

DOI: 10.31862/2500-2961-2023-13-3-278-291

УДК 631.438.2

Н.Е. Гурьев, В.В. КлименкоТюменский государственный университет,
625003 г. Тюмень, Российская Федерация

Комплексное радиационно-экологическое исследование города Тюмени

В статье приведены результаты комплексных радиационно-экологических исследований территории г. Тюмени, которые заключались в изучении содержания естественных (^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th) и техногенных (^{137}Cs , ^{90}Sr) радионуклидов в поверхностном слое почвогрунтов, а также измерениях плотности потока радона с поверхности грунта и мощности эквивалентной дозы гамма-излучения. Содержание естественных и техногенных радионуклидов, плотности потока радона с поверхности грунта, мощности эквивалентной дозы гамма-излучения не превышают действующие нормы радиационной безопасности. Полученные данные могут быть использованы в научных и производственных целях в сфере радиационно-экологического мониторинга урбанизированных территорий.

Ключевые слова: мощность эквивалентной дозы гамма-излучения, плотность потока радона, естественные радионуклиды, техногенные радионуклиды, г. Тюмень

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Гурьев Н.Е., Клименко В.В. Комплексное радиационно-экологическое исследование города Тюмени // Социально-экологические технологии. 2023. Т. 13. № 3. С. 278–291. DOI: 10.31862/2500-2961-2023-13-3-278-291

DOI: 10.31862/2500-2961-2023-13-3-278-291

N.E. Guryev, V.V. KlimenkoTyumen State University,
Tyumen, 625003, Russian Federation

Comprehensive radiation and ecological study of the city of Tyumen

The article presents the results of comprehensive radiation ecological studies of the territory of Tyumen which consisted of the study of the content of natural (^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th) and man-made (^{137}Cs , ^{90}Sr) radionuclides in the surface layer of soils, the measurement of radon flux density from the ground and the equivalent dose rate of gamma radiation. The content of natural and man-made radionuclides, radon flux density from the soil surface, equivalent dose rate of gamma-radiation do not exceed the current standards of radiation safety. The data obtained can be used for scientific as well as production purposes in the field of radiation and environmental monitoring of urbanized areas.

Key words: equivalent dose rate of gamma radiation, radon flux density, natural radionuclides, man-made radionuclides, Tyumen

FOR CITATION: Guryev N.E., Klimenko V.V. Comprehensive radiation and ecological study of the city of Tyumen. *Environment and Human: Ecological Studies*. 2023. Vol. 13. No. 3. Pp. 278–291. (In Rus.) DOI: 10.31862/2500-2961-2023-13-3-278-291

Введение

Комплексные исследования состояния компонентов окружающей среды, включающие изучение атмосферного воздуха, геолого-геоморфологических, гидрогеологических условий, описания почв, биологического разнообразия, экологического состояния в условиях городской среды имеет важное научное и производственное значение. Особый

интерес представляют исследования радиационно-экологического плана в условиях урбанизированных территорий. В настоящее время для территории города Тюмени и его окрестностей, предназначенных под строительство (жилых домов, общественных и промышленных зданий, сооружений и т.д.), в открытом доступе отсутствует информация о комплексных радиационно-экологических исследованиях, которые имеют не только производственный характер, но и научный не только на общегородском уровне, но и локальном (точечном).

За последние пять лет на территории г. Тюмени уже были прецеденты, когда вопрос радиационной безопасности на локальном уровне активно освещался средствами массовой информации. В период с 2018 по 2020 г. в средствах массовой информации города выпускались материалы, касающиеся повышенных уровней радиационного фона локального характера. Они были обнаружены на набережной правого берега р. Тура в 2018 г. (источником повышенного фона являлись установленные гранитные плиты), частном секторе (источником повышенного фона являлся свинцовый контейнер, предназначенный для хранения радиоактивных отходов), на мусоросортировочном заводе в 2020 г. (неустановленный источник повышенного радиационного фона)¹.

Региональные исследования радиационно-экологического плана, связанные с изучением содержания естественных и техногенных радионуклидов на территории Тюменской области, конечно, проводились [Захарова, 2006; Гаева и др., 2014; Бурлаенко, 2018 и др.]. Однако данные работы не носят комплексный формат исследования и не затрагивают территорию г. Тюмени.

Таким образом, комплексные радиационно-экологические исследования в условиях городской среды являются важным и актуальным направлением. Настоящая статья является основой для будущих исследований и требует дальнейшей детализации данной проблемы.

Цель исследования заключается в комплексном радиационном исследовании территории административных округов г. Тюмени.

В задачи исследования входило:

- изучение информации о текущей радиационной обстановке административных округов г. Тюмени по официально опубликованным данным государственных органов исполнительной власти и информации, размещенной в региональных СМИ;

¹ URA.RU. 2018. URL: https://ura.news/news/1052357268utm_source=yxnews&utm_medium=desktop&utm_referrer=https%3A%2F%2Fyandex.ru%2Fnews%2Fsearch%3Ftext%3D (дата обращения: 13.02.2023); 72.RU. 2019. URL: <https://72.ru/text/gorod/2019/10/15/66271423> (дата обращения: 13.02.2023); Вслух. Ру. 2020. URL: https://vsluh.ru/novosti/obshchestvo/izvestny-itogi-zamerov-urovnya-radiatsii-na-tyumenskom-musorosortirovochnom-zavode_338106/ (дата обращения: 13.02.2023).

- определение содержания естественных (^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th) и техногенных (^{137}Cs , ^{90}Sr) радионуклидов в поверхностном слое почвогрунтов;
- измерение плотности потока радона с поверхности грунта на территориях сельскохозяйственных полей, городских улиц, окрестностей промышленных зон, парков и скверов;
- измерение мощности эквивалентной дозы гамма-излучения г. Тюмени.

Материалы и методы исследования

В работе применены методы радиозокологических исследований, используемые для определения содержания ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{137}Cs , ^{90}Sr в поверхностном слое почвогрунтов, измерения плотности потока радона с поверхности грунта и мощности эквивалентной дозы гамма-излучения территории г. Тюмени.

Лабораторный анализ содержания естественных и техногенных радионуклидов в почвогрунтах выполнялся с помощью спектрометрического комплекса УСК «Гамма плюс». Пробы почвогрунтов отбирались с глубины 0–20 см, общей массой не менее 1 кг. Из отобранной пробы удалялись ветки, корни деревьев, строительный и бытовой мусор, а также каменный материал. Отобранная проба высушивалась в естественных условиях, в помещении при температуре воздуха порядка 20 °С. Просушенные пробы просеивались с помощью сита диаметром ячеек 0,5 мм. Всего было отобрано 200 проб почвогрунтов².

Измерение плотности потока радона с поверхности грунта проводилось с помощью радиометра радона «РРА-01М-03» и вспомогательного пробоотборного устройства «ПОУ-04». Радиометр радона «РРА-01М-03» предназначен для измерения ^{222}Rn в поверхностной и подземной воде, воздухе жилых, общественных и рабочих помещений, почвах и грунтах. Работа прибора основана на электростатическом осаждении дочерних продуктов распада ^{222}Rn из отобранной пробы воздуха на поверхность полупроводникового детектора с помощью высокого положительного потенциала, поданного на электрод измерительной камеры. Активность ^{222}Rn определяется альфа-спектрометрическим методом по количеству зарегистрированных альфа-частиц при распаде $^{218}\text{Po}^3$.

² ГОСТ 17.4.3.01–83. Охрана природы. Почвы. Общие требования к отбору проб; ГОСТ 28168–89. Почвы. Отбор проб.

³ Методические указания 2.6.1.2398–08 «Радиационный контроль и санитарно-эпидемиологическая оценка земельных участков под строительство жилых домов, зданий и сооружений общественного и производственного назначения в части обеспечения радиационной безопасности»; Руководство по эксплуатации радиометра радона РРА-01М-03 МГФК 412124.003 РЭ.

Для выполнения измерений на заранее выбранном участке выкапывается углубление размером $0,2 \times 0,2 \text{ м}^2$ и глубиной 3–5 см. Предварительно участок заранее очищается от мусора и растительности. Измерения выполняются через 20 минут после окончания полной подготовки участка. Всего было выполнено 179 измерений.

Измерение мощности эквивалентной дозы гамма-излучения проводилось с помощью многофункционального дозиметра ДКГ–01 «Сталкер», который обладает функцией закрепления полученных результатов в географическом пространстве. Всего выполнено 500 измерений в заранее выбранных контрольных точках. Измерения производились с 3-разовой повторяемостью для вычисления среднеарифметического значения на высоте 1 м от поверхности земли [Старков, Мигунов, 2010].

Результаты радиометрических исследований заносились в специальный полевой журнал, в котором указывалась дата, место, вид и результаты полученного измерения. Анализ содержания естественных и техногенных радионуклидов проводился в лаборатории радиационной экологии ИНЗЕМ Тюменского государственного университета. Статистическая обработка проводилась в программе Microsoft Excel.

Результаты и их обсуждение

Основными источниками, в значительной степени оказывающими влияние на «общий» радиационный фон ландшафта, являются естественные и техногенные радионуклиды. В условиях городской среды радиационное воздействие оказывают природные радионуклиды, которые аккумулируются в почвогрунтах, а также содержатся в горных породах, которые используются в качестве декора, и техногенные, которые образуются в результате ядерных реакций в период работы и эксплуатации АЭС, промышленных и военных заводов и т.д. Для г. Тюмени, в условиях отсутствия техногенных источников радиационного загрязнения, изменения на локальном и общегородском уровне происходят за счет природных радионуклидов (^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{222}Rn).

Оценка влияния естественных радионуклидов на общий радиационный фон территории г. Тюмени проводилась, исходя из расчета удельной эффективной активности естественных радионуклидов по формуле:

$$A_{\text{эфф}} = A_{\text{Ra}} + 1,3A_{\text{Th}} + 0,09A_{\text{K}} \leq 370 \text{ Бк/кг}, \quad (1)$$

где A_{Ra} , A_{Th} , A_{K} – содержание ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th в исследуемых пробах.

Критерием для оценки содержания в отобранных образцах техногенных радионуклидов (^{137}Cs , ^{90}Sr) являлся официальный и действующий документ «Критерии оценки экологической обстановки территории для

выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия, 1992 г.», в котором относительно удовлетворительной обстановкой считается содержание в пробах ^{137}Cs , равное 185 Бк/кг, и ^{90}Sr , равное 55,5 Бк/кг.

В качестве дополнительного источника сравнения полученных результатов лабораторных исследований отобранных проб почвогрунтов являлись «Доклад об экологической ситуации в Тюменской области, 2020 г.», где содержание ^{137}Cs составляло 5,8 Бк/кг и ^{90}Sr 1,8 Бк/кг соответственно для территории Тюменского района, а также работа В.З. Бурлаенко, в которой отбор образцов почв проводился в эпицентре «мирного» ядерного взрыва «Тавда». Автором работы было определено содержание ^{137}Cs в интервале 157–297 Бк/кг (восток 200, 300 м; север 300 м; юг 300, 400 м) и ^{90}Sr 127 Бк/кг (500 м от эпицентра ядерного взрыва «Тавда») [Бурлаенко, 2018]. В табл. 1 представлены усредненные результаты лабораторных исследований проб почвогрунтов, отобранных на территории административных округов г. Тюмени.

Таблица 1

Средние результаты содержания естественных и техногенных радионуклидов в почвогрунтах административных округов г. Тюмени
[Average results of the content of natural and man-made radionuclides in the soils and grounds of the administrative districts of Tyumen]

Административный округ [Administrative district]	Среднее содержание естественных и техногенных радионуклидов, Бк/кг [Average content of natural and man-made radionuclides, Bq/kg]					
	^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K	$A_{\text{эфф}}^*$	^{137}Cs	^{90}Sr
Калининский [Kalininskiy]	12	16	309	60,61	2	1
Центральный [Tsentralnyy]	11	17	284	58,66	1	1
Ленинский [Leninskiy]	9	18	350	63,9	2	1
Восточный [Vostochnyy]	15	17	400	73,1	2	1

Примечание. * – удельная эффективная активность естественных радионуклидов.

[Note. * – specific effective activity of natural radionuclides.]

Анализируя полученные результаты лабораторных исследований проб почвогрунтов (см. табл. 1), можно сделать вывод о том, что превышений эффективной удельной активности природных радионуклидов не выявлено. Согласно ГОСТ 30108–94 (Приложение А, критерии для принятия решений об использовании строительных материалов согласно гигиеническим правилам) отобранные образцы относятся к «первому классу» и могут быть использованы во всех видах строительства без ограничения.

Полученные результаты исследования содержания техногенных радионуклидов в пробах почвогрунтов административных округов г. Тюмени на порядок ниже данных, представленных в докладе об экологической ситуации в Тюменской области (2021) и данных, полученных В.З. Бурлаенко на территории подземного ядерного взрыва «Тавда». Дополнительно в процессе исследования для сравнительного анализа полученных результатов проб, отобранных на территории г. Тюмени, был произведен отбор проб почвогрунтов в Гольшмановском, Сладковском, Тобольском муниципальных районах юга Тюменской области. Всего отобрано 9 проб. Результаты исследования содержания естественных и техногенных радионуклидов муниципальных районов юга Тюменской области представлены в табл. 2.

Таблица 2

**Содержание естественных и техногенных радионуклидов
в почвогрунтах муниципальных районов
юга Тюменской области
[Content of natural and man-made radionuclides
in the soil of municipal districts of south Tyumen region]**

Муниципальный район [Municipal district]	Среднее содержание естественных и техногенных радионуклидов, Бк/кг [Average content of natural and man-made radionuclides, Bq/kg]				
	²²⁶ Ra	²³² Th	⁴⁰ K	¹³⁷ Cs	⁹⁰ Sr
Гольшмановский [Golyshmanovskiy]	10	24	400	<5	0,5
Сладковский [Sladkovskiy]	8,6	30	490	<2	1
Тобольский [Tobolskiy]	2	17	300	<2	0,5

Таким образом, полученные результаты содержания естественных и техногенных радионуклидов Гольшмановского, Сладковского и Тобольского муниципальных районов ниже или равны полученным лабораторным исследованиям проб почвогрунтов административных округов г. Тюмени. Стоит отметить, что согласно данным мониторинга (2000–2004 гг.) радиационной обстановки Тюменской области, наиболее высокие показатели содержания техногенных радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr в почвах области характерны для верхних слоев почв, а на глубине 20–40 см отмечается заметное снижение содержания [Захарова, 2006]. Как обоснование этому было выдвинуто предположение о низком содержании гумуса в нижних горизонтах почвенного профиля, что ухудшает структуру почвы, а также преобладание суглинистых отложений, которые поглощают и удерживают в своей структуре радионуклиды. Также, согласно данной работе, полученные значения не превышали норм содержания радионуклидов в почвах Тюменской области. Самые высокие показатели были зафиксированы в Нижнетавдинском районе по ^{137}Cs (19,5 Бк/кг) в 2004 г. и ^{90}Sr (4,4 Бк/кг) в 2000 г., самые низкие – в Юргинском районе по ^{137}Cs (0,3 Бк/кг) в 2004 г. и Нижнетавдинском районе по ^{90}Sr (0,7 Бк/кг) в 2004 г. [Захарова, 2006].

Одним из видов производственного контроля территории, предназначенной под строительство жилых, общественных и производственных зданий и сооружений на стадии строительства, является контроль плотности потока радона с поверхности грунта. В работе представлены результаты исследования плотности потока радона с поверхности грунта, измеренные на сельскохозяйственных полях, городских улицах, окрестностях промышленных зон, территорий парков, скверов административных округов г. Тюмени.

Радон – это опасный бесцветный инертный радиоактивный газ, являющийся альфа-излучателем, имеет 3 изотопа. Наиболее долгоживущий изотоп ^{222}Rn с периодом полураспада 3,8 суток. Причиной повышенного содержания изотопов радона в почвах, подвалах, помещениях жилых, общественных, промышленных зданиях и сооружениях является высокое содержание ^{232}Th , ^{226}Ra в породах окружающего ландшафта и используемых строительных материалах, которые в результате своего распада образуют ^{222}Rn [Старков, Мигунов, 2010]. В табл. 3 представлены усредненные результаты полевых исследований плотности потока радона с поверхности грунта административных округов г. Тюмени.

**Результаты исследования плотности потока ^{222}Rn
с поверхности грунта административных округов г. Тюмени**
**[The results of the study of flux density ^{222}Rn
from the surface of the ground of Tyumen]**

Административный округ [Administrative district]	Плотность потока ^{222}Rn с поверхности грунта, МБк/(м ² с) [Flux density of ^{222}Rn from the ground surface, MBq/(m ² s)]		
	Min	Max	Среднее [Average value]
Калининский [Kalininskiy]	25	38	33
Центральный [Tsentralnyy]	28	45	36
Ленинский [Leninskiy]	22	40	34
Восточный [Vostochnyy]	27	41	32

Согласно действующему нормативному документу МУ 2.6.1.2398–08 «Радиационный контроль и санитарно-эпидемиологическая оценка земельных участков под строительство жилых домов, зданий и сооружений общественного и производственного назначения в части обеспечения радиационной безопасности», норма плотности потока ^{222}Rn с поверхности грунта для жилых домов, общественных зданий и сооружений составляет 80 и 250 МБк/(м²с) для производственных.

Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что превышений действующих норм не выявлено, как для территорий, предназначенных под постройку жилых, общественных зданий и сооружений, так и для промышленных (см. табл. 3). Относительно низкая концентрация радона на участках исследования объясняется отсутствием большого количества ^{232}Th , ^{226}Ra в почвообразующих породах и почвогрунтах территории г. Тюмени. Также показатели плотности потока радона обусловлены природными факторами, влияющими на их временные колебания. К основным таким факторам стоит относить колебания влажности почв и почвогрунтов, атмосферного давления, температуры грунта и атмосферного воздуха, промерзание грунтов в зимний период и уровень грунтовых вод [Влияние уровня грунтовых вод на перенос радона..., 2014]. В целом, для территории Тюменской области характерны невысокие показатели плотности потока радона с поверхности грунта, которые

не превышают 80 мБ/кг/(м²с). Однако отмечаются локальные участки, где показатели ²²²Rn превышают установленную норму. Например, согласно исследованию, проведенному на территории Тобольского района Тюменской области, показатели плотности потока радона с глубиной почвенного профиля увеличиваются в несколько раз [Колобов, 2022]. Автор предположил, что это может быть связано с подземными водами и большой долей мелкодисперсной фракции в составе почв на глубине, что влияет на их проницаемость и затрудняет газообмен и эманацию радона.

Мощность эквивалентной дозы гамма-излучения является одним из важнейших показателей, характеризующих общую радиационную обстановку изучаемой территории, т.к. при одной и той же поглощенной дозе последствия ионизирующего излучения на живой организм и на отдельный его орган могут быть разными, длительное воздействие гамма-излучения пагубно сказывается на организме. Измерение мощности эквивалентной дозы гамма-излучения является обязательной процедурой на территориях, предназначенных под строительство жилых, общественных и производственных зданий и сооружений. В таблице 4 представлены усредненные результаты мощности эквивалентной дозы гамма-излучения на территории административных округов г. Тюмени.

Таблица 4

Результаты исследования мощности эквивалентной дозы гамма-излучения в г. Тюмени
[Results of the equivalent dose rate of gamma-radiation of the administrative districts of Tyumen]

Административный округ [Administrative district]	Мощность эквивалентной дозы гамма-излучения, мкЗв/ч [Gamma radiation equivalent dose rate, μSv/hour]		
	Min	Max	Среднее [Average value]
Калининский [Kalininskiy]	0,06	0,12	0,09
Центральный [Tsentralnyy]	0,09	0,15	0,11
Ленинский [Leninskiy]	0,07	0,11	0,08
Восточный [Vostochnyy]	0,08	0,10	0,09

Законами Российской Федерации в обязательном порядке согласно нормам радиационной безопасности (НРБ–99/2009, СП 2.6.1.2612–10), а также методическим указаниям (МУ 2.6.1.2398–08, МУ 2.6.1.2838–11) радиационный контроль проводится на земельных участках на стадии нового строительства, реконструкции и ремонта. Дополнительные работы ведутся государственными органами исполнительной власти в рамках государственного мониторинга окружающей среды. Выполняемые исследования носят общий городской уровень и не имеют точечных данных, в связи с чем информация о радиационной обстановке на локальном уровне остается неизвестной.

Результаты полевых исследований, представленные в табл. 4, позволяют сделать вывод о том, что территория административных округов г. Тюмени соответствует нормам радиационной безопасности, и полученные результаты не превышают действующих норм. Максимальные значения мощности эквивалентной дозы гамма-излучения обнаружены в Центральном административном округе (0,15 мкЗв/ч), наименьшие значения – в Калининском (0,06 мкЗв/ч). Также, согласно данным исследования, проведенного в 2013 г., мощность эквивалентной дозы гамма-излучения в районах юга Тюменской области обусловлена естественным гамма-фоном местности и не превышает установленных контрольных уровней. Максимальные значения мощности эквивалентной дозы были отмечены в Вагайском (12,27 мкР/ч), Омутинском (10,82 мкР/ч) и Аромашевском (10,10 мкР/ч) районах, что позволяет выявить временную закономерность соответствия Тюменского района и г. Тюмени нормам радиационной безопасности по показателю мощности эквивалентной дозы [Захарова, Гаеваева, Бурлаенко, 2013].

Согласно докладу правительства Тюменской области «О состоянии окружающей среды Тюменской области, 2021 год» превышений установленных контрольных уровней радиационного фона не выявлено, а максимальное значение, зафиксированное на метеорологической станции Тюмень, не превышало значений в 0,17 мкЗв/ч.

Сопутствующим фактором, оказывающим воздействие на общий радиационный фон, являются выпавшие атмосферные осадки, в которых содержатся естественные и техногенные радионуклиды. Радиационный контроль и мониторинг выпавших атмосферных осадков является важной и неотъемлемой частью радиационной безопасности населения, т.к. в случае превышений установленных норм значительные площади территории будут загрязнены, а источник техногенного воздействия может находиться за несколько десятков или даже сотен

километров от места загрязнения. По результатам наблюдений метеорологической станции Тюмень, радиоактивное загрязнение атмосферных осадков составляет 1,1 Бк/м в сутки. За многолетний период наблюдается тенденция к их снижению. Среднемесячные значения изменяются в интервале от 0,85 до 1,37 Бк/м в сутки.

Выводы

1. Содержания естественных (^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th) и техногенных (^{137}Cs , ^{90}Sr) радионуклидов в поверхностном слое почвогрунтов с учетом площади антропогенно-измененных ландшафтов г. Тюмени в отобранных образцах не превышают действующих норм радиационной безопасности и соответствуют общерегиональным значениям. Причиной низкого содержания естественных и техногенных радионуклидов является отсутствие природных и техногенных источников повышенного радиационного фона.

2. По результатам исследований плотности потока радона с поверхности грунта административных округов г. Тюмени превышений действующих норм в 80 мБк/(м²с) и 250 мБк/(м²с) для территорий, предназначенных под строительство общественных, деловых и промышленных зданий и сооружений, выявлено не было. Низкое содержание природных радионуклидов в почвогрунтах является лимитирующим фактором относительно низких показателей плотности потока радона с поверхности грунта территории исследования.

3. По результатам измерений мощности эквивалентной дозы гамма-излучения для территорий, предназначенных под строительство общественных, деловых и промышленных зданий и сооружений административных округов г. Тюмени, превышений действующих норм радиационной безопасности не выявлено.

Библиографический список / References

Бурлаенко В.З. Оценка радиационного состояния компонентов природной среды юга Тюменской области: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Тюмень, 2018. [Burlaenko V.Z. Otsenka radiatsionnogo sostoyaniya komponentov prirodnoi sredy yuga Tyumenskoi oblasti [Assessment of radiation state of natural environment components in the South of Tyumen region]. PhD theses. Tyumen, 2018.]

Влияние уровня грунтовых вод на перенос радона в почвенном воздухе на полигоне в Екатеринбурге / Климшин А.В., Антипин А.Н., Микляев П.С. и др. // АНРИ. 2014. № 2. С. 45–52. [Klimshin A.V, Antipin A.N., Miklyayev P.S. et al., Impact of the groundwater level n transfer of radon in the soil air at the landfill in Yekaterinburg. ANRI. 2014. No. 2. Pp. 45–52. (In Rus.)]

Захарова Е.В. Эколого-радиационное состояние природной среды Тюменской области: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Тюмень, 2006. [Zakharova E.V. Ekologo-radiatsionnoe sostoyanie prirodnoy sredy Tyumenskoy oblasti [Ecological and radiation state of the natural environment of Tyumen region]. PhD theses. Tyumen, 2006.]

Захарова Е.В., Гаева Е.В., Бурлаенко В.З. Воздействие техногенных радионуклидов на компоненты природной среды юга Тюменской области // Плодородие. 2014. № 6. С. 46–48. [Zakharova E.V., Gaeva E.V., Burlaenko V.Z. Impact of technogenic radionuclides on the components of the natural environment of the South of the Tyumen region. *Plodorodie*. 2014. No. 6. Pp. 46–48. (In Rus.)]

Колобов А.П. Плотность потока радона-222 в почвах Тобольского района Тюменской области // Известия Иркутского государственного университета. Серия: Науки о Земле. 2022. Т. 39. С. 56–68. [Kolobov A.P. Radon flux density-222 in soils of Tobolsk district of Tyumen region. *Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Nauki o Zemle*. 2022. Vol. 39. Pp. 56–68. (In Rus.)]

Старков В.Д., Мигунов В.И. Радиационная экология. Тюмень, 2010. [Starkov V.D., Migunov V.I. Radiatsionnaya ekologiya [Radiation ecology]. Tyumen, 2010.]

Статья поступила в редакцию 15.03.2023, принята к публикации 26.05.2023
The article was received on 15.03.2023, accepted for publication 26.05.2023

Сведения об авторах / About the authors

Гурьев Никита Евгеньевич – ассистент кафедры геоэкологии и природопользования Института наук о Земле, Тюменский государственный университет

Nikita E. Guryev – Assistant at the Department of Geocology and Environmental Management of the Institute of Earth Sciences, Tyumen State University, Tyumen

ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-0602-1969>

E-mail: nikitka.gurev.1996@mail.ru

Клименко Валентина Вячеславовна – магистрант кафедры геоэкологии и природопользования Института наук о Земле, Тюменский государственный университет

Valentina V. Klimenko – MA-student at the Department of Geocology and Environmental Management of the Institute of Earth Sciences, Tyumen State University

ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-8533-9809>

E-mail: KlimenkoValya@inbox.ru

Заявленный вклад авторов

Гурьев Н.Е. – руководство исследованием, сбор полевого материала, статистическая обработка данных, интерпретация результатов, подготовка текста статьи

Клименко В.В. – статистическая обработка данных, подготовка и написание литературного обзора, подготовка текста статьи

Contribution of the authors

N.E. Guryev – research management, collection of field material, statistical processing of data, interpretation of results, preparation of the text of the article

V.V. Klimenko – statistical processing of data, preparation and writing of the literature review, preparation of the text of the article

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи
All authors have read and approved the final manuscript