

Пространственное распределение естественных и техногенных радионуклидов в арктических почвах побережья залива Моллера, архипелаг Новая Земля

© 2021. В. В. Кряучюнас¹, к. г.-м. н., в. н. с., И. А. Кузнецова¹, к. х. н., с. н. с., С. А. Игловский¹, к. г. н., в. н. с., А. В. Баженов¹, к. г.-м. н., с. н. с., С. В. Дружинин¹, н. с., Е. И. Котова^{1,2}, к. г. н., в. н. с.,
¹Федеральный исследовательский центр

комплексного изучения Арктики
 имени академика Н. П. Лаверова УрО РАН,
 163000, Россия, г. Архангельск, наб. Северной Двины, д. 23,

²Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН,
 117997, Россия, г. Москва, Нахимовский проспект, д. 36,
 e-mail: vidas76@mail.ru, kia.iepn@gmail.com, iglovskys@mail.ru,
 abv-2009@yandex.ru, druzhininserg@yandex.ru, ecopp@yandex.ru

В почвах западного побережья архипелага Новая Земля (залив Моллера), представленных петрозёмами, серогумусовыми литозёмами и торфянисто-глеевыми почвами, определена удельная активность естественных и техногенных радионуклидов. В результате исследования получены картосхемы пространственного распределения радионуклидов в поверхностном слое почвы. Установлено, что удельная активность ²²⁶Ra и ²³²Th в почвах ниже справочных фоновых значений для глинистых сланцев, и сопоставима с уровнями удельной активности данных радионуклидов в почвах восточного побережья Новой Земли. Содержание ¹³⁷Cs и ⁴⁰K в почвах западного побережья Новой Земли, в районе залива Моллера, значительно ниже, чем в почвах восточного побережья архипелага. В некоторых почвенных разрезах установлено присутствие короткоживущих ¹³⁴Cs и ⁶⁰Co, свидетельствующее о продолжающемся поступлении техногенных радионуклидов в почвы Арктики.

Ключевые слова: пространственное распределение радионуклидов, арктические почвы, западное побережье Новой Земли, удельная активность.

Spatial distribution of natural and technogenic radionuclides in arctic soils of the Moller gulf, Novaya Zemlya archipelago

© 2021. V. V. Kriauciunas¹ ORCID: 0000-0001-7437-381X²

I. A. Kuznetsova¹ ORCID: 0000-0002-9530-0035², S. A. Iglovsky¹ ORCID: 0000-0001-9675-455X²

A. V. Bazhenov¹ ORCID: 0000-0003-4706-6675², S. V. Druzhinin¹ ORCID: 0000-0003-2071-1662²

E. I. Kotova² ORCID: 0000-0001-7442-3311²

¹N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research,
 23, Severnoy Dviny Naberezhnaya, Arkhangelsk, Russia, 163000,

²Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences,
 36, Nakhimovskiy Prospekt, Moscow, Russia, 117997,

e-mail: vidas76@mail.ru, kia.iepn@gmail.com, iglovskys@mail.ru,
 abv-2009@yandex.ru, druzhininserg@yandex.ru, ecopp@yandex.ru

The specific activity of anthropogenic and natural radionuclides is determined in the soils of the western coast of the Novaya Zemlya archipelago (Moller Bay) using the gamma spectrometer "Progress" – No. 9767-g based on the scintillation detection unit "NaI 63 x 63 BDEG". The survey area is located on the coastline, bounded by latitudes with coordinates 72°24'59.6" N and 72°20'17.6" N and longitudes with coordinates 52°51'30.1" E and 52°42'17.04" E. For each sampling point 5 soil samples were taken in a square with a side of 10 m. Each sample has 15 x 15 cm size to a depth of 5 cm. As a result of the study, maps of the spatial distribution of radionuclides in the surface layer of the soil were obtained. The mean specific activity values are: from 2 to 6 Bq/kg for ¹³⁴Cs, from 3 to 140 Bq/kg for ¹³⁷Cs, from 2 to 30 Bq/kg for ⁶⁰Co, from 30 to 450 Bq/kg for ⁴⁰K, from 3 to 36 Bq/kg for ²³²Th, from 3 to 600 Bq/kg for ²²⁶Ra. It was found

that the content of ^{226}Ra and ^{232}Th in soils is lower than background values for clay shales, and is comparable to the levels of specific activity of these radionuclides in the soils of the eastern coast of Novaya Zemlya. The content of ^{137}Cs and ^{40}K in the soils on the western coast of Novaya Zemlya, in the Moller Bay area, is 3 and 2 times lower, respectively, than in the soils on the eastern coast of the archipelago. In some soil sections, the presence of short-lived ^{134}Cs and ^{60}Co has been established, indicating the continued arrival of anthropogenic radionuclides into the Arctic soils.

Keywords: spatial distribution radionuclid, arctic soils, western coast of Novaya Zemlya, specific activity.

Арктические экосистемы можно охарактеризовать как уязвимые с очень низкой скоростью восстановления [1–3]. Стабильность и разнообразие арктических экосистем во многом зависят от устойчивости почвенного покрова данной территории.

Наибольший ущерб экосистемам архипелага, несомненно, нанёс Новоземельский испытательный полигон, где на протяжении десятилетий проводились масштабные испытания ядерного оружия [4]. Почвы архипелага Новая Земля несут на себе отпечаток прошлых и современных воздействий, связанных с испытаниями оружия, захоронением радиоактивных отходов, вторичным загрязнением от могильников ядерных отходов и таянием в связи с глобальным потеплением ледников, загрязнённых при проведении ядерных взрывов [5–7]. Также загрязнения архипелага связаны с трансграничным поступлением радионуклидов от заводов по переработке ядерного топлива во Франции и Великобритании [1, 8]. Кроме того, возможным источником техногенных радионуклидов (ТРН) для западного побережья Новой Земли могут стать девять потенциально радиационно-опасных судоремонтных предприятий Мурманской области, на которых осуществляется долговременное хранение и захоронение радиоактивных отходов, топлива, генераторов излучения, реакторов критической сборки [9–15]. Особая уязвимость экосистем Арктики и вышеперечисленные факторы воздействия делают необходимым контроль и анализ распределения радионуклидов антропогенного и природного происхождения в почвах архипелага Новая Земля. Можно их рассматривать как место накопления, перераспределения и потенциальный источник вторичного загрязнения окружающей среды ТРН. В связи с уникальным географическим расположением архипелага Новая Земля, его почвы очень разнообразны: встречаются дерновые, глеевые и торфяные почвы, переувлажнённые арктические кольматированные почвы, подбуры, обогащённые органическим веществом рендины, арктические почвы полярных пустынь [16]. Основным источником естественных радионуклидов (ЕРН) в почве являются почвообразующие и подстилающие породы, соз-

дающие природный радиоактивный фон местности. В районе исследования почвообразующие породы представлены чёрными сланцами и филлитами с повышенным содержанием ^{40}K [17]. Удельная активность естественных радионуклидов ^{232}Th и ^{40}K в глинистых сланцах составляет 45 и 700 Бк/кг соответственно [18]. Источники непосредственного поступления ТРН на исследуемой территории отсутствуют.

Материалы и методы исследования

С целью установления закономерностей пространственного распределения естественных и техногенных радионуклидов в верхнем горизонте был произведён отбор почв в окрестностях посёлка Малые Кармакулы (залив Моллера, архипелаг Новая Земля) (рис. 1, см. цв. вкладку, рис. 2). Территория обследования расположена на участке побережья, ограниченного широтами с координатами $72^{\circ}24'59,6''$ с. ш. и $72^{\circ}20'17,6''$ с. ш. и долготами с координатами $52^{\circ}51'30,1''$ в. д. и $52^{\circ}42'17,04''$ в. д. (рис. 1, см. цв. вкладку). Закладка площадок отбора была произведена с учётом неравномерности и малой мощности почвенного покрова. Отбор проб почвы осуществляли в соответствии с ГОСТ 17.4.3.01-83 [19]. На каждой площадке отбирали по 5 образцов почвы в квадрате со стороной 10 м размером 15 x 15 см на глубину 5 см [20]. Отбор проб почвы осуществляли с учётом топографии, геоморфологии, растительного и почвенного разнообразия. Классификация почв выполнена на основе морфолого-генетического анализа строения почвенных профилей. Отобранные образцы почвы высушивали в сухом проветриваемом помещении до воздушно-сухого состояния, удаляли корешки и другие включения, растирали в ступке и просеивали через сито с диаметром ячеек 1 мм. Содержание радионуклидов в почвах определяли помощью γ -спектрометра «Прогресс» – № 9767-г на основе сцинтилляционного блока детектирования «NaI 63 x 63 БДЭГ» в соответствии с «Методикой измерения активности радионуклидов в счётных образцах на сцинтилляционном γ -спектрометре с использованием программного обеспечения Прогресс». Значения

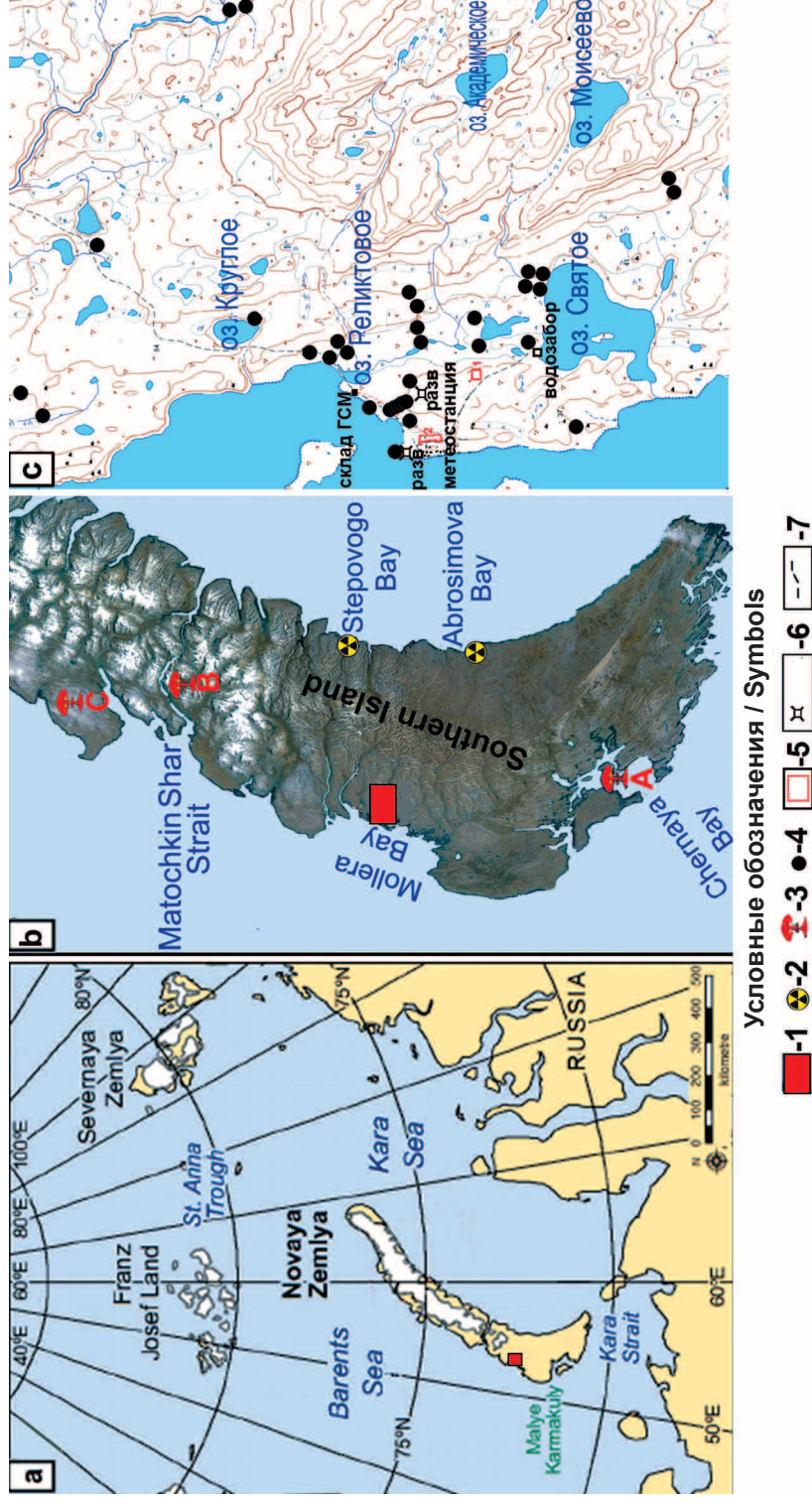


Рис. 1. Расположение района исследования (1), мест захоронения радиоактивных отходов (2), проведения ядерных испытаний (3), мест расположения пробных площадок (4), свалок техники и бочек из-под горюче-смазочных материалов (ГСМ) (5), развалин (6) и трубопровода ГСМ (7). Буквами обозначены: а – Северо-западная часть Русской Арктики, б – Южный остров архипелага Новая Земля, с – Побережье залива Моллера в районе метеостанции Малые Кармакулы

Fig. 1. Location of the study area (1), radioactive waste disposal (2) and nuclear tests (3) sites, trial plots location (4), machinery and fuel barrel location (5), buildings ruins (6), fuel pipeline (7).

The letters indicate: a – Northwestern part of the Russian Arctic, b – The southern island of the Novaya Zemlya archipelago, c – Moller Bay coast near the Malyye Karmakuly weather station

удельной активности радионуклидов приводятся в Бк/кг в соответствии с системой СИ [3]. Статистическая обработка данных включала расчёт среднего арифметического значения, стандартного отклонения, стандартной ошибки среднего и была произведена с помощью программного обеспечения StatSoft, Inc. (2011) Statistica (data analysis software system), version 10. Кроме того, в целях группировки элементов по поведению в исследуемых почвах были рассчитаны коэффициенты парной корреляции k (квадратная матрица), критический уровень значимости принимали $p < 0,05$. Построение картосхем пространственного распределения элементов в верхнем пятисантиметровом горизонте почв выполнено с помощью программного обеспечения Surfer (Golden Software, LLC).

Результаты и обсуждение

Склоновый рельеф исследуемой территории характеризуется наличием каменистых и щебёночных поверхностей (выходом коренных горных пород), останцев, каменистых россыпей, расположенных как на береговых обрывах, так на плакорных участках. В понижениях рельефа и наиболее защищённых от ветра речных долинах сформирован мохово-кустарничковый покров заболоченных бугристых поверхностей, фрагментарно распространена луговая растительность с кочками. Встречаются так же моховые участки на поверхности каменистых россыпей (рис. 1, см. цв. вкладку, рис. 2). Наиболее распространёнными элементами мезо- и микрорельефа являются выходы коренных пород, представляющие собой россыпи филлитового щебня, характеризующиеся хорошим дренажем при расположении сильнощебенистых отложений вдоль берегов озёр и ручьёв. Растительное сообщество исследуемой территории представлено мохово-осоково-кустарничковой растительностью, почвенный покров носит локальный характер и сформирован почвами ствола первичного почвообразования – петрозёмами. Исследованные петрозёмы характеризуются общим морфологическим строением, в котором можно выделить подстильно-торфяной или слаборазвитый гумусовый горизонт, залегающий на мелкозёмисто-щебнистой толще, иногда непосредственно на плотной скальной породе. В средней части склонов, преимущественно в плакорных участках, локальными пятнами встречаются сухоторфяно-литозёмы, диагностический горизонт которых сложен

из остатков произрастающих лишайников и мхов. Широкое распространение находят литозёмы серогумусовые, морфологию почвенного профиля которого составляют органо-генный подстильно-торфяной и серогумусовый горизонты, сформированные на щебне филлитовых сланцев. В аккумулятивных позициях ландшафтов и в условиях подпора грунтовых вод мерзлотой формируются глеевые почвы. Признаки оглеения наблюдаются в толще материнской породы в виде сизых и ржавых пятен. На исследуемой территории выявлены серогумусовые глееватые почвы, глеезёмы, торфянисто-глеевые и торфяно-глеевые почвы. Генезис данных почв напрямую зависит от особенностей рельефа, регулирующего водный режим почв: проточный режим в условиях переувлажнения способствует формированию глеезёма, а отсутствие стока и застой влаги инициирует процесс торфонакопления (торфянисто-глеевые и торфяные почвы).

Вся исследуемая территория расположена в зоне сплошного распространения мерзлоты. Глубина сезонно-талого слоя варьирует от 0,03 до 1,5 м. Почвенный покров исследуемой территории представлен петрозёмами, литозёмами серогумусовыми и торфянисто-глеевыми почвами. В отдельных местах встречаются сухоторфяные литозёмы, а в местах интенсивной хозяйственной деятельности – антропогенные почвы. Площадки для отбора проб заложены как на «чистой», не тронутой человеком территории, так и в местах текущей и прошлой хозяйственной деятельности: почвенные профили №№ 1, 14, 21, 31, 40 – на свалках бочек из-под горюче-смазочных материалов (ГСМ); № 25 – в зоне влияния тракторной дороги, а территорию, сформированную почвенными профилями № 1–8, пересекают тракторная дорога и трубопровод ГСМ (рис. 2).

В 45 почвенных образцах обнаружено присутствие ^{134}Cs (период полураспада $T_{1/2} = 2,06$ лет), что свидетельствует о поступлении данного радионуклида в почву от действующих ядерных реакторов. Удельная активность ^{134}Cs в верхнем почвенном горизонте района исследования колеблется от 0,8 до 6,3 Бк/кг (рис. 3, а). Анализ латерального распределения ^{134}Cs в верхнем слое почвы показал снижение концентрации данного радионуклида от побережья вглубь острова. Ввиду отсутствия непосредственного источника поступления данного радионуклида на исследуемой территории и на основании выявленного распределения концентраций можно предположить его поступление с мор-

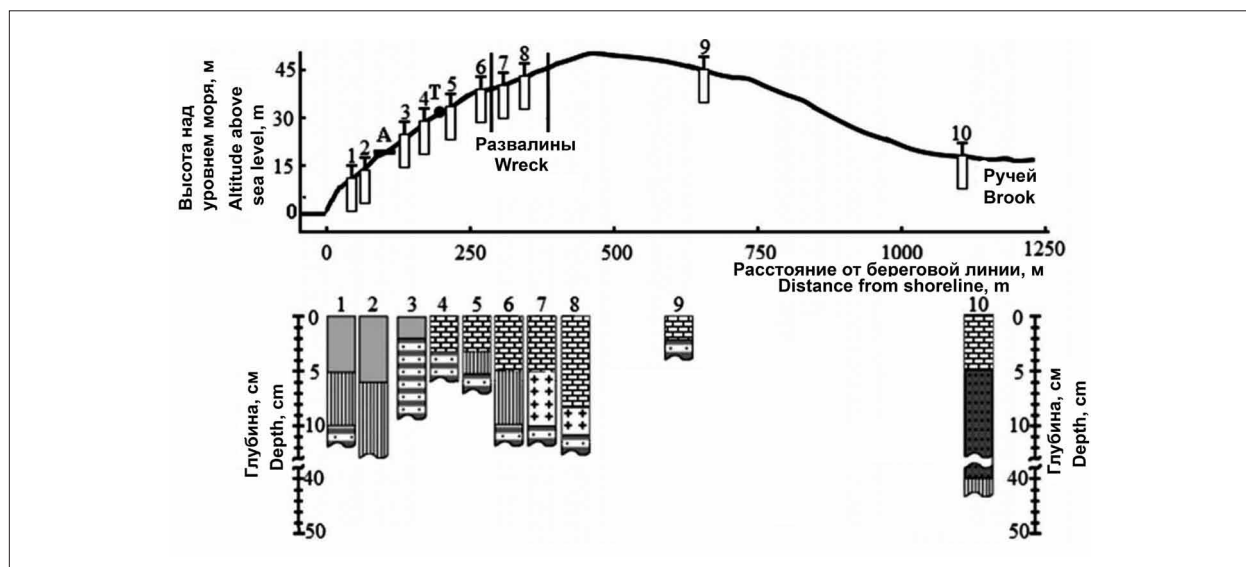


Рис. 2. Схема расположения и строение почвенных профилей:
 М – море, А – автодорога, Т – трубопровод ГСМ; почвенные горизонты:
 □ – гумусовый слаборазвитый; ■ – подстильно-торфяной; ▨ – плотная порода;
 ▩ – материнский; ▧ – глеевый горизонт; ⚡ – горизонт «урбик»
Fig. 2. Scheme of location and structure of soil profiles:
 M – sea, A – road, T – fuel and lubricants pipeline; soil horizons:
 □ – coarse humus horizon; ■ – peat littering horizon; ▨ – dense rock;
 ▩ – parent material; ▧ – gley horizon; ⚡ – urbic horizon

скими аэрозолями [21]. С учётом характера морских течений и циркуляции атмосферы в северо-западной части арктического региона [4] можно предположить, что основной источник поступления ¹³⁴Cs находится на юго-западе от архипелага.

¹³⁷Cs (период полураспада T_{1/2} = 30 лет), в отличие от короткоживущего продукта ядерного деления – ¹³⁴Cs, имеет иной характер пространственного распределения в почве. Установлено, что основное накопление ¹³⁷Cs происходит в глеезёмах, торфянисто-глеевых и торфяно-глеевых почвах, сформировавшихся в аккумулятивных позициях ландшафта, где он прочно связывается с гумусовыми кислотами. Удельная активность ¹³⁷Cs в верхнем горизонте почв района исследования составила от 1 до 159 Бк/кг (рис. 3, b).

В 17 почвенных профилях зафиксирован искусственный коррозионный радионуклид ⁶⁰Co (T_{1/2} = 5,2 лет). Удельная активность ⁶⁰Co составила от 1 до 30 Бк/кг (рис. 3, c). Максимальные концентрации данного радионуклида зафиксированы преимущественно в верхних органических горизонтах и в минеральных горизонтах, содержащих глинистый материал. Максимальные концентрации ⁶⁰Co обнаружены в почвенных образцах прибрежной территории, что может указывать на общий путь поступления с радионуклидом ¹³⁴Cs.

Удельная активность ²²⁶Ra (T_{1/2} = 1590 лет) в верхнем пятисантиметровом слое почвы варьирует в пределах от 2 до 40 Бк/кг. На прибрежном участке, где получили развитие маломощные петрозёмы и литозёмы, выявлены две локальные аномалии с повышенной концентрацией ²²⁶Ra в почве (рис. 3, d). В целом, содержание ²²⁶Ra от побережья вглубь острова снижается. Генезис локальных аномалий и распределения ²²⁶Ra в целом, вероятно, связан с сорбционным концентрированием ²²⁶Ra оксидами марганца, поступающими на морское побережье с морскими аэрозолями.

Торий – типично литофильный, слабо подвижный в любой геохимической обстановке элемент, T_{1/2} = 1,41 · 10¹⁰ лет. Средняя концентрация ²³²Th в почвенном профиле определяется содержанием данного радионуклида в подстилающих и почвообразующих породах. Удельная активность ²³²Th в верхнем органическом горизонте почв составила от 4 до 35 Бк/кг (рис. 3, e). Географическое расположение ториевых аномалий совпадает с калиевыми. Ториевые аномалии выявлены в почвах, сформировавшихся на делювиальных отложениях у подножий холмов, и в почвах, получивших развитие на пролювиальных отложениях в дельте горных ручьёв перед впадением в озёра (с сезонными гидрологическими колебаниями). Латеральная миграция ²³²Th,

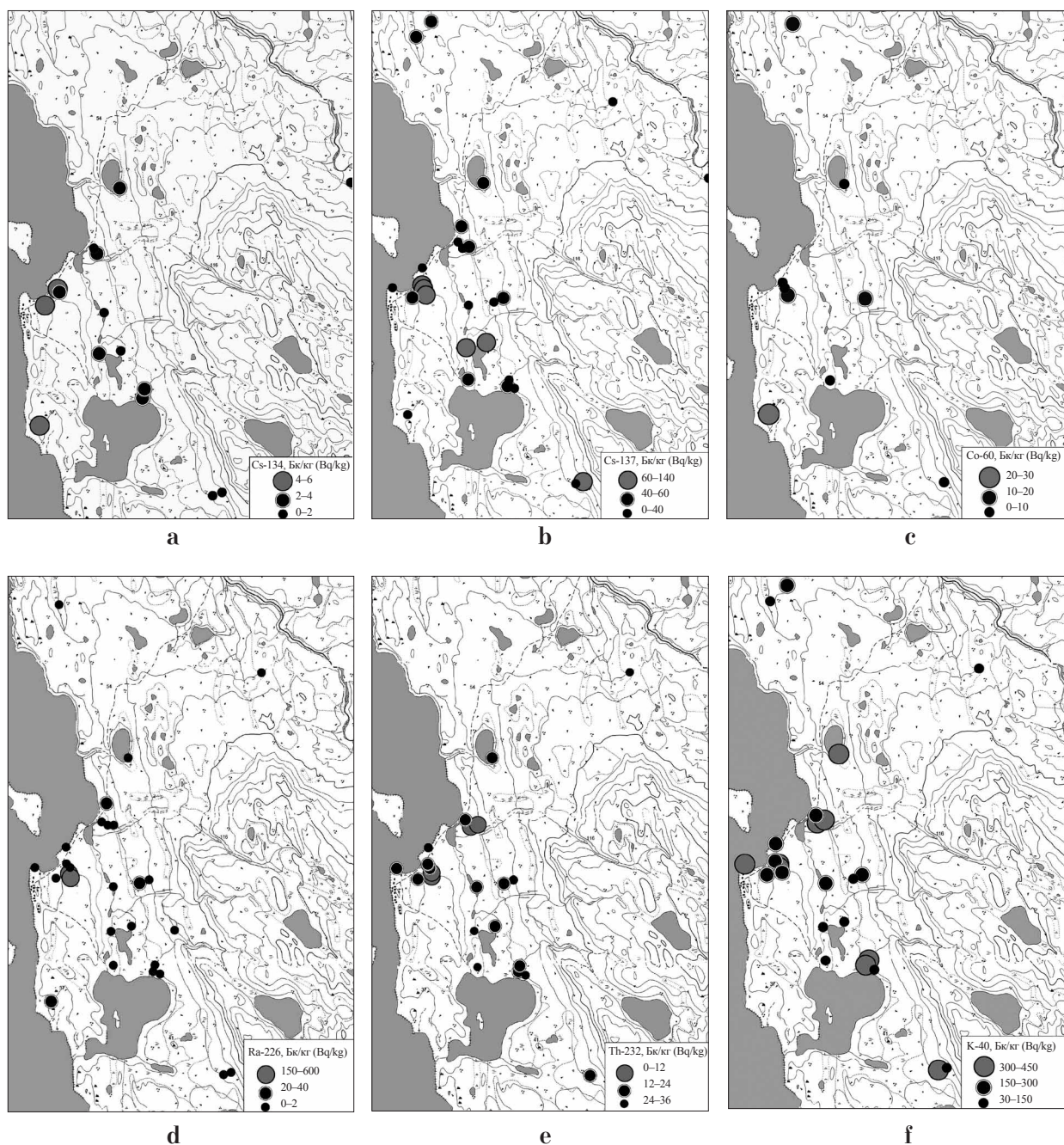


Рис. 3. Удельная активность радионуклидов в почвах, Бк/кг:
 а – ^{134}Cs , б – ^{137}Cs , в – ^{60}Co , д – ^{226}Ra , е – ^{232}Th , ф – ^{40}K
Fig. 3. Specific activity of radionuclides in soils, Bq/kg:
 а – ^{134}Cs , б – ^{137}Cs , в – ^{60}Co , д – ^{226}Ra , е – ^{232}Th , ф – ^{40}K

как правило, адсорбированного взвешенными частицами, происходит во время половодий в весенний период путём механической миграции в составе коллоидной фракции.

Калий является одним из главных ЕРН в почвах, период полураспада которого $1,3 \cdot 10^9$ лет. На рассматриваемой территории обнаружены единичные аномалии с относительно повышенным содержанием ^{40}K (более 300 Бк/кг) в почве, что может быть связано с его концентрированием на сорбционном

барьере (рис. 3, ф). Данные почвы в основном получили развитие на делювиально-пролювиальных отложениях и характеризуются маломощным почвенным профилем.

Удельная активность радионуклидов в почве исследуемого района составляла от 2 до 6 Бк/кг для ^{134}Cs , от 3 до 140 Бк/кг для ^{137}Cs , от 2 до 30 Бк/кг для ^{60}Co , от 30 до 450 Бк/кг для ^{40}K , от 3 до 36 Бк/кг для ^{232}Th , от 3 до 600 Бк/кг для ^{226}Ra . В сравнении с данными об удельной активности радионуклидов почв восточного

побережья Новой Земли [6], следует отметить значительно меньший уровень активности ^{137}Cs (диапазон значений составил от 100 до 159 Бк/кг) и ^{40}K (от 354 до 448 Бк/кг). Средние значения удельных активностей ^{226}Ra (14,5 Бк/кг) и ^{232}Th (18,0 Бк/кг) практически совпадают с полученными в данном исследовании.

В соответствии с классификацией элементов по частоте их встречаемости [22], ^{137}Cs , ^{232}Th , ^{40}K – широко распространённые радионуклиды (встречаемость от 75 до 100%), ^{134}Cs , ^{226}Ra – средней степени распространённости (от 50 до 75% проб), а ^{60}Co можно охарактеризовать как мало распространённый на данной территории радионуклид (встречается менее, чем в 50% случаев).

Коэффициент парной корреляции ^{232}Th и ^{40}K составил 0,55 ($p < 0,001$), что характеризует степень близости прямой связи удельных активностей данных элементов как среднюю и указывает на общий путь поступления и накопления в исследуемых почвах [23]. Для ^{226}Ra и ^{137}Cs выявлена прямая связь низкой степени близости ($k = 0,26$, $p = 0,035$), обратная связь той же степени близости выявлена между ^{232}Th и ^{137}Cs ($k = 0,31$, $p = 0,012$). Выявленные связи в будущем должны учитываться при анализе источников поступления и миграции радионуклидов в почве.

Заключение

Установлено, что на побережье залива Моллера в автоморфных позициях рельефа широко распространены почвы первичного ствола почвообразования отдела слаборазвитых почв (петрозёмы) и постлитогенного ствола отдела литозёмов (торфяно-литозёмы, сухоторфяно-литозёмы, литозёмы серогумусовые, литозёмы грубогумусовые), а в трансэлювиально-аккумулятивных и трансупераквальных формах рельефа получили развитие почвы постлитогенного ствола отдела глеевые почвы (торфянистоглеевые). Надпочвенный покров представлен преимущественно мохово-кустарничковой растительностью, моховыми участками и, фрагментарно, луговой растительностью.

Впервые построены картосхемы пространственного распределения ЕРН и ТРН в поверхностном слое почвы на побережье залива Моллера.

Представленные данные сопоставимы с полученными ранее другими авторами уровнями удельной активности радионуклидов в почвах восточного побережья Новой Земли [6].

По полученным данным, для ^{137}Cs и ^{40}K уровень удельной активности в почвах побережья залива Моллера на западе южного о-ва Новой Земли меньше в 3 и 2 раза соответственно по сравнению с восточным побережьем [6]. Уровень удельной активности ^{137}Cs в изученных почвах в 2,6 раза меньше, чем в почвах северной части северного о-ва Новой Земли [24].

В ряде почвенных разрезов на побережье Моллера установлено присутствие короткоживущих изотопов ^{134}Cs и ^{60}Co , что свидетельствует о продолжающемся поступлении техногенных радионуклидов в почвы Арктики.

Работа выполнена при финансовой поддержке Федерального агентства научных организаций (проект № АААА-А19-119011890018-3).

References

1. Arctic pollution issues: a state of the arctic environment report. Oslo: AMAP (Arctic Monitoring and Assessment Programme), 1997. 188 p.
2. The Arctic on the threshold of the third millennium (resource potential and environmental problems) / Eds. I.S. Gramberga, N.P. Laverova. Sankt-Peterburg: Nauka, 2000. 247 p. (in Russian).
3. AMAP Assessment 2015: Radioactivity in the Arctic. Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP). Norway, Oslo. 2015. 89 p.
4. Aibulatov N.A. Ecological echo of the Cold War in the seas of the Russian Arctic. Moskva: GEOS, 2000. 306 p. (in Russian).
5. Kiselev G.P., Bazhenov A.V., Zykov S.B., Kryauchunas V.V., Kiseleva I.M., Lastovskii A.M. On the radioactivity of the environment of the Arkhangelsk industrial region // *Ekologiya cheloveka*. 2006. No. 2. P. 3–6 (in Russian).
6. Usacheva A.A., Semenov I.N., Miroshnikov A.Yu., Krupskaya V.V., Zakusin S.V. Geochemical features of Arctic tundra landscapes of the Novaya Zemlya eastern coast // *Vestnik Moskovskogo Universiteta. Seriya 5: Geografiya*. 2016. No. 6. P. 87–95 (in Russian).
7. Krupskaya V.V., Miroshnikov A.Yu., Dorzhieva O.V., Zakusin S.V., Semenov I.N., Usachev A.A. Mineral composition of soils and bottom sediments of the bays of Novaya Zemlya archipelago // *Oceanology*. 2017. V. 57. No. 1. P. 238–245 (in Russian). doi: 10.1134/S0001437017010076
8. Ivanov A.B., Krasilov G.A., Logachev V.A., Matshchenko A.M., Safronov V.G. Northern test site (Novaya Zemlya). Radioecological consequences of nuclear tests. Moskva: GIPE, 1997. 85 p. (in Russian).
9. Baklanov A.A., Mahura A.G., Morozov S.V. The simulation of radioactive pollution of the environment after a hypothetical accident at the Kola Nuclear Power Plant // *J. Environmental Radioactivity*. 1994. V. 25. P. 65–84.

10. Baklanov A., Bergman R., Segerstahl B. Radioactive sources in the Kola region: Actual and potential radiological consequences for man, International Institute for Appl. Systems Analysis, Laxenburg, Austria, 1996. 255 p.
11. Matishov G.G., Matishov D.G., Namiatov A.A., Zuev A.N., Kirillov E.E. Radionuclides and oceanographic conditions for their accumulation in the Kola and Matovka Gulfs (Barents Sea). Murmansk: Murmanskii morskoi biologicheskii institut RAN, 1997. 32 p. (in Russian).
12. Matishov D.G. Anthropogenic radionuclides in marine ecosystems: Avtoref. diss. ... d-ra geol. nauk. Sankt-Peterburg: MMBI KSC RAS, 2001. 50 p. (in Russian).
13. Kuznetsov V.M. The main problems and the current state of enterprises of the nuclear fuel cycle of the Russian Federation. Moskva: Rossiyskaya Demokraticeskaya partiya "Yabloko", 2002. 259 p. (in Russian).
14. Kuznetsov V.M., Nazarov A.G. Radiation legacy of the Cold War. The experience of historical-scientific research. Moskva: Kliuch-S, 2006. 720 p. (in Russian).
15. Nikitin A.I., Shershakov V.M., Tsaturov Iu.S. Joint Russian-Norwegian studies of radioactive contamination of the western Arctic seas in areas affected by local sources // *Arktika: Ekologiya i ekonomika*. 2011. No. 2. P. 26–35 (in Russian).
16. Novaya Zemlya. Nature. History. Archeology. Culture. Proceedings of MACE. Book. 1. Nature / Ed. P.V. Boiarskiy. Moskva: Institut Naslediya Moskva, 1998. 280 p. (in Russian).
17. Melnik N.A., Velichko O.S., Krashennnikov O.N., Belogurova T.P. Radio-geoecological assessment of the shales of the peninsulas Middle and Rybachy // *Mineralogy in the whole space of this word: abstracts*. Apatity: K & M, 2005. P. 126–128 (in Russian).
18. Aleksandrov Yu.A. Fundamentals of radiation ecology. Ioshkar-Ola: Mariyskiy gosudarstvennyy universitet, 2007. 268 p. (in Russian).
19. GOST 17.4.3.01-83. Protection of Nature. Soil. General requirements for sampling. Moskva: Izdatelstvo standartov, 1984. 4 p. (in Russian).
20. Katkova M.N. Radiation situation on the territory of Russia and neighboring countries in 2015. Yearbook. Obninsk: FGBU "VNIIGMI-MCD", 2016. 348 p. (in Russian).
21. Kostenkov N.M., Klyshevskaia S.V. Influence of the process of pulverization on the content of salts in the soils of coastal marine landscapes // *Vestnik KrasGAU*. 2014. No. 10. P. 81–84 (in Russian).
22. Kreshtapova V.N. Methodical recommendations for the estimation of the content of trace elements in peat methods in the European part of the RSFSR. Moskva: Mingeo SSSR, 1974. 200 p. (in Russian).
23. Harrington E.C. The desirable function // *Industrial Quality Control*. 1965. V. 21. No. 10. P. 124–131.
24. Miroshnikov A.Y., Laverov N.P., Chernov R.A., Kudikov A.V., Ysacheva A.A., Semenov I.N., Aliev R.A., Asadulin E.E., Gavrilov M.V. Radioecological investigations on the Northern Novaya Zemlya Archipelago // *Oceanology*. 2017. V. 57. No. 1. P. 204–214. doi: 10.1134/S000143701701009X