

Облучение населения Оренбургской области природными источниками ионизирующего излучения

Часть 1:

Результаты комплексного радиационного обследования населенных пунктов восточных районов Оренбургской области

Т.А. Кормановская¹, И.К. Романович¹, Н.Е. Вяльцина², С.В. Гаевой², Л.В. Бондарь³,
Д.В. Кононенко¹, К.А. Сапрыкин¹, Е.С. Кокоулина¹, Т.А. Балабина¹, Н.А. Королева¹

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 Управление Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Оренбургской области, Оренбург, Россия

³ Центр гигиены и эпидемиологии в Оренбургской области, Оренбург, Россия

В статье приведены результаты комплексного радиационного обследования, проведенного в 2019 г. в 6 районах восточной части Оренбургской области в 37 населенных пунктах, в которых ранее были выявлены повышенные уровни содержания природных радионуклидов в воде подземных источников питьевого водоснабжения. Обследование включало в себя определение уровней содержания радона в зданиях жилого и общественного назначения, а также измерение мощности амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения в зданиях и на открытой местности на территории населенных пунктов. В ходе обследования в воздухе отдельных помещений жилых домов в 23 населенных пунктах и общественных зданий в 25 населенных пунктах были получены значения среднегодовой эквивалентной равновесной объемной активности изотопов радона, превышающие гигиенический норматив для эксплуатируемых зданий 200 Бк/м³. Максимальные оценки среднегодовой эквивалентной равновесной объемной активности изотопов радона, полученные для отдельных жилых домов п. Нововинницкое, с. Брацлавка, с. Аниховка Адамовского района, составили 1242, 987 и 942 Бк/м³ соответственно; в общественных зданиях аналогичные показатели составили: в с. Кваркено – 2291 Бк/м³, в с. Карабутак – 1114 Бк/м³, в с. Нововинницкое – 923 Бк/м³. Ни в одном из обследованных населенных пунктов не было выявлено превышений установленных нормативов по величине мощности амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения на открытой местности и в помещениях зданий. Результаты комплексного радиационного обследования показали, что основная причина высоких уровней содержания радона в воздухе помещений жилых и общественных зданий в населенных пунктах восточных районов Оренбургской области не связана с использованием воды подземных источников водоснабжения с повышенными уровнями содержания природных радионуклидов.

Ключевые слова: природные источники ионизирующего излучения, природные радионуклиды, радон, дочерние продукты распада, экспрессные измерения, интегральные измерения, трековые детекторы, подземные источники водоснабжения, питьевая вода, мощность амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения, Оренбургская область.

Введение

Выявление с 2014 г. в воде подземных источников водоснабжения ряда населенных пунктов восточных районов Оренбургской области (подземные воды для данной территории являются единственным источником обеспечения населения питьевой водой) повышенных уровней

содержания природных радионуклидов (ПРН) послужило основанием для планирования и проведения комплексного радиационного обследования и гигиенической оценки уровней облучения жителей данных населенных пунктов природными источниками ионизирующего излучения (ПИИИ) с целью определения значимости вклада

Кормановская Татьяна Анатольевна

Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева
Адрес для переписки: 197101, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8; E-mail: f4dos@mail.ru

облучения за счет потребления питьевой воды в суммарную дозу природного облучения населения. Комплексное радиационное обследование было выполнено в 2019 г. в районах восточного Оренбуржья (Адамовский, Кваркенский, Новоорский, Домбаровский, Светлинский и Ясенский городской округ (ГО)) специалистами ФБУН НИИРГ им. П.В. Рамзаева совместно с Управлением Роспотребнадзора по Оренбургской области и ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Оренбургской области» в рамках Государственного контракта.

При проведении обследования, кроме исследований питьевой воды, ход и результаты которых подробно изложены в [1], для оценки доз внешнего облучения и внутреннего облучения за счет ингаляции радона населения данной территории были выполнены измерения мощности амбиентного эквивалента дозы (МАЭД) гамма-излучения на открытой местности населенных пунктов, а также измерения МАЭД гамма-излучения и уровней содержания радона в воздухе помещений жилых и общественных зданий в населенных пунктах, где ранее выявлялись повышенные значения содержания ПРН в воде подземных источников.

В 1954–1955 гг. в целях увеличения сельскохозяйственного производства СССР было начато освоение целинных и залежных земель в Адамовском, Новоорском, Кваркенском и других восточных районах Оренбургской (в 1938–1957 гг. – Чкаловской) области [2]. Интенсивное строительство жилых и общественных зданий для целинников в середине XX в. во многом определяет облик сельских населенных пунктов восточного Оренбуржья и по сей день: наиболее распространенным типом жилых зданий там являются одноэтажные саманные или шлакобетонные дома на 1–2 семьи, установленные на ленточном фундаменте. Зачастую в аналогично построенных зданиях (рис.) располагаются детские и общественные учреждения, администрации поселков и фельдшерско-акушерские пункты (ФАП).



Рис. Типичное по строительным характеристикам здание в сельском населенном пункте восточной части Оренбургской области (авторская фотография)

[Fig. A typical building in terms of construction characteristics in a rural settlement in the eastern part of the Orenburg region (author's picture)]

Отличительной чертой таких зданий является, как правило, отсутствие подвалов; часть жителей оборудуют под жилыми домами подпольное пространство для хранения продуктов, не заботясь при этом ни о вентилировании подпола, ни о герметизации его пола и стен. Таким образом, создаются наиболее благоприятные условия для проникновения в жилые помещения почвенных газов, выходящих из грунта под зданием.

Фактор внешнего облучения населения за счет пребывания в зданиях подобного типа также не был изучен в достаточной мере, так как при их строительстве в середине XX в. не проводилось ни контроля используемых строительных материалов в части содержания радионуклидов, ни радиационного обследования при приемке зданий в эксплуатацию.

Необходимо отметить, что на момент выполнения комплексного радиационного обследования в населенных пунктах ряда восточных районов Оренбуржья достаточным объемом достоверных данных для определения и классификации уровней облучения населения этой части региона за счет ПИИИ специалисты Роспотребнадзора не располагали.

Цель исследования – определение показателей природного облучения населения восточных районов Оренбургской области.

Для достижения цели необходимо было решить следующие задачи:

- выполнить радиационное обследование на открытой местности на территории населенных пунктов, в помещениях жилых и общественных зданий;
- провести оценку значимости вклада радона, поступающего в воздух помещений из воды подземных источников водоснабжения с повышенным содержанием ПРН, в ингаляционное облучение населения за счет радона.

Виды, объем и методы исследований

В рамках выполнения комплексного радиационного обследования жилых и общественных зданий в населенных пунктах Адамовского, Кваркенского, Новоорского, Домбаровского, Светлинского районов и Ясенского ГО в 2019 г. специалистами ФБУН НИИРГ им. П.В. Рамзаева совместно с Управлением Роспотребнадзора по Оренбургской области и ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Оренбургской области» было проведено:

1) 183 измерения МАЭД гамма-излучения (средства измерений – измерители-сигнализаторы поисковые ИСП-РМ1704А) на открытой местности и 1226 измерений МАЭД гамма-излучения в 322 зданиях жилого и общественного назначения (в том числе 793 измерения в 117 зданиях общественного назначения и 433 измерения – в 205 жилых домах) в 35 населенных пунктах;

2) определение уровней содержания радона в 435 зданиях (в 121 здании общественного назначения и в 314 жилых домах) в 37 населенных пунктах, в том числе:

- 1226 измерений эквивалентной равновесной объемной активности (ЭРОА) изотопов радона в воздухе помещений жилых и общественных зданий, в том числе 793 измерения в зданиях общественного назначения и 433 измерения – в жилых домах (средства измерений – комплек-

сы измерительные для мониторинга радона, торона и их дочерних продуктов «Альфарад плюс», модификации «А» и «АР»);

– 596 измерений объемной активности (ОА) радона в воздухе жилых и общественных зданий (из 600 расставленных трековых радиометров 4 были утрачены), в том числе 325 измерений в зданиях общественного назначения и 271 измерение – в жилых домах (средство измерений – комплект аппаратуры для измерения средней объемной активности радона в воздухе трековым методом ТРЕК-РЭИ-1М).

Выбор населенных пунктов для проведения комплексного радиационного обследования был обоснован полу-

ченными ранее данными о повышенном содержании ПРН в питьевой воде подземных источников водоснабжения населения [1].

При проведении исследований уровней содержания радона в воздухе помещений жилых и общественных зданий был использован как мгновенный (экспрессный) метод определения ЭРОА изотопов радона в воздухе, так и интегральный метод определения ОА радона в воздухе помещений с использованием интегральных трековых радиометров радона (ИТТР). Данные о количестве измерений, проведенных обоими методами в каждом из обследованных населенных пунктов, приведены в таблице 1. Измерения содержания радона в воздухе помещений жилых и общественных

Таблица 1

Количество измерений содержания радона в воздухе помещений, выполненных в рамках обследования

[Table 1

Number of indoor radon concentration and EEC measurements taken as part of the survey]

Населенный пункт [Settlement]	Общественные здания [Public buildings]		Жилые здания [Dwellings]	
	Экспрессные измерения [Instant measurements]	Интегральные измерения [Long-term measurements]	Экспрессные измерения [Instant measurements]	Интегральные измерения [Long-term measurements]
Адамовский район [Adamovsky district]				
п. Адамовка [Adamovka]	37	—	—	—
с. Андреевка [Andreevka]	13	6	10	4
с. Аниховка [Anikhovka]	38	12	21	8
п. Белополье [Belopol'e]	14	6	16	4
с. Брацлавка [Bratslavka]	29	6	20	4
п. Джарлинский [Dzharlinskiy]	19	13	13	8
с. Джасай [Dzhasay]	16	7	12	2
п. Жуламансай [Zhulamansay]	10	8	10	8
с. Карабутак [Karabutak]	8	8	9	8
п. Мещеряковский [Meshcheryakovskiy]	9	7	8	4
с. Нижняя Кийма [Nizhnyaya Kiyma]	14	7	13	7
п. Нововинницкое [Novovinnitskoe]	8	—	14	—
п. Теренсай [Terensay]	40	12	24	8
п. Энбекши [Enbekshi]	8	8	8	8
Итого по району [Total]	263	100	178	73
	363		251	
Домбаровский район [Dombarovsky district]				
п. Домбаровский [Dombarovskiy]	125	18	24	—
с. Караганда [Karaganda]	7	—	10	—
Итого по району [Total]	132	18	34	—
	150		34	
Кваркенский район [Kvarkensky district]				
п. Айдырлинский [Aydylinskiy]	14	13	8	8
с. Аландское [Alandskoe]	28	16	12	6
с. Бриент [Brient]	12	8	14	16
с. Екатериновка [Ekaterinovka]	17	16	6	20
с. Зеленодольск [Zelenodol'sk]	10	8	10	8
с. Кваркено [Kvarkeno]	44	22	34	16

Населенный пункт [Settlement]	Общественные здания [Public buildings]		Жилые здания [Dwellings]	
	Экспрессные измерения [Instant measure-ments]	Интегральные измерения [Long-term measure-ments]	Экспрессные измерения [Instant measure-ments]	Интегральные измерения [Long-term measure-ments]
п. Кировск [Kirovsk]	24	18	8	12
п. Красноярский [Krasnoyarskiy]	44	24	28	10
с. Новооренбург [Novoorenburg]	20	14	2	4
с. Приморск [Primorsk]	16	10	8	6
с. Таналык [Tanalyk]	—	—	—	2
Итого по району [Total]	229	149	130	108
	378		238	
Новоорский район [Novoorsky district]				
с. Караганка [Karaganka]	39	16	8	—
п. Новоорск [Novoorsk]	—	12	—	66
с. Тасбулак [Tasbulak]	12	—	8	—
Итого по району [Total]	51	28	16	66
	79		82	
Светлинский район [Svetlinsky district]				
п. Актюбинский [Akt'yubinskiy]	17	8	11	—
п. Восточный [Vostochnyy]	22	6	6	8
Итого по району [Total]	39	14	17	8
	53		25	
Ясненский ГО [Yasnensky urban okrug]				
с. Верхний Киембай [Verkhniy Kiembay]	—	—	2	—
с. Еленовка [Elenovka]	24	—	16	—
п. Комарово [Komarovo]	22	8	14	8
с. Котансу [Kotansu]	—	—	12	—
п. Новосельский [Novosel'skiy]	33	8	14	8
Итого по району [Total]	79	16	58	16
	95		74	

зданий проводились в весенние и осенние месяцы, когда температурный режим обеспечивал отсутствие повышенного воздухообмена в помещениях, характерного для летнего сезона в сельских населенных пунктах Оренбургской области. Комплексное радиационное обследование проводилось в зданиях разной этажности, построенных с применением различных строительных материалов (кирпич, шлакоблоки, пеноблоки, дерево, саман и др.), как с наличием, так и с отсутствием подвала.

Статистический анализ результатов измерений содержания радона в воздухе помещений был проведен

для каждого из обследованных районов и 2 типов зданий (общественные и жилые) в соответствии с подходом, описанным в работе [3] и усовершенствованным в работе [4], и включал в себя следующий комплекс процедур:

– анализ характера распределений значений ОА радона и натурального логарифма ОА радона и степени их соответствия логнормальному и нормальному законам соответственно, включая анализ на наличие выбросов (верхних экстремальных значений); для этого измеренные значения ЭРОА радона были пересчитаны в ОА радона с использованием коэффициента радиоактивного равновесия между радонами и

¹ Радиационный контроль и санитарно-эпидемиологическая оценка жилых, общественных и производственных зданий и сооружений после окончания их строительства, капитального ремонта, реконструкции по показателям радиационной безопасности: Методические указания МУ 2.6.1.2838-11. Утверждены Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации 28.01.2011 г. (далее – МУ 2.6.1.2838-11). [Radiation control and sanitary and epidemiological assessment of residential, public and industrial buildings and facilities after their construction, overhaul, reconstruction according to radiation safety indicators. Guidelines MU 2.6.1.2838-11. Approved by the Chief state sanitary doctor of the Russian Federation on 28.01.2011 (hereinafter – MU 2.6.1.2838-11). (In Russ.)]

его ДПР $F_{\text{пр}}$, равного 0,5, согласно п. 6.3 МУ 2.6.1.2838-11¹; при анализе цензурированных слева данных (т.е. содержащих результаты, значение которых составляет менее нижней границы диапазона измерений) использовался метод подстановки LOD/2 [5];

– расчет набора характеристик, описывающих массив данных, и параметров соответствующих распределений (минимальное, максимальное и медианное значения, среднее геометрическое с 95% доверительным интервалом, геометрическое стандартное отклонение, квантили распределения уровня 0,90 и 0,95 и арифметическое среднее), что соответствует рекомендациям Международной комиссии по радиологическим единицам и измерениям (МКРЕ) [6];

– оценку доли результатов измерений (по реальной выборке и ожидаемой из распределения), которая превышает установленный в России (согласно п. 5.3.3 НРБ-99/2009²) норматив среднегодовой ЭРОА изотопов радона для эксплуатируемых жилых и общественных зданий, равный 200 Бк/м³.

Результаты комплексного радиационного обследования

Территория обследованных населенных пунктов характеризуется достаточно ровным полем гамма-излучения; все измеренные значения МАЭД находятся в диапазоне от менее 0,10 до 0,14 мкЗв/ч и с учетом неопределенности результатов измерений не превышают 0,19 мкЗв/ч. Незначительное (на 0,01–0,02 мкЗв/ч) увеличение значений МАЭД гамма-излучения характерно для более крупных населенных пунктов (как правило, районных центров), в которых доля участков с асфальтобетонным покрытием выше, чем в населенных пунктах с меньшей численностью населения и большей долей участков территории с грунтовым покрытием.

Ни в одном из обследованных населенных пунктов не было выявлено превышений показателя МАЭД гамма-излучения на открытой местности уровня 0,3 мкЗв/ч, установленного в качестве гигиенического норматива для участков территорий, отводимых под строительство зданий жилого и общественного назначения в соответствии с ОСПОРБ 99/2010³ и СанПин 2.6.1.2800-10⁴, а также в ка-

честве критерия оценки показателя радиационной безопасности территории, прилегающей к жилым и общественным зданиям в соответствии с МУ 2.6.1.2838-11.

Максимальное измеренное значение МАЭД гамма-излучения в помещениях общественных зданий в обследованных населенных пунктах составляет 0,17 мкЗв/ч и с учетом неопределенности результатов измерений не превышает 0,24 мкЗв/ч; в жилых зданиях максимальное по всем населенным пунктам значение МАЭД гамма-излучения составило 0,16 мкЗв/ч (с учетом неопределенности результатов измерений не превысит 0,22 мкЗв/ч). Ни в одном из обследованных зданий жилого или общественного назначения МАЭД гамма-излучения в помещениях не превышает более чем на 0,3 мкЗв/ч аналогичный показатель для открытой местности на территории населенных пунктов, что в полной мере соответствует требованиям НРБ-99/2009 и СанПин 2.6.1.2800-10 к эксплуатируемым жилым и общественным зданиям и сооружениям.

В рамках выполнения обследования была поставлена задача оценки вклада радона, содержащегося в воде подземных источников, в содержание радона в воздухе помещений и внутреннее ингаляционное облучение населения. При пользовании водой происходит дегазация растворенного в воде радона, и он поступает в воздух помещения. Однако, кроме воды подземных источников водоснабжения, радон и его дочерние продукты распада (ДПР) могут поступать в воздух помещения также и из подстилающих пород под зданием в смеси с почвенным воздухом через отверстия ввода-вывода коммуникаций и трещины в фундаментах, а также из строительных материалов самого здания. Поэтому для оценки вклада радона, поступающего в воздух в процессе пользования водой, в общее содержание радона в воздухе помещения все измерения ЭРОА изотопов радона и ОА радона в воздухе жилых и общественных зданий проводились как в помещениях, связанных с использованием воды (в жилых домах – кухни, ванны; в общественных зданиях – пищеблоки, туалеты, душевые, прачечные, процедурные кабинеты), так и в помещениях, где подвода воды в помещение нет (в жилых домах – спальни, гостиные, детские; в общественных зданиях – учебные помещения, игровые и спальни в детских садах, кабинеты). Использование таких «попарных» изме-

² Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009): Санитарные правила и нормативы СанПин 2.6.1.2523-09. Утверждены постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 07.07.2009 г. № 47. Зарегистрированы в Министерстве юстиции Российской Федерации 14 августа 2009 г., регистрационный № 14534 (далее – НРБ-99/2009). [Norms of radiation safety (NRB-99/2009). Sanitary rules and norms SanPiN 2.6.1.2523-09. Approved by the resolution of the Chief state sanitary doctor of the Russian Federation of 07.07.2009 No. 47. Registered with the Ministry of justice of the Russian Federation on August 14, 2009, registration No. 14534 (hereinafter – NRB-99/2009). (In Russ.)]

³ Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ 99/2010): Санитарные правила и нормативы СП 2.6.1.2612-10. Утверждены постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 26.04.2010 г. № 40. Зарегистрированы в Министерстве юстиции Российской Федерации 11 августа 2010 г., регистрационный № 18115. [Basic sanitary rules for the provision of radiation safety (OSPORB 99/2010). Sanitary rules and norms SP 2.6.1.2612-10. Approved by the resolution of the Chief state sanitary doctor of the Russian Federation of 26.04.2010 No. 40. Registered with the Ministry of justice of the Russian Federation on August 11, 2010, registration No. 18115. (In Russ.)]

⁴ Гигиенические требования по ограничению облучения населения за счет природных источников ионизирующего излучения: Санитарные правила и нормативы СанПин 2.6.1.2800-10. Утверждены постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 24.12.2010 г. № 171. Зарегистрированы в Министерстве юстиции Российской Федерации 27 января 2011 г., регистрационный № 19587. [Hygienic requirements for limiting public exposure to the natural sources of ionizing radiation. Sanitary rules and norms SanPiN 2.6.1.2800-10. Approved by the resolution of the Chief state sanitary doctor of the Russian Federation of 24.12.2010 No. 171. Registered with the Ministry of justice of the Russian Federation on January 27, 2011, registration No. 19587. (In Russ.)]

рений создавало возможность сравнения полученных результатов и численной оценки вклада радона из воды подземных источников в облучение населения.

Обследование жилых и общественных зданий на содержание радона в воздухе помещений, проведенное в марте – апреле и октябре 2019 г., привело к неожиданным результатам: уровни содержания радона и его ДПР, значительно превышающие установленный в НРБ-99/2009 и СанПин 2.6.1.2800-10 гигиенический норматив по содержанию радона в эксплуатируемых зданиях жилого и общественного назначения (среднегодовая ЭРОА изотопов радона в воздухе помещений не более 200 Бк/м³), были зарегистрированы в большом числе жилых и общественных помещений, не связанных с потреблением воды, что

свидетельствует об ином основном пути формирования высоких уровней содержания радона в зданиях. Первое же измерение ЭРОА изотопов радона, выполненное с демонстрационной целью (ознакомление сотрудников администрации одного из районов с процедурой и длительностью обследования каждого помещения – в помещении без подвода воды на втором этаже административного здания в условиях повышенного воздухообмена (приоткрытое окно)) показало результат, превышающий значение гигиенического норматива в 1,5 раза.

Результаты комплексного статистического анализа данных о содержании радона в воздухе помещений в каждом из обследованных районов и 2 типах зданий (общественных и жилых) представлены в таблице 2. Гипотеза

Таблица 2

Характеристики массивов значений ОА радона в воздухе помещений и параметры соответствующих распределений

[Table 2

Characteristics of indoor radon concentration datasets and parameters of the corresponding distributions]

Массив [Dataset]	min	max	med	GM (CI95)	GSD	X ₉₀	X ₉₅	AM
Адамовский район [Adamovsky district]								
Общественные здания [Public buildings]	1	2224	170	151 (133 – 172)	3,6	769	1220	285
Жилые здания [Dwellings]	1	2480	228	195 (168 – 227)	3,4	937	1461	343
Домбаровский район [Dombarovsky district]								
Общественные здания [Public buildings]	1	1230	122	113 (93 – 138)	3,4	548	857	200
Жилые здания [Dwellings]	1	1046	193	139 (87 – 220)	4,0	806	1327	251
Кваркенский район [Kvarkensky district]								
Общественные здания [Public buildings]	1	4578	123	102 (89 – 118)	4,0	601	992	219
Жилые здания [Dwellings]	1	1544	130	115 (98 – 134)	3,4	559	875	207
Новоорский район [Novoorsky district]								
Общественные здания [Public buildings]	2	498	108	87 (69 – 109)	2,8	327	475	129
Жилые здания [Dwellings]	1	430	103	80 (62 – 103)	3,2	356	543	128
Светлинский район [Svetlinsky district]								
Общественные здания [Public buildings]	1	674	90	81 (59 – 113)	3,4	386	600	131
Жилые здания [Dwellings]	10	786	82	98 (68 – 140)	2,5	317	442	148
Ясненский ГО [Yasnensky urban okrug]								
Общественные здания [Public buildings]	1	2002	100	82 (66 – 101)	2,8	311	453	135
Жилые здания [Dwellings]	1	656	146	118 (87 – 161)	3,9	670	1095	196

min, max, med – минимальное, максимальное и медианное значения ОА радона в выборке, Бк/м³; GM (CI95) – среднее геометрическое значение ОА радона (в скобках – 95% доверительный интервал), Бк/м³; GSD – геометрическое стандартное отклонение; X₉₀ и X₉₅ – квантили распределения ОА радона уровня 0,90 и 0,95, Бк/м³; AM – среднее арифметическое значение ОА радона, Бк/м³. [min, max, med – minimum, maximum and median values, Bq/m³; GM (CI95) – geometric mean (with 95% confidence interval), Bq/m³; GSD – geometric standard deviation; X₉₀ and X₉₅ – 90th and 95th percentiles, Bq/m³; AM – arithmetic mean, Bq/m³.]

о соответствии результатов измерений логнормальному распределению подтверждается для всех массивов, за исключением жилых зданий в Адамовском районе и общественных зданий в Кваркенском районе, для которых максимальное значение натурального логарифма функции правдоподобия получено для лог-логистических распределений, что не влияет на вывод о том, что робастной мерой центральной тенденции для всех массивов является среднее геометрическое [4]. Поскольку для реальных

выборок характерен чуть более тяжелый правый хвост, медианное значение в подавляющем числе массивов несколько превышает значение среднего геометрического, и именно медиану целесообразно использовать для получения консервативной оценки значения среднегодовой ЭРОА изотопов радона и дальнейшего расчета доз облучения населения.

Далее в таблице 3 представлены результаты оценки среднегодовой ЭРОА изотопов радона в воздухе жилых

Таблица 3

Результаты оценки среднегодовой ЭРОА изотопов радона в жилых и общественных зданиях в обследованных населенных пунктах

[Table 3

Estimated annual average radon isotopes EEC in dwellings and public buildings in surveyed settlements]

Населенный пункт [Settlement]	Среднегодовая ЭРОА изотопов радона, Бк/м ³ [Annual average radon isotopes EEC, Bq/m ³]					
	Общественные здания [Public buildings]			Жилые здания [Dwellings]		
	мин [min]	медиана [median]	макс [max]	мин [min]	медиана [median]	макс [max]
Адамовский район [Adamovsky district]						
п. Адамовка [Adamovka]	< 3	24	181	—	—	—
с. Андреевка [Andreevka]	59	197	392	29	121	362
с. Аниховка [Anikhovka]	14	206	768	< 3	253	942
п. Белополье [Belopol'e]	39	142	271	6	49	352
с. Брацлавка [Bratslavka]	7	61	214	< 3	150	987
п. Джарлинский [Dzharlinskiy]	13	54	147	16	110	313
с. Джасай [Dzhasay]	10	110	396	< 3	84	230
п. Жуламансай Zhulamansay]	26	77	158	14	61	277
с. Карабутак [Karabutak]	23	540	1114	23	160	673
п. Мещеряковский [Meshcheryakovskiy]	10	51	244	9	49	112
с. Нижняя Кийма [Nizhnaya Kiyma]	45	137	743	49	174	537
п. Нововинницкое [Novovinnitskoe]	237	451	923	106	240	1242
п. Теренсай [Terensay]	7	62	240	17	90	573
п. Энбекши [Enbekshi]	< 3	13	85	15	70	189
Домбаровский район [Dombarovsky district]						
п. Домбаровский [Dombarovskiy]	< 3	57	450	< 3	58	329
с. Караганда [Karaganda]	253	483	617	23	207	525
Кваркенский район [Kvarkensky district]						
п. Айдырлинский [Aydylinskiy]	6	67	347	11	80	385
с. Аландское [Alandskoe]	21	191	872	55	363	774
с. Бриент [Brient]	16	63	280	< 3	38	170
с. Екатериновка [Ekaterinovka]	3	58	518	< 3	52	255
с. Зеленодольск [Zelenodol'sk]	9	160	340	52	95	210
с. Кваркено [Kvarkeno]	7	71	2291	6	94	768
п. Кировск [Kirovsk]	< 3	33	157	6	39	200
п. Красноярский [Krasnoyarskiy]	< 3	66	251	14	48	182
с. Новооренбург [Novoorenburg]	< 3	12	687	22	107	147
с. Приморск [Primorsk]	5	32	332	5	55	137
с. Таналык [Tanalyk]	—	—	—	117	124	130

Населенный пункт [Settlement]	Среднегодовая ЭРОА изотопов радона, Бк/м ³ [Annual average radon isotopes EEC, Bq/m ³]					
	Общественные здания [Public buildings]			Жилые здания [Dwellings]		
	мин [min]	медиана [median]	макс [max]	мин [min]	медиана [median]	макс [max]
Новоорский район [Novoorsky district]						
с. Караганка [Karaganka]	3	63	251	20	33	148
п. Новоорск [Novoorsk]	7	22	50	7	62	217
с. Тасбулак [Tasbulak]	16	109	189	< 3	7	61
Светлинский район [Svetlinsky district]						
п. Актюбинский [Aktjubinskiy]	< 3	38	179	7	59	395
п. Восточный [Vostochnyy]	< 3	62	339	19	42	125
Ясненский ГО [Yasnensky urban okrug]						
с. Верхний Киембай [Verkhniy Kiembay]	—	—	—	36	42	47
с. Еленовка [Elenovka]	< 3	30	76	< 3	54	245
п. Комарово [Komarovo]	7	63	1003	< 3	104	262
с. Котансу [Kotansu]	—	—	—	12	64	136
п. Новосельский [Novosel'skiy]	6	54	246	< 3	96	330

и общественных зданий ($ЭРОА_{Сг} = ЭРОА_{Rn} + 4,6 \cdot ЭРОА_{Tn}$) для каждого из обследованных населенных пунктов (измеренные значения ОА радона пересчитаны в значения ЭРОА радона с использованием коэффициента равновесия $F_{Rn} = 0,5$; для консервативности оценки ЭРОА торона при этом принята равной 0,5 Бк/м³, поскольку в ходе проведения экспрессных измерений с использованием радиометров аэрозоль не было получено ни одного значения ЭРОА торона, превышающего нижнюю границу диапазона измерений использованных типов средств измерений – 0,5 Бк/м³).

Превышения гигиенического норматива по содержанию радона в воздухе помещений общественных зданий были зафиксированы в 10 населенных пунктах Адамовского района, 2 населенных пунктах Домбаровского района, 9 населенных пунктах Кваркенского района, 1 населенном пункте Новоорского района, 1 населенном пункте Светлинского района и 2 населенных пунктах Ясненского ГО.

В отдельных населенных пунктах – п. Нововинницкое Адамовского района и с. Караганда Домбаровского района – даже минимальная оценка среднегодовой ЭРОА изотопов радона в общественных зданиях превысила гигиенический норматив 200 Бк/м³. Это означает, что результат каждого измерения содержания радона во всех общественных зданиях этих населенных пунктов не соответствует требованиям нормативных документов по радиационной безопасности.

При этом однозначно можно утверждать, что высокие уровни содержания радона в воздухе помещений общественных зданий не связаны с его поступлением из воды в системе водоснабжения: например, максимальное значение ЭРОА изотопов радона, более чем в 10 раз превышающее гигиенический норматив, получено для эксплуатируемого помещения мастерской, расположенного в

подвальном этаже здания, где подвод воды отсутствует как таковой.

В помещениях жилых домов обследованных населенных пунктов превышения гигиенического норматива по содержанию радона в воздухе были зафиксированы в 11 населенных пунктах Адамовского района, 2 населенных пунктах Домбаровского района, 5 населенных пунктах Кваркенского района, 1 населенном пункте Новоорского района, 1 населенном пункте Светлинского района и 3 населенных пунктах Ясненского ГО.

Минимальная оценка среднегодовой ЭРОА изотопов радона в жилых домах ни в одном из населенных пунктов не превысила гигиенический норматив, однако медианное значение для отдельных населенных пунктов превышает 200 Бк/м³ (с. Аниховка – 253 Бк/м³, п. Нововинницкое – 240 Бк/м³, с. Караганда – 207 Бк/м³, с. Аландское – 363 Бк/м³).

Максимальные оценки среднегодовой ЭРОА изотопов радона по итогам всех измерений 2019 г. были получены для отдельных жилых домов п. Нововинницкое, с. Брацлавка, с. Аниховка Адамовского района (1242, 987 и 942 Бк/м³ соответственно).

Также не прослеживается связь выявленных высоких уровней содержания радона в воздухе помещений жилых домов с использованием в этих помещениях воды: например, в жилом доме в п. Нововинницкое оценки среднегодовой ЭРОА изотопов радона в воздухе на кухне и в гостиной практически не отличаются (1242 и 1199 Бк/м³), а в жилом доме п. Брацлавка по результатам интегральных измерений среднегодовая ЭРОА изотопов радона в гостиной (987 Бк/м³) в 2 раза выше, чем в помещении ванной (437 Бк/м³).

Медианное значение среднегодовой ЭРОА изотопов радона в воздухе помещений общественных или жилых зданий – это, несомненно, важный показатель, позволяющий оценить тяжесть «радоновой проблемы» в отдель-

ных районах, городских округах и населенных пунктах, но не единственный и не всегда самый выразительный. Представляется, что первостепенную роль при принятии решений о необходимости проведения более масштабных радоновых обследований с целью выявления зданий, в которых требуется осуществление радонозащитных мероприятий в приоритетном порядке, должна играть доля значений среднегодовой ЭРОА изотопов радона, превышающих на определенной территории установленный в России гигиенический норматив для эксплуатируемых жилых и общественных зданий, равный 200 Бк/м³.

Результаты оценки этого показателя представлены в таблице 4. Важный момент состоит в том, что расчет этого показателя на основе результатов уже проведенного обследования (d_{200+}) не всегда отражает реальную ситуацию на обследуемой территории, т.к. это тесно связано с вопросом методически правильного формирования случайной и представительной выборки зданий⁵. В силу определенных организационных ограничений при проведении обследования территориальное распределение

точек измерения носит по сути псевдослучайный характер, в результате чего в выборке может оказываться как неадекватно много зданий с высоким содержанием радона в воздухе, так и неадекватно мало [4]. Альтернативой расчету d_{200+} является определение ожидаемой доли значений среднегодовой ЭРОА изотопов радона выше 200 Бк/м³ (P_{200+}) на основе полученного нормального распределения значений натурального логарифма ОА радона (при этом P_{200+} никогда не может быть равна нулю в силу своего вероятностного характера) [4]. Как видно из таблицы 4, во всех районах и типах зданий, за исключением жилых зданий в Светлинском районе, разница между ожидаемой долей P_{200+} и полученной в конкретной выборке долей d_{200+} является положительной, т.е. в выборку попало недостаточно зданий с высоким содержанием радона в воздухе, хотя абсолютная разница между этими показателями в среднем составляет всего около 3%, что говорит о том, что в большинстве случаев были сформированы достаточно случайные и представительные выборки зданий.

Таблица 4

Результаты оценки доли значений среднегодовой ЭРОА изотопов радона в обследованных районах выше гигиенического норматива 200 Бк/м³

[Table 4

Estimated fraction of annual average radon isotopes EEC values above the hygienic norm (action level) of 200 Bq/m³ in surveyed districts]

Массив [Dataset]	P_{200+} , %	d_{200+} , %
Адамовский район [Adamovsky district]		
Общественные здания [Public buildings]	22,2	19,6
Жилые здания [Dwellings]	27,9	25,5
Домбаровский район [Dombarovsky district]		
Общественные здания [Public buildings]	15,3	12,0
Жилые здания [Dwellings]	22,0	20,6
Кваркенский район [Kvarkensky district]		
Общественные здания [Public buildings]	16,2	12,4
Жилые здания [Dwellings]	15,6	10,5
Новоорский район [Novoorsky district]		
Общественные здания [Public buildings]	7,0	1,3
Жилые здания [Dwellings]	8,4	3,7
Светлинский район [Svetlinsky district]		
Общественные здания [Public buildings]	9,5	1,9
Жилые здания [Dwellings]	6,2	8,0
Ясненский ГО [Yasnensky urban okrug]		
Общественные здания [Public buildings]	6,4	4,2
Жилые здания [Dwellings]	18,4	17,6

P_{200+} – ожидаемая из подобранного распределения доля значений среднегодовой ЭРОА изотопов радона выше 200 Бк/м³; d_{200+} – полученная в выборке доля значений среднегодовой ЭРОА изотопов радона выше 200 Бк/м³.

[P_{200+} – fraction of annual average radon isotopes EEC values above 200 Bq/m³ expected from the fitted distribution; d_{200+} – fraction of annual average radon isotopes EEC values above 200 Bq/m³ calculated from the dataset.]

⁵ Выборочное обследование жилых зданий для оценки доз облучения населения: Методические рекомендации МР 11-2/206-09. Утверждены заместителем Главного государственного санитарного врача Российской Федерации 29.08.2000 г. [Sample survey of residential buildings for assessment of the radiation doses to the population. Guidelines MR 11-2/206-09. Approved by the Deputy Chief state sanitary doctor of the Russian Federation on 29.08.2000. (In Russ.)]

Изначально при планировании комплексного радиационного обследования населенных пунктов восточного Оренбуржья, где ранее были выявлены превышения уровня вмешательства по содержанию радона в воде подземных источников, перед его исполнителями ставилась задача оценки контрольных уровней содержания радона в воде, ниже которых (после перехода газа в воздух) ЭРОА изотопов радона в воздухе помещения не превысит гигиенический норматив. Однако результаты обследования показали, что основная причина высоких уровней содержания радона в воздухе помещений жилых и общественных зданий не связана с использованием воды подземных источников водоснабжения, и решение поставленной задачи невозможно до тех пор, пока уровни содержания радона в воздухе помещений, обусловленные другими причинами, не будут соответствовать установленным гигиеническим нормативам.

Заключение

Выполненное специалистами ФБУН НИИРГ им. П.В. Рамзаева совместно с Управлением Роспотребнадзора по Оренбургской области и ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Оренбургской области» комплексное радиационное обследование (включавшее оценку качества питьевой воды по показателям радиационной безопасности [1], оценку параметров внешнего облучения населения и внутреннего облучения за счет ингаляции радона) населенных пунктов 6 районов восточной части Оренбургской области (Адамовского, Домбаровского, Кваркенского, Новоорского, Светлинского районов и Ясненского ГО) выявило, наряду с проблемой повышенных уровней содержания ПРН в воде подземных источников питьевого водоснабжения, не менее серьезную проблему – высокое содержание радона в воздухе помещений жилых и общественных зданий. Комплексное радиационное обследование показало, что МАЭД гамма-излучения в зданиях и на открытой местности обследованных населенных пунктов в полной мере соответствует требованиям санитарных правил. В то же время обследованием были установлены многочисленные факты превышения гигиенического норматива среднегодовой ЭРОА изотопов радона в воздухе помещений: в жилых домах – в 23 населенных пунктах, в общественных зданиях – в 25 населенных пунктах.

Проведенное обследование показало, что проблема облучения населения восточных районов Оренбуржья за счет ПИИИ значительно выше, чем исходно предполагалось при планировании работ. И если вопросы обеспечения населения питьевой водой, качество которой по показателям радиационной безопасности соответствует требованиям нормативных документов, к настоящему времени уже практически решены применением аэрационных установок на станциях водоподготовки, то снижение уровней содержания радона в воздухе помещений (даже если рассматривать только общественные здания) представляется более сложной задачей, требующей как выполнения дополнительных исследований, так и значительных финансовых вложений на этапе проведения инженерно-строительных радонозащитных мероприятий.

Сведения о личном вкладе авторов в работу над статьей

Кормановская Т.А. разработала дизайн исследования, определила цели и задачи, руководила выполнением полевых исследований, написала черновик рукописи и представила окончательный вариант рукописи для публикации в журнал.

Романович И.К. осуществлял общее научное руководство исследованием, отредактировал промежуточный вариант рукописи.

Вяльцина Н.Е. организовала проведение полевых исследований на региональном уровне, отредактировала промежуточный вариант рукописи.

Гаевой С.В. организовал проведение полевых исследований на районном уровне, отредактировал промежуточный вариант рукописи.

Бондарь Л.В. организовал проведение измерений с помощью интегральных трековых детекторов, отредактировал промежуточный вариант рукописи.

Кононенко Д.В. участвовал в выполнении полевых исследований, провел статистическую обработку результатов измерений, подготовил рисунки и таблицы, английский перевод и отредактировал промежуточный вариант рукописи.

Сапрыкин К.А. участвовал в выполнении полевых исследований, подготовил описание материалов и методов исследования, отредактировал промежуточный вариант рукописи.

Кокоулина Е.С. участвовала в выполнении полевых исследований, отредактировала промежуточный вариант рукописи.

Балабина Т.А. провела подготовку и обработку интегральных трековых детекторов, проанализировала результаты интегральных измерений объемной активности радона, отредактировала промежуточный вариант рукописи.

Королева Н.А. провела поиск и анализ литературных данных, отредактировала промежуточный вариант рукописи.

Информация о конфликте интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов при выполнении работы и подготовки данной статьи.

Сведения об источнике финансирования

Работа выполнена в рамках Государственного контракта на проведение научно-исследовательской работы «Комплексное радиационное обследование и гигиеническая оценка уровней облучения населения восточных районов Оренбургской области за счет использования питьевой воды подземных источников водоснабжения» № 03-21/38 (0853500000319000268) от 9 апреля 2019 г.

Литература

1. Кормановская Т.А., Романович И.К., Сапрыкин К.А., и др. Обеспечение радиационной безопасности населения восточных районов Оренбургской области при использовании питьевой воды из подземных источников водоснабжения // Радиационная гигиена. 2020. Т. 13, № 3. С. 87–97. DOI: 10.21514/1998-426X-2020-13-3-87-97.

2. Из истории освоения целинных и залежных земель в Оренбургской области: сб. док. и матер. Гос. архив Оренб. обл. Оренбург, 1988. 148 с.
3. Кононенко Д.В. Анализ распределений значе- ний объемной активности радона в воздухе по- мещений в субъектах Российской Федерации // Радиационная гигиена. 2019. Т. 12, № 1. С. 85–103. DOI: 10.21514/1998-426X-2019-12-1-85-103.
4. Маренный А.М., Кононенко Д.В., Труфанова А.Е. Радонное обследование в Челябинской обла- сти в 2008–2011 гг. Анализ территориальной ва- риативности объемной активности радона // Радиационная гигиена. 2020. Т. 13, № 3. С. 51–67. DOI 10.21514/1998-426X-2020-13-3-51-67.
5. Кононенко Д.В. Использование метода бета-подста- новки для анализа цензурированных данных об объ- емной активности радона в воздухе помещений // Радиационная гигиена. 2019. Т. 12, № 4. С. 47–55. DOI: 10.21514/1998-426X-2019-12-4-47-55.
6. Measurement and reporting of radon exposures. ICRU Report No. 88 // Journal of the ICRU 12 (2). Oxford University Press, 2012. 191 p.

Поступила: 11.11.2022 г.

Кормановская Татьяна Анатольевна – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории дозиметрии природных источников Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гиги- ены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благопо- лучия человека. **Адрес для переписки:** 197101, Россия, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8; E-mail: f4dos@mail.ru

Романович Иван Константинович – доктор медицинских наук, профессор, академик РАН, директор 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

Вяльцина Наталья Ефимовна – руководитель Управления Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Оренбургской области, Оренбург, Россия

Гаевой Сергей Васильевич – начальник отдела надзора на транспорте, за условиями труда и радиационной безо- пасностью Управления Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Оренбургской области, Оренбург, Россия

Бондарь Леонид Владимирович – заведующий отделением факторов производственной среды и радиационной гигиены ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Оренбургской области», Оренбург, Россия

Кононенко Дмитрий Викторович – научный сотрудник лаборатории дозиметрии природных источников 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  <https://orcid.org/0000-0002-1392-1226>

Сапрыкин Кирилл Александрович – старший научный сотрудник, заведующий лабораторией дозиметрии при- родных источников Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени про- фессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия

Кокоулина Елена Сергеевна – ведущий инженер-исследователь лаборатории дозиметрии природных исто- чников 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

Балабина Татьяна Анатольевна – ведущий инженер-исследователь лаборатории дозиметрии природных исто- чников 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

Королева Надежда Андреевна – старший научный сотрудник лаборатории дозиметрии природных источников 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

Для цитирования: Кормановская Т.А., Романович И.К., Вяльцина Н.Е., Гаевой С.В., Бондарь Л.В., Кононенко Д.В., Сапрыкин К.А., Кокоулина Е.С., Балабина Т.А., Королева Н.А. Облучение населения Оренбургской области природными источниками ионизирующего излучения. Часть 1: Результаты комплексного радиационного об- следования населенных пунктов восточных районов Оренбургской области // Радиационная гигиена. 2023. Т. 16, № 1. С. 6–18. DOI: 10.21514/1998-426X-2023-16-1-6-18

**Public exposure in the Orenburg region due to natural sources of ionizing radiation.
Part 1:
Results of the comprehensive survey of settlements in the eastern districts
of the Orenburg region**

Tatyana A. Kormanovskaya¹, Ivan K. Romanovich¹, Natalya E. Vyaltsina², Sergey V. Gaevoy², Leonid V. Bondar³,
Dmitry V. Kononenko¹, Kirill A. Saprykin¹, Elena S. Kokoulina¹, Tatyana A. Balabina¹, Nadezhda A. Koroleva¹

¹ 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

² Directorate of the Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing in the Orenburg region, Orenburg, Russia

³ Center of the Hygiene and Epidemiology in the Orenburg region, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing, Orenburg, Russia

The paper presents results of a comprehensive radiation survey conducted in 2019 in six districts of the eastern part of the Orenburg region in 37 settlements with previously found elevated levels of activity concentration of natural radionuclides in tap water from groundwater sources of drinking water supply. The survey included measurements of indoor radon concentrations and EEC in residential and public buildings, as well as measurements of ambient dose equivalent rate of gamma radiation indoors and outdoors. The survey revealed that annual average indoor radon EEC in many residential buildings in 23 settlements and public buildings in 25 settlements exceeded the hygienic norm (action level) of 200 Bq/m³ adopted in Russia for existing buildings. The highest values of annual average indoor radon EEC were obtained in residential buildings in Novovinnitskoe (1242 Bq/m³), Bratslavka (987 Bq/m³) and Anikhovka (942 Bq/m³) in Adamovsky district, and in public buildings in Kvarkeno (2291 Bq/m³) in Kvarkensky district, Karabutak (1114 Bq/m³) and Novovinnitskoe (923 Bq/m³) in Adamovsky district. The established hygienic norms in terms of ambient dose equivalent rate indoors and outdoors were not exceeded in the surveyed settlements. Results of the survey showed that the main reason for high indoor radon concentrations in residential and public buildings in the settlements of the eastern part of the Orenburg region is not related to the usage of tap water from groundwater sources of drinking water supply with elevated levels of activity concentration of natural radionuclides.

Key words: natural sources of ionizing radiation, natural radionuclides, radon, progeny, instant measurement, long-term measurement, SSNTD, groundwater sources, drinking water, ambient dose equivalent rate, Orenburg region.

Personal contribution of the authors

Kormanovskaya T.A. developed the design of the survey, defined the goals and objectives, supervised the field research, wrote the draft of the manuscript, and arranged the final version of the manuscript for publication in the journal.

Romanovich I.K. provided general scientific management of the project and edited the interim version of the manuscript.

Vyaltsina N.E. organized field research at the regional level and edited the interim version of the manuscript.

Gaevoy S.V. organized field research at the local level and edited the interim version of the manuscript.

Bondar L.V. organized measurements with solid-state nuclear track detectors and edited an interim version of the manuscript.

Kononenko D.V. participated in the field research, conducted statistical analysis of the results, prepared figures and tables, translated the manuscript and edited the interim version of the manuscript.

Saprykin K.A. participated in the field research, prepared the description of materials and methods, and edited the interim version of the manuscript.

Kokoulina E.S. participated in the field research and edited an interim version of the manuscript.

Balabina T.A. assembled and processed solid-state nuclear track detectors, analyzed the results of long-term measurements of radon concentration, and edited the interim version of the manuscript.

Koroleva N.A. searched and analyzed literature data, and edited the interim version of the manuscript.

Conflict of interest

The authors declare that they have no conflicts of interest when conducting the study and preparing this paper.

Sources of funding

The study was carried out within the framework of the State Contract for conducting research work "Comprehensive radiation survey and hygienic assessment of levels of public exposure in the eastern districts of the Orenburg region due to the use of drinking water from underground water sources" No. 03-21/38 (0853500000319000268).

Tatyana A. Kormanovskaya

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

Address for correspondence: Mira Str., 8, Saint-Petersburg, 197101, Russia; E-mail: f4dos@mail.ru

References

1. Kormanovskaya TA, Romanovich IK, Saprykin KA, Vyaltsina NE, Gaevoy SV, Konovalov VYu, et al. Provision of the radiation safety of the public of the eastern districts of the Orenburg region for the use of the drinking water from the underground water supply sources. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2020;13(3): 87–97. DOI: 10.21514/1998-426X-2020-13-3-87-97. (In Russian).
2. From the history of the development of virgin and fallow lands in the Orenburg region (collection of documents and materials). Orenburg: State Archive of the Orenburg region; 1988. 148 p. (In Russian).
3. Kononenko DV. Analysis of distributions of indoor radon concentrations in the regions of the Russian Federation. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2019;12(1): 85–103. DOI: 10.21514/1998-426X-2019-12-1-85-103. (In Russian).
4. Marennyy AM, Kononenko DV, Trufanova AE. Radon survey in Chelyabinsk Oblast, Russia, in 2008–2011. Analysis of spatial variability of indoor radon concentration. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2020;13(3): 51–67. DOI: 10.21514/1998-426X-2020-13-3-51-67. (In Russian).
5. Kononenko DV. Application of the -substitution method for analyzing censored data on indoor radon concentrations. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2019; 12(4): 47–55. DOI: 10.21514/1998-426X-2019-12-4-47-55. (In Russian)
6. Measurement and reporting of radon exposures. ICRU Report No. 88. Journal of the ICRU 12 (2). Oxford University Press; 2012. 191 p.

Received: November 11, 2022

For correspondence: Tatyana A. Kormanovskaya – Ph.D. in Biological Sciences, Leading researcher, Laboratory for dosimetry of natural sources of radiation, Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing (Mira Str., 8, Saint-Petersburg, 197101, Russian Federation; E-mail: f4dos@mail.ru)

Ivan K. Romanovich – Dr. Sc. Med., Prof., Academician of Russian Academy of Sciences, Director of 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

Natalya E. Vyaltsina – Head of the Directorate of the Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing in the Orenburg region, Chief sanitary doctor of the Orenburg region, Orenburg, Russia

Sergey V. Gaevoy – Head of the Department of the surveillance on transport, working conditions and radiation hygiene, Directorate of the Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing in the Orenburg region, Orenburg, Russia

Leonid V. Bondar – Head of the radiation hygiene department of the Center of Hygiene and Epidemiology in the Orenburg region, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing, Orenburg, Russia

Dmitry V. Kononenko – Researcher, Laboratory for dosimetry of natural sources of radiation, 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  <https://orcid.org/0000-0002-1392-1226>

Kirill A. Saprykin – Senior researcher, Head of the Laboratory for dosimetry of natural sources of radiation, 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

Elena S. Kokoulina – Leading research engineer, Laboratory for dosimetry of natural sources of radiation, 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

Tatyana A. Balabina – Leading research engineer, Laboratory for dosimetry of natural sources of radiation, 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

Nadezhda A. Koroleva – Senior researcher, Laboratory for dosimetry of natural sources of radiation, 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

For citation: Kormanovskaya T.A., Romanovich I.K., Vyaltsina N.E., Gaevoy S.V., Bondar L.V., Kononenko D.V., Saprykin K.A., Kokoulina E.S., Balabina T.A., Koroleva N.A. Public exposure in the Orenburg region due to natural sources of ionizing radiation. Part 1: Results of the comprehensive survey of settlements in the eastern districts of the Orenburg region. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2023. Vol. 16, No. 1. P. 6-18. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2023-16-1-6-18