

Обоснование дифференцированного подхода к обращению с биологическими отходами пациентов в подразделениях ядерной медицины

Л.А. Чипига^{1,2,3}, А.В. Водоватов^{1,4}, А.В. Петрякова^{1,5}, И.А. Звонова¹, А.А. Станжевский², Д.Н. Майстренко², Д.А. Важенина², Д.С. Сысоев²

¹ Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева, Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия

² Российский научный центр радиологии и хирургических технологий имени академика А.М. Гранова, Министерство здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург, Россия

³ Национальный медицинский исследовательский центр им. В.А. Алмазова, Министерство здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург, Россия

⁴ Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет, Санкт-Петербург, Россия

⁵ Городская больница № 40 Курортного района, Санкт-Петербург, Россия

Развитие технологий ядерной медицины в Российской Федерации способствует внедрению в практику новых диагностических радиофармпрепаратов. Начинают широко применяться тераностические пары – антитела и пептиды, меченные диагностическими и терапевтическими радионуклидами. Использование в радионуклидной диагностике радионуклидов с периодом полураспада более суток обуславливает необходимость актуализировать подходы к обращению с жидкими отходами, образующимися в результате жизнедеятельности пациента в момент нахождения его в отделении радионуклидной диагностики. Обращение с жидкими радиоактивными отходами в отделениях радионуклидной диагностики регулируется методическими указаниями МУ 2.6.1.1892-04, которые не являются по статусу нормативным документом, разрабатывались около 20 лет назад и не учитывают особенности современных методов радионуклидной диагностики и перспективные радионуклиды, которые можно сбрасывать в систему водоотведения медицинской организации без ограничений; препараты ¹³¹I, для которых специализация обязательна; и все остальные радиофармпрепараты, для которых необходимо оценивать объемы сбрасываемых активностей при проектировании. Представлена методика оценки активности радионуклидов, поступающей в систему водоотведения медицинской организации.

Ключевые слова: радионуклидная диагностика, радионуклидная терапия, ядерная медицина, радиофармпрепарат, жидкие радиоактивные отходы.

Введение

В Российской Федерации радионуклидная диагностика (РНД) является вторым после компьютерной томографии видом лучевой диагностики, показывающим за последние годы устойчивую тенденцию к росту [1]. Даже в период пандемии новой коронавирусной инфекции COVID-19 число радионуклидных диагностических ис-

следований лишь незначительно сократилось в 2020 г. по сравнению с 2019 г. и начало значительно увеличиваться в 2021 г. Результаты анализа данных, представленных в форме № 3-ДОЗ, полученных из федерального банка данных (ФБД) по индивидуальным дозам облучения граждан при проведении медицинских диагностических рентгенорадиологических процедур [2], показали, что коллективная доза от диагностических радионуклидных

Чипига Лариса Александровна

Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева
Адрес для переписки: 197101, Россия, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8; E-mail: larisa.chipiga@gmail.com

исследований росла как в 2020 г., так и в 2021 г. В 2021 г. число диагностических радионуклидных исследований выросло по сравнению с 2020 г. на 20%; коллективная доза – на 60%. Вклад радионуклидной диагностики в структуру коллективной дозы от медицинского облучения в 2021 г. составил 4% (до пандемии – менее 1%).

Развитие радионуклидной диагностики связано не только с ростом числа исследований, но и с внедрением в практику новых методов, технологий и радиофармацевтических лекарственных препаратов (РФЛП). В последнее время начинают внедряться в практику новые технологии, связанные с использованием антител и пептидов, меченных радионуклидами, что позволяет обеспечить прицельное воздействие на опухолевые и метастатические очаги [3]. Использование тропных к соответствующим рецепторам специфических антител и пептидов позволяет обеспечить точную доставку радионуклида в очаг и минимизировать облучение здоровых органов и тканей. Такие антитела и пептиды могут использоваться как для диагностики (с использованием радионуклидной метки ^{68}Ga , ^{64}Cu , ^{89}Zr), так и для терапии (с ^{177}Lu и ^{225}Ac), а комбинации РФЛП на их основе называются тераностическими парами. Препараты для диагностики и терапии, меченные данными радионуклидами (атезолизумаб, авелумаб, рамуцирумаб, трастузумаб и др.) [4, 5], внедряются в практику во многих странах, в том числе и в Российской Федерации. Другим перспективным и уже используемым в практике РФЛП является метайодбензилгуанидин (МИБГ), который в связке с ^{131}I применяется для лечения нейроэндокринных злокачественных новообразований у взрослых и детей (неоперабельная феохромоцитома, параганглиома, карциноидные опухоли, метастатический или рецидивирующий медуллярный рак щитовидной железы и нейробластома III или IV стадии), а меченный ^{123}I и ^{124}I – для визуализации и диагностики [6].

Использование в радионуклидной диагностике радионуклидов с периодом полураспада более суток (например, ^{89}Zr – 78,4 ч; ^{124}I – 4,18 сут) обуславливает необходимость актуализировать подходы к обращению с жидкими отходами, образующимися в результате жизнедеятельности пациента во время нахождения его в отделении радионуклидной диагностики. Согласно ОСПОРБ-99/2010¹, радиоактивные отходы (РАО), содержащие радионуклиды с пе-

риодом полураспада менее 15 сут, необходимо собирать отдельно и выдерживать на распад. В соответствии с методическими указаниями МУ 2.6.1.1892-04² наличие специализации для выдержки на распад радионуклидов в отходах в подразделениях радионуклидной диагностики *in vivo* не требуется вне зависимости от их периодов полураспада [7, 8]. Аналогично, согласно СанПиН 2.6.1.3288-15³, специализация не требуется в подразделениях позитронной эмиссионной томографии (ПЭТ), где проводятся работы с радионуклидами, период полураспада которых меньше 2 ч. Таким образом, радионуклиды, выводящиеся из организма пациента преимущественно с мочой после введения диагностического РФЛП, поступают непосредственно в систему водоотведения медицинской организации. Следует отметить, что МУ 2.6.1.1892-04 не являются по статусу нормативным документом, разрабатывались около 20 лет назад и не учитывают особенности современных методов радионуклидной диагностики и характеристики новых внедряемых в радионуклидную диагностику изотопов, а также новые критерии отнесения к радиоактивным отходам согласно постановлению Правительства от 19.10.2012 г. № 1069 и соответствующие изменения № 1 в ОСПОРБ 99/2010⁴ [9]. Таким образом, встает вопрос, как принятое обращение с жидкими отходами от пациентов в подразделениях радионуклидной диагностики соотносится с современными нормативными документами. Для ответа на данный вопрос необходимо оценить потенциальное образование активности радионуклидов в жидких отходах в подразделениях радионуклидной диагностики с учетом вводимых активностей радионуклидов пациентам и моделей биологического выведения РФЛП из организма. Ранее авторами была проведена работа по оценке активности радионуклидов в биологических отходах пациентов при проведении радионуклидной терапии [10]. Удельная активность радионуклидов в отходах будет влиять на необходимость выдержки их в подразделении до уровней, позволяющих выведение их из категории жидких радиоактивных отходов (ЖРО).

Цель исследования – оценка активностей радионуклидов в биологических отходах пациентов после введения им РФЛП в подразделениях ядерной медицины для определения путей обращения с такими отходами.

¹ СП 2.6.1.2612-10 Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010) [Sanitary rules and regulations 2.6.1.2612-10. Basic sanitary rules for radiation safety (BSRRSP-99/2010). (In Russ.)] (далее – ОСПОРБ-99/2010).

² МУ 2.6.1.1892-04 «Гигиенические требования по обеспечению радиационной безопасности при проведении радионуклидной диагностики с помощью радиофармпрепаратов» [Guidelines 2.6.1.1892-04 “Hygienic requirements for radiation safety during radionuclide diagnostics using radiopharmaceuticals” (In Russ.)] (далее – МУ 2.6.1.1892-04).

³ СанПиН 2.6.1.3288-15 «Гигиенические требования по обеспечению радиационной безопасности при подготовке и проведении позитронной эмиссионной томографии» от 20 июля 2015 г. № 31 [Sanitary Regulations and Standards 2.6.1.3288-15 “Hygienic requirements for radiation safety during the preparation and the conduction of positron emission tomography” (In Russ.)] (далее – СанПиН 2.6.1.3288-15).

⁴ ОСПОРБ-99/2010; Постановление Правительства Российской Федерации от 19 октября 2012 г. № 1069 «О критериях отнесения твердых, жидких и газообразных отходов к радиоактивным отходам, отнесения радиоактивных отходов к особым радиоактивным отходам и к удаляемым радиоактивным отходам и критериях классификации удаляемых радиоактивных отходов» [Resolution of the Government of the Russian Federation No. 1069 of October 19, 2012 «On the criteria for classifying solid, liquid and gaseous waste as radioactive waste, classifying radioactive waste as special radioactive waste and as radioactive waste to be disposed of criteria for classifying radioactive waste to be disposed of» (In Russ.)] (далее – постановление Правительства от 19.10.2012 №1069).

Материалы и методы

Оценку активностей радионуклидов в жидких отходах от пациентов проводили для наиболее часто проводимых диагностических исследований: скелета с введением пациенту ^{99m}Tc-пирофосфат, всего тела с введением пациенту ¹²³I-МИБГ и ¹²³I-натрия йодида, ПЭТ-исследований всего тела с ¹⁸F-ФДГ и ⁶⁸Ga-ПСМА-617, а также для перспективных диагностических ПЭТ-исследований с ¹²⁴I-МИБГ и с моноклональными антителами, меченными ⁸⁹Zr и ⁶⁴Cu. При расчетах предполагали, что пациент находится 4 ч в отделении при исследовании скелета с ^{99m}Tc-пирофосфат, 2 ч при исследовании всего тела с ¹⁸F-ФДГ, ⁶⁸Ga-ПСМА, ¹²³I-натрия йодидом, ¹²³I-МИБГ, ¹²⁴I-МИБГ, ⁸⁹Zr-и ⁶⁴Cu-моноклональными антителами. В связи с тем, что исследования с РФЛП с радиоактивным йодом и моноклональными антителами проводятся через 24 ч или 48 ч после введения РФЛП [11–14], то для случая нахождения пациента в стационаре на период диагностического исследования в работе дополнительно провели оценку выведения радионуклидов за первые несколько суток.

Также в работе провели оценку активности ¹⁵³Sm в отходах пациентов при проведении терапевтических процедур с ¹⁵³Sm-оксабифор [15], не вошедшим в прошлую работу авторов [10]. При радионуклидной терапии с ¹⁵³Sm-оксабифор пациенту вводится активность ¹⁵³Sm ниже, чем определенная безопасной для населения при выписке пациентов согласно НРБ-99/2009⁵, поэтому процедура может проводиться в режиме дневного стационара без госпитализации пациента, в том числе и в подразделении радионуклидной диагностики. При расчетах оценивали активность ¹⁵³Sm в биологических отходах пациентов во время его пребывания в подразделении – 2 ч, дополнительно была оценена активность в отходах пациента в случае его стационарного лечения – для первых суток после введения (сутки наибольшего выведения РФЛП из организма).

Определение активности радионуклидов в отходах пациента проводили с использованием моделей биовыведения РФЛП, полученных из литературных источников [16–20]. Данные о биовыведении ⁶⁸Ga-ПСМА-617 рассчитывали на основе биовыведения ¹⁷⁷Lu-ПСМА-617 с учетом разных периодов полураспада радионуклидов ¹⁷⁷Lu и ⁶⁸Ga, считая, что выведение РФЛП на основе ПСМА аналогичны друг другу [10, 20].

Активность радионуклидов в отходах пациентов определяли с использованием формулы (1) [10, 19]:

$$\frac{A_{\text{отход}}}{A_{\text{введ}}} = \exp(-\lambda_{\text{phys}}t) \cdot \sum_{i=1}^n a_i (1 - \exp(-\lambda_{ki}t)), \quad (1)$$

где: $A_{\text{отход}}$ – активность в отходах (МБк); $A_{\text{введ}}$ – введенная активность (МБк); λ_{phys} – скорость физического распада радионуклида (сут^{-1}); λ_{ki} – константа выведения i -й фазы (сут^{-1}); a_i – доля активности для i -й фазы (отн. ед.); t – время после введения РФЛП (сут). Параметры модели выведения РФЛП представлены в таблице 1.

Параметры выведения РФЛП, используемые в расчетах по формуле 1

Таблица 1

[Table 1

Parameters of the radiopharmaceutical excretion model]

РФЛП [Radiopharmaceutical]	Период полураспада [Half-life]	Параметр [Parameter]						
		$\lambda_{\text{phys}} \text{сут}^{-1}$ [day ⁻¹]	α_1	$\lambda_{\text{bio}1} \text{сут}^{-1}$ [day ⁻¹]	α_2	$\lambda_{\text{bio}2} \text{сут}^{-1}$ [day ⁻¹]	α_3	$\lambda_{\text{bio}3} \text{сут}^{-1}$ [day ⁻¹]
^{99m} Tc-пирофосфат [16] [^{99m} Tc-pyrophosphate]	6,01 ч	2,77	0,3	33,3	0,3	8,4	0,4	0,24
¹²³ I-натрия йодид [17] [¹²³ I-NaI]	13,27 ч	1,25	1	2,1	–	–	–	–
¹²³ I-МИБГ [17] [¹²³ I-mIBG]			0,36	5,5	0,63	0,49	–	–
¹²⁴ I-МИБГ [17] [¹²⁴ I-mIBG]	4,18 сут	0,17	0,5	0,69	0,5	0,17	–	–
⁸⁹ Zr-моноклональные антитела [16] [⁸⁹ Zr-monoclonal antibodies]	3,3 сут	0,21	0,19	55,4	0,06	1,78	–	–
⁶⁴ Cu-моноклональные антитела [16] [⁶⁴ Cu-monoclonal antibodies]	12,7 ч	1,89	0,72	9,6	0,28	0,24	–	–
¹⁸ F-ФДГ [18, 19] [¹⁸ F-FDG]	109,77 мин	9,04	0,17	13,7	0,46	1,2	–	–
⁶⁸ Ga-ПСМА [20] [⁶⁸ Ga-PSMA]	67,71 мин	14,7	–	–	–	–	–	–
¹⁵³ Sm-оксабифор [15]* [¹⁵³ Sm-oxabifor]	1,94 сут	0,36	–	–	–	–	–	–

* – РФЛП для радионуклидной терапии [therapeutic radiopharmaceutical].

⁵ НРБ-99/2009. Нормы радиационной безопасности. СанПиН 2.6.1.2523-09 [Radiation safety standards 99/2009. Sanitary Regulations and Standards 2.6.1.2523-09. (In Russ.)]

На основании данных об активности радионуклидов, поступающих с отходами с систему канализации медицинской организации, оценивали годовой баланс активности подразделения ядерной медицины и поток пациентов, который допускается принимать без сбора отходов и выдержки их на распад. То есть определяли возможность снижения удельной активности радионуклидов в системе водоотведения медицинской организации за счет естественного смешивания отходов подразделения ядерной медицины с другими сточными водами до уровней ниже критериев отнесения к жидким радиоактивным отходам (ЖРО). Для оценки годового потока пациентов использовали формулу (2):

$$N = V \cdot k \cdot \frac{C_{\text{предельное}}}{A_{\text{отход}}}, \quad (2)$$

где: V – объем сточных вод в системе водоотведения, исходя из норм водопотребления медицинской организации (м^3)⁶; $k = 1$ – коэффициент перевода (г/мл); $C_{\text{предельное}}$ – предельное значение удельной активности радионуклида (критерий отнесения к ЖРО) (Бк/г)⁷; $A_{\text{отход}}$ – активность в отходах (МБк). Оценка проводилась для двух сценариев⁸:

– медицинская организация, представляющая собой отдельно стоящее *подразделение ядерной медицины*, не имеющая на своей территории дополнительных источников водопотребления и водоотведения;

– *небольшой медицинской организации* с коечным фондом 50 коек и подразделением ядерной медицины, где, помимо подразделения ядерной медицины, источниками в системе водоотведения будут кабинеты медицинского и административного персонала из других подразделений, а также аптека и столовая.

Для данных сценариев принимали, что водопотребление *подразделения ядерной медицины* составляет 290 м^3 в год ($77,5 \text{ л/сут}$ -сотр.) от 15 сотрудников, работающих одну 6-часовую смену при работе 250 дней в год), а водопотребление *небольшой медицинской организации* – 8578 м^3 в год (50 коек – $10\,000 \text{ л/сут}$, 100 сотрудников – 1200 л/сутки , 2 лаборатории: 30 сотрудников – 9300 л/сут и столовая – 3000 л/сут при работе 365 дней в год).

В расчетах использовали предельные значения удельной активности из постановления Правительства от 19.10.2012 г. № 1069:

– 65 Бк/г для ^{123}I , 19 Бк/г для ^{153}Sm ;

– 0,5 Бк/г для ^{124}I и ^{89}Zr как общее предельное значение удельной активности жидких отходов с бета-излучающими радионуклидами, из-за отсутствия их в постановлении Правительства от 19.10.2012 г. № 1069.

Для $^{99\text{m}}\text{Tc}$, ^{18}F , ^{68}Ga и ^{64}Cu предельные значения удельных активностей для отнесения их к ЖРО в постановлении Правительства от 19.10.2012 г. №1069 отсутствуют. В связи с короткими периодами полураспада при работе с данными радионуклидами допускается их сброс в систему водоотведения медицинской организации без дополнительных мероприятий.

Расчеты были выполнены с использованием программного обеспечения Excel.

Результаты и обсуждение

Стандартные вводимые активности радионуклидов и выводимые активности радионуклидов с биологическими отходами для пациента массой 75 кг за время его нахождения в медицинской организации представлены в таблице 2.

Таблица 2

Вводимые активности радионуклидов и активности радионуклидов в отходах для одного пациента с учетом распада за время его нахождения в медицинской организации

[Table 2

Administrated activity and radionuclide activity in waste from one patient considering radioactive decay during the time in the hospital]

РФЛП [Radiopharmaceutical]	Средняя вводимая активность, МБк [Average administered activity, MBq]	Время нахождения в МО [Time in the hospital]	
		Активность в отходах с учетом распада, МБк (% от введенной) [Excreted activity considering decay, MBq (% of the administered activity)]	
$^{99\text{m}}\text{Tc}$ -пирофосфат [$^{99\text{m}}\text{Tc}$ -pyrophosphate]	700	2 ч	4 ч
		240 (35%)	240 (35%)
^{18}F -ФДГ [^{18}F -FDG]	350	2 ч	
		37 (11%)	

⁶ СП 30.13330.2020 «Внутренний водопровод и канализация зданий» [Sanitary rules and regulations 30.13330.2020 «Internal water supply and sewerage of buildings». (In Russ.)]

⁷ Постановление Правительства от 19.10.2012 г. № 1069 [Resolution of the Government of the Russian Federation No. 1069 of October 19, 2012 (In Russ.)]

⁸ Приказ Министерства здравоохранения Российской Федерации от 06.06.2013 г. № 529н «Об утверждении номенклатуры медицинских организаций» [Order of Ministry of Health of the Russian Federation №529n of June 6, 2013 “On approval of the nomenclature of medical organizations”. (In Russ.)]

РФЛП [Radiopharmaceutical]	Средняя вводимая активность, МБк [Average administered activity, MBq]	Время нахождения в МО [Time in the hospital]	
		Активность в отходах с учетом распада, МБк (% от введенной) [Excreted activity considering decay, MBq (% of the administered activity)]	
⁶⁸ Ga-ПСМА [⁶⁸ Ga-PSMA]	150	2 ч	
		18 (12%)	
¹²³ I-натрия йодид [¹²³ I-NaI]	150	2 ч	24 ч
		22 (14%)	37 (25%)
¹²³ I-МИБГ [¹²³ I-mIBG]	300	2 ч	24 ч
		43 (14%)	52 (17%)
¹²⁴ I-МИБГ [¹²⁴ I-mIBG]	100	2 ч	24 ч
		16 (16%)	51 (51%)
⁸⁹ Zr-моноклональные антитела [⁸⁹ Zr-monoclonal antibodies]	70	2 ч	48 ч
		2,5 (3%)	24 (34%)
⁶⁴ Cu-моноклональные антитела [⁶⁴ Cu-monoclonal antibodies]	120	2 ч	24 ч
		4 (3%)	11 (9%)
¹⁵³ Sm-оксабифор* [¹⁵³ Sm-oxabifor]	2 800	2 ч	24 ч
		420 (15%)	950 (34%)

* – РФЛП для радионуклидной терапии [therapeutic radiopharmaceutical].

Результаты оценки активностей радионуклидов в биологических отходах пациентов показали, что за первое мочеиспускание (первые 2 ч) активность радионуклидов в отходах может сильно отличаться (от 3% у моноклональных антител до 35% у ^{99m}Tc-пирофосфат). Это демонстрирует необходимость учитывать особенности метаболизма каждого РФЛП в организме пациента при оценках активности радионуклидов в жидких отходах. Для всех рассмотренных РФЛП наибольшая выводимая активность радионуклидов была определена в 1-е сутки. Наибольшее выведение за первые часы было отмечено у ^{99m}Tc-пирофосфат: 44% РФЛП выводится за первые 2 ч и 54% – за 4 ч без учета распада (35% от введенной активности ^{99m}Tc с учетом распада). Этот РФЛП был выбран в качестве консервативной оценки активности ^{99m}Tc в отходах после радионуклидной диагностики, т.к. данные ФБД-исследования скелета с этим РФЛП являются наиболее распространенным исследованием радионуклидной диагностики в России, при этом для диагностики пациентов вводятся наибольшие активности ^{99m}Tc. Тем не менее, следует учитывать, что период полураспада ^{99m}Tc ограничен несколькими часами, так же, как и ряда других радионуклидов, применяемых в радионуклидной диагностике, и их активности значительно снизятся за время нахождения в системе канализации. Поэтому, по мнению авторов, в подразделениях радионуклидной диагностики, где перечень ограничен РФЛП, мечеными ^{99m}Tc, ⁶⁸Ga, ¹⁸F, а также ⁶⁴Cu (в связи с отсутствием значения удельной активности для отнесения к ЖРО), не требуется сбора и выдержки на радиоактивный распад жидких отходов от пациентов. К этой же категории радионуклидов можно отнести применяемые в ПЭТ-диагностике ¹¹C, ¹³N и другие

радионуклиды с периодом полураспада менее 2 ч, для которых, согласно СанПиН 2.6.1.3288-15, допускается работа без спецканализации.

На основании полученных активностей радионуклидов в отходах от пациента были проведены оценки годового баланса активности радионуклидов подразделения ядерной медицины и потока радиологических пациентов (формула 2), при которых возможен прямой сброс жидких отходов в хозяйственно-бытовую систему канализации, с учетом предельных значений удельной активности и норм водопотребления, для разных медицинских организаций (табл. 3).

Результаты, представленные в таблице 3, показали возможность снижения активности ¹²³I естественным путем в системе водоотведения изолированного подразделения ядерной медицины при ограниченном потоке пациентов. Меньшее число пациентов в год можно принять в подразделения ядерной медицины без дополнительных мер по сбору и выдержке на распад жидких отходов от пациентов с ¹²⁴I-МИБГ или ⁸⁹Zr-моноклональными антителами. Однако с учетом того, что данные радионуклиды в настоящее время находятся на этапе исследований, такого небольшого потока пациентов может хватить для проведения научно-исследовательских работ. При организации работ в подразделении ядерной медицины при наличии в медицинской организации дополнительных источников водоотведения (например, стационарные палаты с койками для нерадиологических пациентов, аптека, столовая и пр.) возможно планировать значительно больший поток пациентов для радионуклидной диагностики без проектирования спецканализации с баками для выдержки на распад ЖРО. При планировании радионуклидной терапии с ¹⁵³Sm-оксабифор необходимость сбора и выдержки

Таблица 3

Расчётное число радиологических пациентов за год и годовой баланс активности, при которых возможен прямой сброс жидких отходов в хозяйственно-бытовую канализацию для небольшой медицинской организации (МО) или для изолированного подразделения ядерной медицины (ПЯМ)

[Table 3

Calculated number of patients per year and annual activity balance that makes discharge of liquid waste into the sewerage possible for small hospital or isolated nuclear medicine department]

РФЛП [Radiopharmaceutical]	Предельное значение удельной активности, Бк/г [Limit values of specific activities, Bq/g]	Время пребывания пациента в подразделении, ч [Time in the hospital, h]	Расчётное число пациентов, чел./год [Number of patients, patient/year]		Годовой баланс активности, ГБк [Annual activity balance, GBq]	
			МО [hospital]	ПЯМ [NM department]	МО [hospital]	ПЯМ [NM department]
¹²³ I-натрия йодид [¹²³ I-NaI]	65	2	26 000	880	3 900	132
		24	15 000	–	2 250	–
¹²³ I-МИБГ [¹²³ I-mIBG]	65	2	13 000	440	3 900	132
		24	10 700	–	3 230	–
¹²⁴ I-МИБГ [¹²⁴ I-mIBG]	0,5	2	270	9	27	0,9
		24	80	–	8	–
⁸⁹ Zr-моноклональные антитела [⁸⁹ Zr-monoclonal antibodies]	0,5	2	1770	60	124	4
		24	230	–	16	–
¹⁵³ Sm-оксабифор* [¹⁵³ Sm-oxabifor]	19	2	390	13	1 100	36
		24	170	–	470	–

* – РФЛП для радионуклидной терапии [therapeutic radiopharmaceutical].

на распад жидких отходов пациентов будет определяться номенклатурой медицинской организации, планируемым объемом системы водоотведения, медико-техническим заданием на проектирование и планируемым потоком пациентов. Обоснование снижения активности радионуклидов в отходах естественным путем в системе водоотведения медицинской организации до уровней предельных значений должно выполняться на этапе проектирования.

Альтернативой спецканализации для небольшого потока пациентов или при невозможности конструктивно разместить систему спецканализации в медицинской организации является использование специализированных биотуалетов с защищенными сборниками для биологических жидкостей, относящихся по уровню удельной активности к ЖРО [21]. В зависимости от объема контейнера-сборника такой биотуалет может быть использован для всего потока пациентов за день либо для отдельных пациентов. В зависимости от конструкции биотуалета после наполнения ЖРО выдерживаются на распад в специальном защищенном контейнере-сборнике биотуалета или контейнеры-сборники удаляются из биотуалета и выдерживаются на распад в помещении хранения твердых РАО.

На основании проведенных расчетов по выведению радионуклидов в биологические отходы пациентов в отделениях радионуклидной диагностики и терапии [10] была предложена градация РФЛП по возможности сброса жидких отходов от пациентов в хозяйственно-бытовую канализацию.

Как следует из таблицы 4, для ряда диагностических РФЛП при превышении годового числа пациентов, приведенного в таблице 3, могут потребоваться проектные решения по сбору и выдержке биологических жидкостей на распад (например, организация спецканализации или использование специализированных биотуалетов). Это обстоятельство требует приведения действующих МУ 2.6.1.1892-04 в соответствие с требованиями вышестоящих документов.

Результаты, представленные в таблицах 3 и 4, целесообразно использовать при проектировании подразделений ядерной медицины, учитывая все планируемые к применению радионуклиды в соответствии с критериями, установленными в действующих нормативно-методических документах (Постановление Правительства от 19.10.2012 г. № 1069, ОСПОРБ-99/2010). Стоит отметить, что неотъемлемым элементом представленного подхода является радиационный контроль сточных вод, методики которых в настоящее время отсутствуют. Следующие работы авторов будут посвящены разработке таких методик.

Заключение

Проведенные в работе оценки показали, что доля радионуклидов в отходах пациента будет зависеть от фармакокинетических свойств РФЛП. При проектировании подразделений ядерной медицины и определении мероприятий по обращению с жидкими отходами пациентов необходимо учитывать специфическую для каждого РФЛП активность радионуклида в отходах.

Таблица 4

Градации РФЛП по возможности освобождения медицинских организаций от сбора и выдержки на распад жидких отходов [Table 4

Gradation of radiopharmaceuticals by the possibility of exemption from collecting and keeping for decay of liquid waste]

Показатели	Диагностические РФЛП [Diagnostic Radiopharmaceuticals]	Терапевтические РФЛП [Therapeutic Radiopharmaceuticals]**
РФЛП, не требующие сбора и выдержки на распад жидких отходов [Radiopharmaceuticals, which do not require collecting and keeping for decay of liquid waste]	^{99m} Tc-пирофосфат [^{99m} Tc-pyrophosphate], ¹⁸ F-ФДГ [¹⁸ F-FDG], ⁶⁸ Ga-ПСМА [⁶⁸ Ga-PSMA], ⁶⁴ Cu-моноклональные антитела [⁶⁴ Cu-monoclonal antibodies]	⁸⁹ Sr-дихлорид [⁸⁹ Sr-dichloride] (при дневном стационаре [in a day hospital]***), ²²³ Ra-дихлорид [²²³ Ra-dichloride] (при дневном стационаре [in a day hospital]***)
РФЛП, требующие сбора и выдержки на распад жидких отходов при большом потоке пациентов* [Radiopharmaceuticals, which require collecting and keeping for decay of liquid waste where large patients flow]	¹²³ I-натрия йодид [¹²³ I-Nal], ¹²³ I-МИБГ [¹²³ I-mIBG], ¹²⁴ I-МИБГ [¹²⁴ I-mIBG], ⁸⁹ Zr-моноклональные антитела [⁸⁹ Zr-monoclonal antibodies]	¹⁵³ Sm-оксабифор [¹⁵³ Sm-oxabifor], ⁸⁹ Sr-дихлорид [⁸⁹ Sr-dichloride], ²²³ Ra-дихлорид [²²³ Ra-dichloride], ¹⁷⁷ Lu-ПСМА [¹⁷⁷ Lu-PSMA], ²²⁵ Ac-ПСМА [²²⁵ Ac-PSMA]
РФЛП, требующие сбора и выдержки на распад жидких отходов вне зависимости от потока пациентов [Radiopharmaceuticals, which require collecting and keeping for decay of liquid waste regardless of the patients flow]	–	¹³¹ I-МИБГ [¹³¹ I-mIBG]

* – определяется номенклатурой медицинской организации согласно Приказу Минздрава РФ от 06.06.2013 г. № 529н «Об утверждении номенклатуры медицинских организаций», медико-техническим заданием на проектирование и планируемым потоком пациентов при проектировании [is determined by Order of Ministry of Health of the Russian Federation №529n of June 6, 2013 “On approval of the nomenclature of medical organizations” (In Russ.)];

** – расчеты приведены в работе [10] [calculations are given in study [10]];

*** – радионуклидная терапия в условиях дневного стационара подразумевает, что пациент находится в медицинской организации не более 4 ч [patient stay in a day hospital less than 4 hours during radionuclide therapy].

Системы водоотведения даже небольшой медицинской организации может быть достаточно для снижения уровня удельной активности до предельных значений в отходах от 440 пациентов в год после радионуклидной диагностики с ¹²³I-МИБГ или 880 пациентов в год с ¹²³I-натрия йодид. Активность других радионуклидов, применяемых для диагностики, с периодом полураспада, который ограничивается несколькими часами, будет быстро снижаться за счет радиоактивного распада и существенно снизится до поступления этих отходов на станцию водоочистки и дальше в открытые водоемы.

Для ряда диагностических РФЛП (меченных ¹²³I, ¹²⁴I и ⁸⁹Zr) количество пациентов за год, которое можно обследовать без спецканализации, ограничено. При разработке проектной документации подразделений ядерной медицины для работы с такими радионуклидами возможно предусматривать спецканализацию или набор биотуалетов, что позволит соблюдать все требования радиационной безопасности даже при увеличении потока пациентов.

Ограничения работы

Представленные расчеты основаны на моделях био-выведения РФЛП из организма человека из литературных данных. Рассмотренный подход не учитывал импульсный характер поступления отходов от пациентов в канализацию. Считалось, что снижение удельной активности радионуклидов происходит за счет смешивания отходов с нерадиоактивными водами в системе водоотведения медицинской канализации. Расчеты проводились для каждого РФЛП отдельно и не учитывали единовременное

проведение процедур с различными РФЛП в медицинской организации.

Сведения о личном вкладе авторов в работу над статьей

Чипига Л.А. – научное руководство исследованием, определение цели, разработка дизайна исследования, формулировка научных гипотез, обработка и анализ полученных результатов, написание текста.

Водоватов А.В. – разработка дизайна исследования, анализ и интерпретация результатов, обсуждение результатов исследования.

Петрякова А.В. – поиск и анализ литературы, проведение расчетов, описание материалов и методов, перевод.

Звонова И.А. – анализ и интерпретация результатов.

Станжевский А.А. – поиск и анализ литературы, описание текущего состояния ядерной медицины в стране и проблематики.

Майстренко Д.Н. – анализ результатов.

Важенина Д.А. – анализ результатов.

Сысоев Д.С. – анализ результатов.

Информация о конфликте интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Сведения об источнике финансирования

Работа выполнена в рамках отраслевой программы Роспотребнадзора «Разработка и научное обоснование комплекса мер по обеспечению радиационной защиты в ядерной медицине».

Литература

1. Результаты радиационно-гигиенической паспортизации в субъектах Российской Федерации за 2015-2021 гг.: Радиационно-гигиенический паспорт Российской Федерации. – М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2016-2022 гг.
2. Онищенко Г.Г., Попова А.Ю., Романович И.К. и др. Радиационно-гигиеническая паспортизация и ЕСКИД – информационная основа принятия управленческих решений по обеспечению радиационной безопасности населения Российской Федерации. Сообщение 1. Основные достижения и задачи по совершенствованию // Радиационная гигиена. 2017. Т. 10, №3. С. 7-17.
3. Dewulf J., Adhikari K., Vangestel C. et al. Development of Antibody Immuno-PET/SPECT Radiopharmaceuticals for Imaging of Oncological Disorders—An Update // *Cancers*. 2020. Vol. 12, No 7. 1868 p. <https://doi.org/10.3390/cancers12071868>.
4. Чипига Л.А., Петрова А.Е., Мосунов А.А. и др. Предварительная оценка доз облучения пациентов при проведении диагностических радионуклидных исследований с моноклональными антителами, меченными ⁸⁹Zr // *Формулы Фармации*. 2021. Т. 3, № 3. С. 48-61. doi: 10.17816/phf81118.
5. Жуковский М.В., Онищенко А.Д. Радиофармпрепараты на основе моноклональных антител для ПЭТ и ОФЭКТ-визуализации: биокинетические модели и дозиметрические оценки // *Траектория исследований – человек, природа, технологии*. 2022. Т. 2, № 2. С. 80-155. DOI: 10.56564/27825264_2022_2_80.
6. Gear J., Chiesa C., Lassmann M. et al. EANM Dosimetry Committee series on standard operational procedures for internal dosimetry for ¹³¹I-mIBG treatment of neuroendocrine tumours // *EJNMMI Physics*. 2020. Vol. 7, № 1. P. 15. <https://doi.org/10.1186/s40658-020-0282-7>
7. Наркевич Б.Я. Анализ проблем обеспечения радиационной безопасности в ядерной медицине // *Онкологический журнал: лучевая диагностика, лучевая терапия*. 2018. Т. 1, № 1. С. 89-85.
8. Наркевич Б.Я. Радиационная безопасность в ядерной медицине: сообщение I. Актуальные проблемы // *Медицинская радиология и радиационная безопасность*. 2021. Т. 66, № 1. С. 29-36. <https://doi.org/10.12737/1024-6177-2021-66-1-29-36>.
9. Романович И.К., Барковский А.Н. О новых критериях отнесения отходов к радиоактивным и об изменении, внесенных в ОСПОРБ-99/2010 и СПОРО-2002 // *Радиационная гигиена*. 2014. Т. 7, № 1. С. 30-35.
10. Чипига Л.А., Водоватов А.В., Звонова И.А. и др. Обращение с биологическими отходами пациентов после проведения радионуклидной терапии // *Радиационная гигиена*. 2022. Т. 15, № 2. P. 19-30. <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2022-15-2-19-30>.
11. Song H., Mosci C., Akatsu H. et al. Diagnostic ¹²³I Whole Body Scan Prior to Ablation of Thyroid Remnant in Patients with Papillary Thyroid Cancer // *Clinical Nuclear Medicine*. 2018. Vol. 43, No.10. P. 705-709. <https://doi.org/10.1097/RLU.0000000000002246>.
12. Ott R.J., Tait D., Flower M.A. et al. Treatment planning for ¹³¹I-mIBG radiotherapy of neural crest tumours using ¹²⁴I-mIBG positron emission tomography // *The British journal of radiology*. 1992. Vol. 65, No. 777. P. 787-791. <https://doi.org/10.1259/0007-1285-65-777-787>.
13. Dijkers E.C., Oude Munnink T.H., Kosterink J.G. et al. Biodistribution of ⁸⁹Zr-trastuzumab and PET imaging of HER2-positive lesions in patients with metastatic breast cancer // *Clinical Pharmacology and Therapeutics*. 2010. Vol. 87, No 5. P. 586-92. <https://doi.org/10.1038/clpt.2010.12>.
14. Anderson C.J., Ferdani R. Copper-64 radiopharmaceuticals for PET imaging of cancer: advances in preclinical and clinical research // *Cancer Biotherapy and Radiopharmaceuticals*. 2009. Vol. 24, No. 4. P. 379-93. <https://doi.org/10.1089/cbr.2009.0674>.
15. Parlak Y., Gumuser G., Sayit E. Samarium-153 therapy for prostate cancer: the evaluation of urine activity, staff exposure and dose rate from patients // *Radiation Protection Dosimetry*. 2015. Vol. 163, No. 4. P. 468-472. doi: 10.1093/rdp/ncu237.
16. ICRP. Radiation Dose to Patients from Radiopharmaceuticals: A Compendium of Current Information Related to Frequently Used Substances. ICRP Publication 128. Ann. ICRP. 2015, 44(2S).
17. ICRP. Radiation Dose to Patients from Radiopharmaceuticals. ICRP Publication 53. Ann. ICRP. 1988; 18 (1-4).
18. Dowd M.T., Chen C.T., Wendel M.J. et al. Radiation dose to the bladder wall from 2-[¹⁸F] fluoro-2-deoxy-D-glucose in adult humans // *Journal of Nuclear Medicine*. 1991. Т. 32, №. 4. С. 707-712.
19. Chen C.T., Harper P.V., Lathrop K.A. A simple dynamic model for calculating radiation absorbed dose to the bladder wall // *4th International Radiopharmaceutical Dosimetry Symposium*. 1985. P. 5-8.
20. Kurth J., Krause B.J., Schwarzenböck S.M. et al. External radiation exposure, excretion, and effective half-life in ¹⁷⁷Lu-PSMA-targeted therapies // *European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging research*. 2018. Vol. 8, No 1. P. 1-11. <https://doi.org/10.1186/s13550-018-0386-4>.
21. Shielded WC for disposal of organic radioactive waste. URL: <https://www.comecer.com/wdl-series-shielded-wc-disposal-organic-radioactive-waste/> (Дата обращения: 20.10.2022).

Поступила: 21.10.2022 г.

Чипига Лариса Александровна – кандидат технических наук, научный сотрудник лаборатории радиационной гигиены медицинских организаций Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека; научный сотрудник Российского научного центра радиологии и хирургических технологий имени академика А.М. Гранова Министерства здравоохранения Российской Федерации; доцент кафедры ядерной медицины и радиационных технологий Национального медицинского исследовательского центра им. В.А. Алмазова Министерства здравоохранения Российской Федерации. **Адрес для переписки:** 197101, Россия, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8; E-mail: larisa.chipiga@gmail.com

Водоватов Александр Валерьевич – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией радиационной гигиены медицинских организаций Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека; доцент кафедры общей гигиены Санкт-Петербургского государственного педиатрического медицинского университета, Санкт-Петербург, Россия

Петрякова Анастасия Валерьевна – исполняющая обязанности младшего научного сотрудника лаборатории радиационной гигиены медицинских организаций Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека; инженер по радиационной безопасности Городской больницы № 40, Санкт-Петербург, Россия

Звонова Ирина Александровна – доктор технических наук, главный научный сотрудник лаборатории радиационной гигиены медицинских организаций Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия

Станжевский Андрей Алексеевич – доктор медицинских наук, заместитель директора по научной работе Российского научного центра радиологии и хирургических технологий имени академика А.М. Гранова Министерства здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург, Россия

Майстренко Дмитрий Николаевич – доктор медицинских наук, директор Российского научного центра радиологии и хирургических технологий имени академика А.М. Гранова Министерства здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург, Россия

Важенина Дарья Андреевна – доктор медицинских наук, главный научный сотрудник, руководитель лаборатории тераностики онкологических заболеваний Российского научного центра радиологии и хирургических технологий имени академика А.М. Гранова Министерства здравоохранения Российской Федерации, доцент ВАК, Санкт-Петербург, Россия

Сысоев Дмитрий Сергеевич – кандидат физико-математических наук, руководитель группы разработки и производства приборов для ядерной медицины Российского научного центра радиологии и хирургических технологий имени академика А.М. Гранова Министерства здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург, Россия

Для цитирования: Чипига Л.А., Водоватов А.В., Петрякова А.В., Звонова И.А., Станжевский А.А., Майстренко Д.Н., Важенина Д.А., Сысоев Д.С. Обоснование дифференцированного подхода к обращению с биологическими отходами пациентов в подразделениях ядерной медицины // Радиационная гигиена. 2022. Т. 15, № 4. С. 34-44. DOI: 10.21514/1998-426X-2022-15-4-34-44

Justification of differential approach to management of patient biological waste in nuclear medicine departments

Larisa A. Chipiga^{1,2,3}, Aleksandr V. Vodovатов^{1,4}, Anastasia V. Petryakova^{1,5}, Irina A. Zvonova¹, Andrey A. Stanzhevsky², Dmitriy N. Maistrenko², Daria A. Vazhenina², Dmitriy S. Sysoev²

¹ Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being, Saint-Petersburg, Russia

² A. Granov Russian Scientific Center of Radiology and Surgical Technologies of the Ministry of Health of the Russian Federation, Saint-Petersburg, Russia

³ Almazov National Medical Research Centre of the Ministry of Health of the Russian Federation, Saint-Petersburg, Russia

⁴ Saint-Petersburg State Pediatric Medical University, Saint-Petersburg, Russia

⁵ The City Hospital No 40 of the Kurortny District, Saint-Petersburg, Russia

The development of nuclear medicine technologies in the Russian Federation contributes to the implementation of new diagnostic radiopharmaceuticals in practice. Theranostic pairs such as antibodies and peptides labeled diagnostic and therapeutic radionuclides are beginning to be commonly used. The use of radionuclides with a longer half-life in radionuclide diagnostics causes the updating of the approaches to management of liquid waste generated as a result of the patient's metabolic activity during the time spent in the radionuclide diagnostics department. Management of liquid radioactive waste in radionuclide diagnostic department is regulated by guidelines MU 2.6.1.1892-04. The guidelines are not the regulatory document.

Larisa A. Chipiga

Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev

Address for correspondence: Mira str., 8, Saint-Petersburg, 197101, Russia; E-mail: larisa.chipiga@gmail.com

These were developed about 20 years ago, and do not considering features of the modern methods in radionuclide diagnostics, promising radionuclides with half-life of several days, and new criteria for classifying as a radionuclide waste in accordance with Resolution of the Government of the Russian Federation No. 1069. The aim of the study was the assessment of the radionuclide activities excreted from patient after radiopharmaceutical injection in radionuclide diagnostics departments in order to define the waste management pathways. In a result, all diagnostic and therapeutic radiopharmaceuticals were divided into the categories: radiopharmaceuticals with ultrashort-lived radionuclides, which can be discharged into the hospital sewerage without any restrictions; radiopharmaceuticals with ^{131}I , which need the special sewerage; the other radiopharmaceuticals, which need to assess the volume of discharged radionuclide activities during the projection of the nuclear medicine department. The method of assessment of the radionuclide activities entering the hospital sewerage is presented.

Key words: radionuclide diagnostics, radionuclide therapy, radiopharmaceutical, liquid radioactive waste.

Information about authors' personal contribution to the work on the article

Chipiga L.A. – scientific management of the study, determination of the aim of the study, development of the study design, formulation of the scientific conjectures, processing, and analysis of results, writing the text of the article.

Vodovatov A.V. – development of the study design, analysis and interpretation of the results, discussion of the results.

Petryakova A.V. – search and analysis of literature, calculations, description of materials and methods, translation.

Zvonova I.A. – analysis and interpretation of the results.

Stanzhevsky A.A. – search and analysis of literature, description of current state of nuclear medicine in Russia and issue for the study.

Maistrenko D.N. – analysis of the results.

Vazhenina D.A. – analysis of the results.

Sysoev D.S. – analysis of the results.

Conflict of interest

The authors have no conflicts of interest to disclose.

Information about the source of funding

The work was performed as a part of the program of Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being "Development and scientific justification of a set of measures to ensure radiation protection in nuclear medicine".

References

1. Results of radiation-hygienic passportization in regions of the Russian Federation in 2015-2021. (Radiation-Hygienic Passport of the Russian Federation). Moscow: Rospotrebnadzor; 2016-2022. (In Russian).
2. Onishchenko GG, Popova AYu, Romanovich IK, Barkovsky AN, Kormanovskaya TA, Shevkun IG. Radiation-hygienic passportization and USIDC-information basis for management decision making for radiation safety of the population of the Russian Federation. Report 1. Main achievements and challenges to improve. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2017;10(3): 7-17. <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2017-10-3-7-17>.
3. Dewulf J, Adhikari K, Vangestel C, Wyngaert TVD, Elvas F. Development of Antibody Immuno-PET/SPECT Radiopharmaceuticals for Imaging of Oncological Disorders – An Update. *Cancers*. 2020;12(7): 868. <https://doi.org/10.3390/cancers12071868>.
4. Chipiga LA, Petrova AE, Mosunov AA, et al. Preliminary evaluation of patient radiation doses during radionuclide diagnostic with monoclonal antibodies labeled with ^{89}Zr . *Pharmacy Formulas*. 2021;3(3): 48-61. doi: 10.17816/phf81118.
5. Zhukovsky MV, Onishchenko AD. Radiopharmaceuticals Based on Monoclonal Antibodies for PET and SPECT Imaging: Biokinetic Models and Dosimetric Evaluations. *Traektoriya issledovaniy – chelovek, priroda, tekhnologii = Research trajectory – man, nature, technology*. 2022;2(2): 80-155. DOI: 10.56564/27825264_2022_2_80.
6. Gear J, Chiesa C, Lassmann M, et al. EANM Dosimetry Committee series on standard operational procedures for internal dosimetry for ^{131}I -mIBG treatment of neuroendocrine tumours. *EJNMMI Physics*. 2020;7(1): 15. <https://doi.org/10.1186/s40658-020-0282-7>.
7. Narkevich BYa. Analysis of Radiation Safety Problems in Nuclear Medicine. *Onkologicheskij zhurnal: luchelevaja diagnostika, luchelevaja terapiya = Journal of oncology: diagnostic radiology and radiotherapy*. 2018;1(1): 89-85. (In Russian).
8. Narkevich BYa. Radiation Safety in Nuclear Medicine: Report I. Topical Problems. *Meditinskaya radiologiya i radiatsionnaya bezopasnost = Medical Radiology and Radiation Safety*. 2021;66(1): 29-36. (In Russian) <https://doi.org/10.12737/1024-6177-2021-66-1-29-36>.
9. Romanovich IK, Barkovsky AN. On A New Criteria of the Referring Waste to Radioactive Categories and on the Amendments Introduced in BSRRSP-99/2010 and SRRWT-2002. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2014;7(1): 30-35. (In Russian).
10. Chipiga LA, Vodovatov AV, Zvonova IA, Stanzhevsky AA, Petryakova AV, Anokina EE, et al. Management of biological waste of patients after radionuclide therapy. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2022;15(12): 19-30. (In Russian) <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2022-15-2-19-30>.
11. Song H, Mosci C, Akatsu H, et al. Diagnostic ^{123}I Whole Body Scan Prior to Ablation of Thyroid Remnant in Patients with Papillary Thyroid Cancer. *Clinical Nuclear Medicine*. 2018;43(10): 705-709. <https://doi.org/10.1097/RLU.0000000000002246>.
12. Ott RJ, Tait D, Flower MA, et al. Treatment planning for ^{131}I -mIBG radiotherapy of neural crest tumours using ^{124}I -mIBG positron emission tomography. *The British journal of radiology*. 1992;65(777): 787-791. <https://doi.org/10.1259/0007-1285-65-777-787>.
13. Dijkers EC, Oude Munnink TH, Kosterink JG, et al. Biodistribution of ^{89}Zr -trastuzumab and PET imaging of HER2-positive lesions in patients with metastatic breast cancer. *Clinical Pharmacology and Therapeutics*. 2010;87(5): 586-92. <https://doi.org/10.1038/clpt.2010.12>.
14. Anderson CJ, Ferdani R. Copper-64 radiopharmaceuticals for PET imaging of cancer: advances in pre-clinical and clinical research. *Cancer Biotherapy and*

- Radiopharmaceuticals*. 2009;24(4): 379-93. <https://doi.org/10.1089/cbr.2009.0674>.
15. Parlak Y, Gumuser G, Sayit E. Samarium-153 therapy for prostate cancer: the evaluation of urine activity, staff exposure and dose rate from patients. *Radiation Protection Dosimetry*. 2015;163(4): 468-472. doi: 10.1093/rpd/ncu237.
 16. ICRP. Radiation Dose to Patients from Radiopharmaceuticals: A Compendium of Current Information Related to Frequently Used Substances. ICRP Publication 128. Ann. ICRP. 2015, 44(2S).
 17. ICRP. Radiation Dose to Patients from Radiopharmaceuticals. ICRP Publication 53. Ann. ICRP. 1988; 18 (1-4).
 18. Dowd MT, Chen CT, Wendel MJ, et al. Radiation dose to the bladder wall from 2-[18F] fluoro-2-deoxy-D-glucose in adult humans. *Journal of Nuclear Medicine*. 1991;32(4): 707-712.
 19. Chen CT, Harper PV, Lathrop KA. A simple dynamic model for calculating radiation absorbed dose to the bladder wall. *4th International Radiopharmaceutical Dosimetry Symposium*. 1985: 5-8.
 20. Kurth J, Krause BJ, Schwarzenböck SM, Stegger L, Schäfers M, Rahbar K. External radiation exposure, excretion, and effective half-life in 177Lu-PSMA-targeted therapies. *European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging research*. 2018;8(1): 1-11. <https://doi.org/10.1186/s13550-018-0386-4>.
 21. Shielded WC for disposal of organic radioactive waste. URL: <https://www.comecer.com/wdl-series-shielded-wc-disposal-organic-radioactive-waste/> (Accessed: 20.10.2022)

Received: October 21, 2022

For correspondence: Larisa A. Chipiga – Ph.D., research fellow, Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being; research fellow, A.M. Granov Russian Scientific Center of Radiology and Surgical Technologies of the Ministry of Health of the Russian Federation; docent, Almazov National Medical Research Centre of the Ministry of Health of the Russian Federation (Mira str., 8, Saint-Petersburg, 197101, Russia; E-mail: larisa.chipiga@gmail.com)

Aleksandr V. Vodovatov – Ph.D., Head of Laboratory, Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being; docent, Saint-Petersburg State Pediatric Medical University, Saint-Petersburg, Russia

Anastasia V. Petryakova – acting junior researcher, Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being; radiation safety engineer, Saint-Petersburg City Hospital No. 40, Saint-Petersburg, Russia

Irina A. Zvonova – Doctor of Technical Sciences, Chief Researcher of Protection Laboratory, Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being, Saint-Petersburg, Russia

Andrey A. Stanzhevsky – M.D., Deputy Director for Research, A.M. Granov Russian Scientific Center of Radiology and Surgical Technologies of the Ministry of Health of the Russian Federation, Saint-Petersburg, Russia

Dmitriy N. Maistrenko – M.D., Head of A.M. Granov Russian Scientific Center of Radiology and Surgical Technologies of the Ministry of Health of the Russian Federation, Saint-Petersburg, Russia

Daria A. Vazhenina – M.D., Chief Researcher, Head of Laboratory of Theragnostic and Oncology, A.M. Granov Russian Scientific Center of Radiology and Surgical Technologies of the Ministry of Health of the Russian Federation, Saint-Petersburg, Russia

Dmitriy S. Sysoev – Ph.D., Head of the group for the development and production of equipment for nuclear medicine, A.M. Granov Russian Scientific Center of Radiology and Surgical Technologies of the Ministry of Health of the Russian Federation, Saint-Petersburg, Russia

For citation: Chipiga L.A., Vodovatov A.V., Petryakova A.V., Zvonova I.A., Stanzhevsky A.A., Maistrenko D.N., Vazhenina D.A., Sysoev D.S. Justification of differential approach to management of patient biological waste in nuclear medicine departments. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2022. Vol. 15, No. 4. P. 34-44. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2022-15-4-34-44