

## Проблемы радиационной безопасности при передвижении в общественном транспорте пациента после радионуклидной терапии с $^{131}\text{I}$

А.В. Петрякова<sup>1,2</sup>, Л.А. Чипига<sup>1,3,4</sup>, И.А. Звонова<sup>1</sup>, А.В. Водоватов<sup>1,5</sup>, Г.А. Горский<sup>1,6</sup>, А.А. Станжевский<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 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

<sup>2</sup> Городская больница №40 Курортного района, Санкт-Петербург, Россия

<sup>3</sup> Российский научный центр радиологии и хирургических технологий имени академика А.М. Гранова, Министерство здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург, Россия

<sup>4</sup> Национальный медицинский исследовательский центр им. В.А. Алмазова, Министерство здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург, Россия

<sup>5</sup> Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет, Санкт-Петербург, Россия

<sup>6</sup> Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова, Санкт-Петербург, Россия

*Радионуклидная терапия с  $^{131}\text{I}$  на протяжении многих лет является одним из наиболее распространенных видов радионуклидной терапии. Радиационная безопасность населения обеспечивается ограничением контактов пациента с другими людьми путем его госпитализации до снижения радиологических параметров до установленных критериев. Для повышения доступности данного вида лечения были предложены смягченные критерии выписки пациентов после радионуклидной терапии с  $^{131}\text{I}$ . Однако ранняя выписка пациентов может приводить к увеличению облучения лиц из населения, например, пассажиров в транспорте при следовании пациента после терапии к месту жительства, и образованию отходов, содержащих  $^{131}\text{I}$ . Целью работы является оценка радиационного воздействия излучения от пациентов после радионуклидной терапии с  $^{131}\text{I}$ -МИБГ и  $\text{Na}^{131}\text{I}$  на окружающих лиц в транспорте с учетом образования радиоактивных биологических отходов. В работе было оценено выведение  $^{131}\text{I}$  из организма пациентов в транспорте для различных сценариев передвижения пациента до места жительства. В результате было установлено, что смягчение критериев выписки пациентов приводит к увеличению эффективной дозы облучения окружающих лиц в транспорте и увеличению активности  $^{131}\text{I}$ , выводимой с отходами пациентов. Удельная активность в баках биотуалетов в транспорте, образующаяся после проезда пациента с введенным радиофармацевтическим лекарственным препаратом, меченным  $^{131}\text{I}$ , превышает предельное значение отнесения жидких отходов к радиоактивным. С целью оптимизации радиационной защиты населения целесообразно применять дифференцированный подход при выписке пациентов после терапии с  $^{131}\text{I}$ : выделить иногородних пациентов в отдельную категорию, сохранив для них существующий критерий выписки (без смягчения), чтобы минимизировать радиационное воздействие на окружающих лиц.*

**Ключевые слова:** ядерная медицина, радионуклидная терапия, жидкие радиоактивные отходы, радиационная безопасность,  $^{131}\text{I}$ -МИБГ,  $\text{Na}^{131}\text{I}$ .

### Введение

Согласно данным отчета Научного комитета по действию атомной радиации Организации Объединенных Наций 2020/2021, за последнее десятилетие частота проведения процедур радионуклидной терапии (РНТ)

увеличилась на 33% [1]. Много лет во всем мире наиболее популярной является РНТ с  $^{131}\text{I}$ , которая применяется для лечения рака щитовидной железы (ЩЖ), гипертиреоза и тиреотоксикоза [1, 2], а также для лечения феохромоцитомы и нейробластомы у взрослых и детей  $^{131}\text{I}$ -метайодбензилгуанидином ( $^{131}\text{I}$ -МИБГ) [3].

**Петрякова Анастасия Валерьевна**

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

В Российской Федерации, по данным формы федерального статистического наблюдения №30<sup>1</sup>, в 2020 г. было выполнено 10 235 процедур РНТ, из которых 72% составляют процедуры с <sup>131</sup>I [4].

Экономическая целесообразность и эффективность работы медицинских организаций (МО), осуществляющих радиойодтерапию, увеличение количества пациентов, которым может и должна быть оказана медицинская помощь в рамках существующего коечного фонда, диктует необходимость максимально быстрой выписки пациентов из радиологических отделений после применения радиофармацевтических лекарственных препаратов (РФЛП), но формирует дополнительные риски облучения населения, которые подлежат обоснованию и оценке приемлемости с точки зрения радиационной безопасности.

В соответствии с отечественными нормативными документами СанПин 2.6.1.25-23-09 (НРБ-99/2009)<sup>2</sup> и СанПиН 2.6.1.2368-08<sup>3</sup> пациенты после процедур РНТ могут быть выписаны из отделения РНТ при непревышении радиологических критериев выписки [5–10], которые для <sup>131</sup>I установлены на уровне 20 мкЗв/ч по мощности эквивалентной дозы на расстоянии 1 м от пациента и/или 0,4 ГБк по остаточной активности в теле пациента.

Используемый в настоящее время в отечественной практике подход к определению радиологических критериев выписки основан на снижении активности в теле только за счет радиоактивного распада радионуклида со временем и не учитывает биологическое выведение РФЛП из организма пациента [6–7]. В работе [5] был предложен подход и смягченные критерии выписки пациентов при РНТ с <sup>131</sup>I, которые учитывают, что мощность дозы от пациента со временем будет снижаться в том числе и за счет биологического выведения радионуклида из организма пациента. Однако рассмотренные сценарии облучения критических групп населения от пациента после РНТ не учитывают долгосрочный контакт с пациентом (до нескольких суток) в транспорте в первые часы после выписки его из стационара, когда мощность дозы от него будет наиболее высокой. Более мягкие критерии выписки пациентов после РНТ будут сокращать время пребывания пациентов в отделении РНТ, что может приводить к увеличению дозы у лиц, контактирующих с пациентом, и росту неконтролируемого образования отходов, содержащих ме-

дицинские радионуклиды, за пределами МО, поскольку выведение РФЛП, меченных <sup>131</sup>I, из организма пациента происходит преимущественно с мочой [2, 11, 12].

Критерии отнесения отходов к радиоактивным отходам (РАО), в том числе к жидким радиоактивным отходам (ЖРО), по удельной активности радионуклида установлены в Постановлении Правительства Российской Федерации от 19 октября 2012 г. № 1069<sup>4</sup>. Установленные критерии не учитывают специфику ядерной медицины с точки зрения характера образования отходов, являющихся биологическими жидкостями, и достаточно короткого периода радиоактивного распада. При этом неконтролируемое образование техногенных медицинских радионуклидов в общественных местах и транспорте может создавать нештатные ситуации, когда стационарные системы радиационного контроля транспортной инфраструктуры регистрируют превышение гамма-фона от пациентов или от баков биотуалетов транспортных средств.

**Цель исследования** – оценка радиационного воздействия излучения от пациента после РНТ с <sup>131</sup>I на окружающих лиц в транспорте с учетом образования радиоактивных биологических отходов в биотуалетах транспортных средств.

## Материалы и методы

### Выписка пациентов из МО после РНТ

Мощности дозы от пациента после РНТ с <sup>131</sup>I-МИБГ и <sup>131</sup>I-NaI при тиреотоксикозе и раке ЩЖ были определены на основании экспериментальных данных, представленных в литературных источниках [13–15], с использованием дозовых коэффициентов перехода (использовали коэффициент перехода от амбиентного эквивалента дозы к эффективной дозе 0,7 для энергий в диапазоне 300–700 кэВ) [16].

Время выписки пациентов из МО и посадки в транспорт определяли по достижении радиологических критериев выписки. Для этого вводимые пациентам активности <sup>131</sup>I и мощности дозы от пациентов были сопоставлены с радиологическими критериями выписки, представленными в таблице 1 [5]. Критерии выписки установлены в НРБ-99/2009, исходя из допустимого предела дозы для населения 1 мЗв в год. В статье [5] это значение исполь-

<sup>1</sup> Приказ Росстата от 20.12.2021 № 932 «Об утверждении форм федерального статистического наблюдения с указаниями по их заполнению для организации Министерством здравоохранения Российской Федерации федерального статистического наблюдения в сфере охраны здоровья» [Order of the Federal State Statistics Service of 20.12.2021 N 932 "On Approval of Federal Statistical Observation Forms with Instructions for their Completion for the Organisation by the Ministry of Health of the Russian Federation of Federal Statistical Observation in the Field of Health Protection" (In Russ.)]

<sup>2</sup> СанПиН 2.6.1.2523-09. НРБ-99/2009. Нормы радиационной безопасности [Norms of the Radiation Safety NRB-99/2009 (In Russ.)].

<sup>3</sup> СанПиН 2.6.1.2368-08. Гигиенические требования по обеспечению радиационной безопасности при проведении лучевой терапии с помощью открытых радионуклидных источников. М.: Роспотребнадзор, 2008. 99 с. [Sanitary Regulations and Standards 2.6.1.2368–08. Hygienic requirements for radiation safety during radiation therapy using open radionuclide sources. Moscow: Rosпотребнадзор; 2008. 99 p. (In Russ.)]

<sup>4</sup> 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» (Постановление Правительства Российской Федерации от 19 октября 2012 г. № 1069). [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.)]

зовано для отдельных лиц из населения, включая детей и беременных женщин, эпизодически контактирующих с пациентом, и 5 мЗв в год для взрослых, осуществляющих уход за пациентом.

Таблица 1

**Значения радиологических критериев выписки пациентов после РНТ с <sup>131</sup>I, рассматриваемые в настоящей работе**

[Table 1]

**Patient release criteria after radiopharmaceutical therapy with <sup>131</sup>I using in the current study**

Параметр [Parameter]	РФЛП [Radiopharmaceutical]		
	НРБ-99/2009 [NRB-99/2009]	Чипига и др., 2023 [Chipiga et al., 2023]	
	<sup>131</sup> I	<sup>131</sup> I-МИБГ [ <sup>131</sup> I-mIBG]	Na <sup>131</sup> I
Взрослые, осуществляющие уход за пациентом [Carers]			
Мощность дозы, мкЗв/ч [Dose rate, μSv/h]	20	260	65
Активность, ГБк [Activity, GBq]	0,4	4,9	1,3
Население, в том числе дети и беременные, контактирующие с пациентом [General public including children and pregnant women]			
Мощность дозы, мкЗв/ч [Dose rate, μSv/h]	20	100	26
Активность, ГБк [Activity, GBq]	0,4	2,0	0,5

*Сценарии передвижения пациента*

В зависимости от удаленности проживания пациента были рассмотрены следующие сценарии: время пути в электропоезде или междугороднем автобусе – 2 ч; время пути в поезде дальнего следования – 48 ч; время пути в самолете – 7 ч; время пути в скоростном сидячем поезде (например, «Сапсан») – 4 ч. Предполагали, что пациент после выписки из МО добирается до электропоезда/автобуса/поезда за 1 ч, до самолета за 3 ч.

*Активность <sup>131</sup>I, выводимая с отходами пациентов после РНТ в транспорте*

Изменение активности в теле пациента определяется согласно выражению (1) [17]:

$$A(t) = A_0 \cdot \sum_{i=1}^n a_i \cdot \exp\left(-\frac{\ln 2}{T_{eff\ i}} \cdot t\right), \quad (1)$$

Соответственно, выведенную активность радионуклида из организма пациента за время  $\Delta t=(t_2-t_1)$  после введения РФЛП определяли по формуле (2):

$$A_{\text{вывед}}(\Delta t) = A_0 \cdot \left[ \sum_{i=1}^n a_i \left( \exp\left(-\frac{\ln 2}{T_{eff\ i}} \cdot t_1\right) - \exp\left(-\frac{\ln 2}{T_{eff\ i}} \cdot t_2\right) \right) \right], \quad (2)$$

где  $A_0$  – вводимая пациенту активность радионуклида в РФЛП, Бк;

$\alpha_i$  – фракция выведения  $i$ -й фазы РФЛП из организма пациента, отн. ед.;

$T_{eff}$  – эффективный период полувыведения, сут.

Выводимая активность в транспорте была рассчитана по формуле (2) за промежуток времени в пути согласно сценарию передвижения после достижения критериев выписки пациента из отделения РНТ. Параметры, необходимые для оценки выведения РФЛП из организма пациента, были определены с использованием литературных данных [5, 11, 12, 18] и представлены в таблице 2. Относительную остаточную активность в теле пациента и в отходах (долю от введенной активности) определяли делением активности в теле/отходах на определенный период времени на введенную пациенту активность с учётом радиоактивного распада радионуклида.

При определении удельной активности, образующейся в баках транспортных биотуалетов, считали, что объем бака в электропоезде/автобусе составлял 100 л, в поезде и самолете – 300 л.

*Определение мощности дозы от баков биотуалетов в транспорте*

Расчет мощности дозы от бака биотуалета, содержащего <sup>131</sup>I, был проведен методом Монте-Карло с помощью программы МСС3D (Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Россия). Баки биотуалетов моделировали в виде цилиндров (диаметром 44 см для бака 100 л и 76 см для бака 300 л, высотой 66 см) однородной плотности 1 г/мл, идеальный гамма-детектор площадью 1 м<sup>2</sup> был установлен на расстоянии 1 м от бака.

Таблица 2

**Принятая в расчетах вводимая пациентам активность и параметры в формуле (2) для оценки выведения РФЛП из организма пациента**

[Table 2]

**Administered activity and parameters in equation (2) for estimation of the radiopharmaceuticals excretion used in the calculations**

РФЛП [Radiopharmaceutical]	$A_0$ , ГБк	$\alpha_1$	$\alpha_2$	Период полувыведения $T_{eff\ 1}$ , сут [Effective half-life $T_{eff\ 1}$ ]	Период полувыведения $T_{eff\ 2}$ , сут [Effective half-life $T_{eff\ 2}$ ]
<sup>131</sup> I-МИБГ [ <sup>131</sup> I-mIBG]	0,6	0,37	0,63	0,12	1,88
Na <sup>131</sup> I тиреотоксикоз [thyrotoxicosis]	7,5	0,2	0,8	0,33	7,5
Na <sup>131</sup> I рак ЩЖ [thyroid cancer]	7,5	0,9	0,1	0,33	7,5

Оценка эффективной дозы облучения критических групп

Эффективные дозы критических групп – пассажиров, находящихся рядом с пациентом после РНТ с <sup>131</sup>I, были определены, исходя из мощности дозы от пациента за промежуток времени в пути согласно сценарию передвижения. При расчете считалось, что пассажир будет находиться на расстоянии 0,5 м от пациента в электропоезде/автобусе, самолете, высокоскоростном сидячем поезде или на расстоянии 1,5 м от пациента в поезде дальнего следования (вагоны купе/плацкарт).

Эффективные дозы от баков биотуалетов были определены для тех пассажиров, чьи места располагаются на самом близком расстоянии от бака биотуалета, содержащего <sup>131</sup>I. При этом считали, что пассажиры или члены экипажа на протяжении всего времени в пути находятся над баком биотуалета с отходами (резервуаром для сточной воды), который расположен в подвагонном пространстве

или под салоном самолета, на расстоянии 1 м, а технический персонал, опорожняющий баки биотуалетов, проводит не более 30 мин на расстоянии 0,5 м от отходов с <sup>131</sup>I.

Результаты исследования

Согласно экспериментальным данным из литературных источников, мощность эффективной дозы на расстоянии 1 м от пациентов (95-й перцентиль) с <sup>131</sup>I-МИБГ составляет 0,043 мкЗв·ч<sup>-1</sup>·МБк<sup>-1</sup>·м<sup>-2</sup> [13]; с Na<sup>131</sup>I при тиреотоксикозе – 0,049 мкЗв·ч<sup>-1</sup>·МБк<sup>-1</sup>·м<sup>-2</sup> [14]; с Na<sup>131</sup>I при раке ЩЖ – 0,046 мкЗв·ч<sup>-1</sup>·МБк<sup>-1</sup>·м<sup>-2</sup> [15].

Мощность дозы от пациента после введения РФЛП представлена в таблице 3. Также в таблице 3 приведено время до достижения существующего критерия выписки и смягченных критериев выписки (мощности дозы на расстоянии 1 м от пациента).

Эффективные дозы пассажиров от пациентов после РНТ с <sup>131</sup>I в транспорте, при условии выписки их по разным критериям, представлены в таблице 4.

Таблица 3

Мощность эффективной дозы (МЭД) от пациента после введения РФЛП на расстоянии 1 м, время ожидания в отделении ядерной медицины до выписки

[Table 3

Effective dose rate at 1 m from patient after radiopharmaceutical injection, time in nuclear medicine department before release]

РФЛП [Radio-pharmaceutical]	МЭД, мкЗв/ч [Effective dose rate, μSv/h]	Ориентировочное время ожидания в отделении, ч		
		НРБ-99/2009 [NRB-99/2009]	Чипига и др., 2023 [Chipiga et al., 2023] [5]	
			Взрослые, осуществляющие уход за пациентом [Carers]	Дети, беременные, контактирующие с пациентом [Children and pregnant women]
<sup>131</sup> I-МИБГ [ <sup>131</sup> I-mIBG]	325	152	3	48
Na <sup>131</sup> I тиреотоксикоз [thyrotoxicosis]	30	44	0	8
Na <sup>131</sup> I рак ЩЖ [thyroid cancer]	341	140	26	76

Таблица 4

Эффективные дозы пассажиров от пациента с <sup>131</sup>I

[Table 4

Passengers' effective doses from patient with <sup>131</sup>I]

Вид транспорта до места проживания [Transport type]	Эффективная доза, мЗв [Effective dose, μSv]		
	<sup>131</sup> I-МИБГ [ <sup>131</sup> I-mIBG]	Na <sup>131</sup> I тиреотоксикоз [thyrotoxicosis]	Na <sup>131</sup> I рак ЩЖ [thyroid cancer]
	НРБ-99/2009 [NRB-99/2009]		
Электропоезд/автобус [short-distance train, bus]	0,1	0,2	0,2
Поезд [long-distance train]	0,2	0,3	0,1
Самолет [plane]	0,4	0,5	0,4
Скоростной поезд [high-speed train]	0,3	0,3	0,3
Чипига Л.А. и др., 2023 [5] – взрослые, осуществляющие уход за пациентом [Chipiga L. et al., 2023 [5] – carers]			
Электропоезд /автобус [short-distance train, bus]	1,7	0,2	0,4
Поезд [long-distance train]	2,4	0,5	0,4
Самолет [plane]	4,7	0,7	1,2

Вид транспорта до места проживания [Transport type]	Эффективная доза, мЗв [Effective dose, $\mu\text{Sv}$ ]		
	$^{131}\text{I}$ -МИБГ [ $^{131}\text{I}$ -mIBG]	$\text{Na}^{131}\text{I}$ тиреотоксикоз [thyrotoxicosis]	$\text{Na}^{131}\text{I}$ рак ЩЖ [thyroid cancer]
Скоростной поезд [high-speed train]	<b>3,2</b>	0,4	0,8
Чипига Л.А. и др., 2023 [5] – дети, беременные, контактирующие с пациентом [Chipiga L. et al., 2023 [5] – children and pregnant women]			
Электропоезд / автобус [short-distance train, bus]	0,7	0,2	0,2
Поезд [long-distance train]	1,0	0,4	0,2
Самолет [plane]	<b>2,0</b>	0,6	0,6
Скоростной поезд [high-speed train]	<b>1,3</b>	0,4	0,5

Жирным выделены значения дозы более 1 мЗв [Bold underlines the dose values more than 1 mSv].

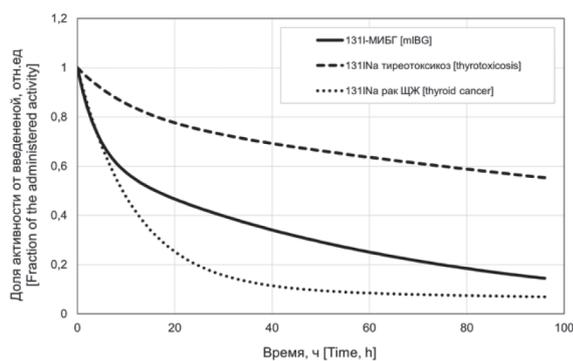
Динамика снижения содержания  $^{131}\text{I}$  в организме пациентов для различных РФЛП при разных заболеваниях, а также пример накопления  $^{131}\text{I}$  в баках биотуалета поезда в течение 48 ч поездки при выписке пациента при достижении 20 мкЗв/ч представлены на рисунке. Время достижения такой величины при проведении РНТ различаются от нескольких часов до нескольких дней при тиреотоксикозе (в зависимости от тяжести заболевания) до 5–7 сут при раке ЩЖ или нейроэндокринных опухолях.

Мощность эффективной дозы от бака биотуалета объемом 100 л на расстоянии 1 м равна  $0,021 \text{ мкЗв}\cdot\text{ч}^{-1}\cdot\text{МБк}^{-1}\cdot\text{м}^{-2}$ ; объемом 300 л –  $0,014 \text{ мкЗв}\cdot\text{ч}^{-1}\cdot\text{МБк}^{-1}\cdot\text{м}^{-2}$ . Накопленная за время в пути активность  $^{131}\text{I}$  в транспортных биотуалетах и соответствующие им оценки мощности дозы от баков приведены в таблице 5. Эффективные дозы облучения лиц из критических групп в транспорте (пассажиры и экипаж, технический персонал), находящиеся в непосредственной близости от баков биотуалетов с  $^{131}\text{I}$ , представлены в таблице 6.

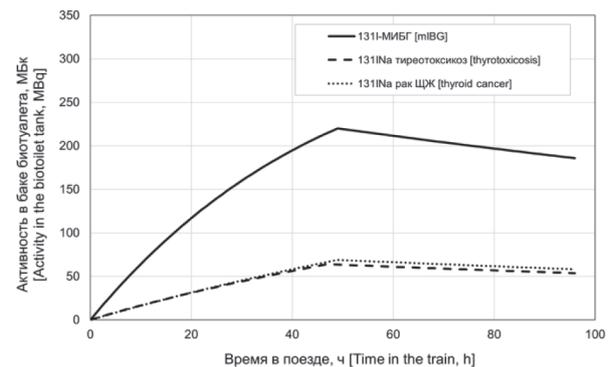
### Обсуждение

Расчеты, приведенные в таблице 4, демонстрируют, что смягчение критерия выписки может приводить к облучению пассажиров в транспорте от пациента с  $^{131}\text{I}$  выше установленного предела дозы для населения. Помимо этого, удельная активность в баках биотуалетов в транспорте, образующаяся после проезда пациента с введенным РФЛП, меченным  $^{131}\text{I}$ , превышает предельное значение отнесения жидких отходов к радиоактивным. Такие отходы могут быть обнаружены при радиационном контроле транспортного средства за счет высокой мощности дозы от баков (см. табл. 5).

Согласно ОСПОРБ-99/2010<sup>5</sup>, эффективная доза облучения населения, обусловленная РАО, не должна превышать 0,1 мЗв в год. Как видно из таблицы 6, смягчение критериев выписки пациентов может привести к увеличению активности  $^{131}\text{I}$ , выводимой с отходами пациентов, в транспорте и увеличению эффективной дозы облучения отдельных лиц от баков биотуалетов. Исходя из прове-



а



б

**Рис.** Динамика: а – содержания  $^{131}\text{I}$  в теле пациента после введения РФЛП, меченных  $^{131}\text{I}$ ; б – активности  $^{131}\text{I}$  в баках биотуалета поезда в течение 48 ч нахождения пациента спустя 1 ч после выписки из отделения РНТ при мощности дозы 20 мкЗв/ч [Fig. Dynamic: a – of the  $^{131}\text{I}$  activity in patient body; b – of  $^{131}\text{I}$  activity in the train biotilet tanks accumulated during 48-hour traveling of patient after 1 hour post release from hospital (20  $\mu\text{Sv/h}$ )]

<sup>5</sup> СП 2.6.1.2612-10 Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010) [Basic sanitary rules for radiation safety. Sanitary rules and regulations 2.6.1.2612-10 (In Russ.)].

Таблица 5  
[Table 5]  
Оценки выводимой активности в транспорте после РНТ и мощности эффективной дозы на расстоянии 1 м от бака биотуалета  
Estimated excreted activity from patient after radiopharmaceutical therapy in transport and effective dose rate from sewage tank at 1 m

РФЛП [Radio- pharmaceutical]	Вид транспорта до места проживания [Transport type]	НРБ-99/2009 [NRB-99/2009]			Чипига и др., 2023 [Chiriga L. et al., 2023] [5]					
		Выводимая активность в транспорте, МБк [Excreted activity in trans- port, MBq]	Удельная активность в баке биотуалета, Бк/г [Activity concen- tration in sewage tank, Bq/g]	МД, мкЗв/ч [Dose rate, μSv/h]	Выводимая активность в транспорте, МБк [Excreted activity in transport, MBq]	Удельная активность в баке биотуалета, Бк/г [Activity concen- tration in sewage tank, Bq/g]	МД, мкЗв/ч [Dose rate, μSv/h]	Выводимая активность в транспорте, МБк [Excreted activity in transport, MBq]	Удельная активность в баке биотуалета, Бк/г [Activity concen- tration in sewage tank, Bq/g]	
<sup>131</sup> I-МИБГ [ <sup>131</sup> I-mIBG]	Электропоезд / автобус [short-distance train, bus]	14	140	0,3	540	5400	11	67	674	1,4
	Поезд [long-distance train]	230	780	3,3	3400	11300	47	1200	3900	16
	Самолет [plane]	44	150	0,6	980	3300	14	220	730	3,1
Na <sup>131</sup> I тиреоидксикоз [thyrotoxicosis]	Высокоскоростной поезд [high-speed train]	27	89	0,4	920	3100	13	130	440	1,9
	Электропоезд/автобус [short-distance train, bus]	3,5	35	0,1	21	210	0,4	12	120	0,3
	Поезд [long-distance train]	71	235	1,0	190	630	2,7	130	440	1,9
Na <sup>131</sup> I рак ЩЖ [thyroid cancer]	Самолет [plane]	12	39	0,2	55	180	0,8	33	110	0,5
	Высокоскоростной поезд [high-speed train]	6,9	23	0,1	40	130	0,6	23	77	0,3
	Электропоезд/автобус [short-distance train, bus]	3	33	0,07	110	1100	2,3	6	56	0,1
Na <sup>131</sup> I рак ЩЖ [thyroid cancer]	Поезд [long-distance train]	74	250	1,0	760	2500	11	100	340	1,4
	Самолет [plane]	12	38	0,2	270	890	3,7	18	60	0,3
Высокоскоростной поезд [high-speed train]	Высокоскоростной поезд [high-speed train]	7	22	0,09	200	670	2,8	11	37	0,2

Предельное значение отнесения отходов к ЖРО для <sup>131</sup>I – 0,62 Бк/г<sup>6</sup> [Note: limit activity concentration in waste with <sup>131</sup>I – 0,62 Bq/g].

<sup>6</sup> Постановление Правительства Российской Федерации от 19 октября 2012 г. № 1069 [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.)]

Эффективные дозы облучения критических групп лиц от бака биотуалета за 1 поездку/рейс

Таблица 6

Effective doses for the critical groups from sewage tank per 1 trip]

[Table 6

Вид транспорта до места проживания [Transport type]	Эффективная доза, мкЗв [Effective dose, μSv]					
	<sup>131</sup> I-МИБГ [ <sup>131</sup> I-mIBG]		Na <sup>131</sup> I тиреотоксикоз [thyrotoxicosis]		Na <sup>131</sup> I рак ЩЖ [thyroid cancer]	
	Пассажиры/ экипаж [Passengers/ crew]	Технический персонал [Stuff]	Пассажиры/ экипаж [Passengers/ crew]	Технический персонал [Stuff]	Пассажиры/ экипаж [Passengers/ crew]	Технический персонал [Stuff]
НРБ-99/2009 [NRB-99/2009]						
Электропоезд/автобус [short-distance train, bus]	0,6	0,6	0,2	0,2	0,1	0,1
Поезд [long-distance train]	<b><i>144</i></b>	6,6	44	2,0	45	2,1
Самолет [plane]	4,3	1,2	1,1	0,3	1,1	0,3
Высокоскоростной поезд [high-speed train]	1,5	0,8	0,4	0,2	0,4	0,2
Чипига Л.А. и др., 2023 [5] – взрослые, осуществляющие уход за пациентом [Chipiga L. et al., 2023 [5] – carers]						
Электропоезд/автобус [short-distance train, bus]	23	23	0,9	0,9	4,6	4,6
Поезд [long-distance train]	<b><i>2 100</i></b>	95	<b><i>117</i></b>	5,3	<b><i>466</i></b>	21
Самолет [plane]	95	27	5,3	1,5	26	7,5
Высокоскоростной поезд [high-speed train]	51	26	2,2	1,1	11	5,6
Чипига Л.А. и др., 2023 [5] – дети, беременные, контактирующие с пациентом [Chipiga L. et al. 2023 [5] – children and pregnant women]						
Электропоезд/автобус [short-distance train, bus]	2,8	2,8	0,5	0,5	0,2	0,2
Поезд [long-distance train]	<b><i>716</i></b>	32	82	3,7	63	2,9
Самолет [plane]	21	6,2	3,2	0,9	1,7	0,5
Высокоскоростной поезд [high-speed train]	7,4	3,7	1,3	0,7	0,6	0,3

Жирным курсивом выделены значения доз более 0,1 мЗв<sup>5</sup>, жирным – более 1 мЗв [***Bold italic*** underlines the dose values more than 0,1 mSv, **bold** – more than 1 mSv].

денных в работе оценок дозы облучения отдельных лиц из населения от биологических отходов пациентов в транспорте могут быть выше 1 мЗв, и дополнительная доза может быть получена от контакта с самим пациентом.

Смягчение критериев выписки приведет к увеличению числа пациентов, выписанных после РНТ с <sup>131</sup>I и использующих транспорт для проезда к месту проживания, и неконтролируемо образующимся РАО с <sup>131</sup>I в транспорте. Это может приводить к более частому возникновению нештатных (аварийных) ситуаций при пересечении пациентами контрольных пунктов, оборудованных системами радиационного контроля, фиксирующими повышенные уровни ионизирующего излучения. Как показано в работе [19], выявление пациентов после РНТ с <sup>131</sup>I занимает 3-е место среди причин возникновения радиационных аварий. Это необходимо учитывать при выписке иногородних пациентов.

Таким образом, встает вопрос о применимости смягченных радиологических критериев выписки пациентов после РНТ для иногородних пациентов, которым необ-

ходимо добираться до места жительства на общественном транспорте. Одним из решений этого вопроса может быть введение ограничения по времени передвижения пациента в общественном транспорте и/или расстоянию между пациентом и пассажиром (по виду транспорта). Однако такое решение является затруднительным с точки зрения контроля.

Другой проблемой является образование ЖРО от пациентов в общественном транспорте. Для предотвращения возможности образования ЖРО и переоблучения окружающих лиц могут быть использованы следующие решения:

– использование собственного автомобиля или спецтранспорта МО для доставки пациента до места проживания, при этом водитель должен быть отнесен к персоналу группы А или Б в зависимости от условий работы. Однако при РНТ с <sup>131</sup>I такое решение не является в полной мере реалистичным. Перевозка пациента после РНТ спецтранспортом ограничена временем и расстоянием между МО и местом проживания пациента;

– перевод пациента из отделения РНТ в обычную палату после удовлетворения критерию выписки по мощности дозы (см. табл. 1) на время, пока удельная активность  $^{131}\text{I}$  в отходах пациента в транспорте не станет ниже предельного значения отнесения их к ЖРО. При этом срок госпитализации для снижения активности в отходах пациентов после РНТ с  $^{131}\text{I}$ , согласно оценкам, может достигать месяцев, что существенно увеличит затраты МО и доступность такого лечения. Кроме того, по действующему законодательству РНТ с РФЛП на основе  $^{131}\text{I}$  не может проводиться без спецканализации, что ставит под сомнение возможность снижения удельной активности  $^{131}\text{I}$  за счет объема системы водоотведения после выписки пациента из отделения РНТ и перевода в стационар и требует дополнительных оценок.

Поэтому целесообразно применять дифференцированный подход и выделить иногородних пациентов в отдельную категорию с сохранением для них более строгих критериев выписки (НРБ-99/2009). При этом в справках при выписке пациентов целесообразно указывать расчетные мощности дозы на расстоянии 1 м от пациента в различные временные точки после его выписки для предотвращения вопросов при радиационном контроле в транспорте и объектах транспортной инфраструктуры.

Дополнительным решением рассмотренных проблем может быть и значительное расширение сети отделений (центров) РНТ регионального уровня, исключающих использование объектов транспорта после получения медицинской помощи иногородними пациентами в крупных федеральных центрах.

### Заключение

В работе представлены расчеты потенциального радиационного воздействия на пассажиров от пациентов с  $^{131}\text{I}$  и образующихся отходов в транспорте для условий выписки по существующим критериям и возможным смягченным критериям. Полученные результаты продемонстрировали оптимальность установленных в НРБ-99/2009 критериев выписки с точки зрения радиационной безопасности окружающих лиц из населения. Попытки смягчить критерии выписки с целью увеличения числа (потока) пациентов, получающих РНТ с  $^{131}\text{I}$ , могут привести к избыточному облучению окружающих лиц и неконтролируемо образующимся в транспорте РАО с  $^{131}\text{I}$ . Использование смягченных критериев выписки пациентов с  $^{131}\text{I}$ -МИБГ возможно только для пациентов, проживающих в том же населенном пункте.

### Ограничения работы

Приведенные в работе оценки выведения РФЛП являются довольно грубыми и могут отличаться для индивидуальных пациентов, что связано с физиологическими различиями. Представленные значения эффективных доз облучения пассажиров и экипажа определены для условий постоянного пребывания рядом с баком биотуалета с максимальной выведенной активностью за весь промежуток времени в пути (учитывая радиоактивный распад  $^{131}\text{I}$  в баке) и не учитывают постепенное накопление активности радионуклида в баке биотуалета. Помимо этого, при оценке выписки пациентов после РНТ использованы консервативные оценки мощности дозы от пациентов, однако мощность дозы от некоторых пациентов

может снизиться до критерия выписки раньше, что сократит срок его пребывания в медицинской организации. Эти факторы вносят дополнительную неопределенность в оценки активностей  $^{131}\text{I}$  и доз, представленных в результате работы. Все значения в работе рассчитаны при условии передвижения одного пациента после РНТ с  $^{131}\text{I}$ . Расчет удельных активностей в баках биотуалетов учитывает полное заполнение бака, однако меньший объем жидкости в баке повысит значения удельной активности.

### Сведения о личном вкладе авторов в работу над статьей

Петрякова А.В. – поиск и анализ литературы, проведение расчетов, обработка и анализ полученных результатов, написание текста, перевод.

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

Звонова И.А. – поиск и анализ литературы, проведение расчетов, анализ и интерпретация результатов, редактирование текста.

Водоватов А.В. – анализ и интерпретация результатов, обсуждение результатов исследования, редактирование текста статьи.

Горский Г.А. – анализ и интерпретация результатов, обсуждение результатов исследования, редактирование текста статьи.

Станжевский А.А. – поиск и анализ литературы, обсуждение результатов исследования, редактирование текста статьи.

### 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. Evaluation of Medical Exposure to Ionizing Radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR) 2020/2021 Report Volume I. Annex A.
2. Звонова И.А., Лихтарев И.А., Николаева А.А. Облучение щитовидной железы, сопровождающее радиойодное обследование пациентов с тиреоидными заболеваниями // Медицинская радиология. 1984. Т. 4. С. 42-44.
3. Carrasquillo J.A., Chen C.C. Neuroendocrine Tumors: Therapy with  $^{131}\text{I}$ -MIBG. In: Strauss H., Mariani G., Volterrani D., Larson S. (eds). Nuclear Oncology. Springer, Cham. 2016. P. 1-38. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-26067-9\\_26-1](https://doi.org/10.1007/978-3-319-26067-9_26-1).
4. Чипига Л.А., Ладанова Е.Р., Водоватов А.В. и др. Тенденции развития ядерной медицины в Российской Федерации за 2015–2020 гг. // Радиационная гигиена. 2022. Т. 15, № 4. С. 122-133. DOI: 10.21514/1998-426X-2022-15-4-122-133.
5. Чипига Л.А., Звонова И.А., Водоватов А.В. и др. Совершенствование подхода к определению радиологических критериев выписки пациентов после радионуклидной терапии // Радиационная гигиена. 2023. Т. 16, № 2. С. 19-31. <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2023-16-2-19-31>.
6. Балонов М.И., Голиков В.Ю., Звонова И.А. Радиологические критерии выписки пациента из клини-

- ки после радионуклидной терапии или брахитерапии с имплантацией закрытых источников // Радиационная гигиена. 2009. Т. 2, № 4. С. 5-9.
7. Zvonova I., Balonov M., Golikov V. Release criteria for patients having undergone radionuclide therapy and criteria for their crossing the state border of the Russian Federation // Radiation Protection Dosimetry. 2011. Vol. 147, № 1-2. P. 254-257. doi: 10.1093/rpd/ncr308.
  8. International Atomic Energy Agency, Release of Patients After Radionuclide Therapy, Safety Reports Series No. 63. IAEA: Vienna, 2009.
  9. International Atomic Energy Agency. Radiation protection and safety of radiation sources: international basic safety standards. Interim edition. Safety Standards Series No. GSR Part 3 (interim). IAEA: Vienna, 2011.
  10. International Commission on Radiological Protection. Release of patients after therapy with unsealed radionuclides. ICRP Publication 94 // Annual ICRP. 2004. Vol. 34, No 2.
  11. Jacobsson L., Mattsson S., Johansson L. et al. Biokinetics and dosimetry of <sup>131</sup>I-metaiodobenzylguanidine (MIBG). Proc. Fourth Int. Radiopharmaceutical Dosimetry Symposium. Oak Ridge 1985, Oak Ridge Assoc. Universities CONF-851113, Oak Ridge National Laboratories, Oak Ridge, Tennessee. 1986. P. 389-398.
  12. Радионуклидная диагностика для практических врачей / Под ред. Ю.Б. Лишманова, В.И. Чернова. Томск: STT, 2004. С. 317-319.
  13. Willegaignon J., Crema K.P., Oliveira N.C. et al. Pediatric <sup>131</sup>I-MIBG Therapy for Neuroblastoma: Whole-Body <sup>131</sup>I-MIBG Clearance, Radiation Doses to Patients, Family Caregivers, Medical Staff, and Radiation Safety Measures // Clinical Nuclear Medicine. 2018. Vol. 43, No 8. P. 572-578. doi: 10.1097/RLU.0000000000002158.
  14. O'Doherty M.J., Kettle A.G., Eustance C.N. et al. Radiation dose rates from adult patients receiving <sup>131</sup>I therapy for thyrotoxicosis // Nuclear Medicine Community. 1993. Vol. 14, No 3. P. 160-8. doi: 10.1097/00006231-199303000-00003.
  15. Barrington S.F., Kettle A.G., O'Doherty M.J. et al. Radiation dose rates from patients receiving iodine-131 therapy for carcinoma of the thyroid // European Journal of Nuclear Medicine. 1996. No 23. P. 123-130 doi: 10.1007/BF01731834.
  16. International Commission on Radiological Protection. Conversion Coefficients for Radiological Protection Quantities for External Radiation Exposures. ICRP Publication 116 // Annual ICRP. 2010. Vol. 40, No 2-5.
  17. ICRP. Radiation Dose to Patients from Radiopharmaceuticals. ICRP Publication 53 // Annals of the ICRP. 1988. Vol. 18, No 1-4.
  18. 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. С. 19-30. <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2022-15-2-19-30>.
  19. Громов А.В., Ахматдинов Р.Р., Библин А.М., Тутельян О.Е. Сравнительный анализ информации о радиационных авариях в Российской Федерации в 2010–2022 гг. // Радиационная гигиена. 2023. Т. 16, №4. С. 122-133. <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2023-16-4-122-133>.

Поступила: 10.04.2024 г.

**Петрякова Анастасия Валерьевна** – младший 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; инженер по радиационной безопасности, Городская больница №40 Курортного района. **Адрес для переписки:** 197101, Россия, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8; E-mail: nastya.petryakova@gmail.com

ORCID 0000-0003-2663-9091

**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, Санкт-Петербург, Россия

ORCID 0000-0001-9153-3061

**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

ORCID 0000-0003-4340-8666

**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

ORCID 0000-0002-5191-7535

**Горский Григорий Анатольевич** – кандидат медицинских наук, заместитель директора по инновационной работе 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 гигиены условий воспитания, обучения, труда и радиационной гигиены Северо-Западного государственного медицинского университета им. И.И. Мечникова Министерства здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург, Россия

ORCID 0000-0001-7310-9718

**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  
ORCID 0000-0002-1630-0564

Для цитирования: Петрякова А.В., Чипига Л.А., Звонова И.А., Водоватов А.В., Горский Г.А., Станжевский А.А. Проблемы радиационной безопасности при передвижении в общественном транспорте пациента после радионуклидной терапии с  $^{131}\text{I}$  // Радиационная гигиена. 2024. Т. 17, № 2. С. 97–108. DOI: 10.21514/1998-426X-2024-17-2-97-108

## Radiation safety problems during the patient traveling by public transport after radiopharmaceutical therapy with $^{131}\text{I}$

Anastasia V. Petryakova<sup>1,2</sup>, Larisa A. Chipiga<sup>1,3,4</sup>, Irina A. Zvonova<sup>1</sup>, Aleksandr V. Vodovatov<sup>1,5</sup>, Grigory A. Gorsky<sup>1,6</sup>,  
Andrey A. Stanzhevsky<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing, Saint-Petersburg, Russia

<sup>2</sup> The City Hospital No 40 of the Kurortny District, Saint-Petersburg, Russia

<sup>3</sup> A. Granov Russian Scientific Center of Radiology and Surgical Technologies of the Ministry of Health of the Russian Federation, Saint-Petersburg, Russia

<sup>4</sup> Almazov National Medical Research Centre of the Ministry of Health of the Russian Federation, Saint-Petersburg, Russia

<sup>5</sup> Saint-Petersburg State Pediatric Medical University, Saint-Petersburg, Russia

<sup>6</sup> I. Mechnikov North Western State Medical University, Saint-Petersburg, Russia

*Radiopharmaceutical therapy with  $^{131}\text{I}$  has been one of the most common types of radiopharmaceutical therapy for many years. Radiation safety of the public is ensured by limiting the patient contacts until the radiological parameters are reduced to the established criteria. To increase the availability of the radiopharmaceutical therapy with  $^{131}\text{I}$ , softer patient release criteria for  $^{131}\text{I}$  have been proposed. However, early patient release may increase exposure to the public, e.g. in transport. The aim of the work is to evaluate the radiation exposure from patients with  $^{131}\text{I}$ -MIBG and  $\text{Na}^{131}\text{I}$  on the public in transport considering the generation of biological waste. In this work,  $^{131}\text{I}$  excretion from the body of patients in transport was evaluated for different scenarios of patient travel to the place of residence. As a result, it was found that mitigation of patient release criteria leads to an increase in the effective dose to the public in transport and an increase in the  $^{131}\text{I}$  activity excreted with patient waste. The specific activity in the tanks of biotoilets in transport, generated after the passage of a patient with injected  $^{131}\text{I}$ -labeled radiopharmaceuticals, exceeds the limit value of classifying liquid waste as radioactive. To optimize radiation protection of the public, it is advisable to apply a differentiated approach to release patients after therapy with  $^{131}\text{I}$ : to group non-resident patients into a separate category retaining for them the established release criterion (without mitigation) to minimize the radiation impact on the public.*

**Key words:** nuclear medicine, radiopharmaceutical therapy, liquid radioactive waste, radiation safety,  $^{131}\text{I}$ -mIBG,  $\text{Na}^{131}\text{I}$ .

### Limitations of the work

The radiopharmaceutical excretion estimates presented in the work are rather rough and may differ for individual patients due to physiological differences. The presented values of effective doses to passengers and crew are determined for con-

ditions of constant stay near the biotoilet tank with maximum excreted activity for the entire travel time (considering the radioactive decay of  $^{131}\text{I}$  in the tank) and do not consider the gradual accumulation of radionuclide activity in the bio-toilet tank. In addition, conservative estimates of the dose rate from

**Anastasia V. Petryakova**

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

**Address for correspondence:** Mira Str., 8, Saint-Petersburg, 197101, Russia; E-mail: nastya.petryakova@gmail.com

patients are used in the assessment of patient release after radiopharmaceutical therapy; however, the dose rate from some patients may decrease to the discharge criterion earlier, thus shortening their time in the hospital. All values in the work are calculated assuming a single patient traveling after radiopharmaceutical therapy with <sup>131</sup>I. The calculation of specific activities in biotilet tanks considers the full filling of the tank.

#### Authors contribution

Petryakova A.V. – search and analysis of literature, calculations, processing and analysis of results, translation.

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

Zvonova I.A. – search and analysis of literature, calculations, analysis and interpretation of the results, editing the text of the article.

Vodovатов A.V. – analysis and interpretation of the results, discussion of the results.

Gorsky G.A. – analysis and interpretation of the results, discussion of the results.

Stanzhevsky A.A. – search and analysis of literature, discussion of the results.

#### Conflicts of interest

The authors have no conflicts of interest to disclose.

#### Sources 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. Evaluation of Medical Exposure to Ionizing Radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR) 2020/2021 Report Volume I. Annex A.
2. Zvonova IA, Likhtarev IA, Nikolaeva AA. Thyroid irradiation accompanying radioiodine examination of patients with thyroid diseases. *Meditsinskaya Radiologiya = Medical radiology*. 1984;4:42-44. (In Russian).
3. Carrasquillo JA, Chen CC. Neuroendocrine Tumors: Therapy with <sup>131</sup>I-MIBG. In: Strauss H, Mariani G, Volterrani D, Larson S. (eds). *Nuclear Oncology*. Springer: Cham; 2016. P. 1-38. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-26067-9\\_26-1](https://doi.org/10.1007/978-3-319-26067-9_26-1).
4. Chipiga LA, Ladanova ER, Vodovатов AV, Zvonova IA, Mosunov AA, Naurzbaeva LT, et al. Trends in the development of nuclear medicine in the Russian Federation for 2015–2020. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2022;15(4): 122-133. (In Russian) <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2022-15-4-122-133>.
5. Chipiga LA, Zvonova IA, Vodovатов AV, Petryakova AV, Stanzhevsky AA, Vazhenina DA, et al. Improvement of the approach to definition of patient release criteria after radionuclide therapy. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2023;16(2): 19-31. (In Russian).
6. Balonov MI, Golikov VYu, Zvonova IA. Radiological criteria for patient release from clinic after radionuclide therapy of brachytherapy with sealed source implantation. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2009;2(4): 5-9. (In Russian).
7. Zvonova I, Balonov M, Golikov V. Release criteria for patients undergone radionuclide therapy and criteria for their crossing the state border of the Russian Federation. *Radiation Protection Dosimetry*. 2011;147(1-2): 254-257. doi: 10.1093/rpd/ncr308.
8. International Atomic Energy Agency, Release of Patients After Radionuclide Therapy, Safety Reports Series No. 63. IAEA, Vienna; 2009.
9. International Atomic Energy Agency. Radiation protection and safety of radiation sources: international basic safety standards. Interim edition. Safety Standards Series No. GSR Part 3 (interim). IAEA, Vienna; 2011.
10. International Commission on Radiological Protection. Release of patients after therapy with unsealed radionuclides. ICRP Publication 94. *Annual ICRP*. 2004;34(2).
11. Jacobsson L, Mattsson S, Johansson L, Lindberg S, Fjglling M. Biokinetics and dosimetry of <sup>3</sup>I-metaiodobenzylguanidine (MIBG). Proc. Fourth Int. Radiopharmaceutical Dosimetry Symposium. Oak Ridge 1985, Oak Ridge Assoc. Universities CONF-851113, Oak Ridge National Laboratories. Oak Ridge, Tennessee; 1986. P. 389-398.
12. Lishmanova YuB, Chernov VI (Eds.) Radionuclide diagnostics for practitioners. Tomsk: STT; 2004. P. 317-319. (In Russian).
13. Willegaignon J, Crema KP, Oliveira NC, Pelissoni RA, Coura-Filho GB, Sapienza MT, et al. Pediatric <sup>131</sup>I-MIBG Therapy for Neuroblastoma: Whole-Body <sup>131</sup>I-MIBG Clearance, Radiation Doses to Patients, Family Caregivers, Medical Staff, and Radiation Safety Measures. *Clinical Nuclear Medicine*. 2018;43(8): 572-578. doi: 10.1097/RLU.0000000000002158.
14. O'Doherty MJ, Kettle AG, Eustance CN, Mountford PJ, Coakley AJ. Radiation dose rates from adult patients receiving <sup>131</sup>I therapy for thyrotoxicosis. *Nuclear Medicine Community*. 1993;14(3): 160-8. doi: 10.1097/00006231-199303000-00003.
15. Barrington SF, Kettle AG, O'Doherty MJ, Wells CP, Somer EJR, Coakley AJ. Radiation dose rates from patients receiving iodine-131 therapy for carcinoma of the thyroid. *European Journal of Nuclear Medicine*. 1996;23: 123–130 doi: 10.1007/BF01731834.
16. International Commission on Radiological Protection. Conversion Coefficients for Radiological Protection Quantities for External Radiation Exposures. ICRP Publication 116. *Annual ICRP*. 2010;40(2-5).
17. ICRP. Radiation Dose to Patients from Radiopharmaceuticals. ICRP Publication 53. *Annals of the ICRP*. 1988;18(1-4).
18. Chipiga LA, Vodovатов 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(2): 19-30. (In Russian) <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2022-15-2-19-30>.
19. Gromov AV, Akhmatdinov RR, Biblin AM, Tutelyan OE. Comparative analysis of information on radiation accidents in the Russian Federation in 2010–2022. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2023;16(4): 122-133. (In Russian) <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2023-16-4-122-133>.

Received: April 10, 2024

**For correspondence: Anastasia V. Petryakova** – junior researcher, Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing;

radiation safety engineer, Saint-Petersburg City Hospital No. 40 of the Kurortny District (Mira Str., 8, Saint-Petersburg, 197101, Russia; E-mail: nastya.petryakova@gmail.com)

ORCID 0000-0003-2663-9091

**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 Wellbeing; 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, Saint-Petersburg, Russia

ORCID 0000-0001-9153-3061

**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 Wellbeing, Saint-Petersburg, Russia

ORCID 0000-0003-4340-8666

**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 Wellbeing; docent, Saint-Petersburg State Pediatric Medical University, Saint-Petersburg, Russia

ORCID 0000-0002-5191-7535

**Grigory A. Gorsky** – Ph.D., Deputy Director of the Innovation work, Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing; docent I. Mechnikov North Western State Medical University, Saint-Petersburg, Russia

ORCID 0000-0001-7310-9718

**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

ORCID 0000-0002-1630-0564

**For citation: Petryakova A.V., Chipiga L.A., Zvonova I.A., Vodovatov A.V., Gorsky G.A., Stanzhevsky A.A. Radiation safety problems during the patient traveling by public transport after radiopharmaceutical therapy with <sup>131</sup>I. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2024. Vol. 17, No. 2. P. 97–108. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2024-17-2-97-108**