

Облучение населения Оренбургской области природными источниками ионизирующего излучения.

Часть 2:

Дозы облучения населения восточных районов Оренбургской области

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

В статье приведены оценки доз облучения населения 6 районов восточной части Оренбургской области за счет природных источников ионизирующего излучения, полученные по результатам комплексного радиационного обследования 34 населенных пунктов, где ранее были выявлены повышенные уровни содержания природных радионуклидов в воде подземных источников питьевого водоснабжения. Показано, что в 18 населенных пунктах средняя годовая эффективная индивидуальная доза природного облучения соответствует, согласно принятой в ОСПОРБ 99/2010 классификации, повышенному облучению за счет природных источников (от 5 до 10 мЗв/год), а еще в 7 – высокому (свыше 10 мЗв/год); при этом основную дозовую нагрузку население получает за счет ингаляции радона и его дочерних продуктов распада. Из перечня обследованных населенных пунктов Кваркенского и Адамовского районов, где были зарегистрированы самые высокие уровни содержания радона в воздухе помещений жилых и общественных зданий, были выбраны 4 населенных пункта для проведения углубленного обследования с целью выявления основного источника поступления радона в здания. Обследование включало измерения плотности потока радона с поверхности грунта, объемной активности радона в почвенном воздухе, удельной активности и эффективной удельной активности природных радионуклидов в пробах материалов строительных конструкций жилых и общественных зданий и в пробах почвы с территории населенных пунктов, а также удельной активности радона в воде источников подземного водоснабжения, подающейся по распределительной сети населенных пунктов. Результаты обследования показали, что основным источником поступления в воздух помещений радона, являющегося главной причиной высоких и повышенных доз природного облучения населения, является эксхалация из грунта под зданиями; по сравнению с основным источником поступления, вклад радона, поступающего в воздух в процессе пользования водой, является незначительным.

Ключевые слова: природные источники ионизирующего излучения, природные радионуклиды, радон, подземные источники водоснабжения, питьевая вода, плотность потока радона, почвенный воздух, мощность амбиентного эквивалента дозы гамма-излучения, Оренбургская область.

Введение

Результаты комплексного радиационного обследования в части природных источников ионизирующего излучения (ПИИИ), выполненного 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» в рамках Государственного контракта в 34 населен-

ных пунктах восточных районов Оренбургской области (Адамовский, Кваркенский, Новоорский, Домбаровский, Светлинский и Ясенский городской округ (ГО)) [1], стали основой для оценки доз облучения жителей восточного Оренбуржья за счет ПИИИ.

Радиационное обследование населенных пунктов, кроме повышенного содержания природных радионуклидов (ПРН) в воде подземных источников водоснабжения

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

(в первую очередь, радона) [2], выявило многочисленные факты превышения гигиенического норматива среднегодовой эквивалентной равновесной объемной активности (ЭРОА) изотопов радона в воздухе помещений жилых и общественных зданий населенных пунктов восточных районов Оренбургской области [1]. Выявление высоких уровней содержания радона в помещениях без использования воды подземных источников (наряду с помещениями с использованием воды) свидетельствует о том, что радон в воде не является единственным источником поступления радона в здания, как предполагалось до начала проведения обследования.

Общеизвестно 3 основных источника поступления радона в воздух помещений [3, 4]:

1. Из подстилающего грунта под зданием. Это наиболее значимый источник поступления радона в здания на территориях, где близко к поверхности залегают урансодержащие породы. Радон выходит из грунта под зданием в смеси с почвенным воздухом и через трещины фундамента, отверстия ввода-вывода коммуникаций и т.п. проникает в помещения. Участки с высокой плотностью потока радона с поверхности грунта называются радоноопасными, и при проектировании зданий на таких участках в проекте должны быть предусмотрены радонозащитные мероприятия, чтобы содержание радона и его короткоживущих дочерних продуктов распада (ДПР) в здании после окончания строительства соответствовало гигиеническим нормативам (п. 5.1.6 ОСПОРБ 99/2010¹ и п. 4.2.2 СанПиН 2.6.1.2800-10²). Содержание ²³⁸U и ²²⁶Ra, продуктом распада которого и является радон (²²²Rn), в грунтах и породах определяется только геологическими характеристиками конкретной местности.

2. Из строительных конструкций здания. Источником радона в помещении могут быть строительные материалы, из которых построено здание, при повышенном содержании в них радия. Однако использование при строительстве материалов, соответствующих установленным гигиеническим нормативам содержания ПРН (по величине эффективной удельной активности ПРН, $A_{эфф}$), обеспечивает в большинстве случаев дальнейшее соответствие зданий по содержанию радона и его ДПР в воздухе требованиям санитарного законодательства.

3. Из воды подземных источников (путем перехода радона из воды в воздух помещений в процессе водопользования).

Цель исследования – определение значимости вклада отдельных источников в суммарную дозу природного облучения населения восточных районов Оренбургской области.

Задачи исследования

1. Провести оценку доз облучения населения за счет каждого источника природного облучения.

2. Выявить основной источник наиболее значимого дозообразующего фактора для населения с высокими уровнями облучения за счет ПИИИ.

Виды, объем и методы исследований

Оценка доз облучения населения обследованных населенных пунктов Адамовского, Кваркенского, Новоорского, Домбаровского, Светлинского районов и Ясненского ГО проводилась в соответствии с МУ 2.6.1.1088-02³ по результатам выполненных в 2019 г. в рамках комплексного радиационного обследования измерений мощности амбиентного эквивалента дозы (МАЭД) гамма-излучения на открытой местности населенных пунктов, измерений МАЭД гамма-излучения и уровней содержания радона в воздухе помещений жилых и общественных зданий, а также исследований содержания ПРН в питьевой воде.

Для решения задачи по выявлению основного источника поступления радона в помещения жилых и общественных зданий в 4 населенных пунктах с высокими уровнями содержания радона в воздухе помещений было проведено:

– 80 измерений плотности потока радона (ППР) с поверхности грунта (средство измерений – комплекс измерительный для мониторинга радона КАМЕРА-01 с блоками детектирования БДБ-13);

– 16 измерений ОА радона в почвенном воздухе (средство измерений – радиометр объемной активности радона-222 AlphaGUARD PQ2000PRO с программным обеспечением DataVIEW v.15; вспомогательное

¹ 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. 18155. (In Russ.)]

² 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.)]

³ Оценка индивидуальных эффективных доз облучения населения за счет природных источников ионизирующего излучения: Методические указания МУ 2.6.1.1088-02. Утверждены Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации 04.01.2002 г. [Assessment of individual effective doses to the population due to natural sources of ionizing radiation. Guidelines MU 2.6.1.1088-02. Approved by the Chief state sanitary doctor of the Russian Federation on 04.01.2002. (In Russ.)]

оборудование – комплект «Soil Gas Probe» и воздухо-дувка AlphaPUMP);

– 8 измерений удельной активности (УА) ПРН в пробах строительных материалов, использованных для возведе-ния жилых и общественных зданий (средство измере-ний – спектрометр энергии гамма-излучения сцинтилля-ционный портативный Гамма-1С/NB1-01 с программным обеспечением LSRM SpectralLine Handy);

– 4 измерения УА ПРН в пробах поверхностного слоя грунта (0–5 см) с территории населенных пунктов (средство измерений – установка спектрометрическая МКС-01А «МУЛЬТИРАД» с программным обеспечением «ПРОГРЕСС-5»);

– 9 измерений УА радона в воде источников подзем-ного водоснабжения, подающейся по распределитель-ной сети населенных пунктов (средства измерений – ра-диометр объемной активности радона-222 AlphaGUARD PQ2000PRO с программным обеспечением DataVIEW v.15, вспомогательное оборудование – комплект «AquaKIT» и воздуходувка AlphaPUMP; комплекс измерительный для мониторинга радона, торона и их дочерних продуктов «Альфарад плюс» модификации «АР», вспомогательное оборудование – автономная воздуходувка АВ-07 с набо-ром пробоотборников).

Эффективная удельная активность ($A_{эфф}$) ПРН в про-бах строительных материалов рассчитывалась в соответ-ствии с п. 5.3.4 НРБ-99/2009⁴, а $A_{эфф}$ ПРН в пробах грунта – в соответствии с Приложением 7 к СанПиН 2.6.1.2800-10.

Дозы облучения населения восточных районов Оренбургской области за счет ПИИИ

На основании результатов комплексного радиацион-ного обследования были выполнены оценки доз внешне-го терригенного облучения, доз внутреннего облучения за счет потребления питьевой воды и доз внутреннего облучения за счет ингаляции изотопов радона населе-ния 34 населенных пунктов Адамовского, Кваркенского, Новоорского, Домбаровского, Светлинского районов и Ясенского ГО. Для оценки дозы облучения населения за счет всех ПИИИ, помимо полученных результатов из-мерений параметров радиационной обстановки, были ис-пользованы среднемировые значения доз за счет ⁴⁰K (0,17 мЗв/год)⁵ и за счет ингаляционного поступления долго-живущих ПРН с пылью из приземного слоя атмосферно-го воздуха (0,006 мЗв/год)⁶, среднероссийское значение дозы за счет потребления пищевых продуктов (0,12 мЗв/

год)⁷, а также расчетное значение дозы за счет космиче-ского излучения (нейтронный компонент и космогенные радионуклиды) для территории Оренбургской области (0,097 мЗв/год) – суммарная доза за счет этих факторов равна 0,390 мЗв/год. Доза внешнего облучения включа-ет в себя как дозу за счет терригенного излучения, так и дозу за счет ионизирующего компонента космического излучения, расчетное значение которой для территории Оренбургской области составляет 0,242 мЗв/год, а доза за счет космического излучения в целом – 0,339 мЗв/год [3]. В таблице 1 представлены оценки средних по каждо-му обследованному населенному пункту индивидуаль-ных годовых эффективных доз облучения населения за счет отдельных составляющих, а также суммарные дозы природного облучения жителей. Для оценки дозы внут-реннего облучения радоном и его ДПР использовались результаты измерений только в жилых домах, поскольку проведение подобных расчетов на основе результатов интегральных измерений ОА радона в общественных зда-ниях с некруглосуточным пребыванием людей может при-водить к искаженным оценкам [5].

В 9 населенных пунктах из 34 суммарная доза не пре-высила 5 мЗв/год, что в соответствии с ОСПОРБ 99/2010 классифицируется как приемлемый уровень природно-го облучения населения. Повышенные (в интервале от 5 до 10 мЗв/год) дозы облучения за счет ПИИИ получают жители 18 населенных пунктов. В 20% населенных пун-ктов (7 из 34) средняя доза облучения жителей за счет ПИИИ превышает порог в 10 мЗв/год, что классифици-руется как высокий уровень природного облучения на-селения: Адамовский район – с. Аниховка, с. Брацлавка, с. Карабутак, с. Нижняя Кийма, п. Нововинницкое; Домбаровский район – с. Караганда; Кваркенский рай-он – с. Аландское.

Причиной повышенного и высокого природного об-лучения жителей 25 населенных пунктов Адамовского, Домбаровского, Кваркенского, Светлинского районов и Ясенского ГО во всех проанализированных случаях яв-ляются высокие уровни содержания радона в воздухе по-мещений жилых домов, обусловленные поступлением ра-дона из грунта под зданиями. Для наглядности на рисунке графически показана структура суммарной дозы природ-ного облучения жителей с. Бриент (приемлемый уровень) и с. Аландское (высокий уровень) Кваркенского района.

На рисунке наглядно видно, что практически вся доза природного облучения населения жителей с. Аландское

⁴ 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.)]

⁵ Форма федерального статистического наблюдения № 4-ДОЗ. Сведения о дозах облучения населения за счет естественного и техногенно измененного радиационного фона: Методические рекомендации МР 2.6.1.0088-14. Утверждены врио Главного государственного санитарного врача Российской Федерации 18.03.2014 г. (далее – МР 2.6.1.0088-14). Пункт 4.4.2 [Federal statistical form No. 4-DOZ. Data on doses of public exposure to natural and technologically enhanced radiation background. Guidelines MR 2.6.1.0088-14. Approved by the acting Chief state sanitary doctor of the Russian Federation on 18.03.2014 (hereinafter – MR 2.6.1.0088-14) (In Russ.) Paragraph 4.4.2.]

⁶ Пункт 4.4.9 МР 2.6.1.0088-14 [Paragraph 4.4.9 of MR 2.6.1.0088-14.]

⁷ Пункт 4.4.8 МР 2.6.1.0088-14 [Paragraph 4.4.8 of MR 2.6.1.0088-14.]

Таблица 1

Средние индивидуальные годовые эффективные дозы облучения населения за счет природных источников ионизирующего излучения, мЗв

[Table 1

Individual average annual effective doses to the population due to natural sources of ionizing radiation, mSv]

Район, населенный пункт [District, settlement]	⁴⁰ K+пища+ атмосферный воздух [⁴⁰ K+Food+Inhalation of U and Th series]	Внешнее облучение [External radiation]	Радон [Radon]	Питьевая вода [Drinking water]	Полная [Overall]
Адамовский район [Adamovsky district]					
с. Андреевка [Andreevka]	0,393	0,97	8,158	0,054	9,575
с. Аниховка [Anikhovka]	0,393	0,97	16,940	0,223	18,526
п. Белополье [Belopol'e]	0,393	0,90	3,368	0,063	4,724
с. Брацлавка [Bratslavka]	0,393	1,02	10,087	0,104	11,604
п. Джарлинский [Dzharlinskiy]	0,393	0,88	7,426	0,046	8,745
с. Джасай [Dzhasay]	0,393	0,95	5,696	0,032	7,071
п. Жуламансай [Zhulamansay]	0,393	0,88	4,166	0,099	5,538
с. Карабутак [Karabutak]	0,393	1,02	10,753	0,028	12,194
п. Мещеряковский [Meshcheryakovskiy]	0,393	0,90	3,368	0,025	4,686
с. Нижняя Кийма [Nizhnaya Kiyma]	0,393	0,90	11,684	0,042	13,019
п. Нововинницкое [Novovinnitskoe]	0,393	1,04	16,075	0,060	17,568
п. Теренсай [Terensay]	0,393	0,95	6,096	0,057	7,496
п. Энбекши [Enbekshiy]	0,393	0,97	4,765	0,214	6,342
Домбаровский район [Dombarovskiy district]					
п. Домбаровский [Dombarovskiy]	0,393	0,92	3,967	0,177	5,457
с. Караганда [Karaganda]	0,393	1,02	13,879	0,050	15,342
Кваркенский район [Kvarkenskiy district]					
п. Айдырлинский [Aydylinskiy]	0,393	1,04	5,430	0,017	6,880
с. Аландское [Alandskoe]	0,393	1,04	24,258	0,078	25,769
с. Бриент [Brient]	0,393	0,88	2,636	0,052	3,961
с. Екатериновка [Ekaterinovka]	0,393	0,88	3,568	0,205	5,046
с. Зеленодольск [Zelenodol'sk]	0,393	0,88	6,428	0,028	7,729
с. Кваркено [Kvarkeno]	0,393	1,02	6,362	0,127	7,902
п. Кировск [Kirovsk]	0,393	1,04	2,703	0,042	4,178
п. Красноярский [Krasnoyarskiy]	0,393	0,97	3,301	0,046	4,710
с. Новооренбург [Novoorenburg]	0,393	0,90	7,227	0,047	8,567
с. Приморск [Primorsk]	0,393	0,88	3,767	0,018	5,058
Новоорский район [Novoorskiy district]					
с. Караганка [Karaganka]	0,393	0,95	2,304	0,032	3,679
с. Тасбулак [Tasbulak]	0,393	0,95	0,574	0,027	1,944
Светлинский район [Svetlinskiy district]					
п. Актюбинский [Akt'yubinskiy]	0,393	0,88	4,033	0,140	5,446
п. Восточный [Vostochnyy]	0,393	0,95	2,902	0,075	4,320
Ясененский ГО [Yasnenskiy urban okrug]					
с. Верхний Киембай [Verkhniy Kiyembay]	0,393	0,88	2,902	0,029	4,204
с. Еленовка [Elenovka]	0,393	0,95	3,701	0,023	5,067
п. Комарово [Komarovo]	0,393	0,90	7,027	0,019	8,339
с. Котансу [Kotansu]	0,393	0,88	4,366	0,141	5,780
п. Новосельский [Novosel'skiy]	0,393	0,90	6,495	0,177	7,965

Кваркенского района (почти 95%) приходится на долю радона, в то время как в с. Бриент вклад этого фактора природного облучения в суммарную дозу составляет чуть более 65%.

В ходе выполнения первой задачи данного исследования (оценка доз облучения населения за счет каждого источника природного облучения) были выявлены населенные пункты Адамовского, Домбаровского, Кваркенского, Светлинского районов и Ясненского ГО с повышенными и высокими (согласно классификации ОСПОРБ 99/2010)

средними дозами природного облучения жителей; их доля по отношению к числу всех обследованных населенных пунктов составила более 70%. Определено, что наиболее значимым дозообразующим фактором для населения с повышенными и высокими уровнями облучения за счет ПИИИ является радон в воздухе помещений жилых и общественных зданий. Первоначальное предположение о том, что основной источник поступления радона в помещения – это вода, поступающая в распределительную сеть из подземных источников водоснабжения, было

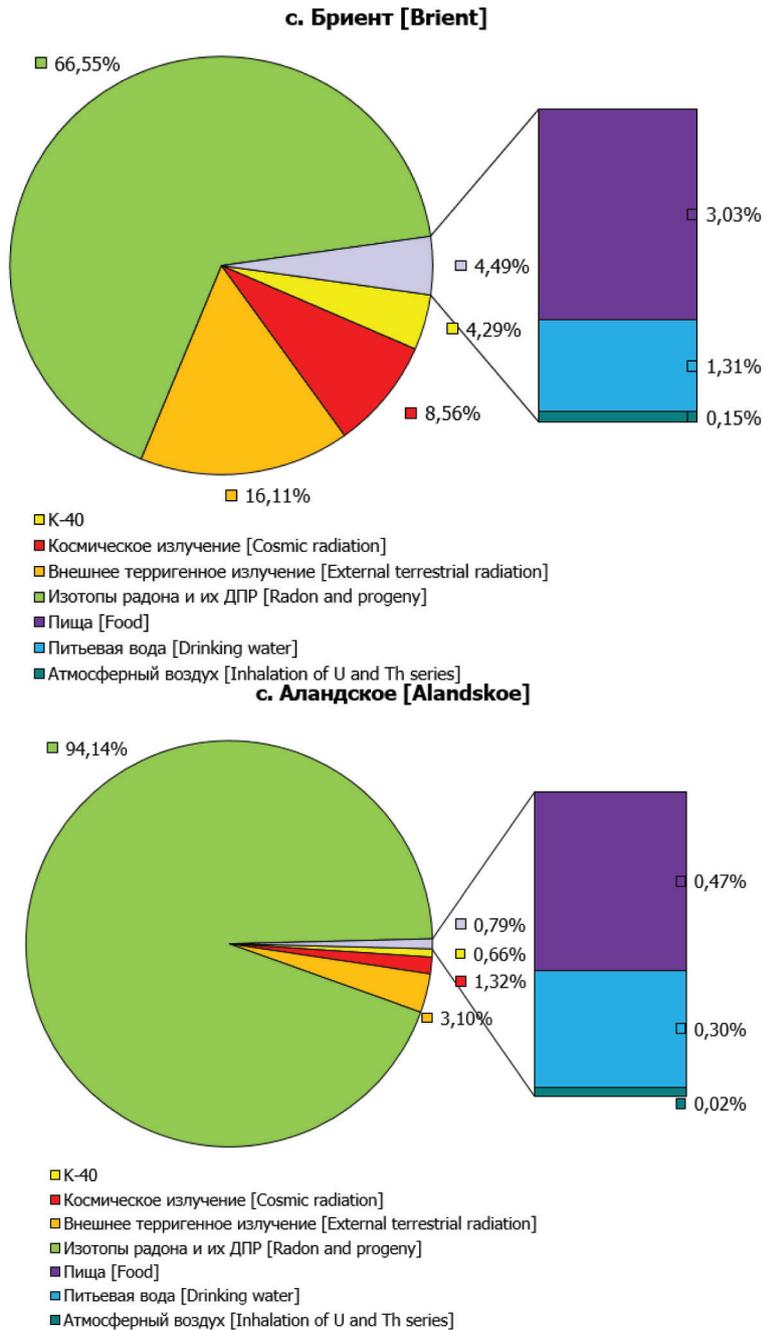


Рис. Структура средней индивидуальной годовой эффективной дозы природного облучения населения с. Бриент и с. Аландское Кваркенского района

[Fig. Structure of the individual average annual effective dose due to natural sources of ionizing radiation to the population of Brient and Alandskoe, Kvarkensky district]

опровергнуто результатами комплексного радиационного обследования [1]. Таким образом, для достижения поставленной в статье цели необходимо было решить вторую задачу – выявить основной источник поступления в здания радона как наиболее значимого дозобразующего фактора для населения с высокими уровнями облучения за счет ПИИИ.

Результаты исследований по выявлению основного источника поступления радона в здания

Результаты обследования населенных пунктов в части содержания радона поставили перед исполнителями новую задачу – выявление причин повышенных и высоких значений ЭРОА изотопов радона в воздухе помещений жилых и общественных зданий.

Поскольку результаты, полученные в ходе измерений содержания радона в воздухе помещений, где не использовалась вода, выявили многократные превышения гигиенического норматива 200 Бк/м³, специалистами ФБУН НИИРГ им. П.В. Рамзаева были проведены детальные исследования для выявления основного источника поступления радона в воздух помещений жилых и общественных зданий.

Для определения источников поступления радона в воздух помещений в апреле 2019 г. выборочно были проведены измерения ППР с поверхности грунта вокруг зданий в населенных пунктах с высокими уровнями содержания радона в воздухе помещений. В таблице 2 представлены диапазоны значений ППР в 4 населенных пунктах (гигиенический норматив ППР в соответствии с ОСПОРБ 99/2010 составляет для зданий жилого и общественного назначения 80 мБк/(м²×с)).

Полученные результаты с учетом неопределенности показали значительное превышение установленного норматива ППР 80 мБк/(м²×с) во всех населенных пунктах, что свидетельствует о наличии в подстилающих грунтах урансодержащих пород.

Для оценки влияния материалов, из которых построены здания, на уровни содержания радона в воздухе помещений был проведен выборочный отбор проб местных

стройматериалов для определения содержания ПРН. А_{эфф} ПРН в стройматериалах по данным спектрометрических измерений не превысила гигиенический норматив для материалов I класса, допустимых к применению в строительстве жилых и общественных зданий (370 Бк/кг). В таблице 3 приведены результаты определения А_{эфф} ПРН в пробах материалов строительных конструкций здания ФАП пос. Нововинницкое ГБУЗ «Адамовская РБ».

Таблица 3

Результаты определения эффективной удельной активности ПРН в строительных материалах

[Table 3]

Effective activity concentration of natural radionuclides in samples of building materials

Строительный материал [Building material]	№ образца [Sample No.]	A _{эфф} , Бк/кг [A _{eff} , Bq/kg]
Кирпич силикатный [Silicate bricks]	1	< 35
	2	< 35
Кирпич красный [Red bricks]	1	120 ± 30
	2	115 ± 30
Цементный раствор [Cement mortar]	1	45 ± 15
	2	45 ± 15

Полученные данные привели к предварительным выводам, что основной причиной высокого содержания радона в воздухе помещений жилых и общественных зданий в отдельных обследованных населенных пунктах является грунт под зданиями (особенно для зданий без подвалов, характерных для сельской местности), но для окончательной определенности требовалось проведение детального исследования всех параметров радиационной обстановки в самом здании и вокруг него; такие исследования были проведены в 4 населенных пунктах Кваркенского и Адамовского районов в октябре 2019 г. (проведение подобных исследований в летний период не является целесообразным, так как в связи с высоким воздухообменом в помещениях (открытые окна) искажается картина поступления радона в здание; в зимний

Таблица 2

Результаты измерений плотности потока радона с поверхности грунта в обследованных населенных пунктах (апрель 2019 г.)

[Table 2]

Density of radon flux from the surface of the ground in the surveyed settlements (April 2019)

Район, населенный пункт [District, settlement]	ППР, мБк/(м ² ×с) [Density of radon flux, mBq/(m ² ×s)]			
	mean	SD	min	max
Адамовский район, с. Аниховка [Adamovsky district, Anikhovka]	78	12	30	137
Адамовский район, п. Белополье [Adamovsky district, Belopol'e]	158	5	137	185
Кваркенский район, с. Екатериновка [Kvarkensky district, Ekaterinovka]	204	48	132	536
Кваркенский район, с. Кваркено [Kvarkensky district, Kvarkeno]	97	11	37	145

mean – среднее значение; SD – среднеквадратичное отклонение среднего; min, max – минимальное и максимальное значения [mean – mean value; SD – standard deviation; min, max – minimum and maximum values.]

период также невозможно получить объективную картину процессов накопления радона в помещениях, так как из-за разницы в промерзании грунта под зданием и вокруг него, а также влияния стек-эффекта (так называемого «эффекта печной трубы») [6] поступление радона из подстилающего грунта значительно усиливается. Наиболее достоверные результаты получаются при проведении исследований в весенне-осенний период, когда тепловой режим помещений близок к нейтральному (нет ни интенсивного проветривания, ни отапливания), а промерзание или переувлажнение грунтов вблизи зданий отсутствует.

Для детального обследования с целью определения источников поступления радона в помещения и оценки значимости вклада каждого источника были выбраны помещения в 4 зданиях общественного назначения (медицинские учреждения – ФАП, амбулатория, поликлиника) в с. Кваркено и с. Аландское (Кваркенский район), с. Аниховка и п. Нововинницкое (Адамовский район), в которых по данным комплексного радиационного обследования были выявлены превышения гигиенического норматива среднегодовой ЭРОА изотопов радона в воздухе и зарегистрированы одни из самых высоких уровней данного показателя; во всех помещениях был подведен системы центрального водоснабжения (для оценки вклада поступления радона из воды подземных источников).

Детальное радиационное обследование для выявления источников поступления радона в здания включало в себя поисковую гамма-съемку строительных конструкций выбранных помещений и определение содержания ПРН (в том числе ^{226}Ra) в материалах строительных конструкций помещения в точках с максимальными показаниями поискового гамма-радиометра с помощью полевого гамма-спектрометра; измерения МАЭД гамма-излучения в помещениях; непрерывный мониторинг ОА и ЭРОА радона в помещениях в разных режимах водопользования

(до включения воды, в процессе водопользования, после выключения воды); мониторинг коэффициента радиоактивного равновесия между радонам и его ДПР $F_{\text{РН}}$; определение УА радона в воде источников подземного водоснабжения, подающейся по распределительной сети населенного пункта; поисковую гамма-съемку, определение МАЭД гамма-излучения, определение ППР с поверхности грунта и ОА радона в почвенном воздухе на прилегающей территории вблизи зданий.

В рамках детального обследования в лабораторных условиях были проведены спектрометрические измерения УА ПРН (в том числе ^{226}Ra) и $A_{\text{эфф}}$ ПРН в пробах материалов строительных конструкций зданий (там, где была возможность отбора проб) и в пробах поверхностного слоя грунта (0–5 см) с прилегающей территории вблизи зданий, отобранных в точках с максимальными показаниями поискового радиометра, а также определены суммарная альфа- и бета-активность воды из разводящей сети, подведенной к помещениям.

Детальное радиационное обследование не выявило превышений гигиенических нормативов МАЭД гамма-излучения в выбранных помещениях и на прилегающей к зданиям территории, а также $A_{\text{эфф}}$ ПРН в материалах строительных конструкций зданий; УА ПРН в поверхностных слоях грунта (0–5 см) соответствовали диапазонам значений, характерным для данного типа почв [7] (табл. 4).

Вместе с тем, ППР радона с поверхности грунта вблизи всех 4 зданий (табл. 5) превышает установленное нормативными документами значение 80 мБк/(м²·с), при этом в отдельных точках наблюдается более чем 10-кратное превышение норматива (904 мБк/(м²·с) в п. Нововинницкое).

Такой радиологический показатель, как ОА радона в почвенном воздухе, не нормируется в санитарном законодательстве Российской Федерации, но определен как дополнительный признак потенциальной радоноопас-

Результаты измерений удельной активности ПРН в пробах поверхностного слоя грунта (0–5 см)

Таблица 4

[Table 4

Activity concentrations of natural radionuclides in topsoil samples (0–5 cm)]

Место отбора пробы [Sampling site]	№ образца [Sample No.]	Удельная активность, Бк/кг [Activity concentration, Bq/kg]		
		^{232}Th	^{226}Ra	^{40}K
Территория, прилегающая к зданию ФАП пос. Нововинницкое ГБУЗ «Адамовская РБ» [Novovinnitskoe, paramedic station, adjacent area]	1	50 ± 20	40 ± 15	750 ± 150
	2	55 ± 20	40 ± 15	710 ± 140
	3	50 ± 20	45 ± 20	700 ± 140
Территория, прилегающая к зданию амбулатории с. Аниховка ГБУЗ «Адамовская РБ» [Anikhovka, paramedic station, adjacent area]	1	20 ± 10	15 ± 10	340 ± 100
	2	20 ± 10	10 ± 5	350 ± 105
	3	20 ± 10	15 ± 10	350 ± 105
Территория, прилегающая к зданию ФАП с. Аландское ГАУЗ «Кваркенская РБ» [Alandskoe, paramedic station, adjacent area]	1	30 ± 15	30 ± 15	530 ± 160
	2	30 ± 15	25 ± 15	550 ± 165
	3	35 ± 15	30 ± 15	530 ± 160
Территория, прилегающая к зданию поликлиники ГАУЗ «Кваркено, поликлиника, adjacent area]	1	35 ± 15	25 ± 15	390 ± 115

Результаты измерений плотности потока радона с поверхности грунта в обследованных населенных пунктах (октябрь 2019 г.)

Таблица 5

[Table 5]

Район, населенный пункт [District, settlement]	ППР, мБк/(м ² ×с) [Density of radon flux, mBq/(m ² ×s)]			
	mean	SD	min	max
Адамовский район, с. Аниховка [Adamovsky district, Anikhovka]	148	30	6	295
Адамовский район, п. Нововинницкое [Adamovsky district, Novovinnitskoe]	377	101	49	904
Кваркенский район, с. Аландское [Kvarkensky district, Alandskoe]	252	33	154	460
Кваркенский район, с. Кваркено [Kvarkensky district, Kvarkeno]	92	6	55	122

mean – среднее значение; SD – среднеквадратичное отклонение среднего; min, max – минимальное и максимальное значения [mean – mean value; SD – standard deviation; min, max – minimum and maximum values.]

ности территории⁸, поэтому для трактовки его значений была использована классификация уровней радоноопасности, установленная в Швеции для земельных участков под застройку [8]). В соответствии с ней высокий уровень радоноопасности (ОА радона в почвенном воздухе более 50 кБк/м³) зафиксирован в 3 из 4 обследованных населенных пунктов (табл. 6).

УА радона в воде из распределительной сети населенных пунктов на момент проведения исследований составила в с. Кваркено 240±72 Бк/кг, в с. Аландское – 55±17 Бк/кг, в с. Аниховка – 705±211 Бк/кг, в п. Нововинницкое – 280±84 Бк/кг. Таким образом, уровень вмешательства по ²²²Rn, равный 60 Бк/кг, превышен в 3 из 4 обследованных

населенных пунктов, а в с. Аниховка, в частности, – более чем в 11 раз.

Мониторинг коэффициента радиоактивного равновесия между радонотом и его ДПР F_{Rn} для оценки воздухообмена в помещениях показал очень низкие (на уровне 0,2) значения этого показателя, что свидетельствует о постоянном притоке в помещения воздушных масс, хотя окна в помещениях на время проведения эксперимента были плотно закрыты, а двери приоткрывались на короткое время только для входа-выхода людей. Наиболее вероятный источник притока воздуха в помещение – из-под пола в местах ввода коммуникаций и по трещинам строительных конструкций.

Результаты измерений ОА радона в почвенном воздухе в обследованных населенных пунктах (октябрь 2019 г.)

Таблица 6

[Table 6]

Район, населенный пункт [District, settlement]	ОА радона в почвенном воздухе, кБк/м ³ [Soil gas radon concentration, kBq/m ³]			
	mean	SD	min	max
Адамовский район, с. Аниховка [Adamovsky district, Anikhovka]	98,247	22,187	60,506	162,515
Адамовский район, п. Нововинницкое [Adamovsky district, Novovinnitskoe]	182,863	59,157	97,621	355,396
Кваркенский район, с. Аландское [Kvarkensky district, Alandskoe]	131,984	15,592	97,408	172,352
Кваркенский район, с. Кваркено [Kvarkensky district, Kvarkeno]	34,279	2,736	30,106	42,192

mean – среднее значение; SD – среднеквадратичное отклонение среднего; min, max – минимальное и максимальное значения [mean – mean value; SD – standard deviation; min, max – minimum and maximum values.]

⁸ Радиационный контроль и санитарно-эпидемиологическая оценка земельных участков под строительство жилых домов, зданий и сооружений общественного и производственного назначения в части обеспечения радиационной безопасности: Методические указания МУ 2.6.1.2398-08. Утверждены Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации 02.07.2008 г. Пункт 6.13 [Radiation control and sanitary and epidemiological assessment of land sites for construction of residential, public and industrial buildings and facilities. Guidelines MU 2.6.1.2398-08. Approved by the Chief state sanitary doctor of the Russian Federation on 02.07.2008. (In Russ.) Paragraph 6.13.]

Мониторинг ОА и ЭРОА радона в помещениях не выявил ярко выраженной связи пользования водой в помещении с ростом содержания радона в воздухе, который продолжался и после выключения воды, что говорит о преимущественном поступлении радона в помещение из другого источника.

Результаты выполненного детального обследования помещений в 4 зданиях общественного назначения с высокими уровнями содержания радона в Кваркенском и Адамовском районах однозначно свидетельствуют, что основным источником поступления радона в воздух помещений жилых и общественных зданий в обследованных населенных пунктах является подстилающий грунт под зданиями (а с учетом строительных характеристик большинства зданий радон свободно проникает в помещения); вклад воды из системы водоснабжения как источника поступления радона в воздух помещений является незначительным по сравнению со вкладом основного источника.

Заключение

Оценка доз природного облучения населения в 6 районах восточной части Оренбургской области (Адамовском, Домбаровском, Кваркенском, Новоорском, Светлинском районах и Ясенском ГО) показала, что только в 9 из 34 обследованных населенных пунктов средние дозы облучения жителей за счет ПИИИ по классификации ОСПОРБ 99/2010 соответствуют приемлемому уровню природного облучения (не превышают 5 мЗв/год). Население 18 населенных пунктов получает повышенные (в интервале от 5 до 10 мЗв/год) дозы облучения за счет ПИИИ; 7 населенных пунктов – высокие (свыше 10 мЗв/год). Для отдельных жителей дозовая нагрузка может превышать значение 10 мЗв/год в десятки раз.

Основным дозообразующим фактором и причиной повышенного и высокого природного облучения жителей 25 населенных пунктов Адамовского, Домбаровского, Кваркенского, Светлинского районов и Ясенского ГО во всех проанализированных случаях является радон, поступающий в помещения из грунта под зданиями; вклад воды из системы водоснабжения как источника поступления радона в воздух помещений является незначительным по сравнению со вкладом основного источника.

Сведения о личном вкладе авторов в работу над статьей

Кормановская Т.А. разработала дизайн исследования, определила цели и задачи, руководила выполнением полевых исследований, выполнила расчет доз, 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.

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, выполнила спектрометрические измерения и анализ их результатов, 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. Т.А. Кормановская, И.К. Романович, Н.Е. Вяльцина, и др. Облучение населения Оренбургской области природными источниками ионизирующего излучения. Часть 1: Результаты комплексного радиационного обследования населенных пунктов восточных районов Оренбургской области // Радиационная гигиена. 2023. Т. 16, № 1. С. 89–101. DOI: 10.21514/1998-426X-2023-16-1-89-101.
2. 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.
3. Романович И.К., Статат И.П., Кормановская Т.А., Кононенко Д.В. Природные источники ионизирующего излучения: дозы облучения, радиационные риски, профилактические мероприятия. Под ред. акад. РАН Г.Г. Онищенко и проф. А.Ю. Поповой. СПб.: ФБУН НИИРГ им. П.В. Рамзаева, 2018. 432 с.
4. Киселев С.М., Жуковский М.В., Статат И.П., Ярмошенко И.В. Радон. От фундаментальных исследований к практике регулирования. М.: Изд-во «ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России», 2016. 432 с.
5. Васильев А.С., Романович И.К., Кононенко Д.В., и др. Обоснование методических подходов к контролю содержания радона в воздухе помещений эксплуатируемых общественных зданий с некруглосуточным пребыванием людей // Радиационная гигиена. 2021. Т. 14, № 3. С. 29–40. DOI: 10.21514/1998-426X-2021-14-3-29-40.
6. Жуковский М.В., Кружалов А.В., Гурвич В.Б., Ярмошенко И.В. Радонная безопасность зданий. Екатеринбург: УрО РАН, 2000. 180 с.
7. Пономарёва И.С. Биологический круговорот радионуклидов и динамика лейкоза коров в Оренбуржье // Радиационная биология. Радиоэкология. 2008. Т. 48, № 5. С. 606–610.
8. Åkerblom G. Investigations and mapping of radon risk areas // Geology for Environmental Planning. Geological Survey of Norway, Special papers 2, 1987. P. 96–106.

Поступила: 05.04.2023 г.

Кормановская Татьяна Анатольевна – кандидат биологических наук, ведущий 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. **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 безопасностью Управления Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по 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 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

Кокоулина Елена Сергеевна – ведущий инженер-исследователь 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

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., Кононенко Д.В., Сапрыкин К.А., Кокоулина Е.С., Королева Н.А. Облучение населения Оренбургской области природными источниками ионизирующего излучения. Часть 2: Дозы облучения населения восточных районов Оренбургской области // Радиационная гигиена. 2023. Т. 16, № 2. С. 7-18. DOI: 10.21514/1998-426X-2023-16-2-7-18

Public exposure in the Orenburg region due to natural sources of ionizing radiation. Part 2:

Doses to the population of the eastern districts of the Orenburg region

Tatyana A. Kormanovskaya ¹, Ivan K. Romanovich ¹, Natalya E. Vyaltina ², Sergey V. Gaevoy ², Dmitry V. Kononenko ¹,
Kirill A. Saprykin ¹, Elena S. Kokoulina ¹, Nadezhda A. Koroleva ¹

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

The paper presents the estimated doses to the population of six eastern districts of the Orenburg region, Russia, based on the results of a comprehensive radiation survey conducted in 2019 in 34 settlements with previously found elevated levels of activity concentration of natural radionuclides in tap water from ground-

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

water sources of drinking water supply. It is shown that the average individual annual effective dose due to all natural sources of ionizing radiation in 18 of 34 settlements corresponds to 'elevated level' of exposure due to natural sources according to established classification (from 5 to 10 mSv/year), and in another 7 settlements to 'high level' (over 10 mSv/year) with radon being the main contributor to the dose. Four settlements of Kvarkensky and Adamovsky districts, where the highest indoor radon concentrations had been found, were selected for a detailed survey, which included measurements of density of radon flux from the soil, radon concentration in soil gas, activity concentration of natural radionuclides in samples of building materials and in soil samples, and activity concentration of radon in tap water from groundwater sources of drinking water supply. Results of the detailed survey proved that the main source of radon in the buildings was the soil gas infiltration; compared to it, the contribution of waterborne radon release was insignificant.

Key words: natural sources of ionizing radiation, natural radionuclides, radon, groundwater sources, drinking water, density of radon flux, soil gas, 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, assessed the doses, 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.

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, made gamma spectrometric measurements and analyzed the results, and edited an 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 (085350000319000268).

References

1. Kormanovskaya TA, Romanovich IK, Vyaltsina NE, Gaevoy SV, Bondar LV, Kononenko DV, et al. 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;16(1): 89–101. DOI: 10.21514/1998-426X-2023-16-1-89-101. (In Russian).
2. 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).
3. Romanovich IK, Stamat IP, Kormanovskaya TA, Kononenko DV. Natural sources of ionizing radiation: radiation doses, radiation risks, preventive measures. Saint-Petersburg: FBUN NIIRG im. P.V. Ramzaeva; 2018. 432 p. (In Russian).
4. Kiselev SM, Zhukovsky MV, Stamat IP, Yarmoshenko IV. Radon. From fundamental research to regulatory practice. Moscow: Russian State Research Center – Burnasyan Federal Medical Biophysical; 2016. 432 p.
5. Vasilyev AS, Romanovich IK, Kononenko DV, Kormanovskaya TA, Saprykin KA, Balabina TA. Substantiation of methodical approaches to the control of indoor radon concentration in existing public buildings with non-round-the-clock stay of people. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2021;14(3): 29–40. DOI: 10.21514/1998-426X-2021-14-3-29-40. (In Russian).
6. Zhukovsky MV, Krushalov AV, Gurchik VB, Yarmoshenko IV. Radon safety of buildings. Ekaterinburg: UB RAS; 2000. 180 p. (In Russian).
7. Ponomaryova IS. Biological Radionuclides Cycle and Dynamics of Cattle Leucosis in the Orenburg Region. *Radiacionnaya biologiya. Radiojekonomika = Radiation Biology. Radioecology*. 2008;48(5): 606–610. (In Russian).
8. Åkerblom G. Investigations and mapping of radon risk areas. In: *Geology for Environmental Planning*. Geological Survey of Norway, Special papers 2; 1987. P. 96–106.

Received: April 05, 2023

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

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

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., Kononenko D.V., Saprykin K.A., Kokoulina E.S., Koroleva N.A. Public exposure in the Orenburg region due to natural sources of ionizing radiation. Part 2: Doses to the population of the eastern districts of the Orenburg region. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2023. Vol. 16, No. 2. P. 7-18. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2023-16-2-7-18