

СОДЕРЖАНИЕ И ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЕСТЕСТВЕННЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ В ПОЧВАХ МАЛОГО АРКТИЧЕСКОГО ГОРОДА

© 2020 г. В. В. Кряучюнас, И. А. Кузнецова, Е. И. Котова, С. А. Игловский, К. А. Мироненко, *С. Г. Суханов

ФГБУН «Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н. П. Лавёрова Российской академии наук», г. Архангельск; *ФГБОУ ВО «Северный государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Архангельск

Онежский район входит в первые десять муниципальных образований Архангельской области с максимальным уровнем заболеваемости новообразованиями, проведение многоаспектных радиологических исследований на территории города Онега считаем актуальным. *Цель* данной работы – установить основные закономерности в распределении естественных и техногенных радионуклидов в городских почвах моногорода Онега и выявить основные малоинтенсивные радиоактивные аномалии; дать объективную оценку радиационных рисков и потенциального ущерба здоровью местного населения. *Методы.* Для выполнения поставленной цели проведен отбор проб почв в каждом квартале города с дальнейшим определением удельной активности радионуклидов на гамма-спектрометре «Прогресс». Всего отобрано было 99 проб почв. В процессе исследования применяли почвенно-морфологический, почвенно-геохимический, радиометрический, математико-статистический и картографический методы. *Результаты.* Высокий контраст цвета почв районов индивидуальной и парковой застройки свидетельствует о сохранении их связи с материнской породой. Значения эффективной удельной активности естественных радионуклидов в пробах городских почв находились в диапазоне от 28 до 99 Бк/кг. Впервые выявлены локальные малоинтенсивные аномалии, определен их генезис. Определено, что состав почв города обеспечивает непревышение эффективной удельной активности естественных радионуклидов для материалов I и II классов, используемых в строительстве в пределах населенных пунктов. Намечены возможные пути проведения дальнейших медико-экологических исследований в области изучения связи заболеваний и радиоактивности на территории Онега. *Заключение.* Выявленные малоинтенсивные радиоактивные аномалии можно связать с поступлением радионуклидов в почвы в составе продуктов сжигания угля в котельных города, с учетом активного использования местным населением продуктов сжигания угля необходима оценка длительного влияния малоинтенсивных радиоактивных аномалий на население.

Ключевые слова: малоинтенсивные радиоактивные аномалии, естественные и техногенные радионуклиды, городские почвы, радиационная безопасность населения

NATURAL AND TECHNOGENIC RADIONUCLIDES IN SOILS IN A SMALL RUSSIAN ARCTIC TOWN

V. V. Kriauciunas, I. A. Kuznetsova, E. I. Kotova, S. A. Iglovsky, K. A. Mironenko, *S. G. Sukhanov

N.P.LaverovFederalCenter for Integrated Arctic Research of the RussianAcademy of Sciences, Arkhangelsk;
*Northern StateMedicalUniversity, Arkhangels, Russia

The Onega District is among the first ten municipalities of the Arkhangelsk Region with the highest incidence of neoplasms warranting radiological studies. *The aim* of this research was to study content and distribution of natural and technogenic radionuclides in the urban soils of the Onega municipality and to identify the main low-intensity radioactive anomalies as well as to provide an objective assessment of radiation risks to health of the local population. *Methods:* A total of 99 soil samples were taken in several parts of the town. Specific activity of radionuclides was assessed using a gamma spectrometer. Standard soil-morphological, soil-geochemical, radiometric, mathematical-statistical and cartographic methods were applied. Results. Color contrast of the soils in different areas indicates the preservation of their relationship with the parent soil. The values of the effective specific activity of natural radionuclides in soil samples ranged from 28 to 99 Bq/kg. Low-intensity radioactive anomalies were revealed for the first time in town. It was determined that the composition of the town's soils ensures that the effective specific activity of natural radionuclides is not exceeded for materials of classes I and II used in construction. *Conclusions.* The revealed low-intensity radioactive anomalies can be associated with the influx of radionuclides into the soil as a part of coal combustion products in the local heating stations taking into account the active use of coal combustion products by the local population. It is necessary to assess the long-term effect of low-intensity radioactive anomalies on the population. Further research should concentrate on associations between the epidemiological patterns of diseases and radioactivity in Onega.

Key words: low-intensity radioactive anomalies, radionuclides, urban soils, radiation safety

Библиографическая ссылка:

Кряучюнас В. В., Кузнецова И. А., Котова Е. И., Игловский С. А., Мироненко К. А., Суханов С. Г. Содержание и особенности распределения естественных и техногенных радионуклидов в почвах малого арктического города // Экология человека. 2020. № 5. С. 11–20.

For citing:

Kriauciunas V. V., Kuznetsova I. A., Kotova E. I., Iglovsky S. A., Mironenko K. A., Sukhanov S. G. Natural and Technogenic Radionuclides in Soils in a Small Russian Arctic Town. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2020, 5, pp. 11-20.

Естественная радиоактивность окружающей среды и связанное с ней внешнее облучение, вызванное гамма-излучением, зависят в первую очередь от геологических и географических условий [25]. Город Онега расположен в устье одноименной реки, в 7 км от Онежской губы Белого моря. Город вытянут на 7 км вдоль правого берега реки. В геологическом плане территория города расположена в пределах Нижне-Онегорской депрессии, генезис которой обусловлен пограничным положением между щитом и платформой. В течение мезозоя и третичного времени эта зона подверглась интенсивному эрозионному размыву. В четвертичное время депрессия неоднократно подвергалась переуглублению. В результате чего долина реки Онеги имеет пойменную и две надпойменные террасы. Пойменная терраса — аккумулятивная, первая надпойменная терраса — эрозионно-аккумулятивная, вторая — эрозионная. В районе Нижне-Онегорской депрессии ширина террас достигает максимальных размеров, поэтому территория, на которой расположен город, в морфологическом плане представляет собой слабоволнистую равнину, сложенную песчано-глинистыми отложениями [6].

Фоновое облучение для жителей Северо-Западного региона Российской Федерации (РФ) от всех источников радиации составляет 2,9 мЗв/год, в том числе техногенного происхождения (последствия аварий, испытания ядерного оружия, работа АЭС) — 0,1 мЗв/год [13].

Территория города Онега в геологическом плане имеет низкий радиационный фон, так как кристаллический щит, характеризующийся повышенным содержанием естественных радионуклидов (ЕРН), перекрыт современными аллювиальными осадочными отложениями [6]. Однако в результате антропогенной деятельности в городе формируется техногенно измененный радиоактивный фон, величина которого на отдельных локальных участках достигает 0,15 мкЗв/час (1,3 мЗв/год). Данная величина считается безопасной величиной в большинстве районов РФ.

Климат на территории города умеренный, слабо континентальный с частыми вторжениями циклонов и большим количеством осадков; характеризуется умеренно-тёплым летом (с начала мая по начало октября) и умеренно-мягкой (для северных широт) зимой. Этому способствует приморское положение и влиянием Атлантики. Устойчивый снежный покров образуется в середине ноября и сохраняется до третьей декады апреля. Продолжительность его залегания в Онеге составляет от 150 до 170 дней. Средняя высота снежного покрова может быть от 20 см в декабре до 45 см в середине зимы, максимальных значений достигая в марте. Среднегодовая температура воздуха +2,2 °С. Относительная влажность воздуха 79 %. Средняя скорость ветра 2,4 м/с. В целом за год преобладают ветры юго-восточных направлений (более 60 %), а также южных, восточных и западных направлений (около 40 %). Северные и северо-восточные ветры бывают довольно редко (от 15 до 30 %)

(рис. 1). Характерной особенностью ветрового режима города Онега является отчётливо выраженная в годовом ходе сезонная смена ветров преобладающих направлений. Зимой чаще господствуют юго-восточные и юго-западные ветры, летом — северные и северо-западные [12].

Основу экономики Онежского района составляют предприятия лесопромышленного, агропромышленного и рыбохозяйственного комплексов, горнодобывающей отрасли, а также пищевой промышленности. Градообразующим предприятием для города Онега является лесопильно-деревообрабатывающий комбинат (ОАО «Онежский ЛДК»). ОАО «Карьер Покровское», расположенный в 20 км от города, занимается добычей и производством щебня, удельная эффективная активность ЕРН полезной толщи соответствует 1 классу строительных материалов, а выпускаемая продукция может применяться для любых видов строительства без ограничения [10]. Предприятий, связанных с ядерным топливным циклом, в городе нет. Потенциальными источниками поступления радионуклидов (РН) в окружающую среду являются предприятия теплоэнергоцентрали, работающие на каменном угле. Одним из источников загрязнения окружающей среды территории также является дальний перенос аэрозолей воздушными массами [20].

По совокупности климатических характеристик и с учётом общебиологического действия природных и антропогенных факторов, их сочетания и степени выраженности территории Арктики в целом могут быть отнесены к зоне дискомфортных районов с элементами выраженной экстремальности по ряду параметров. Природные и антропогенные факторы предъявляют повышенные требования к функциональным системам организма человека, осложняют труд, быт и отдых проживающих здесь людей, являясь факторами риска нарушений здоровья [16].

Известно, что длительное облучение в малых дозах может быть гораздо более опасным по последствиям, чем кратковременное облучение в больших дозах (так называемый эффект Петко) [4]. При этом наиболее чувствительна к малым дозам ионизирующей радиации иммунная система человека [9]. Доказательством негативного воздействия на иммунную систему облучения является повышение заболеваемости различными аллергическими, аутоиммунными, онкологическими заболеваниями на 2–100 % (в зависимости от региона) [5].

Одним из критериев оценки состояния здоровья населения признается анализ первичной заболеваемости [1]. По данным формы № 12 «Сведения о числе заболеваний, зарегистрированных у больных, проживающих в районе обслуживания медицинской организации» наибольший удельный вес в структуре первичных заболеваний всех групп населения в Онежском районе принадлежит болезням органов дыхания (52,5 %). На втором месте травмы, отравления, несчастные случаи (18 %). Третье ранговое

место занимают болезни органов мочеполовой системы — 7,1 %.

В Онежском районе не отмечается увеличения показателя рождаемости, снижение уровня смертности незначительно и, как следствие этого, более выражено отрицательное значение естественного прироста.

В структуре заболеваемости Архангельской области Онежский район относится к территориям максимального риска по заболеваемости болезнями эндокринной системы у взрослого населения (17,8 %), кроме того, здесь отмечается самый высокий темп прироста данной патологии у детей (216,1 %). Среди совокупного населения в районе за последние пять лет значительно возросла заболеваемость по классу «Болезни костно-мышечной системы» (147,0 %). У взрослого населения района наряду с Архангельском и Виноградовским районом установлены максимальные уровни заболеваемости по классу «Врожденные пороки развития» [14].

В структуре причин смертности населения района ведущее место в целом занимали болезни сердечно-сосудистой системы (62,6 %), затем онкопатология (14,9 %), внешние факторы (11,3 %), болезни органов дыхания (3,3 %), болезни органов пищеварения (5,2 %) и прочие заболевания (2,7 %). Смертность в трудоспособном возрасте была обусловлена заболеваниями сердечно-сосудистой системы (37 %), онкопатологией (12,6 %), внешними факторами (32,6 %), заболеваниями органов дыхания (4,4 %), пищеварения (8,1 %) и прочими причинами (5,2 %). Среди классов болезней, занимающих лидирующее место в качестве причин смерти, отмечается рост новообразований, в 2016 году в районе этот прирост составил +24,2 %.

По данным Росстата, в 2017 году показатели смертности от новообразований в Онежском районе составил 226,9 на 100 тыс. населения (по области — 226,6). Если к уровню 2013 года по области отмечается снижение как абсолютного числа умерших от новообразований (на 206 человек), так и интенсивного показателя (на 6,9 %), то в Онежском районе выявлен незначительный (+3,2 %) рост показателя умерших от новообразований. Среди них доля лиц старше 60 лет составила 72 %.

В 2017 году в Онежском районе наибольший прирост случаев (47,4 %) злокачественных новообразований выявлен у мужчин трудоспособного возраста. Наиболее частыми видами злокачественных новообразований в Онежском районе и области были: опухоли кожи с меланомой (10–12 %), органов дыхания (11 %), желудка (9 %) и ободочной кишки (8 %). У женщин наиболее распространенными видами злокачественных опухолей были рак молочной железы и репродуктивной системы [7].

Учитывая повышение заболеваемости жителей района различными аллергическими, аутоиммунными, онкологическими заболеваниями, являющееся одним из следствий влияния малых доз ионизирующей радиации на иммунную систему человека, проведение

многоаспектных радиологических исследований на территории города Онега считаем актуальным.

Основным объектом исследования был выбран почвенный покров основных функциональных зон города.

Предметом исследования являлась удельная активность ^{137}Cs , ^{40}K , ^{232}Th , ^{226}Ra в городских почвах.

Цель исследования — выявить на территории моногорода Онега малоинтенсивные аномалии по удельному содержанию ^{137}Cs , ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K в почве и на основании полученных результатов дать объективную оценку радиационных рисков и потенциального ущерба здоровью местного населения.

Методы

В процессе исследования применялись почвенно-морфологический, почвенно-геохимический, радиометрический, математико-статистический и картографический методы. На предварительном этапе исследования на территории города Онега были выделены функциональные зоны в соответствии с типом застройки, а также намечена сеть точек отбора почвы (рис. 1).

Отбор проб осуществляли в каждом квартале города путем прикопки верхнего почвенного горизонта в виде прямоугольной ямы с вертикальными стенками глубиной 10–15 см, ориентированной так, чтобы стенка, предназначенная для производства наблюдений и измерений, была наиболее освещенной во время работы. Затем проводили краткое почвенно-морфологическое описание почвы. С помощью цветовой шкалы почв Манселла (версии 2009 г.) [23] определяли цвет влажной почвы при прямом естественном освещении в соответствии с методикой [24].

Проводили отбор верхнего слоя почвы мощностью 5 см вместе с растительностью и включениями антропогенного характера. Отбор, хранение и транспортировка проб почв осуществляли в соответствии с ГОСТ 17.4.4.02-84.

Определение физико-химические свойства почвенных образцов включало измерение показателя pH солевой вытяжки почвы согласно ГОСТ 26483-85 с использованием pH-метра-иономера-термооксиметра Эксперт 001, влажности образцов почвы в соответствии с ГОСТ 28268-89 по потере массы навески при высушивании почвы при температуре $(105 \pm 2)^\circ\text{C}$ и зольности почвы согласно ГОСТ 27784-88 путем озоления проб почвы в лабораторно-экспериментальной муфельной печи при температуре $(525 \pm 25)^\circ\text{C}$.

Определение гранулометрического состава минеральной части почвы осуществляли ситовым методом. Анализ производили просеиванием навески почвенного образца через набор стандартных сит, различающихся размером ячеек (10 мм, 2 мм, 1 мм, 0,5 мм, 0,25 мм, 0,1 мм и 0,045 мм). Просеивание почвы выполняли на аналитической просеивающей машине серии Retsch AS 200 Control.

Содержание РН в почвах определяли с помощью гамма-спектрометра «Прогресс» в соответствии с

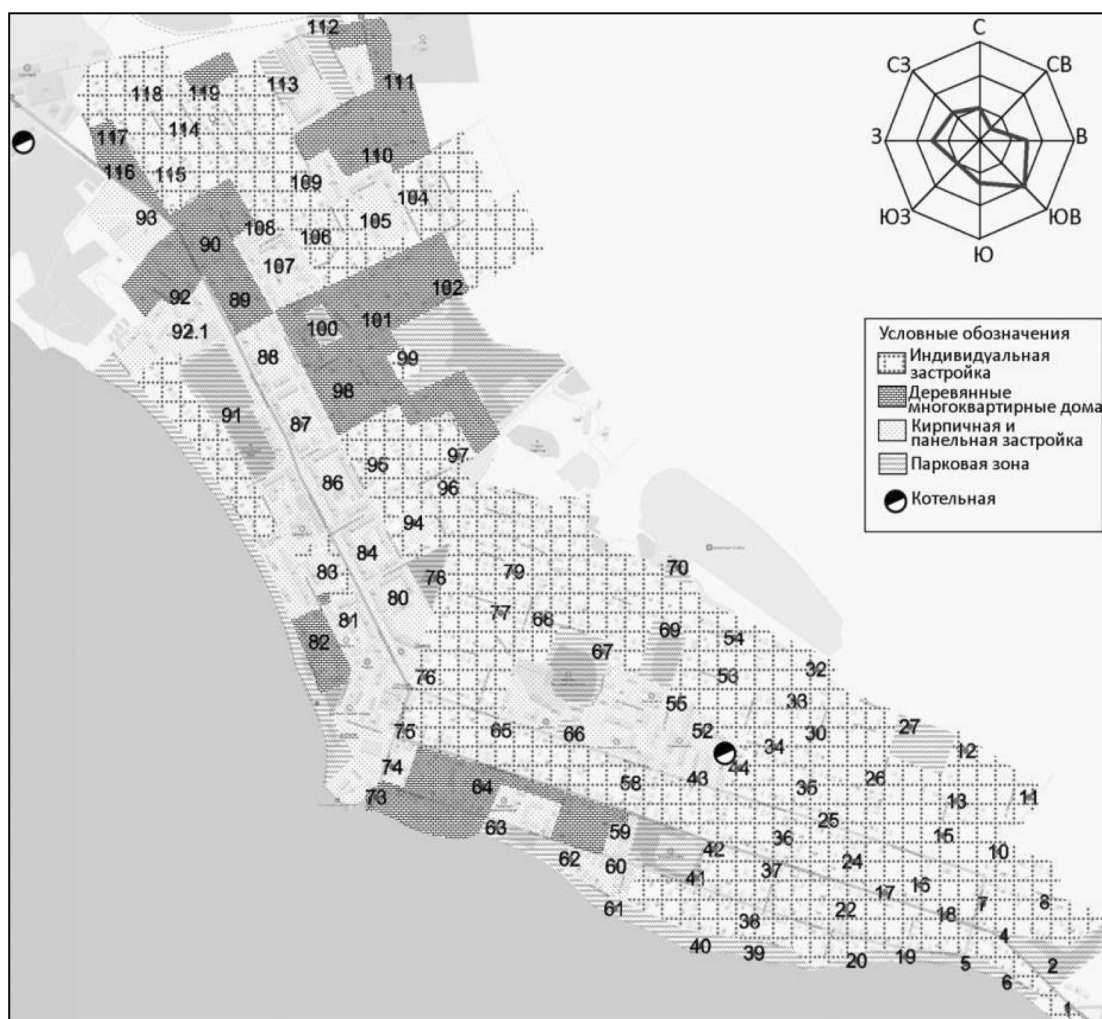


Рис. 1. Схема расположения точек отбора проб

«Методикой измерения активности радионуклидов в счетных образцах на сцинтиляционном гамма-спектрометре с использованием программного обеспечения ПРОГРЕСС». Значения удельной активности радионуклидов приведены в Бк/кг в соответствии с системой СИ [17].

Статистическая обработка данных включала расчет среднего арифметического значения, медианы, стандартного отклонения, стандартной ошибки среднего и была произведена с помощью программного обеспечения StatSoft, Inc. (2011). STATISTICA (data analysis software system), version 10. Кроме того, были рассчитаны коэффициенты парной корреляции R (квадратная матрица), за критический уровень значимости принимали $p < 0,05$. Факторный анализ с применением метода вращения варимакс применялся в целях выявления количества и степени влияния различных параметров среды на исследуемые объекты.

В соответствии с алгоритмом, изложенным в СанПиН 2.6.1.2523-09 [11], была рассчитана эффективная удельная активность ЕРН, содержащихся в верхних горизонтах почв ($A_{эфф}$) по формуле:

$$A_{эфф} = A_{Ra} + 1,3A_{Th} + 0,09A_K,$$

где A_{Ra} – удельная активность изотопа радия-226

в пробе, Бк/кг; A_{Th} – удельная активность изотопа тория-232 в пробе, Бк/кг; A_K – удельная активность изотопа калия-40 в пробе, Бк/кг.

Построение картосхем пространственного распределения элементов в верхнем пятисантиметровом горизонте почв выполнено с помощью программного обеспечения Surfer (Golden Software, LLC).

Результаты

Почвы города Онега представлены типичными городскими почвами группы квазиземы: урбиквазиземы и реплантоземы [15].

У большинства проб, отобранных на территории города, рН солевой вытяжки почв составил от 5,2 до 6,2 единицы, что говорит о слабокислой среде в почвах.

Средние и медианные значения характеристик почвы приведены в табл. 1.

Гранулометрический состав почв в различных типах городской застройки и их распределение по цвету в соответствии со шкалой Манселла, представлены на рис. 2.

Пространственное распределение радионуклидов в почвах города и участки малоинтенсивных радиоактивных аномалий (МРА) представлены на рис. 3 и 4.

Таблица 1

Средние и медианные значения характеристик почвы

Тип застройки	n*	Влажность, %	Зольность, %	Удельная активность, Бк/кг			
				¹³⁷ Cs	²²⁶ Ra	²³² Th	⁴⁰ K
Кирпичная и панельная застройка	20	<u>1,2–12,5</u> ** 3,6±2,7 (2,8)	<u>78,5–98,0</u> 92,3±4,7 (92,9)	<u>0,0–12,6</u> 2,7±3,2 (2,9)	<u>0,0–11,1</u> 2,0±4,1 (0,0)	<u>0,0–25,5</u> 13,5±6,8 (11,4)	<u>308–519</u> 388±49 (382)
Индивидуальная застройка	44	<u>1,1–10,0</u> 3,9±2,0 (3,5)	<u>59,2–97,0</u> 88,3±8,5 (91,2)	<u>0,0–14,2</u> 4,2±3,7 (3,5)	<u>0,0–30,2</u> 6,0±7,8 (0,0)	<u>7,4–37,8</u> 16,9±6,3 (15,9)	<u>187–583</u> 401±101 (408)
Парковые зоны	21	<u>1,3–14,0</u> 4,5±3,1 (3,6)	<u>35,2–97,7</u> 87,4±13,4 (91,9)	<u>0,0–18,5</u> 5,7±4,9 (4,7)	<u>0,0–12,5</u> 2,4±4,5 (0,0)	<u>0,0–26,3</u> 12,3±4,9 (12,2)	<u>91–504</u> 362±98 (384)
Деревянные многоквартирные дома	14	<u>1,0–13,0</u> 3,8±3,0 (3,1)	<u>77,5–99,9</u> 92,0±5,7 (91,9)	<u>0,0–5,1</u> 1,5±2,2 (0,0)	<u>0,0–0,0</u> 0,0±0,0 (0,0)	<u>5,7–23,0</u> 13,2±4,9 (12,8)	<u>226–485</u> 363±72 (356)

Примечание. * – число проб; ** – в числителе: минимальное и максимальное значения, в знаменателе: среднее арифметическое значение, стандартное отклонение и медиана.

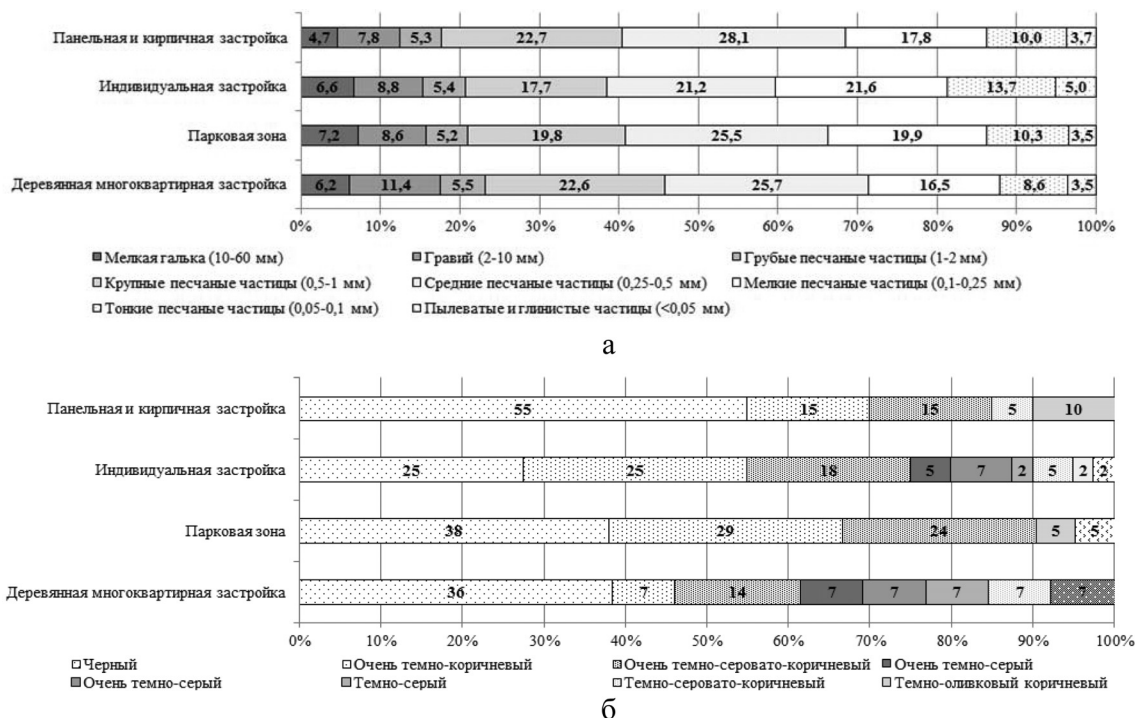


Рис. 2. Характеристика физических свойств почв г. Онега: а – гранулометрический состав, б – цвет почв

Значения эффективной удельной активности ЕРН в пробах почв находились в диапазоне от 28 до 99 Бк/кг.

Корреляционный анализ данных об удельной активности РН в районах различного типа застройки и фракционном составе почв показал наличие значимой связи между удельной активностью ²³²Th и фракциями почвы менее 1 мм в зонах панельной и кирпичной застройки (фракция 0,1–0,045 мм коэффициент корреляции R = 0,7059, p = 0,001, фракция менее 0,045 мм R = 0,5834, p = 0,007) и в зонах застройки многоквартирными деревянными домами (фракция 0,1–0,045 мм R = 0,5437, p = 0,044, фракция менее 0,045 мм R = 0,5713, p = 0,033). В парковых зонах аналогичная зависимость наблюдается для фракции менее 0,045 мм (R = 0,5341, p = 0,013).

Выявлена значимая отрицательная связь между удельной активностью ¹³⁷Cs и зольностью на наименее нарушенных участках: в парковой зоне (R = -0,6352, p = 0,002) и районе индивидуальной застройки (R = -0,5814, p < 0,001).

Корреляционный анализ показал наличие связи между удельной активностью ²³²Th и ⁴⁰K в зонах панельной и кирпичной застройки (R = 0,6225, p = 0,017) и зонах застройки многоквартирными деревянными домами (R = 0,5090, p = 0,022).

Результаты факторного анализа приведены в табл. 2.

Факторный анализ всего массива данных показал наличие трех факторов, два из которых влияют на фракционный состав почвы. Третий фактор отражает отрицательную связь между зольностью и удельной активностью ¹³⁷Cs и, вероятно, связан с проявлением сродства данного РН к органическому веществу почв.

Обсуждение результатов

На большей части рассматриваемой территории широкое распространение получили урбиквазиземы, индикатором которых служит генетический горизонт «урбик» – горизонт аккумуляции и биогенной трансформации органо-минерального и искусственного материала, формирующийся синлитогенно на дневной

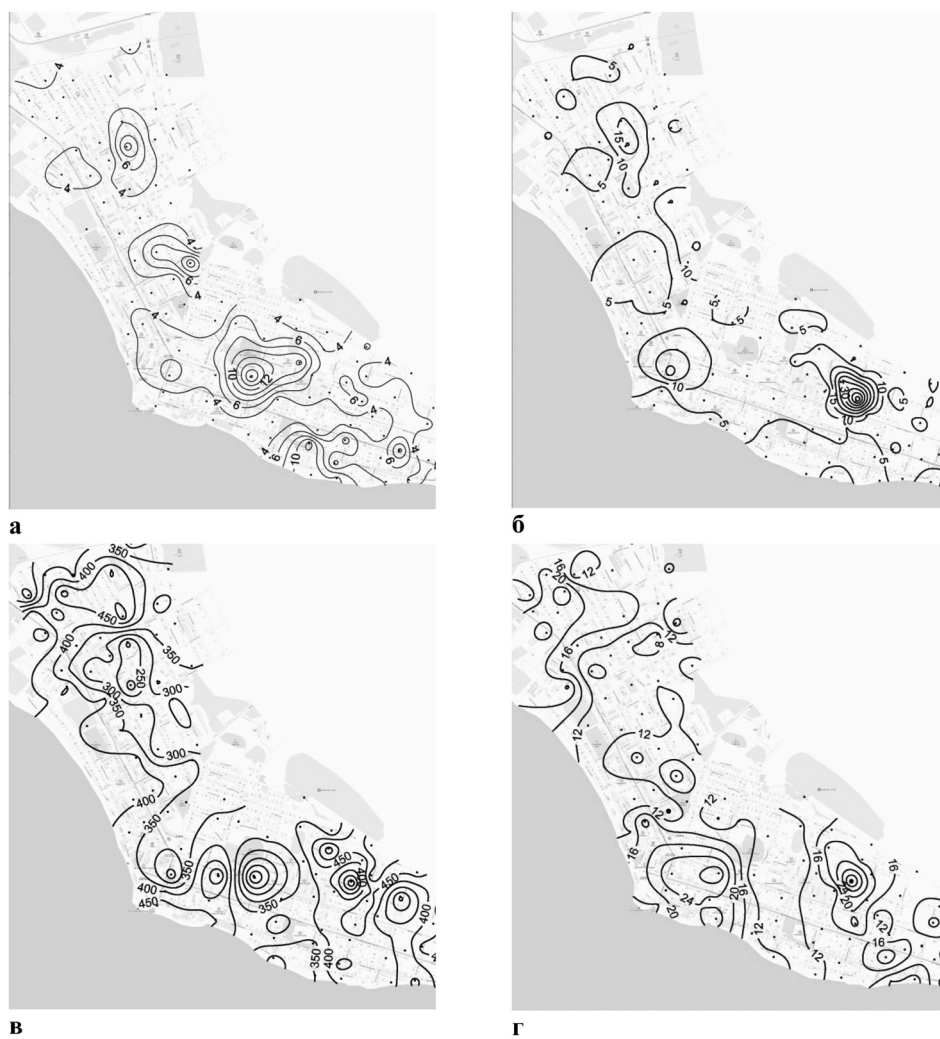
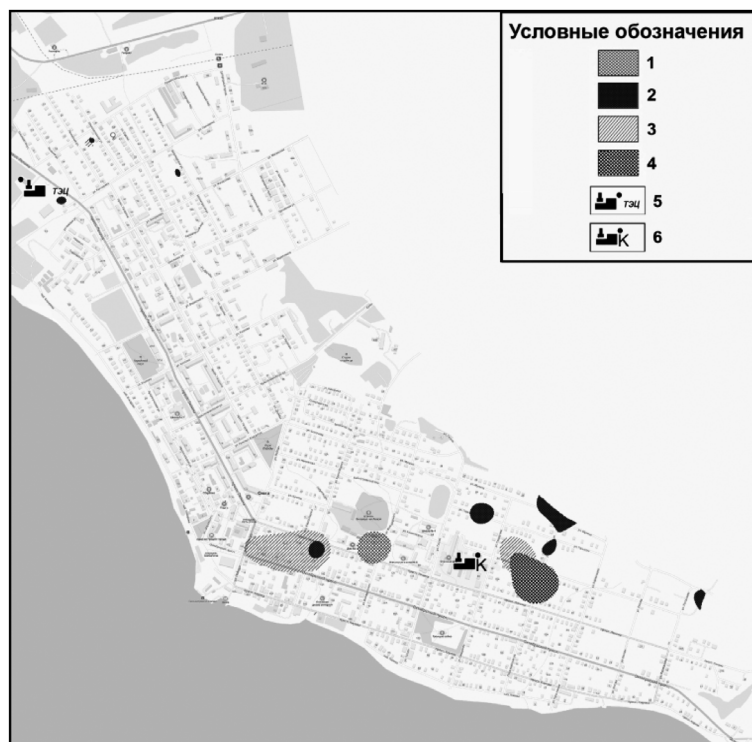


Рис. 3. Пространственное распределение радионуклидов в почвах г. Онега: а – ^{137}Cs , б – ^{226}Ra , в – ^{40}K , г – ^{232}Th



1–4 распределение активности радионуклидов: 1 – ^{137}Cs (>14 Бк/кг), 2 – ^{40}K (>510Бк/кг), 3 – ^{226}Ra (>25Бк/кг), 4 – ^{232}Th (>26 Бк/кг), 5 – ТЭЦ, 6 – котельная

Рис. 4. Малоинтенсивные локальные аномалии

Таблица 2
Факторные нагрузки (отмечены нагрузки > 0,70)

Показатель	Фактор (1)	Фактор (2)	Фактор (3)
Влажность, %	-0,14	0,10	-0,77
pH	-0,11	-0,33	-0,03
Зольность, %	0,08	0,00	0,87
Удельная активность ¹³⁷ Cs, Бк/кг	0,20	0,04	-0,74
Удельная активность ²²⁶ Ra, Бк/кг	-0,18	0,19	-0,41
Удельная активность ²³² Th, Бк/кг	-0,22	0,66	-0,06
Удельная активность ⁴⁰ K, Бк/кг	0,02	0,45	0,67
Фракция 10 мм, масс. %	-0,51	-0,19	-0,34
Фракция 2 мм, масс. %	-0,87	-0,02	-0,13
Фракция 1 мм, масс. %	-0,76	-0,17	0,20
Фракция 0,5 мм, масс. %	0,20	-0,41	0,15
Фракция 0,25 мм, масс. %	0,59	-0,69	0,17
Фракция 0,1 мм, масс. %	0,71	0,17	-0,04
Фракция 0,045 мм, масс. %	0,32	0,87	0,08
Фракция <0,045 мм, масс. %	0,17	0,83	0,06
Общая дисперсия	2,79	2,98	2,77
Доля общей дисперсии	0,19	0,20	0,18

поверхности под воздействием градостроительной деятельности человека. Данный горизонт характеризуется тем, что содержит не менее 10 % антропогенных включений (строительный и бытовой мусор, угли, слабо разложившиеся растительные остатки и др.). Культурозёмы, как основная подгруппа городских почв [15], получили развитие в старых городских парках и на приусадебных участках, в кварталах с индивидуальной деревянной застройкой. Другая подгруппа искусственно созданных городских почв — реплантоземы — в основном представлена на газонах в кварталах с каменной и деревянной многоквартирной застройкой.

По морфологическим параметрам исследованные почвы города Онега имеют супесчаный механический состав, сильно распылены, переслоены глиной, торфом, бытовым и строительным мусором.

Цвет и влажность почвы являются качественными характеристиками и могут быть связаны с содержанием органического вещества в ней. Так, формирование дернового горизонта в культуроземах способствует активной аккумуляции влаги в поверхностных слоях почвы (см. табл. 1). Для почв каменной и деревянной многоквартирной застройки города характерно отсутствие контрастных цветовых групп, в отличие от почв зоны индивидуальной застройки и парков, что указывает на большую сохранность связи поверхностного слоя почвы с материнским горизонтом (см. рис. 3).

В 38 % изученных проб содержание ¹³⁷Cs было ниже предела обнаружения. В почвах деревянной многоквартирной застройки удельная активность данного изотопа не превышала значений 5,1 Бк/кг (см. рис. 2а), в зоне кирпичной и панельной — 12,6 Бк/кг, на остальной территории удельная активность не

превышала 18,5 Бк/кг. ²²⁶Ra в верхнем почвенном горизонте вблизи деревянных многоквартирных домов не обнаружен. Максимальные значения удельной активности ²²⁶Ra в верхнем почвенном горизонте определены в районе индивидуальной застройки к юго-востоку от котельной на уровне 30,2 Бк/кг (см. рис. 2в). Удельное содержание ⁴⁰K в почвах и грунтах изменяется в широких пределах — от 91 до 583 Бк/кг (см. рис. 2г), при этом наибольший разброс значений характерен для наименее нарушенных почв парковой зоны и индивидуальной застройки.

На территории города выявлен ряд МРА, связанных с повышенной активностью в почве одного или нескольких РН (см. рис. 4). Небольшая по площади МРА ¹³⁷Cs зафиксирована в верхнем гумусовом горизонте культурозёмов старой парковой зоны при церкви Лазаря Праведного (точка 66, рис. 1, 4). Древесные насаждения выступают в роли «фильтра», улавливая пыль из атмосферного воздуха и повышая концентрацию загрязняющих веществ в почве за счёт опада. Генезис данной аномалии можно объяснить удержанием гумусовыми кислотами в верхнем плодородном слое ¹³⁷Cs, поступающего в почву с атмосферными осадками и в составе растительного опада [21].

Радиоактивный цезий, поступая во внешнюю среду как основной дозообразующий РН продуктов ядерного деления, становится источником хронического внешнего и внутреннего облучения населения. В организм человека нуклид поступает в основном через органы дыхания и перорально с загрязненными продуктами питания и водой. Преимущественно ¹³⁷Cs накапливается в мышечной ткани (80 %), скелете (10 %), остальные 10 % относительно равномерно распределяются в других органах и тканях [2].

Малоинтенсивные радиоактивные аномалии ²³²Th, ²²⁶Ra и ⁴⁰K, расположенные юго-восточнее и восточнее котельных (точка 44, рис. 1, 4), можно связать с поступлением РН в составе продуктов сжигания угля, содержащего естественные радиоактивные вещества уранового, актиноуранового и ториевого рядов (²²⁶Ra, ²³²Th), а также ⁴⁰K [3, 18]. Данная МРА не представляет опасности для здоровья людей, так как располагается в месте, где население проводит относительно короткий промежуток времени, жилые постройки и выпас скота на рассматриваемой территории отсутствуют. Для снижения воздействия МРА на население рекомендуется удаление опавшей листвы с поверхности почвы и периодическая отсыпка территории плодородным грунтом [22].

Небольшая по площади торий-радиевая МРА (точки 25, 35, 36, рис. 1, 4) зафиксирована рядом с котельной Онежской центральной районной больницы (ОЦРБ). Источником РН, формирующим данную МРА, являются газопылевые выбросы и золошлаковые отходы каменноугольной котельной ОЦРБ. Распространению РН способствует тот факт, что в городе активно используют каменноугольный шлак для отсыпки дорог и «поднятия» придомовых территорий.

Большая по площади МРА ^{226}Ra расположена в центральной части города и занимает территорию нескольких старых кварталов (точки 64, 65, 74, 75, рис. 1, 4). ^{226}Ra является значимым источником внутреннего излучения [26]. При поступлении с продуктами питания и водой ^{226}Ra , замещая кальций, иммобилизуется в костной ткани и зубах человека [19]. В почве на формирование радиевой аномалии может влиять содержащиеся в ней карбонаты и кальций, препятствующие миграции ^{226}Ra вниз по профилю [8]. При изменении pH почвы в кислую область ^{226}Ra становится подвижным вследствие разрушения удерживающих его карбонатов. Для установления генезиса данной МЛА на настоящий момент данных недостаточно.

Эффективная удельная активность ЕРН в почвах города достигает 99 Бк/кг и не превышает показателей $A_{\text{эфф}}$ для материалов I и II классов, используемых в строительстве в пределах населенных пунктов (соответственно 370 и 740 Бк/кг) [11].

Помимо антропогенных источников поступления РН их содержание в почвах связано с такими ее свойствами, как фракционный состав (для ^{234}Th) и содержание органического вещества (для ^{137}Cs). При этом имеет значение степень антропогенного воздействия на неё: выявленные закономерности соблюдаются в наименее нарушенных почвах.

Заключение

Почвы города Онега представлены типичными городскими почвами — урбиквиземами, реплантоземами, имеющими супесчаный механический состав и характеризующиеся сильной распыленностью, переслоением глиной, торфом, бытовым и строительным мусором. Высокий контраст цвета почв районов индивидуальной и парковой застройки свидетельствует о сохранении их связи с материнской породой. Наибольшее влияние на радионуклидный состав почв оказывают ее фракционный состав (^{232}Th) и органическое вещество (^{137}Cs).

Выявленные МРА ^{232}Th , ^{226}Ra и ^{40}K можно связать с поступлением РН в почвы в составе продуктов сжигания угля в котельных города. При этом парковые зоны, выступая в роли «фильтров» атмосферного воздуха, способствуют большему поступлению РН в почвы через опад листьев.

Значения эффективной удельной активности естественных РН в пробах почв находились в диапазоне от 28 до 99 Бк/кг и не превышают показателей $A_{\text{эфф}}$ для материалов I и II классов, однако с учетом активного использования местным населением продуктов сжигания угля необходима оценка длительного влияния МРА на население.

Работа выполнена при финансовой поддержке субсидии на выполнение темы государственного задания «Комплексные изотопно-геохимические исследования качества природной среды и идентификация процессов её трансформации на приморских территориях Европейского Севера в современности и в прошлом» (№ АААА-А19-119011890018-3).

Авторство

Крячюнас В. В. предложил идею статьи, построил карты, участвовал в отборе проб, интерпретации полученных результатов, формулировании окончательных выводов и оценке полученных результатов; Кузнецова И. А. разработала план исследования, участвовала в отборе проб, проводила анализ физико-химических параметров почв, измерение удельной активности, статистический анализ полученных результатов, участвовала в формулировании окончательных выводов и оценке полученных результатов; Котова Е. И. участвовала в измерении удельной активности, интерпретации полученных результатов, формулировании выводов по результатам исследования, формулировании окончательных выводов и оценке полученных результатов, оформила статью по требованиям журнала; Игловский С. А. просеивал почвы, подготовил обзор изученности района исследований, участвовал в интерпретации полученных результатов; Мироненко К. А. участвовал в отборе почв, их физико-химическом анализе, интерпретации полученных данных, построении карт; Суханов С. Г. обработал данные по медицинской статистике.

Авторы подтверждают отсутствие конфликта интересов.

Крячюнас Вidas Винанто — ORCID 0000-0001-7437-381X
Кузнецова Ирина Андреевна — ORCID 0000-0002-9530-0035

Котова Екатерина Ильинична — ORCID 0000-0001-7442-3311

Игловский Станислав Анатольевич — ORCID 0000-0001-9675-455X

Мироненко Кирилл Андреевич — ORCID 0000-0003-0475-358X

Суханов Сергей Генрихович — ORCID 0000-0002-1792-837X

Список литературы

- Бузинов Р. В., Кикун П. Ф., Унгуриян Т. Н., Ярыгина М. В., Гудков А. Б. От Поморья до Приморья: социально-гигиенические и экологические проблемы здоровья населения. Архангельск: Изд-во Северного государственного медицинского университета, 2016. 397 с.
- Василенко И. Я., Василенко О. И. Радиоактивный цезий // Энергия: экономика, техника, экология. 2001. № 7. С. 16–22.
- Гордиенко В. А., Показеев К. В., Старкова М. В. Введение в экологию. Главы из книги. М.: НИИЯФ МГУ им. М. В. Ломоносова. URL: <http://nuclphys.sinp.msu.ru/ecology/ecol/index.html> (дата обращения: 12.08.2019).
- Грейб Р. Действие малых доз ионизирующего излучения: Эффект Петко // Ядерная энциклопедия. М., 1996. С. 387–394.
- Гуськова А. К., Байсоголов Г. Д. Лучевая болезнь человека. М.: Медицина, 1971. 380 с.
- Девятова Э. И. К геоморфологии бассейна р. Онеги // Труды Коми филиала АН СССР. 1960. № 10. С. 145–155.
- Заболелость населения Архангельской области в 2016 году. Архангельск: МИАЦ, 2017. 124 с.
- Крячюнас В. В. Естественная и техногенная радиоактивность почв Архангельской промышленной агломерации: автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. Архангельск, 2008. 24 с.
- Крячюнас В. В., Левит М. Л. Изучение связи онкологических заболеваний и радиоактивности на территории Архангельска // Материалы Международной конференции

«Биологические эффекты малых доз ионизирующей радиации и радиоактивное загрязнение среды», Сыктывкар, 28 сентября – 1 октября 2009 г. С. 246–248.

10. Месторождения Национальной нерудной компании. ООО «Онега Неруд» (ст. Онега, СевЖД). URL: <http://nnk.ru/content/articles/?article=190> (дата обращения: 03.07.2019).

11. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009). Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009.

12. Общая характеристика климата Архангельской области и Ненецкого автономного округа. URL: <http://sevmeteo.polarpost.ru/files/arh-nao.pdf> (дата обращения: 19.03.2019).

13. Промышленный Север. Атомные технологии и среда обитания. М.: Комтехпринт, 2004. 40 с.

14. Состояние и охрана окружающей среды Архангельской области за 2017 год: доклад. Архангельск: Министерство природных ресурсов и лесопромышленного комплекса Архангельской области, 2018. 470 с.

15. Техногенные поверхностные образования – ТПО. Систематика техногенных поверхностных образований / Почвенный институт им. В. В. Докучаева. URL: <http://soils.parod.ru/appendices/tpo.html> (дата обращения: 20.04.2019)

16. Чащин В. П., Гудков А. Б., Попова О. Н., Одланд И. О., Ковшов А. А. Характеристика основных факторов риска нарушений здоровья населения, проживающего на территориях активного природопользования в Арктике // Экология человека. 2014. № 1. С. 3–12.

17. AMAP Assessment 2015: Radioactivity in the Arctic. Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP), Oslo, Norway, 2015. 89 p.

18. Chibowski S., Solecki J., Szczypa J., Suprynowicz R. Study of radioactive contamination of Eastern Poland // The Science of the Total Environment. 1994. N 158. P. 71–77.

19. Dewit T., Clulow V., Jackson J. S., Mitchel E. J. Uranium and uranium decay series radionuclide dynamics in bone of rats following chronic uranium ore dust inhalation // Health Physics. 2001. N 81. P. 502–513.

20. Kotova E. I., Kuznetsova I. A., Kryauchynas V. V., Iglovsky S. A., Larionov N. S. Contribution of the Atmospheric Channel to Lead Contamination of Soils in the Arctic Territories // Arctic Environmental Research. 2019. Vol. 19, N 2. P. 56–64.

21. Kriauciunas V. V., Iglovsky S. A., Kuznetsova I. A., Shakhova E. V., Bazhenov A. V., Mironenko K. A. Spatial distribution of natural and anthropogenic radionuclides in the soils of Naryan-Mar // Arctic Environmental Research. 2018. Vol. 18, N 3. P. 82–89.

22. Kryauchynas V. V., Iglovsky S. A., Shakhova E. V., Lyubas A. A., Kuznetsova I. A. Low-intensity radioactive anomalies in the city of Arkhangelsk // Human Ecology. 2016. Vol. 44, N 5. P. 9–16.

23. Munsell soil color book. Michigan: Munsell color, 2017.

24. Schoeneberger P. J., Wysocki D. A., Benham E. C. and Soil Survey Staff. Field book for describing and sampling soils, Version 3.0. Natural Resources Conservation Service, National Soil Survey Center, Lincoln, NE, 2012

25. UNSCEAR, Source and effects of ionizing radiations. Report to General Assembly, with Scientific Annexes, United Nations, New York, 2000.

26. Wrenn M. E., Durbi P. W., Howar B., Lipsztei J., Rund J., Stil E., Willi D. Metabolism of ingested U and Ra // Health Physics. 1985. N 48. P. 601–633.

References

1. Buzinov R. V., Kiku P. F., Unguryanu T. N., Yarygina M. V., Gudkov A. B. *Ot Pomor'ya do Primor'ya: sotsial'no-gigienicheskie i ekologicheskie problemy zdorov'ya naseleniya* [From Pomorie to Primorye: sociohygienic and environmental problems of public health]. Arkhangelsk, Publishing house of the Northern State Medical University, 2016, 397 p.

2. Vasilenko I. Ya., Vasilenko O. I. Radioactive cesium. *Energiya: ekonomika, tekhnika, ekologiya* [Energy: economics, technology, ecology]. 2001, 7, pp. 16-22. [In Russian]

3. Gordienko V. A., Pokazeev K. V., Starkova M. V. Introduction to ecology. Chapters from the book. *NIIYaF MGU im. M. V. Lomonosova* [NIIYaF Moscow State University M.V. Lomonosov]. 2012. Available at: <http://nuclphys.sinp.msu.ru/ecology/ecol/index.html> (accessed: 12.08.2019)

4. Greib R. Deistvie malykh doz ioniziruyushchego izlucheniya: Effekt Petko [The effect of small doses of ionizing radiation: Petko effect]. *Yadernaya entsiklopediya* [Nuclear Encyclopedia]. Moscow, 1996, pp. 387-394.

5. Gus'kova A. K., Baisogolov G. D. *Luchevaya bolezn' cheloveka* [Human radiation sickness]. Moscow, Medicine Publ., 1971, 380 p.

6. Devyatova E. I. To geomorphology of the river basin Oнега. *Trudy Komi filiala AN SSSR* [Transactions of the Komi Branch of the USSR Academy of Sciences]. 1960, 10, pp. 145-155.

7. *Zabolevaemost' naseleniya Arkhangel'skoi oblasti v 2016 godu* [The incidence of the population of the Arkhangelsk region in 2016]. Arkhangelsk, MIAC, 2017, 124 p.

8. Kriauciunas V. V. *Estestvennaya i tekhnogennaya radioaktivnost' pochv Arkhangel'skoi promyshlennoi aglomeratsii (avto-ref. kand. diss)* [Natural and technogenic radioactivity of soils of the Arkhangelsk industrial agglomeration (Author's Abstract of Cand. Diss.)]. Arkhangelsk, 2008, 24 p.

9. Kriauciunas V. V., Levit M. L. Izuchenie svyazi onkologicheskikh zabolevaniy i radioaktivnosti na territorii Arkhangel'ska [The study of the relationship of cancer and radioactivity in Arkhangelsk]. In: *Materialy Mezhdunarodnoi konferentsii «Biologicheskie efekty malykh doz ioniziruyushchei radiatsii i radioaktivnoe zagryaznenie sredy», Syktyvkar, 28 sentyabrya - 1 oktyabrya 2009* [Materials of the International Conference “Biological Effects of Small Doses of Ionizing Radiation and Radioactive Pollution”, Syktyvkar, September 28 - October 1, 2009]. Syktyvkar, 2009, pp. 246-248.

10. *Deposits of the National Non-Metallic Company*. Oнега Nerud LLC (Oнега station, SevZHD). Available at: <http://nnk.ru/content/articles/?article=190> (accessed: 03.07.2019). [In Russian]

11. *Radiation safety standards (NRB-99/2009). Sanitary and epidemiological rules and regulations*. Moscow, Federal Center for Hygiene and Epidemiology, 2009. [In Russian]

12. *General characteristics of the climate of the Arkhangelsk region and the Nenets Autonomous Okrug*. Available at: <http://sevmeteo.polarpost.ru/files/arh-nao.pdf> (accessed: 19.03.2019). [In Russian]

13. *Promyshlennyy Sever. Atomnyye tekhnologii i sreda obitaniya* [Industrial North. Atomic technology and habitat]. Moscow, Komtekhprint, 2004, 40 p.

14. *The state and environmental protection of the Arkhangelsk region for 2017*. Report. Arkhangelsk, Ministry of Natural Resources and Forestry Complex of the Arkhangelsk Region, 2018. 470 p. [In Russian]

15. *Technogenic surface formations - TPO. Systematics of technogenic surface educations*. Soil Institute V. V. Dokuchaev. Available at: <http://soils.narod.ru/appendices/tpo.html> (accessed: 20.04.2019) [In Russian]
16. Chashchin V. P., Gudkov A. B., Popova O. N., Odland J. Ö., Kovshov A. A. Description of Main Health Deterioration Risk Factors for Population Living on Territories of Active Natural Management in the Arctic. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2014, 1, pp. 3-12. [In Russian].
17. AMAP Assessment 2015: Radioactivity in the Arctic. Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP), Oslo, Norway, 2015, 89 p.
18. Chibowski S., Solecki J., Szczypa J., Suprynowicz R. Study of radioactive contamination of Eastern Poland. *The Science of the Total Environment*. 1994, 158, pp. 71-77.
19. Dewit T., Clulow V., Jackson J. S., Mitchel E. J. Uranium and uranium decay series radionuclide dynamics in bone of rats following chronic uranium ore dust inhalation. *Health Physics*. 2001, 81, pp. 502-513.
20. Kotova E. I., Kuznetsova I. A., Kryauchunas V. V., Iglovsky S. A., Larionov N. S. Contribution of the Atmospheric Channel to Lead Contamination of Soils in the Arctic Territories. *Arctic Environmental Research*. 2019, 19 (2), pp. 56-64.
21. Kriauciunas V. V., Iglovsky S. A., Kuznetsova I. A., Shakhova E. V., Bazhenov A. V., Mironenko K. A. Spatial distribution of natural and anthropogenic radionuclides in the soils of Naryan-Mar. *Arctic Environmental Research*. 2018, 18 (3), pp. 82-89.
22. Kryauchunas V. V., Iglovsky S. A., Shakhova E. V., Lyubas A. A., Kuznetsova I. A. Low-intensity radioactive anomalies in the city of Arkhangelsk. *Human Ecology*. 2016, 44 (5), pp. 9-16.
23. Munsell soil color book. Michigan, Munsell color, 2017.
24. Schoeneberger P. J., Wysocki D. A., Benham E. C. and Soil Survey Staff. *Field book for describing and sampling soils*, Version 3.0. Natural Resources Conservation Service, National Soil Survey Center, Lincoln, NE, 2012.
25. UNSCEAR, Source and effects of ionizing radiations. Report to General Assembly, with Scientific Annexes, United Nations, New York, 2000.
26. Wrenn M. E., Durbi P. W., Howar B., Lipsztei J., Rund J., Stil E., Willi D. Metabolism of ingested U and Ra. *Health Physics*. 1985, 48, pp. 601-633.

Контактная информация:

Котова Екатерина Ильинична – кандидат географических наук, старший научный сотрудник лаборатории экологической радиологии ФГБУН «Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н. П. Лавёрова Российской академии наук»
Адрес: 163000, г. Архангельск, Наб. Сев. Двины, д. 109
E-mail: ecorr@yandex.ru