов отходов:

1. *Изъятые отходы (EW)*. К ним относятся отходы, отвечающие критериям освобождения, изъятия или исключения из регулирующего контроля в контексте радиационной защиты.

2. *Очень короткоживущие отходы (VSLW)*. Имеются в виду отходы, которые можно хранить до распада в ограниченный несколькими годами промежуток времени, а впоследствии освободить в соответствии с правилами, установленными регулирующим органом для неконтролируемого захоронения, использования или выброса. В этот класс обычно входят радиоактивные отходы, содержащие главным образом радионуклиды с короткими периодами полураспада, часто используемые в исследовательских и медицинских целях.

3. *Очень низкоактивные (низкоуровневые) отходы (VLLW)*. Это отходы, не отвечающие критерию, определяющему EW, но не требующие герметичности и изоляции высокого уровня и, следовательно, пригодные для захоронения в приповерхностных хранилищах типа свалок, с ограниченным регулирующим контролем. Такие могильники типа свалок могут содержать и другие опасные отходы. Типичными отходами из данного класса являются почва и строительный мусор с низкими концентрациями активности.

4–6. *Три категории собственно радиоактивных отходов*. В их числе: низкоактивные отходы (LLW), среднеактивные отходы (ILW) и высокоуровневые (высокоактивные) отходы (HLW).

Если говорить о трех последних категориях, то в настоящее время сформированы относительно устойчивые понятия по организации системы обращения с ними, за исключением вопросов изоляции (захоронения) РАО, содержащих высокоактивные долгоживущие радионуклиды. Этому способствовало то обстоятельство, что уже с создания МАГАТЭ в 1957 г. проблема обращения с РАО стала важным элементом программ Агентства.

В течение ряда лет комитеты МАГАТЭ по стандартам радиационной безопасности (RASSC) и безопасности радиоактивных отходов (WASSC) работали над проектом создания руководства по безопасности, направленного на определение политики и стратегии обращения с отходами, содержащими очень низкие уровни активности. В рамках этих работ подготовлено международное соглашение о радиологических критериях для радионуклидов в товарах потребления, устанавливающее значения удельной активности для радионуклидов искусственного и естественного происхождения в больших количествах материалов, которые нужно использовать при выполнении требований ОСБ для исключения, освобождения и дезактивации. Полученные и опубликованные численные характеристики по каждому радионуклиду опубликованы и в настоящее время приняты в России, что нашло свое отражение в Приложении 3 ОСПОРБ-99/2010 [3].

Обоснование этих величин активности представлено консультативной группой МАГАТЭ, которая показала, что непревышение дозы 10 мкЗв в год может быть достигнуто, если загрязненных радионуклидами отходов с уровнями активности ниже НАО будет 10% от всех размещаемых на полигоне отходов [11]. К таким же заключениям пришли и другие авторы, использовавшие для расчета другие подходы [12–14].

**3. Регулирующие аспекты обеспечения радиационной безопасности при обращении с отходами, содержащими радионуклиды по уровню удельной активности ниже категории НАО, в странах с развитой атомной энергетикой.** В настоящее время в странах с развитой атомной энергетикой проблема обоснования и установления предельно допустимого уровня активности, ниже которого отходы можно считать радиационно безопасными и исключить тем самым необоснованные затраты на создание и использование средств защиты при транспортировке, переработке, хранении и захоронении их, приобретает особую актуальность. Национальные нормативно-регулирующие документы содержат значения предельно допустимой активности, устанавливающие условную границу между радиоактивными и нерадиоактивными веществами, но в зависимости от сложившейся системы обращения с радиоактив-

ными отходами и способами захоронения они в каждой стране имеют свои особенности.

Наиболее просты в понимании и соответственно в исполнении подходы по обращению с очень низкоактивными отходами (ОНАО) в Великобритании. В законодательном акте «Об обращении с радиоактивными веществами» [15] указывается, что отходы с очень низким уровнем удельной активности (менее 0,4 Бк/г) могут быть выведены из сферы регулирования безопасности и являются нерадиоактивными. При этом в категории НАО выделяется подкатегорию ОНАО. Сюда относятся отходы, имеющие удельную активность от 0,4 Бк/г до 4 Бк/г. Эти отходы могут быть захоронены на обычной или муниципальной свалке после получения разрешения (лицензии) органа регулирования безопасности. При этом удельная активность альфа-излучающих нуклидов в этих отходах не должна превышать 0,4 Бк/г. Ограничивающим критерием является и общая радиоактивная емкость планируемых к захоронению отходов.

В случае малых объемов (содержимое «мусорного ящика») малообъемные ОНАО можно захоронить на участке, не имеющем специального предназначения, вместе с муниципальными, коммерческими или промышленными отходами (захоронение «мусорного ящика»); каждый 0,1 м<sup>3</sup> отходов должен содержать менее 400 кБк общей активности, или отдельные элементы содержат менее 40 кБк общей активности. Для отходов, содержащих углерод-14 или водород-3 (тритий), эти показатели не должны превышать 4000 кБк, вместе взятых. В случае захоронения крупных объемов (крупнообъемные ОНАО) эти радиоактивные отходы должны передаваться на лицензированную площадку окончательной изоляции.

В Швеции, следуя рекомендациям международных организаций, выделяют отходы, содержащие радионуклиды с очень малыми уровнями активности. Такие отходы снимаются с регулирующего контроля в следующих случаях:

— если по поверхностному загрязнению они не превышают 4 Бк/см<sup>2</sup> для бета-гамма-излучающих нуклидов (усредненное для 0,01 м<sup>2</sup>) и 0,4 Бк/см<sup>2</sup> для альфа-излучающих нуклидов (усредненное для 0,01 м<sup>2</sup>), однако для ограниченных площадей (менее 0,001 м<sup>2</sup>) допускаются величины загрязнения в 10 раз выше;

— если по удельной активности они не более 0,5 Бк/г (исключая естественные радионуклиды) [16].

Удельная активность отходов (условно радиоактивные), разрешенных для захоронения на муниципальной свалке, не должна превышать 5 Бк/г для бета-гамма-излучающих нуклидов и 0,5 Бк/г для альфа-излучающих нуклидов. При этом предел полной активности отходов для захоронения не должен превышать 1 ГБк/год для всей площадки.

Загрязненный лом разрешается для повторного использования к переплавке на промышленных печах с уровнями удельной активности менее 1 Бк/г. При этом допуск осуществляется партиями с таким расчетом, что средняя активность на партию не превысит 0,5 Бк/г. Загрязненный лом с большими уровнями осуществляется в радиологически контролируемой печи в Студсваике (Швеция). При этом шлак и фильтры обрабатываются, как РАО, а полученные слитки (доминирует Co<sup>60</sup>) выдерживаются для естественного распада.

Отходы с очень низкими уровнями активности разрешено размещать для окончательной изоляции

совместно с отходами, содержащими радионуклиды с уровнем активности, соответствующей нижней трети НАО, в поверхностных хранилищах на площадках вблизи их образования, поэтому атомные станции Ringhals, Forsmark и Oskarshamn, а также площадка Studsvik имеют для них хранилища со следующими характеристиками:

- период потенциальной опасности — не более ста лет после закрытия могильника;
- отсутствие смешанных отходов;
- радиационная емкость полигона не должна превышать 200 ГБк, при этом допускается до 10%  $Cs^{137}$  и не более 0,1% альфа-активных радионуклидов;
- период пассивного контроля (мониторинга) за могильником — 50 лет после его закрытия.

В Германии допустимые уровни неограниченного использования и критерии к ограничению использования радиоактивных материалов установлены в Постановлении о радиационной защите от 13 октября 1976 г. [17], в которое 18 августа 1997 г. был внесен ряд изменений и дополнений.

Нормативными документами Германии допускаются переработка и повторное использование материалов, загрязненных радионуклидами в ядерном секторе, если это технически возможно и экономически оправдано. Ограничивающими критериями являются:

- по поверхностному загрязнению: бета-гамма-активность 0,5 Бк/см<sup>2</sup>, бета-гамма-низкоэнергетическая активность 5 Бк/см<sup>2</sup>, альфа-активность 0,05 Бк/см<sup>2</sup>;

- по удельной активности: бета-гамма-активность 0,1 Бк/г, если материал используется как вторичное сырье и если, поступая на переплавку, он может содержать активность до 1 Бк/г.

По специальному разрешению регулирующих органов критерии для захоронения отходов, содержащих радионуклиды с очень низкими уровнями удельной активности, могут быть повышены, о чем свидетельствует пример декомиссии на участке MZFR в Карлсруэ, где были обоснованы следующие критерии:

- по поверхностному загрязнению: бета-гамма-активность 0,5 Бк/см<sup>2</sup>, альфа-активность 0,05 Бк/см<sup>2</sup>;

- по удельной активности: бета-гамма-активность 0,5 Бк/г.

Принятая во Франции классификация РАО основана на их радиоактивности, радионуклидном составе, физических и химических свойствах, периоде полураспада содержащихся в них изотопов [18], где радиотоксичность отходов определяет предполагаемый способ их захоронения.

Основным критерием являются не результаты измерений, а в первую очередь источник отходов на предприятии. Французское законодательство требует от всех ядерных объектов проведения зонирования на предприятии, устанавливающего зоны ядерных отходов и зоны промышленных отходов. Зонами ядерных отходов являются помещения, где предметы радиоактивно загрязнены или потенциально могут быть загрязнены. Отходы, образовавшиеся в чистой зоне, по их происхождению исключены из-под регулирующего контроля.

В группу коротко- и долгоживущих очень низко активных отходов включены отходы, активность которых составляет менее 100 Бк/г для искусственных радионуклидов или 500 Бк/г для природных радионуклидов. Сталкиваются с этими отходами в основ-

ном при выводе из эксплуатации АЭС или на обычных промышленных площадках, где размещаются низкоактивные вещества. К этой категории относятся также отходы, содержащие радий, используемый для получения радона.

ОНАО выделены в отдельную категорию. В настоящее время эти отходы отправляются в хранилище Morvilliers (управляет компания по обращению с РАО, ANDRA). Граница между ОНАО и НАО определяется, как и в других странах, путем установления верхних пределов удельной активности ( $A_{maxi}$ ) для  $i$ -го нуклида в упаковке. Для ОНАО этот индекс в среднем по отходам должен быть меньше 1 ( $I < 1$ ). Однако для любой отдельной упаковки он может быть более 1, но не должен превышать 10 ( $I < 10$ ).

США в настоящее время имеют, пожалуй, самую разветвленную и сложную в мире нормативную базу по безопасности захоронений опасных отходов, в том числе содержащих радионуклиды. Это обусловлено тем, что страна имеет три основные организации по регулированию атомной энергии: Nuclear Regulatory Commission (NRC) (Комиссия по ядерному регулированию), Department of Energy (DOE) (Департамент (Министерство) энергетики) и Environmental Protection Agency (EPA) (Агентство по охране окружающей среды). Все три организации имеют свою нормативную базу по регулированию в атомной энергетике. Нормативные документы высшего уровня входят в систему федеральных документов США — Code of Federal Regulations (CFR). При этом имеются также документы, согласованные всеми тремя организациями. Например, в области безопасного обращения с РАО и отработанным ядерным топливом DOE разработан документ [19] в сотрудничестве с NRC и EPA.

Интересно отметить, что согласно этому документу в США выделяют категорию отходов низкой активности — low activity waste (LAW). Эта категория отличается от упомянутой категории низкоактивных отходов (отходов низкого уровня) — low level waste (LLW) тем, что к ней отнесены большие объемы отходов, образующихся при реабилитации загрязненных объектов и территорий. Таким образом, можно считать, что отходы низкой активности (LAW) США аналогичны рассматриваемым ОНАО.

В документе [20] разработана классификация отходов, которые могут быть захоронены в приповерхностные могильники. Эта классификация учитывает вид радионуклидов и их уровень объемной активности. Среди отходов, захораниваемых в приповерхностных хранилищах, выделяют несколько классов.

**Класс А:** отходы, удовлетворяющие минимальным требованиям к инженерным барьерам. Они хранятся отдельно от отходов других классов. В этот класс включаются отходы, удовлетворяющие следующим требованиям:

- содержать долгоживущие радионуклиды, разрешенные к приповерхностному захоронению, с концентрацией меньше 0,1 их разрешенной для приповерхностного захоронения величины;

- содержать короткоживущие радионуклиды, разрешенные к приповерхностному захоронению с концентрацией величин, приведенных в колонке А;

- не содержать радионуклиды, не разрешенные для приповерхностного захоронения.

**Класс В:** отходы, требующие при захоронении более жестких условий к инженерным барьерам. Они должны отвечать требованиям минимального объ-

ема и стабильности. В этот класс относятся отходы, удовлетворяющие следующим требованиям:

— как и класс А, должны содержать долгоживущие радионуклиды, разрешенные к приповерхностному захоронению, с концентрацией меньше 0,1 их разрешенной для приповерхностного захоронения величины;

— удельная активность короткоживущих радионуклидов, разрешенных к приповерхностному захоронению, должна быть меньше величин, приведенных в колонке С, и больше величин, приведенных в колонке А;

— не содержать радионуклиды, не разрешенные для приповерхностного захоронения.

**Класс С:** отходы, которые наряду с высокими требованиями к инженерным барьерам должны иметь дополнительные меры для защиты от случайного проникновения. В этот класс относятся отходы, удовлетворяющие следующим требованиям:

— концентрация долгоживущих радионуклидов, разрешенных к приповерхностному захоронению, должна быть в интервале от 0,1 до 1,0 их разрешенной для приповерхностного захоронения величины;

— концентрация короткоживущих радионуклидов, разрешенных к приповерхностному захоронению, должна быть в интервале величин, указанных в колонке С;

— не содержать радионуклиды, не разрешенные для приповерхностного захоронения.

Для допуска к повторному использованию ценных материалов используются следующие критерии: поверхностное загрязнение и удельная активность:

— бета-гамма активность не более 5000 распадов в минуту (расп/мин) на 100 см<sup>2</sup>. Усредненный максимум для 1 м<sup>2</sup> 0,83 Бк/см<sup>2</sup>. На отдельных участках, не превышающих 100 см<sup>2</sup>, разрешается максимум 15000 расп/мин на 100 см<sup>2</sup>, при условии что более 1000 расп/мин может быть удалено;

— альфа-активность от природного урана, U-235, U-238 и сопутствующих продуктов распада разрешена до уровней выше отмеченной бета-гамма-активности. Для трансураниевых элементов, различных нуклидов радия, тория и йода существуют более строгие ограничения.

**Заключение.** Анализируя рассмотренные материалы, можно сделать вывод: в странах с развитой атомной энергетикой имеются различные подходы к безопасному обращению с категорией отходов, содержащих радионуклиды с очень низкими уровнями удельной активности. Однако общим для всех является положение, что решать эту проблему необходимо с позиции обеспечения безопасности при окончательной изоляции таких отходов. В рекомендациях МАГАТЭ сделана попытка интегрировать практику обращения с такими отходами. При этом основным критерием, обеспечивающим их безопасность, является уровень удельной активности радионуклидов, ниже которого обращение с отходами не требует каких-либо ограничений. Верхняя граница этой категории отходов регулирующими документами МАГАТЭ четко не определена и зависит от сформировавшихся подходов по обеспечению безопасности в конкретной стране и сложившейся системы обращения с ними.

Рассматривая конкретные страны, где проблемы обращения с такой категорией отходов актуальна, можно заключить, что в основе всех подходов лежат требования по безопасной окончательной изоляции этой категории отходов в сочетании с минимальными

экономическими затратами. В качестве критериев безопасности берут, как правило, несколько показателей. В частности, в Великобритании снятие отходов с регулирующего контроля, содержащих техногенные радионуклиды с очень низкими уровнями удельной активности, регулируется величиной удельной активности радионуклидов и общей активностью в партии, освобождаемой из-под радиационного контроля. В Швеции, где из атомной промышленности в основном это атомная энергетика, критерием, наряду с удельной активностью, является загрязненность и общая активность радионуклидов на полигоне. В Германии величина удельной активности может меняться в сторону увеличения в зависимости от способа окончательной изоляции. Во Франции, наиболее широкомасштабно работающей с источниками ионизирующего излучения, верхним критерием является, как и в России, установленный минимальный уровень удельной активности радионуклидов в отходах, а нижним источник их происхождения. Если отходы идут из чистой зоны, то они размещаются на обычном полигоне, а если с зоны ограниченного доступа и имеют уровни удельной активности ниже организационно определенного верхнего предела, то их направляют на окончательную изоляцию на специализированный полигон.

Таким образом, решение по обращению с этой категорией отходов в России, основанное на имеющейся международной практике, напрямую не вытекает. Наиболее логичным и учитывающим практику обращения с РАО в настоящее время в России могло быть выделение этой категории отходов с установлением законодательно-нормативных требований по безопасному обращению с ней. Такие отходы должны быть отнесены к ТРО, что, в свою очередь, потребует решения ряда законодательно-нормативных требований и в то же время упростит выведение радиационно опасных объектов из эксплуатации, проведение реабилитационных мероприятий и окончательную их изоляцию. При этом они могут быть размещены на одном полигоне вместе с нижней частью низкоактивных отходов (ОНРАО), что также упростит их радиационный контроль. Учитывая, что эти категории отходов составляют 90–95% всех ТРО, такой подход, без ущерба для обеспечения радиационной безопасности, позволит снизить и экономические затраты на их окончательную изоляцию.

**Конфликт интересов** не заявляется.

**Авторский вклад:** написание статьи — В. Г. Барчуков, О. А. Кочетков, Л. И. Кузнецова, А. А. Максимов; утверждение рукописи для публикации — В. Г. Барчуков, О. А. Кочетков.

## References (Литература)

1. On the Management of Radioactive Waste and Amendments to Certain Legislative Acts of the Russian Federation: Federal Law of July 11, 2011 No. 190-FZ (with account of Federal Law of July 2, 2013 No. 188-FZ "On Amendments to the Federal Law "On the State Atomic Energy Corporation Rosatom" and Certain Legislative Acts of the Russian Federation"). Russian (Об обращении с радиоактивными отходами и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации: Федеральный закон от 11 июля 2011 г. №190-ФЗ в ред. Федерального закона от 2 июля 2013 г. №188-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон «О Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом» и отдельные законодательные акты Российской Федерации»).
2. On Criteria Used to Define Solid, Liquid and Gaseous Waste as Radioactive Waste, Criteria Used to Define Radioactive Waste as Special Radioactive Waste and Removable Radioactive Waste, Criteria for the Classification of Removable

Radioactive Waste: The Resolution of the Government of the Russian Federation of October 19, 2012 No. 1069 (with account of the Resolution of the Government of the Russian Federation of February 4, 2015 No. 95). Russian (О критериях отнесения твердых, жидких и газообразных отходов к радиоактивным отходам, критериях отнесения радиоактивных отходов к особым радиоактивным отходам и к удаляемым радиоактивным отходам и критериях классификации удаляемых радиоактивных отходов: постановление Правительства РФ от 19 октября 2012 г. №1069 в ред. постановления Правительства РФ от 4 февраля 2015 г. №95).

3. Basic Sanitary Rules of Radiation Safety (OSPORB-99/2010) (with account of the Amendment No. 1 to OSPORB-99/2010 introduced by the resolution of the Chief Public Health Official of the Russian Federation of September 16, 2013 No. 43). М., 2010. Russian (СанПиН 2.6.1.2612–10. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010) (в ред. изменений №1, утв. постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 16 сентября 2013 г. №43). М.: Роспотребнадзор, 2010).

4. Ivanov EA, Sharov DA, Kuryndin AV. Actual Problems of Classification of Radioactive Waste Generated During Nuclear Energy Application. Nuclear and Radiation Safety Journal 2018; (2): 11–24. Russian (Иванов Е.А., Шаров Д.А., Курьиндин А.В. Актуальные проблемы классификации удаляемых твердых радиоактивных отходов, образующихся при использовании атомной энергии. Ядерная и радиационная безопасность 2018; (2): 11–24).

5. Asmolov VG, Ivanov EA, Barchukov VG, et al. Very Low Level Radioactive Wastes in the System of Safe Radioactive Waste Management. Rosenergoatom Journal 2014; (10): 30–3. Russian (Асмолов В.Г., Иванов Е.А., Барчуков В.Г. и др. Очень низкоактивные радиоактивные отходы в системе безопасного обращения с радиоактивными отходами. Журнал Росэнергоатом 2014; (10): 30–3).

6. IAEA Safety Glossary. Terminology used in Nuclear, Radiation, Radioactive Waste and Transport Safety: Version 2.0. Vienna, 2006.

7. IAEA, Safety Series No. 89. Principles for the Exemption of Radiation Sources and Practices from Regulatory Control. Vienna, 1988.

8. IAEA, Safety Series No. 111-G-I. I. Classification of Radioactive Waste: A Safety Guide. Vienna, 1994.

9. IAEA TECDOC No. 1067. Organization and Implementation of a National Regulatory Infrastructure Governing Protection against Ionizing Radiation and the Safety of Radiation Sources: Interim Report for Comment. Vienna, 1999.

10. IAEA, Safety Standards Series No. GSG-1. Classification of radioactive waste: safety guide. Vienna, 2009.

11. IAEA TECDOC No. 401. Exemption of radiation sources and practices from regulatory control; Application of the principles to low-level radioactive waste disposal in the terrestrial environment. Vienna, 1987.

12. Sumerling TJ, Sweeney BJ. A review of the Justification for Exemption Orders, and for Other Low-Level Radioactive Waste Disposal Practices. ANS Report 1987; (683-1).

13. UKDOE Report RW-87.069, Department of Environment. London, 1987.

14. Neuder SM, Kennedy WE. Onsite Disposal of Radioactive Waste. NUREG-1101. Vol. 2. U.S. Nuclear Regulatory Commission. Washington DC, 1987.

15. Radioactive Substances Act, 1993 (Statutory Instrument 2010 No. 675 Environmental Permitting (England and Wales) Regulations).

16. OECDJ 996 The international INTRAVAL Project. Final results, Swedish Nuclear Power Inspectorate and OECD/NEA. Paris, 1996.

17. Ordinance respecting protection against injury from ionizing radiations (Radiation Protection Ordinance) of 13 October 1976 (with account of the Ordinance to amend the Radiation Protection Ordinance (of 13 Oct. 1976) of 18 August, 1997), Bundesgesetzblatt.

18. Basic Safety Regulation. Regulation No. 1.2. SINN 3210, 1984.

19. Second National Report for the Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management, DOE/EM-0654, 2005.

20. U.S. Nuclear Regulatory Commission Licensing Requirements for Land Disposal of Radioactive Waste: Code of Federal Regulations, Title 10, Part 61. U.S. Government Printing Office, Washington, DC, 1987.

УДК 612.563+57.089+57.084

Оригинальная статья

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЗАИМОСВЯЗЕЙ ИЗМЕНЕНИЙ ДАННЫХ ИНФРАКРАСНОЙ ТЕРМОГРАФИИ И МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ МИКРОЦИРКУЛЯТОРНОГО РУСЛА КОЖИ ЛАБОРАТОРНЫХ КРЫС

**А. В. Даценко** — ФГБУ «Государственный научный центр Российской Федерации — Федеральный медицинский биофизический центр им. А. И. Бурназяна» ФМБА России, заведующий лабораторией экспериментальной патологии и статистического прогнозирования, доктор медицинских наук.

## DETERMINING THE RELATIONSHIP OF CHANGES IN INFRARED THERMOGRAPHY DATA AND MORPHOMETRIC PARAMETERS OF THE MICROVASCULATURE OF LABORATORY RATS' SKIN

**A. V. Datsenko** — State Research Center — Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency, Head of Laboratory of Experimental Pathology and Statistical Prediction, DSc.

Дата поступления — 25.07.19 г.

Дата принятия в печать — 05.12.2019 г.

**Даценко А. В. Определение взаимосвязей изменений данных инфракрасной термографии и морфометрических параметров микроциркуляторного русла кожи лабораторных крыс. Саратовский научно-медицинский журнал 2019; 15 (4): 976–982.**

**Цель:** определение количественных морфофункциональных взаимосвязей изменений морфометрических параметров микроциркуляторного русла и показателей дистанционной инфракрасной термографии кожи хвоста лабораторных крыс. **Материал и методы.** С помощью инфракрасной термографии измеряли температуру поверхности кожи у основания хвоста 32 крыс и забирали материал для подготовки гистологических препаратов тех же участков кожи. При морфометрическом исследовании определяли диаметр микрососудов поверхностных и более глубоких слоев дермы. **Результаты.** Изменения морфофункциональных показателей характеризовались корреляционными связями средней силы. Уменьшение просвета функционирующих микрососудов