

СТАТЬЯ

УДК 504.064.2

DOI 10.17513/use.38369

**ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ ЕСТЕСТВЕННЫХ
И ТЕХНОГЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ
В ПОЧВАХ ДЕЛЬТЫ РЕКИ СЕВЕРНАЯ ДВИНА
(НА ПРИМЕРЕ ОСТРОВА ЯГРЫ)**

¹Лапиков П.И., ¹Яковлев Е.Ю., ²Лапикова А.Т.

¹*ФГБУН Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лавёрова Уральского отделения Российской академии наук, Архангельск, e-mail: pavel.lapikov.i@gmail.com;*

²*Северный филиал ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии», Архангельск, e-mail: gat29@gmail.com*

Цель работы – проведение радиоэкологической оценки почвенного покрова на предмет загрязнения техногенными и естественными радионуклидами в дельте р. Северная Двина на примере о. Ягры (Северодвинск, Приморский район, Архангельская область). Места отбора проб определялись с помощью построения сети точек, находящихся на разной удаленности от береговой линии и от потенциальных источников загрязнения в виде радиационно опасных объектов Северодвинска. Всего в работе оценивались почвы из 6 точек. В каждом месте пробоотбора авторы оценивали 7 горизонтов с шагом 5 см, от 0 до 35 см в самой глубокой точке профиля. В исследовании применялись методы радиометрии и полупроводниковой гамма-спектрометрии, которые позволяют определять низкие активности радионуклидов с достаточной точностью. В пробах оценивались следующие количественные характеристики: удельная бета-активность радия-226, тория-232, калия-40, цезия-137, стронция-90, средние значения среди всех точек и всех горизонтов были следующими: 364; 6,5; 6; 283; 5; 4,5 Бк/кг соответственно. Полученные значения по активности цезия-137 варьировались от 0,14 до 24 Бк/кг, полученные значения могут быть связаны с неоднородностью распространения ввиду химической, биологической и физической миграции цезия в условиях песчаных аллювиальных почв с высокой степенью засоленности с изменяющейся толщиной гумусового горизонта зависящего от типа микрорельефа о. Ягры (Северодвинск). Исследования проводились вне охраняемых территорий и не нарушали нормы и правила в области обеспечения безопасности. Полученные значения могут быть использованы для радиоэкологического мониторинга в будущем.

Ключевые слова: почвенный покров, радиоэкологическая обстановка, радионуклид, цезий

**ASSESSMENT OF NATURAL AND ANTHROPOGENIC RADIONUCLIDE
CONTENT IN SOILS THE NORTHERN DVINA RIVER DELTA
(ON THE EXAMPLE OF YAGRY ISLAND)**

¹Lapikov P.I., ¹Yakovlev E.Yu., ²Lapikova A.T.

¹*Federal Centre for Integrated Arctic Research named after N.P. Laverov of the Russian Academy of Sciences, Archangelsk, e-mail: pavel.lapikov.i@gmail.com;*

²*Northern branch of the Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography, Arkhangelsk, e-mail: gat29@gmail.com*

The aim of the work was to conduct radioecological assessment of the soil cover for contamination with anthropogenic and natural radionuclides in the delta of the Northern Dvina River on the example of Yagry Island (Severodvinsk, Primorsky District, Arkhangelsk Oblast). Sampling locations were determined by constructing a network of points located at different distances from the shoreline and from potential sources of contamination in the form of radiation-hazardous facilities of Severodvinsk. In total, soils from 6 points were evaluated in this work. At each sampling location the authors evaluated 7 horizons with a step of 5 centimeters from 0 cm to 35 cm at the deepest point of the profile. The study utilized radiometry and solid-state gamma spectrometry techniques, which allow the determination of low activity radionuclides with sufficient accuracy. The following quantitative characteristics were evaluated in the samples: specific beta, activity of radium-226, thorium-232, potassium-40, cesium-137, strontium-90, the average values among all points and all horizons were as follows: 364 Bq/kg, 6.5 Bq/kg, 6 Bq/kg, 283 Bq/kg, 5 Bq/kg, 4.5 Bq/kg respectively. The obtained values of caesium-137 activity varied from 0.14 Bq/kg to 24 Bq/kg, the obtained values can be related to heterogeneity of distribution due to chemical, biological and physical migration of caesium in conditions of sandy alluvial soils with a high degree of salinity with varying thickness of humus horizon depending on the type of microrelief of Yagry Island (Severodvinsk). The research was conducted outside protected areas and did not violate safety norms and regulations. The obtained values can be used for radioecological monitoring in the future.

Keywords: soil cover, radioecological situation, radionuclide, cesium

Введение

Арктические территории подвергались различному активному техногенному воздействию на протяжении последнего века. Наибольшее влияние на экосистемы арктических районов оказали глобальные процессы и проведение в ее широтах различных испытаний вооружения в том числе и ядерного. Таким образом, территория Арктики и по сей день представляет интерес для радиэкологических исследований в условиях изменяющегося климата.

Одним из арктических регионов со значимой антропогенной нагрузкой является Двинской залив Белого моря. В данном районе находится один из исторических центров освоения арктических территорий – город Архангельск. В настоящее время в Архангельской агломерации находятся различные производства, в том числе радиационно опасные объекты в виде предприятий по строительству и обслуживанию подводных лодок с атомными энергетическими установками.

Территория дельты р. Северная Двина представляет собой уникальный природный комплекс, сформированный в месте контакта речных и морских вод. Такое положение определяет формирование особого ландшафта данной местности и сложного гидрологического режима [1].

Дельта р. Северная Двина также является значимой территорией для сохранения биоразнообразия, здесь находятся три ООПТ: Беломорский биологический заказник; Двинской биологический заказник и Сосновый бор острова Ягры.

Ввиду различных исторических причин данный регион является наиболее заселенным и индустриально развитым на побережье Белого моря, что формирует значимую антропогенную нагрузку в виде загрязнителей разнообразного происхождения.

Одним из наиболее важных индустриальных узлов Архангельской агломерации является город Северодвинск – центр атомного судостроения. Предприятия Северодвинска могут являться источником техногенных радионуклидов в окружающей среде даже при нормальной работе [2].

Дельта Северной Двины является геохимическим барьером с повышенной аккумуляционной способностью в зоне смешения речных и морских вод. В процессе аккумуляции участвуют различные компоненты окружающей среды, в том числе почвы. Наличие в дельте радиационно опасных объ-

ектов придает особую значимость исследованиям по оценке текущей радиэкологической обстановки [1, 3].

Из-за географического положения и наличия локальных радиационно опасных объектов отсутствует определенность в доминирующих источниках техногенных радионуклидов в компонентах окружающей среды района исследования [4, 5].

Для определения предрасположенности к изменению радиационной обстановки ввиду деятельности местных радиационно опасных объектов в Двинском заливе Белого моря, а именно в устье дельты р. Северная Двина, требуется изучить радиэкологические параметры объектов окружающей среды, предполагаемо свободных от воздействия локального антропогенного фактора.

Важным источником поступления радионуклидов в компоненты окружающей среды является перенос воздушных масс и атмосферные осадки, выпадающие на землю. Исследования почв, как одного из индикаторов загрязнения атмосферы, предоставит возможность оценить количественно и качественно состав и воздушных масс, и атмосферных выпадений [6, 7].

Цель исследования – проведение отбора проб почв на о. Ягры, проведение требуемой пробоподготовки и измерений радиационных параметров грунтов с использованием чувствительного и точного радиометрического и спектрометрического оборудования.

Материалы и методы исследования

Почвенный покров о. Ягры, расположенного в северо-западной части дельты р. Северная Двина, представлен песчаными засоленными аллювиальными почвами с различным содержанием гумуса, сильно зависящего от микрорельефа (рис. 1) [8].

Для оценки содержания радионуклидов в пробах почв о. Ягры, был произведен отбор грунта (табл. 1) в 6 точках (рис. 2) методом конверта с длиной стороны квадрата 1 м.

В каждой точке пробы отбирались в 7 горизонтальных, с шагом 5 см до глубины 35 см.

Все пробы почв отобраны на микрорельефе морских береговых валов с плоским слабоволнистым или бугристым рельефом. Данные точки были выбраны ввиду их непосредственной близости к радиационно опасным объектам. Территория, на которой они располагаются, не была задействована в хозяйственной деятельности ранее и представляет естественный ландшафт.

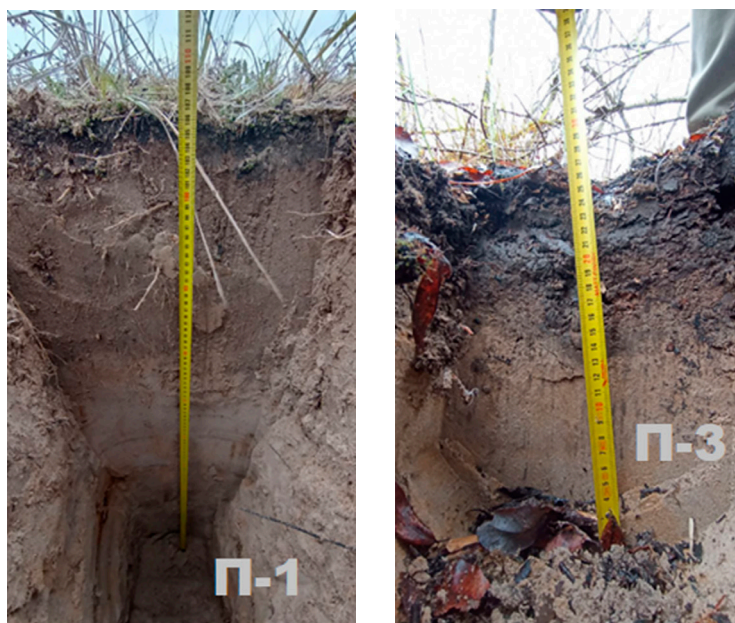


Рис. 1. Почвенные профили в точках отбора проб (П-1 и П-3)

Таблица 1

Список проб

Код пробы	Широта	Долгота	Дата отбора
П-1	64°35'24.46	39°46'57.55	14.10.2023
П-2	64°35'18.77	39°46'49.92	14.10.2023
П-3	64°35'20.48	39°47'09.31	14.10.2023
П-4	64°35'14.28	39°47'00.67	14.10.2023
П-5	64.587233	39.778845	17.10.2023
П-6	64.586104	39.782925	18.10.2023

Пробы грунта транспортировались в лабораторию, сушились при температуре 105 °С и гомогенизировались. Радионуклиды ¹³⁷Cs, ²²⁶Ra, ²³²Th и ⁴⁰K определяли на низкофоновом полупроводниковом гамма-спектрометре ORTEC (США) на базе коаксиального детектора GEM10P4-70 из высокочистого германия (HPGe), с процессором импульсных сигналов SBS-75 и программным обеспечением Gamma Pro. Данный полупроводниковый гамма-спектрометр позволяет определять низкие активности гамма-излучающих радионуклидов, позволяет использовать геометрию Маринелли для измерений, что непосредственно сказывается на минимальной измеряемой активности. Расчет удельной бета-активности определяли с помощью альфа-бета-радиометра РКС-01 «Абелия» (НТЦ «Амплитуда», Россия). Данный альфа-бета-радиометр был использован авторами в данной работе из-за его

доступности и возможности проводить измерения с минимальной пробоподготовкой, также немаловажным фактором является то, что измеряемая проба пригодна и для дальнейших исследований.

Данные методы были подобраны из-за целей исследования, например использование мобильных спектрометров, использование которых могло бы быть проведено прямо на местности, не позволило бы оценить вертикальное распределение радионуклидов по профилям.

Результаты исследования и их обсуждение

Полученные значения в работе не превышали установленных нормативов содержания естественных и техногенных радионуклидов. В ходе проведения исследования были получены следующие значения (табл. 2).

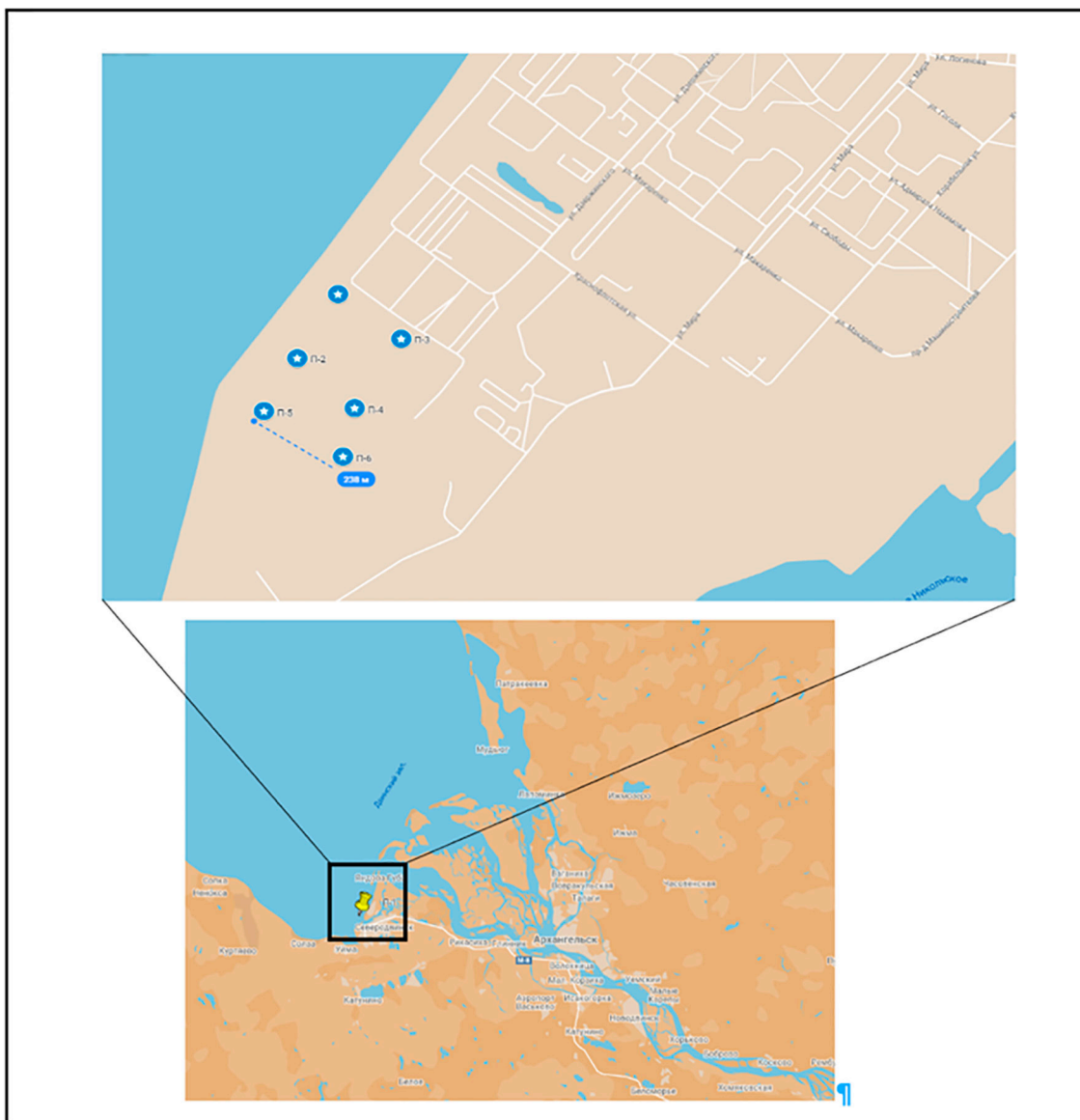


Рис. 2. План-схема отбора почв на о. Ягры в Двинском заливе Белого моря

Бета-активность удельная средняя в исследуемых горизонтах находилась в пределах между 300 и 690 Бк/кг. Содержащиеся естественные радионуклиды в пробах были представлены следующим составом: ^{226}Ra , ^{232}Th и ^{40}K – их средние активности слабо варьировались при вертикальном рассмотрении почвенных профилей и составляли следующие значения соответственно: 6,5; 6,1 и 283 Бк/кг. Исследуемый техногенный радионуклид ^{137}Cs обладал максимальной активностью (24,1 Бк/кг) в верхних отобранных горизонтах (0–5, 5–10), где предполагается наибольшее содержание органических компонентов, полученные значения сходятся с предыдущими работами [9]. Та-

кое распределение цезия в пробах связано с основным его источником в виде атмосферных выпадений, а также хорошей удерживающей способностью органических веществ. Максимальные значения удельной активности цезия не превышали допустимые удельные активности для неограниченного использования (100 Бк/кг) и являются типичными для района исследования [10]. В данной работе авторы получили значения вертикального распределения естественных и техногенных гамма-излучающих радионуклидов (рис. 3), определили общую удельную активность отобранных грунтов на территории о. Ягры в дельте р. Северная Двина.

Таблица 2

Исследованные параметры в точках отбора

№ п/п	Точка отбора	Горизонт	Радиационные параметры пробы, Бк/кг					
			Ауд., β	Ra-226	Th-232	K-40	Cs-137	Sr-90
1	П-1	0–5	420	6,5	6,5	260	4,2	---
2		5–10	340	7	6,6	281	4,4	---
3		10–15	330	7,3	6,8	270	4,9	---
4		15–20	340	7,6	7,7	310	4,5	---
5		20–25	330	7,1	6,6	300	2,9	---
6		25–30	300	5,2	4,6	264	0,32	---
7		30–35	310	4,8	3,6	290	< 0,8	---
8	П-2	0–5	400	5,9	6,9	230	2,9	---
9		5–10	380	7,5	7,4	290	3,3	---
10		10–15	400	7,4	7,4	300	3,4	---
11		15–20	380	6,9	7,9	320	3,4	---
12		20–25	320	7,5	6,7	290	< 1,2	---
13		25–30	310	7	6,3	300	0,19	---
14		30–35	340	5	4,7	285	< 0,12	---
15	П-3	0–5	690	9,3	12,2	230	16,2	9,1
16		5–10	460	6,5	5,1	270	3,8	---
17		10–15	360	7,6	7,7	260	9	---
18		15–20	330	10,6	9,7	450	1,7	---
19		20–25	320	5,1	5,6	270	<0,54	---
20		25–30	350	7	6,4	310	0,24	---
21		30–35	350	6,6	5,9	283	<0,23	---
22	П-4	0–5	510	5,5	5,5	214	17,9	3,1
23		5–10	370	6,3	5,7	290	24,1	---
24		10–15	340	7	6,5	290	11,4	---
25		15–20	350	7,9	1,9	270	4,8	---
26		20–25	320	6	3,7	250	<3,4	---
27		25–30	300	4,4	5,1	260	<0,8	---
28		30–35	310	4,7	4,1	250	<0,46	---
29	П-5	0–5	360	5,9	5,3	269	0,45	---
30		5–10	330	7	6,6	250	<0,6	---
31		10–15	350	<0,31	<0,12	295	<0,11	---
32		15–20	370	5,6	5,6	282	0,63	---
33		20–25	360	6,3	6,3	280	<0,7	---
34		25–30	390	6,2	6,3	280	<0,7	---
35		30–35	380	6,3	6,2	300	0,14	---
36	П-6	0–5	380	6,5	5,1	270	3,8	1,3
37		5–10	350	5,4	4,3	290	3,3	---
38		10–15	360	6	5,4	290	3,7	---
39		15–20	340	5,3	5,3	290	2,6	---
40		20–25	350	5	4,7	279	0,92	---
41		25–30	310	4,8	4,8	270	<0,5	---
42		30–35	410	7,1	7,8	340	<0,27	---

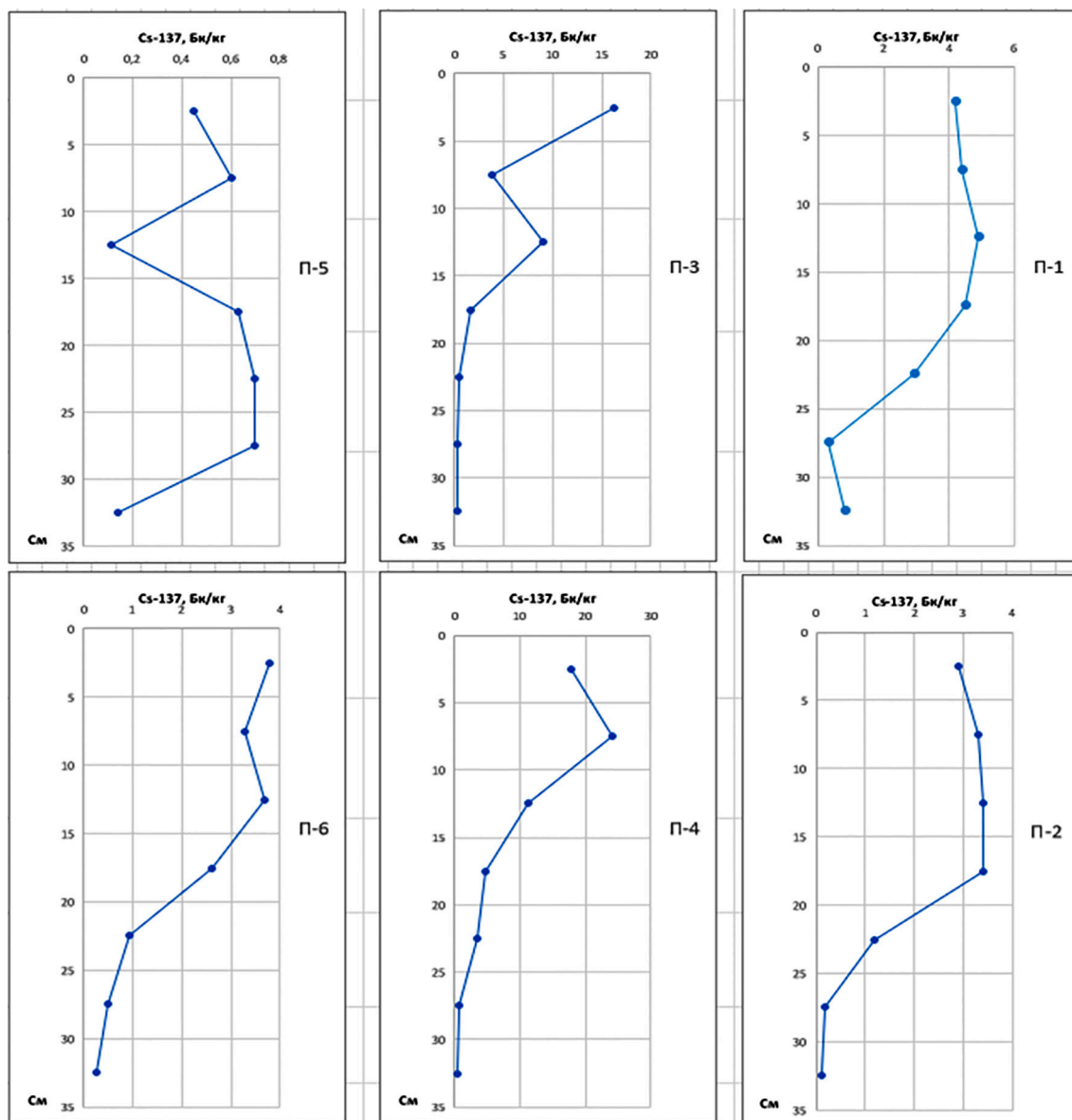


Рис. 3. Вертикальное распределение Cs-137 в пробах почвы

Заключение

Для более точной оценки и определения существующего воздействия и значимости локальных источников техногенного радиоактивного загрязнения в дельте р. Северная Двина и пробах грунта о. Ягры, необходимо проведение более полного комплекса исследовательских мероприятий с расширенной сеткой отбора проб и учетом дополнительных параметров. На данной территории не обнаружено значительного содержания техногенных радионуклидов, и может в дальнейшем использоваться для проведения исследований связанных с миграцией радионуклидов в условиях данного типа почв.

Список литературы

1. Ulyantsev A., Ivannikov S., Bratskaya S. Radioactivity of anthropogenic and natural radionuclides in marine sediments of the Chaun Bay, East Siberian Sea // *Marine Pollution Bulletin*. 2023. Vol. 195. P. 115582. URL: https://www.researchgate.net/publication/374362823_Radioactivity_of_anthropogenic_and_natural_radionuclides_in_marine_sediments_of_the_Chaun_Bay_East_Siberian_Sea (дата обращения: 20.11.2024).
2. Панов А.В., Коржавин А.В., Коржавина Т.Н. Итоги многолетнего радиоэкологического мониторинга водоохладителя Белоярской АЭС // *Известия высших учебных заведений. Ядерная энергетика*. 2024. № 2. С. 138–154. DOI: 10.26583/npe.2024.2.12.
3. Бакунов Н.А., Большианов Д.Ю., Аксенов А.О., Марков А.С. К диффузии глобального ^{137}Cs в донных отложениях северных морей // *Радиохимия*. 2023. Т. 65, № 4. С. 393–400. URL: https://www.researchgate.net/publication/374061413_K_diffuzii_globalnogo_137Cs_v_donnyh_otlozheniah_severnyh_morej (дата обращения: 20.11.2024).

4. Yakovlev E.Y., Zykova E.N., Zikov S.B. Heavy metals and radionuclides distribution and environmental risk assessment in soils of the Severodvinsk industrial district // *Environmental Earth Sciences*. 2020. Vol. 79, Is. 10. P. 218. DOI: 10.1007/s12665-020-08967-8.
5. Матишов Г.Г., Ильин Г.В., Усягина И.С., Кириллова Е.Э. Динамика искусственных радионуклидов в экосистемах морей Северного Ледовитого океана на рубеже XX–XXI веков. Ч. 2. Донные отложения // *Наука Юга России*. 2019. Т. 15, № 4. С. 24–35. URL: [https://www.ssc-ras.ru/ckfinder/userfiles/files/15\(4\)%2024-35%20Matishov%20et%20al.pdf](https://www.ssc-ras.ru/ckfinder/userfiles/files/15(4)%2024-35%20Matishov%20et%20al.pdf) (дата обращения: 20.11.2024).
6. Зыков С.Б., Яковлев Е.Ю., Зыкова Е.Н., Дружинин С.В. ¹³⁷Cs в торфяных горизонтах верхового болота в окрестностях Северодвинского промышленного района // *Новое в познании процессов рудообразования: Труды молодых учёных, посвящённые 90-летию ИГЕМ РАН*. Москва Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии Российской Академии наук, 2020. С. 41–45.
7. Прожорина Т.И., Нефедова Е.Г. Исследование метеорологических и химических параметров атмосферных осадков в осенне-зимний период как индикатора загрязнения воздуха г. Воронежа // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология*. 2013. № 1. С. 145–149.
8. Национальный атлас почв Российской Федерации / Гл. ред. С.А. Шоба. М.: Астрель: АСТ, 2011. 632 с.
9. Kiauciunas V.V., Iglovsky S.A., Bazhenov A.V. ¹³⁴Cs, ¹³⁷Cs, ⁴⁰K, ²³²Th, ²²⁶Ra in bottom sediments of the Dvina Bay on the White Sea (the Suhoe Sea Gulf) // *Arctic Environmental Research*. 2018. Vol. 18, Is. 4. P. 148–154. DOI: 10.3897/issn2541-8416.2018.18.4.148.
10. СП 2.6.1.2612-10. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010).