

ОСОБЕННОСТИ ОБРАЩЕНИЯ С РАДИОАКТИВНЫМИ ОТХОДАМИ ПАЦИЕНТОВ ПОСЛЕ ПРОВЕДЕНИЯ РАДИОЙОДТЕРАПИИ В РАЗНЫХ СТРАНАХ

К.Д. Киселев^{1,2}, С.А. Рыжов^{1,3,4}, А.А. Трухин^{2,5}, И.В. Глотова^{1,2}

¹ Национальный медицинский исследовательский центр детской гематологии, онкологии и иммунологии им. Дмитрия Рогачева Минздрава РФ, Москва

² Национальный исследовательский ядерный университет “МИФИ”, Москва

³ Ассоциация медицинских физиков России, Москва

⁴ Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий ДЗМ, Москва

⁵ Национальный медицинский исследовательский центр эндокринологии Минздрава РФ, Москва

FEATURES OF MANAGEMENT WITH BIOLOGICAL WASTE OF PATIENTS AFTER RADIOIODOTHERAPY IN DIFFERENT COUNTRIES

K.D. Kiselev^{1,2}, S.A. Ryzhov^{1,3,4}, A.A. Trukhin^{2,5}, I.V. Glotova^{1,2}

¹ Dmitry Rigachev National Medical Research Center for Pediatric Hematology, Oncology and Immunology, Moscow, Russia

² National Research Nuclear University “MEPhI”, Moscow, Russia

³ Association of Medical Physicists of Russia, Moscow, Russia

⁴ Scientific and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies, Moscow, Russia

⁵ National Medical Research Center for Endocrinology, Moscow, Russia

Реферат

Проведен анализ существующих в разных странах мира подходов при обращении с жидкими радиоактивными отходами пациентов (ЖРО), образующихся при проведении радионуклидной терапии с ^{131}I . Приведены нормируемые величины, на основании которых для медицинских организаций ряда стран установлены критерии сброса ЖРО, содержащих ^{131}I , в централизованную городскую систему хозяйственно-бытовой канализации. Рассмотрены наиболее распространенные стратегии обращения с ЖРО пациентов после проведения радиойодтерапии. Соответствие критериям сброса может быть достигнуто задержкой радиоактивных стоков на распад в специально сконструированных резервуарах-отстойниках или их естественным разбавлением неактивными водами медицинской организации в точке сброса. Выбранная стратегия должна определяться параметрами, характеризующими сбросы конкретной организации, чтобы не сказываться на пропускной способности отделения и, как следствие, доступности процедуры радиойодтерапии пациентам в стране. Определение стратегии обращения в каждом конкретном случае или использование рассмотренных двух стратегий в сочетании друг с другом может являться более эффективной практикой обращения с ЖРО пациентов. Последнее может оказаться актуальным для медицинских организаций России, где критерий сброса консервативен, а на законодательном уровне запрещено использование другой стратегии обращения с ЖРО, кроме выдержки на распад.

Ключевые слова: радиоактивные отходы, радиойодтерапия, радионуклидная терапия, радиоактивные отходы пациентов

Abstract

The analysis of existing in different countries of the world approaches to the management of liquid radioactive waste (LRW) of patients generated during radionuclide therapy with ^{131}I is carried out. The regulated values are given, on the basis of which criteria for the discharge of LRW containing ^{131}I into a centralized urban sewage system are established for medical organizations in a number of countries. The most common strategies for the management of patients' LRW after radiotherapy are considered. Compliance with the discharge criteria may be achieved by delaying radioactive effluents for decay in specially designed delay tanks or by its dilution with inactive effluents of a medical organization at the discharge point. The chosen strategy should be determined by the parameters characterizing the discharges of a particular organization, so as not to affect the capacity of the department and, as a result, the availability of the radiotherapy procedure to patients in the country. Defining a case-by-case treatment strategy or using the two strategies considered in combination with each other may be a more effective practice for treating patients with LRW. The latter may be relevant for medical organizations in Russia, where the discharge criteria is conservative, and at the legal level it is prohibited to use another strategy for handling LRW, except for storage for decay.

Key words: radioactive waste, radioiodine therapy, radionuclide therapy, biological waste from patients

E-mail: glotova0.1@mail.ru

<https://doi.org/10.52775/1810-200X-2024-101-1-102-107>

Радионуклиды (РН) находят все большее применение в медицине, в первую очередь в составе радиофармацевтических лекарственных препаратов (РФЛП) при проведении диагностики и лечения различных патологических состояний. Однако при производстве и применении РН и РФЛП образуется большое количество радиоактивных отходов (РАО) различных видов, основной объем которых составляют жидкие РАО (ЖРО). Растущий спрос на медицинские услуги с применением РН приводит к увеличению объемов образующихся ЖРО, что, в свою очередь, увеличивает расходы медицинских организаций (МО) и требует выбора наиболее эффективной стратегии обращения с ними.

Согласно Формы № 30 Минздрава России, за 2022 г. в России было проведено 15 658 процедур РНТ, из которых 50 % процедур с ^{131}I . В связи с наиболее широким в России распространением процедур с данным РН было решено провести анализ существующих в разных странах мира подходов при обращении с ЖРО, образующихся при проведении радионуклидной терапии (РНТ) с ^{131}I (РЙТ).

В ядерной медицине с ЖРО пациентов принято обращаться "на местах" их образования (on-site), т.е. в пределах медицинской организации (МО) [1]. Это позволяет избегать трудностей, связанных с транспортировкой ЖРО в другие организации, уменьшая тем самым облучение персонала [1]. Возлагаемая в этом случае на МО ответственность за обращение с

ЖРО является стимулом для минимизации образующихся отходов.

МО разрешается сбрасывать жидкие отходы в централизованную (городскую) систему хозяйственно-бытовой канализации (ХБК), если они соответствуют установленному "уровню допуска" (clearance level). Считается, что радиационное воздействие таких отходов на окружающие объекты будет достаточно низким, чтобы требовать какого-либо дальнейшего регулирующего контроля. Уровни допуска определяются условием непревышения установленных пределов доз техногенного облучения персонала, обслуживающего спецканализацию, работников очистных сооружений и населения. Причем данные пределы варьируются от страны к стране [2]. В разных странах определены уровни допуска для РН на основании различных величин: предельной удельной или объемной активности РН в стоках, предельной ежедневной, ежемесячной или годовой общей активности сбросов (табл. 1) [3].

В большинстве рассматриваемых стран критерии сброса установлены на основе:

- ✓ Международных основных норм безопасности (IAEA GSR Part 3 [4]);
- ✓ Директивы Совета Европейского Союза (Euratom BSSD CEU [5]);
- ✓ расчета по собственной модели выбросов РН со сточными водами.

Стоит отметить, что величины, приведенные в [4, 5], предназначены для твердых отходов. Однако в ряде стран данные критерии

Таблица 1

Критерии сброса жидких отходов МО в ХБК в разных странах

Страна	Максимально допустимая удельная активность ^{131}I в стоках МО, Бк/г	Страна	Максимально допустимая объемная активность ^{131}I в стоках МО, Бк/л (Бк/г)	Страна	Предельно допустимая суммарная активность сбросов
Австралия	100 [4, 9]	США	370 [20] (0,37)	Словения	200 ГБк/год [2]
Швейцария	100 [4]	Канада	370* [10] (0,37)	Швеция	50 ГБк/год [8]
Венгрия	100 [5, 17]	Тайвань	370 [21] (0,37)	Великобритания	50 ГБк/год [8]
Ирландия	100 [2, 5]	Франция	100 [2] (0,100)	Австралия	100 МБк/год [9]
Швеция	100 [2, 5]	Бельгия	100 [5, 22] (0,100)	Турция, Финляндия	100 ГБк/год, 20 МБк/месяц [27, 28]
Болгария	100 [2, 5]	Испания	75,75 [15] (0,07575)	Индия	22,2 МБк/месяц 3,7 МБк/день [29]
Нидерланды	100 [2, 5]	Чехия	40 [2, 23] (0,040)	Франция	37 кБк/день [30]
Греция	100 [8]	Южная Корея	37 [11] (0,037)	Аргентина	Критерии законодательно не установлены
Норвегия	10 [18]	Колумбия	19 [24] (0,019)	Италия	
Россия	0,62 [12, 19]	Бразилия	19 [25] (0,019)	Латвия	
		Германия	5 [8] (0,005)	Дания	Ограничение по поставке РФП
		Люксембург	5 [8] (0,005)		
		Австрия	5 [26] (0,005)		

* – в планах снизить до 200 Бк/л [17] (0,2 Бк/г).

применяются в отношении ЖРО, т.е. применяются к конкретному РН независимо от его агрегатной формы. В большинстве стран, в том числе и России, нормируется максимальная допустимая удельная активность ^{131}I в стоках медицинских организаций в Бк/г, при этом в другой части стран нормируется объемная активность ^{131}I в стоках МО, измеряемая в Бк/л. Для возможности сравнения данных разноразмерных величин был осуществлен расчет, основанный на допущении, что 1 г равен 1 мл

(в реальных измерениях это соотношение может несколько отличаться). Приведенные значения критериев сброса указаны в скобках (табл. 1). Для приведения в сопоставимый вид критериев стран, в которых нормируется суммарная активность сбросов за конкретный период времени, был проведен расчет соответствующих этим величинам объемов сбросов в л/день и численности пациентов в день с учетом нормативного расхода воды на пациента [6] (табл. 2).

Таблица 2

Приведенные величины предельно допустимой суммарной активности сбросов

Страна	Предельно допустимая суммарная активность сбросов	Приведенный к критериям для России объем сбросов, л/день	Максимальное приведенное число пациентов в день, человек
Словения	200 ГБк/год [2]	883783	4418
Швеция	50 ГБк/год [8]	220946	1104
Великобритания	50 ГБк/год [8]	220946	1104
Австралия	100 МБк/год [9]	442	2
Турция, Финляндия	100 ГБк/год 20 МБк/месяц [27, 28]	441891 1075	2209 5
Индия	22,2 МБк/месяц 3,7 МБк/день [29]	1194 5968	5 29
Франция	37 кБк/день [30]	60	0

Можно сказать, что критерий сброса ЖРО в России является наиболее жестким в группе рассматриваемых стран, где нормируется максимально допустимая удельная активность ^{131}I в стоках МО. В [7] отмечается излишняя консервативность и неоправданность установленных в России нормативов для ЖРО в ядерной медицине.

Критерии сброса для жидких отходов, содержащих техногенные РН, не установлены в Аргентине, Италии, Латвии, Дании. Однако в Дании активность сбросов ЖРО контролируется посредством регулирования закупок и потребления РФП. Кроме того, в этой стране дополнительно контролируется объемная активность содержащих ^{131}I стоков на очистных сооружениях, которая не должна превышать 0,1 МБк/л [8]. Аналогичное требование существует и в Австралии, хотя ограничение на величину общей активности сбросов за год также установлена [9].

Для короткоживущих ЖРО наиболее распространенным способом обращения является их хранение в специально сконструированных резервуарах-отстойниках [8, 10, 11]. ЖРО хранятся с целью физического распада РН, пока уровень объемной активности не снизится до допустимого. Продолжительность хранения ЖРО определяется начальным уровнем активности РН, профилем его распада и разрешенным пределом сброса. После осуществляется сброс жидких отходов из резервуаров в хозяйственно-бытовую канализацию (ХБК). Установка таких резервуаров обязательна во всех организациях, осуществляющих РНТ в России, Германии, Люксембурге. Совершенно иначе дело обстоит в Северной Ирландии, где хранение ЖРО на спад не является нормативным требованием [8, 12]. Система резервуаров сводит к минимуму проблемы, связанные с риском разлива ЖРО и загрязнением окружающей среды, трудоемким учетом РАО в хранилищах. Однако ограниченность рабочего объема резервуаров приводит к снижению пропускной способности отделения, а монтаж дополнительных емкостей зачастую бывает отягощен проблемой ограниченности рабочей площади станции и связанных с этим экономических затрат. Кроме того, обслуживание и контроль спецканализации с находящимися в ней ЖРО может приводить к дополнительному необоснованному облучению персонала. [7, 13, 14].

Метод естественного разбавления в городской сети ХБК подразумевает непосред-

ственный сброс ЖРО в ХБК, что позволяет не сооружать систему спецканализации. Количество ЖРО, которое может быть удалено таким методом, зависит от того, сможет ли общий объем сточных неактивных вод в системе водоотведения всей МО снизить объемную активность до приемлемого значения [1, 13]. Кроме того, такой стратегии могут придерживаться МО, где после внедрения новых услуг по РНТ или ужесточения критериев сброса нет возможности организации, эксплуатации или модернизации системы спецканализации [14]. Следовательно, странам с развитой инфраструктурой и разветвленной сетью удаления сточных вод, включающей одно или несколько очистных сооружений, вполне разумно осуществлять прямые сбросы в ХБК с сопутствующим радиометрическим контролем. Странам, где города имеют менее совершенные системы ХБК, следует рассмотреть возможность установки резервуаров с целью уменьшения загрязнения окружающей среды радиоактивными сточными водами.

При использовании данной стратегии выброс РН в составе ЖРО в окружающую среду имеет скачкообразный характер, причем величина этого выброса может значительно варьироваться в зависимости от типа РН, типа лечения, кинетики метаболизма РФП в организме и от того, является ли протокол лечения стационарным или амбулаторным [15]. Для каждой МО должна быть известна информация о степени разбавления сточными водами, поскольку она потребуется для моделирования радиационного воздействия сбросов на персонал, население и окружающую среду. Оценка активности стоков с ЖРО может быть произведена не только на основании расчетов по теоретической модели [16], но и при непосредственном измерении выбросов в ХБК после разбавления. Определение этой величины в разных точках системы канализации позволяет уточнить "маршрут" передвижения жидких отходов по трубам и сделать вывод о необходимости организации системы спецканализации в МО в случае превышения уровней активности предельных значений, рассмотренных выше.

Описанные два метода можно использовать в сочетании друг с другом. Кроме того, в ряде систем используются методы сепарации, концентрирования или выделения РН, однако в медицине такие системы пока не нашли широкого применения [14].

Заключение

Общая цель обращения с ЖРО в отделении РНТ МО заключается в минимизации создаваемых ими опасностей, в том числе в соблюдении пределов доз техногенного облучения персонала и населения. Для чего регулирующими органами утверждаются уровни допуска, при соответствии которым жидкие отходы могут быть сброшены в ХБК. Рассматриваемые практики обращения, получившие наибольшее распространение, отличаются тем, что соответствие критериям может быть достигнуто как путем задерживания ЖРО на распад, так и их естественным разбавлением неактивными сточными водами МО в месте соединения с ХБК.

Обычно стратегия обращения с ЖРО и критерии сброса являются общими для всех МО страны и не учитывают характеристику сбросов конкретной МО: их объем, частоту образования, активность и радионуклидный состав. При объеме сточных вод МО, достаточном для естественного разбавления ЖРО до допустимых пределов, обязательное по требованию регулирующего органа наличие системы спецканализации может оказаться избыточным. Это может сказываться на пропускной способности отделения и, как следствие, доступности процедуры РНТ пациентам в стране. Определение стратегии обращения в каждом конкретном случае или использование рассмотренных двух стратегий в сочетании друг с другом может являться более эффективной практикой обращения с ЖРО пациентов. Последнее может оказаться актуальным для МО России, где критерий сброса ЖРО консервативен, а на законодательном уровне запрещено использование другой стратегии обращения с ЖРО, кроме выдержки на распад.

Список литературы

1. Management of radioactive waste from the use of radionuclides in medicine. IAEA, Vienna, 2000, IAEA-TECDOC-1183.
2. Setting Authorized Limits for Radioactive Discharges: Practical Issues to Consider. Report for Discussion. IAEA, Vienna, 2010, IAEA-TECDOC-1638.
3. Clearance of materials resulting from the use of radionuclides in medicine, industry and research. IAEA, Vienna, 1998, IAEA-TECDOC-1000.
4. Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards. IAEA, Vienna, 2014, General Safety Requirements Part 3 (GSR Part 3).
5. Council Directive 2013/59/Euratom.
6. Строительные нормы и правила. Внутренний водопровод и канализация зданий. СНиП 2.04.01-85.
7. Наркевич Б.Я. Анализ состояния проблемы радиоактивных отходов в ядерной медицине // Медицинская физика. 2021. № 4. С. 45-54.
8. Fennel S. Iodine-131 ablation holding tanks in Ireland // ALARA Newsletter. 2010. No 26.
9. National Directory for Radiation Protection. Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency, Yallambie, 2017, Radiation Protection Series Publication No. 6.
10. Leung P.M.K., Nikoic M. Disposal of therapeutic ¹³¹I waste using a multiple holding tank system // Health Physics. 1998. Vol. 75, No 3. P. 315-320.
11. Alfayyadh L., Naimi S., Mizban F., Al-Hamami N., Alguraibawi M. Verification of reaching the regulatory limit for the release of radioactive liquid waste in nuclear medicines // Journal of Ecological Engineering. 2023. Vol. 24, No 5. P.329-336.
12. Гигиенические требования по обеспечению радиационной безопасности при проведении лучевой терапии с помощью открытых радионуклидных источников. СанПиН 2.6.2368-07.
13. Чипига Л.А., Водоватов А.В., Звонова И.А., Станжевский А.А., Петрякова А.В., Анокина Е.Е., Величкина К.С., Рыжов С.А. Обращение с биологическими отходами пациентов после проведения радионуклидной терапии // Радиационная гигиена. 2022. Т. 15, No 2. С. 19-30. DOI: 10.21514/1998-426X-2022-15-2-19-30.
14. Management of Discharge of Low Level Liquid Radioactive Waste Generated in Medical, Educational, Research and Industrial Facilities. IAEA, Vienna, 2013, IAEA-TECDOC-1714.
15. Krawczyk E., Picero-Garcha F., Ferro-Garcha M.A. Discharges of nuclear medicine radioisotopes in Spanish hospitals // Journal of Environmental Radioactivity. 2013. Vol. 116. P. 93-98.
16. Micheelsen M. A., Jørgensen T. A theoretical assesment of patient induced radioactive waste, excreted through the sewers from a department of nuclear medicine // European

- Journal of Medical Physics. 2018. Vol. 52. P. 130-131.
17. The Governmental Decree 487/2015 (XII.30).
18. Regulations on the application of the Pollution Control Act to radioactive pollution and radioactive waste.
19. Нормы радиационной безопасности НРБ-99/2009. СанПиН 2.6.1.2523-09.
20. The Code of Federal Regulations, Title 10, Energy, Part: 20.
21. Weng P.S. The status of radioactive waste management of Taiwan // 保健物理. 1968. Vol. 3, No 1. P. 223-233.
22. The Royal Decree of July 20, 2001: Art 34.
23. Verification under the terms of Article 35 of the Euratom Treaty. Technical Report. Discharge and environmental monitoring and national environmental radioactivity monitoring network in the vicinity. 2 - 5 October 2017.
24. Discharges of ^{131}I coming from hospitals and outpatients in the sanitary sewage system of Bogotá // Journal of Environmental Radioactivity. 2023. Vol. 268-269.
25. ^{131}I and $^{99\text{m}}\text{Tc}$ in effluents from a nuclear medicine facility and associated sewage treatment unit // Water, Air, & Soil Pollution. 2021. Vol. 232, No 130. P. 1-10.
26. Gesamte Rechtsvorschrift für Allgemeine Strahlenschutzverordnung 2020, Fassung vom 17.12.2023.
27. URL: <https://fens.sabanciuniv.edu/en/laboratory-safety/general-laboratory-safety/radioactive-waste-management> (дата обращения: 02.11.2023).
28. Radioactive wastes and discharges. Finnish Centre for Radiation and Nuclear Safety, Helsinki, 1992, ST 6.2.
29. Ravichandran R. et al. An overview of radioactive waste disposal procedures of a nuclear medicine department // Journal of Medical Physics. 2011. Vol. 36, No. 2. P. 95-99.
30. Management of Radioactive Waste arising from Medical Establishments in the European Union. EUROPEAN COMMISSION, Brussel, 1999, EUR 19254 EN, P. 20-25.