



## РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОЧВ В РАЙОНЕ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЯ АЛМАЗОВ ИМ. М.В. ЛОМОНОСОВА (АРХАНГЕЛЬСКАЯ ОБЛАСТЬ)

© 2021 А.В. Баженов , Е.Ю. Яковлев , С.В. Дружинин , С.А. Игловский 

Адрес: Федеральный центр комплексного изучения Арктики им. Н.П. Лавёрова УрО РАН, ул. Набережная Северной Двины, д. 23, г. Архангельск, 163000, Россия. E-mail: [abv-2009@yandex.ru](mailto:abv-2009@yandex.ru)

**Цель исследования.** На основе новых данных провести анализ радиоактивности почв в районе разработки месторождения алмазов им. М.В. Ломоносова (Архангельская область).

**Место и время проведения.** Полевые исследования проведены летом 2018 года в районе разработки месторождения алмазов им. М.В. Ломоносова (Архангельская область).

**Методология.** Для выполнения поставленной задачи заложили 10 почвенных разрезов, из которых отобрали 69 почвенных образцов. В полевых условиях проведено описание морфологических свойств почв по генетическим горизонтам. В лабораторных условиях пробы почв высушивали в сушильном шкафу при температуре 105° С до постоянной массы. После взвешивания пробы помещали в сосуд Маринелли для измерения удельной активности изотопов (цезия ( $^{137}\text{Cs}$ ), калия ( $^{40}\text{K}$ ), радия ( $^{226}\text{Ra}$ ) и тория ( $^{232}\text{Th}$ )) методом гамма-спектрометрии. Регистрацию гамма-излучений от счетного образца почв, а также обработку спектров проводили с использованием программно-аппаратурного комплекса «Прогресс-гамма» ФВКМ.412131.002-03. Калибровку гамма-спектрометра по энергии для контроля за сохранностью параметров установки проводили после каждого измерения с использованием комбинированного контрольного источника ОИСН-137-1 в сосуде Маринелли объемом 1 литр. Минимальное время экспонирования счетного образца составляло 3600 секунд. Однако в зависимости от активности пробы время экспонирования в отдельных образцах со слабой активностью увеличивали.

**Основные результаты.** В результате полевых исследований установлено, что в данном районе преобладают характерные для северной тайги почвы из отдела альфегумусовых (подзолы, Podzols). Максимальная активность  $^{137}\text{Cs}$  сосредоточена в подстильно-торфяном (от 11,4 до 71,8 Бк/кг) и гумусовом (от 26,7 до 105 Бк/кг) горизонтах. В подзолистом и альфегумусовом горизонтах происходит резкое снижение активности, достигающее в почвообразующей породе предельно измеряемых величин – от 2 до 3 Бк/кг. Общая тенденция накопления естественных изотопов  $^{40}\text{K}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  и  $^{232}\text{Th}$  в почвенных горизонтах в зависимости от типа и подтипа почвы выражена слабо. В ряде почвенных разрезов выявили увеличение активности естественных радионуклидов с глубиной: в основном это характерно для  $^{40}\text{K}$ , где его активность изменялась от 82,6 до 652 Бк/кг. Активность  $^{226}\text{Ra}$  и  $^{232}\text{Th}$  в почвенных профилях изменялась в пределах от 2,4 до 47,2 Бк/кг и от 2,9 до 40,6 Бк/кг, соответственно. Это связано с тем, что торий прочно сорбируется почвой, поэтому миграция его по почвенному профилю выражена слабо. Он осаждается в почвах в виде гидроксидов. Большие обогащены радием суглинистые и глинистые почвы, а песчаные почвы, напротив, бедны этим радионуклидом. Количество радиоактивных элементов, содержащихся в почве, в значительной мере определяется концентрацией изотопов в подстилающих горных породах.

**Заключение.** Пики повышения концентрации в альфегумусовых горизонтах (BF, BFg) связаны с увеличением содержания глинистой фракции, гидроксидов Fe, Al, повышающих сорбционную способность почв. Подстильно-торфяной и гумусовый горизонт выступают в роли биогеохимического барьера, который удерживает радиоактивные элементы в почве на длительное время. Ввиду высокой фильтрационной способности подзолов нижележащие горизонты не являются надежными барьерами.  $^{137}\text{Cs}$  и другие радиоизотопы могут связываться с гумусовыми веществами, оксидами и гидроксидами железа и алюминия, образовывать гумусово-железистые комплексы, осаждаться в почвенных новообразованиях, например, входить в минеральный состав ортитейнов. Более хаотичный характер распределения естественных радиоизотопов  $^{40}\text{K}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  и  $^{232}\text{Th}$  в большей степени связан с составом почвообразующих и подстилающих пород. Подвижность и накопление радионуклидов по профилю зависят от гранулометрического состава, содержания органического вещества, полуторных оксидов, минералогического состава, а также от температурного и водного режимов почв.

**Ключевые слова:** почва; радионуклиды; цезий; калий; радий; торий; содержание и распределение; месторождение алмазов им. М.В. Ломоносова

**Цитирование:** Баженов А.В., Яковлев Е.Ю., Дружинин С.В., Игловский С.А. Радиоэкологические исследования почв в районе разработки месторождения алмазов им. М.В. Ломоносова (Архангельская область) // Почвы и окружающая среда. 2021. Том 4. № 2. e137. doi: [10.31251/pos.v4i2.137](https://doi.org/10.31251/pos.v4i2.137)

## ВВЕДЕНИЕ

Радиоактивное загрязнение территории Европейского Севера России сформировалось в результате различных факторов: испытаний атомного оружия в атмосфере, в том числе на полигонах архипелага Новая Земля, аварий на атомных электростанциях, подземных ядерных взрывов в мирных целях, влияния объектов ядерной энергетики, пространственного перераспределения радиоактивных изотопов в результате естественных атмосферных, гидрологических и геологических процессов (Козодуб, 1983; Киселёв, 2013; Крячюнас, Шахова, 2013). Поскольку почва покрывает значительные площади, она является основным депонирующим радионуклиды компонентом окружающей среды, в котором сосредоточены основные запасы техногенных изотопов (Баженов, 2001; Егорова и др., 2012). Почва является важнейшим инерционным звеном биогеохимической системы, от скорости миграции радионуклидов в которой зависят темпы их распространения по всей цепочке (Ефремов, 2005). Из-за различий во фракционном составе  $^{137}\text{Cs}$ , поступающего в ландшафты с глобальными, региональными или локальными выпадениями, особенности его миграции и аккумуляции в фоновых ландшафтах могут отличаться от закономерностей, выявленных на загрязненных территориях. Кроме того, радиальное и латеральное распределение цезия в фоновых ландшафтах сформировалось за более длительный период, чем тот, который характерен для территорий, загрязненных в результате аварии на Чернобыльской АЭС (Рачкова и др., 2010).

На территории исследования мощную антропогенную нагрузку на естественный северо-таежный ландшафт оказывают алмазодобывающие предприятия. Добыча полезных ископаемых не связана с возобновимыми биологическими ресурсами и представлена преимущественно локальными очагами, создающими интенсивную нагрузку на природную среду. Главным побочным следствием добычи минерального сырья и топлива является образование нарушенных земель в виде техногенных форм рельефа – карьеров, отвалов, хвостохранилищ, которые исключаются из оборота продуктивных земель и служат источниками загрязнения окружающей территории. В России общая площадь земель, нарушенных горнодобывающей промышленностью, составляет 1,3 млн га, или 0,07% всей территории страны. Однако в самих горнодобывающих районах доля таких земель может достигать нескольких процентов. Площадь нарушенных земель в таких районах непрерывно расширяется, в среднем на несколько процентов ежегодно. Их рекультивация сильно отстает от распространения и не всегда эффективна (Горячкин, 2010).

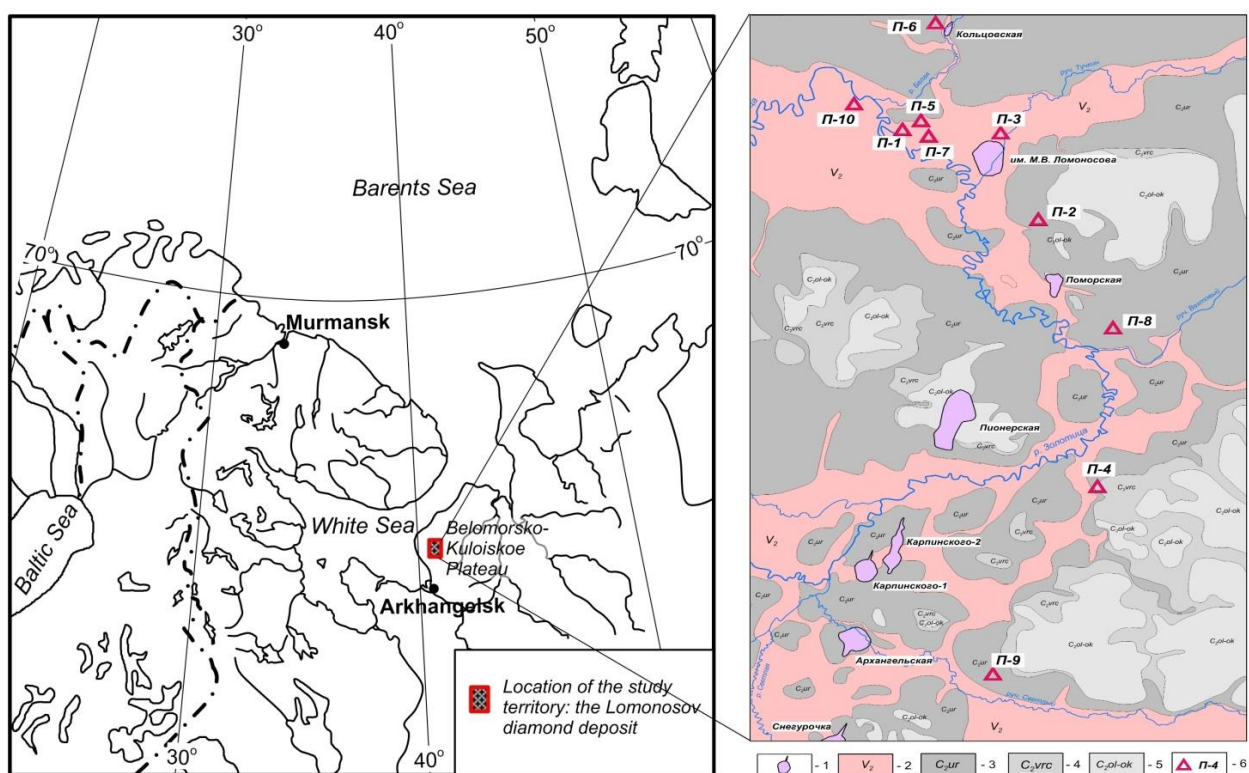
В окрестности заложения почвенных разрезов, в центре Беломорско-Кулойского плато, находятся два месторождения по добыче алмазов. Одно из них расположено в верховьях реки Золотица (месторождение им. М.В. Ломоносова), а другое – в верховьях реки Ручьи (месторождение им. В. Гриба). В этих районах вся коренная лесная растительность и почвы уничтожены, и на большой площади сформировался техногенный ландшафт, который не подлежит восстановлению. Разработка месторождения алмазов открытым способом может приводить к перераспределению естественных радионуклидов в почвах прилегающих к месторождению территорий.

Цель исследований – на основе новых данных провести анализ радиоактивности почв в районе разработки месторождения алмазов им. М.В. Ломоносова, расположенного на территории Беломорско-Кулойского плато (Архангельская область).

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Экспедиционные работы по изучению почвенных разрезов и отбору проб для определения содержания радионуклидов проводили в июне-июле 2018 г. сотрудниками лаборатории экологической радиологии Федерального исследовательского центра комплексного изучения Арктики им. Н.П. Лавёрова УрО РАН (г. Архангельск). В полевых условиях проводили описание морфологических свойств почв по генетическим горизонтам согласно классификации почв России (Классификация..., 2004). Координаты заложённых почвенных разрезов фиксировали GPS-навигатором (рис. 1, табл. 1). Беломорско-Кулойское плато расположено в 100–120 км

восточнее Архангельска, между реками Кулой и Пинега и Белым морем. Его площадь составляет около 25 тыс. км<sup>2</sup>. Средняя высота плато около 100 м, максимальная – 218 м. В геолого-структурном отношении территория плато расположена на севере Русской плиты и представляет зону сочленения Балтийского щита и Мезенской синеклизы. Здесь распространены ландшафты холмисто-котловинных и возвышенных равнин, сложенные карбонатной валдайской мореной на основании из известняков, доломитов и гипсов. Вся территория Беломорско-Кулойского плато занята ландшафтами северной тайги. Преобладающими растительными сообществами являются ельники зеленомошные, в меньшей степени – долгомошные, сфагновые, болотно-травяные и разнотравные. Характерны также смешанные леса, сосняки, березняки и осинники (География ..., 1977). Почвы северо-таёжной подзоны Европейского Севера России обладают сильно кислой реакцией почвенного раствора, значения гидролитической кислотности снижаются с глубиной профиля. Для почв характерны наличие низкой емкости катионного обмена, ненасыщенность почвенно-поглощающего комплекса основаниями, преобладание соединений магния над кальцием, низкое содержание гумуса – десятые доли процента.



**Рисунок 1.** Положение Золотицкого участка Зимнебережного алмазонасного района на территории Беломорско-Кулойского плато: 1 – трубка взрыва; 2 – венд, верхний отдел (падунская свита – песчаники с прослоями алевролитов); 3–5 – каменноугольные отложения (средний отдел: 3 – урзугская свита – с редкими маломощными прослоями алевролитов, реже известняков и гравелитов); 4 – воереченская свита (пачка преимущественно зеленоцветных песчаников, алевролитов и глин с частыми прослоями долокретов); 5 – олмуго-окуневская свита (известняки и доломитизированные известняки с включениями кремней); 6 – точки заложения почвенных разрезов.

Из генетических почвенных горизонтов (до подстилающей почвообразующей породы) отобрали 69 проб, которые упаковали в пластиковые пакеты, маркировав соответствующим кодом. В лабораторных условиях пробы почв высушивали в сушильном шкафу при температуре 105° С до постоянной массы. После взвешивания пробы почв помещали в сосуд Маринелли для измерения удельной активности изотопов (цезия (<sup>137</sup>Cs), калия (<sup>40</sup>K), радия (<sup>226</sup>Ra) и тория (<sup>232</sup>Th)) методом гамма-спектрометрии. Регистрацию гамма-излучений от счетного образца почв, а также обработку спектров проводили с использованием программно-аппаратурного комплекса «Прогресс-гамма» ФВКМ.412131.002-03 (Методика..., 2016). Калибровку гамма-спектрометра по

энергии для контроля за сохранностью параметров установки проводили после каждого измерения с использованием комбинированного контрольного источника ОИСН-137-1 в сосуде Маринелли объемом 1 литр. Минимальное время экспонирования счетного образца составляло 3600 секунд. Однако в зависимости от активности пробы время экспонирования в отдельных образцах со слабой активностью увеличивали.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В почвенном покрове преобладают подзолистые почвы на карбонатных моренах и подзолы (см. табл. 1), в меньшей степени развиты полугидроморфные и гидроморфные почвы. В виде небольших ареалов встречаются бурозёмы грубогумусированные, перегнойно-тёмногумусовые остаточно-карбонатные почвы, а также почвы на плотных гипсах.

Таблица 1

Морфологические и географические характеристики почв в районе исследований

№ разреза	Название почвы; место заложения почвенного разреза	Координаты	Индекс почвенного горизонта	Глубина залегания / мощность, см
1	2	3	4	5
П-1-18	Подзол иллювиально-железистый поверхностно-элювиальный; нижняя часть склона (крутизна 1–2°) в районе долины р. Золотица	N 65°22.206' E 41°02.555'	O	0–1/1
			AУ	1–18/17
			E	18–21/3
			BF1	21–46/25
			BF2	46–98/52
			BF C	98–148/50
П-2-18	Подзол иллювиально-железистый мелко-элювиальный песчаный на завалуненных моренных суглинках; отдельная вершина междуречья, прилегающего к долине р. Золотица	N 65°21.285' E 41°05.204'	O	0–1/1
			AУ	1–11/10
			E	11–20/9
			BF1	20–36/16
			BF2	36–50/14
			BF C	50–100/50
П-3-18	Аллювиальная почва; правый берег р. Тучкин, пойма, 7 м от русла (прирусловая терраса).	N 65°22.222' E 41°04.479'	O	0–1/1
			AУ	1–14/13
			C <sup>~</sup>	14–22/8
			C <sup>g~</sup>	22–43/21
			C <sup>g<sup>~</sup>~</sup>	43–55/32
			C <sup>~</sup>	55–63/8
			C <sup>~</sup>	63–88/25
П-4-18	Подзол глееватый иллювиально-железистый неглубоко элювиальный; склон крутизной 1–2°, 500 м от отстойника алмазоносной кимберлитовой трубки	N 65°18.994' E 41°06.636'	O	0–1/1
			AУ	1–10/9
			E	10–14/4
			BF1	14–46
			BF2g	46–65/19
			BF3g	65–88/23
			BF C	88–140/52
П-5-18	Подзол иллювиально-железистый поверхностно-элювиальный; водораздел в долине р. Золотица, с двух сторон, окружен заболоченными территориями	N 65°22.272' E 41°02.903'	O	0–1/1
			AУ	1–6/5
			E	6–14/8
			BF1	14–32/18
			BF2	32–74/42
			BF3	74–113/39
			BF C	113–126/ 126–176/50

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5
П-6-18	Подзол иллювиально-железистый песчаный на делювиальных супесчано-суглинистых слоистых отложениях; склон долины малой реки крутизной 3–4°, в широкой U-образной балке	N 65°23.489' E 41°03.301'	O	0–1/1
			AY	1–9/8
			E	9–16/7
			BF1	16–36/20
			BF2g	36–56/20
			BF3g	56–100/44
			BF4g	100–116/16
			BF5g	116–134/18
			BF C	134–144/10
П-7-18	Подзол иллювиально-железистый супесчаный, подстилаемый с глубины 90 см глиной; стенка карьера	N 65°22.185' E 41°03.137'	O	0–1/1
			AY	1–12/11
			E	12–20/8
			BF1	20–47/27
			BF2	47–60/13
			BF3	60–93/33
			BF4	93–108/15
			BF5	108–136/28
			BF C	185–220/35
П-8-18	Подзол иллювиально-железистый супесчаный, подстилаемый мореной глубже 102 см; стенка карьера	N 65°20.281' E 41°06.565'	O	0–1/1
			AY	1–3/2
			E	3–9/6
			BF1	9–32/23
			BF2	32–61/29
			BF3	61–76/15
			BF C	102–127/25
П-9-18	Подзол иллювиально-железистый супесчаный на доломитовых отложениях; небольшая блюдцевидная ложбина на сколе крутизной от 1 до 2° вблизи ручья Светлый	N 65°16.992' E 41°05.809'	O	0–1/1
			AY	1–6/5
			E	6–14/8
			BF1	14–30/6
			BF2	30–54/24
			BF3	54–60/6
			BF C	93–123/30
П-10-18	Подзол иллювиально-железистый языковатый супесчаный, с глубины 40 см подстилаемый слоистыми делювиальными суглинисто-песчаными отложениями	N 65°22.487' E 41°01.822'	O	0–1/1
			AY	1–8/7
			E	8–11/3
			BF1	11–40/29
			BF2	40–99/59
			BF3g	99–115/16
			BF C	115–149/24

Наиболее типичный профиль почвы исследуемой территории отображен на рисунке 2. Формирование почвы происходит под влиянием комплекса факторов: медленных процессов разложения органического вещества; накопления органики в верхних почвенных горизонтах (O, AY); высокой плотности альфегумусового горизонта; способности радионуклидов перемещаться по почвенному профилю с атмосферными осадками, грунтовыми водами и по корневой системе растительности. Особенность распределения  $^{137}\text{Cs}$  по почвенному профилю обусловлена рядом факторов – глобальным воздушным переносом в результате атмосферных ядерных испытаний в мире, а также последствиями аварии на Чернобыльской АЭС (Баженов, 2001; Киселев, 2013).



**Рисунок 2.** Профиль подзола иллювиально-железистого в районе месторождения алмазов им. М.В. Ломоносова.

Вертикальное распределение активности радионуклидов по генетическим горизонтам почв исследуемого района показано в таблице 2 и на рисунке 3 (средние значения по всем разрезам). Максимальная активность  $^{137}\text{Cs}$  сосредоточена в подстильно-торфяном (от 11,4 до 71,8 Бк/кг) и гумусовом горизонтах (от 26,7 до 105 Бк/кг). В подзолистом и альфегумусовом горизонтах активность резко снижается, достигая в почвообразующей породе предельно измеряемых величин – от 2 до 3 Бк/кг. Анализ значений удельной активности техногенного  $^{137}\text{Cs}$  в целом для всех почвенных разрезов показывает, что увеличение его концентрации происходит в верхних горизонтах, а это свидетельствует о слабой вертикальной миграции вниз по профилю за период накопления. Особенность распределения изотопа  $^{137}\text{Cs}$  по почвенному профилю обусловлена внешним воздействием на почву – атмосферными выпадениями и условиями их формирования.

**Таблица 2**

Удельная активность  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$  в почвах района месторождения алмазов им. М.В. Ломоносова

Номер разреза	Индекс почвенного горизонта	Удельная активность радиоактивных изотопов, Бк/кг			
		$^{137}\text{Cs}$	$^{226}\text{Ra}$	$^{232}\text{Th}$	$^{40}\text{K}$
1	2	3	4	5	6
П-1-18	О	71,8±10,3	–	–	–
	AY	26,7±5,5	9,5±5,9	–	–
	Е	5,6±1,5	3,9±1,7	–	346,9±74,0
	BF1	–	2,8±1,4	–	318,0±62,0
	BF2	–	–	6,6±2,5	394,4±79,0
	BF3	–	6,0±1,4	7,3±4,2	407,9±97,0
	BF C	–	7,4±4,2	13,8±4,7	303,2±77,9
П-2-18	О	21,4±13,3	–	–	–
	AY	63,3±9,5	23,1±7,2	–	–
	Е	3,2±1,0	11,2±2,2	3,5±2,5	193,0±49,0
	BF1	3,5±1,1	19,6±3,4	13,9±3,8	319,6±65,4
	BF2	1,0±0,8	–	7,1±2,5	363,4±73,0
	BF C	–	10,0±2,2	10,1±3,5	354,7±71,0

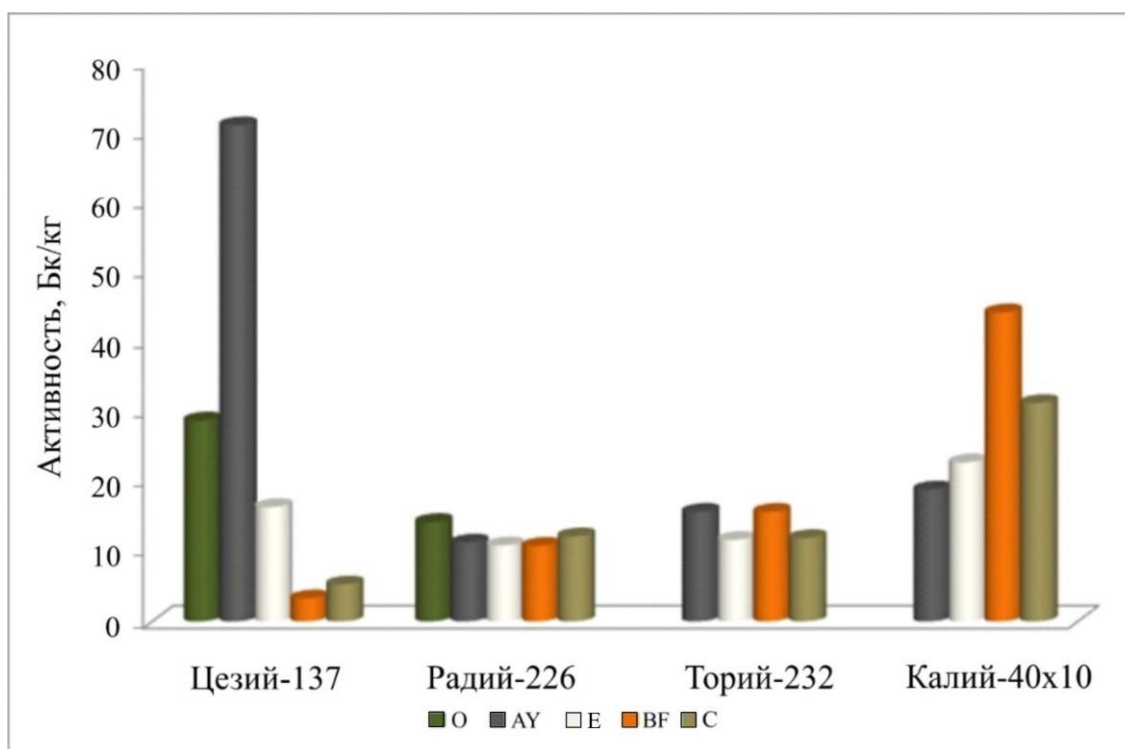
Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6
П-3-18	O	11,4±6,3	–	–	–
	AY	58,7±11,0	19,8±10,9	–	–
	C <sup>~</sup>	2,8±1,7	7,6±4,6	16,3±5,4	475,0±110,0
	C <sup>~</sup>	–	10,7±5,0	19,1±5,8	520,0±117,0
	Cg <sup>~</sup>	–	6,5±3,4	8,0±3,3	375,2±84,0
	Cg <sup>~</sup>	–	6,1±3,9	15,5±4,8	455,0±102,0
	C <sup>~</sup>	2,0±1,1	5,8±3,9	20,7±5,4	450,0±101,0
П-4-18	O	–	15,6±8,4	–	–
	AY	78,5±13,2	–	–	109,1±77,2
	E	2,9±1,1	4,1±1,8	4,7±3,4	193,3±45,6
	BF1	1,7±1,6	11,3±4,1	5,2±3,3	294,8±73,7
	BF2g	2,1±1,7	9,3±3,5	8,1±3,2	338,9±76,7
	BF3g	2,4±0,9	9,9±1,9	8,1±2,6	398,4±76,4
	BF C	1,6±1,2	47,2±9,6	7,6±5,1	229,0±77,0
П-5-18	O	21,6±6,6	–	–	–
	AY	62,2±11,1	–	–	86,9±71,7
	E	4,7±1,3	2,8±1,5	–	285,0±68,8
	BF1	1,1±0,9	2,4±1,4	3,8±2,3	320,1±74,1
	BF2	3,3±1,5	12,0±6,3	19,5±7,3	408,0±112,0
	BF3	2,4±1,0	6,4±3,3	10,0±3,6	254,4±64,4
	BF4	–	7,9±3,6	4,8±3,2	295,0±72,4
П-6-18	O	–	–	–	–
	AY	61,1±16,2	–	–	–
	E	3,5±2,4	47,1±8,3	5,5±3,4	134,6±48,7
	BF1	–	13,1±4,8	14,2±4,8	304,1±78,7
	BF2g	2,7±2,6	13,9±5,6	24,7±6,6	602,0±133,0
	BF3g	3,4±2,3	5,6±3,9	12,4±4,5	274,0±72,8
	BF4g	–	4,2±3,5	–	226,4±64,2
	BF5g	3,1±1,2	8,9±4,7	21,9±6,0	652,0±138,0
П-7-18	O	36,9±17,9	–	–	–
	AY	82,4±15,4	–	–	–
	E	–	–	40,6±26,2	–
	BF1	–	–	18,9±18,2	283,0±206,0
	BF2	–	3,5±2,8	2,9±2,6	364,7±80,6
	BF3	–	–	5,8±3,3	365,8±84,6
	BF4	1,0±0,9	5,7±3,3	8,5±3,5	310,8±74,3
	BF5	–	8,3±3,9	16,3±4,6	411,4±92,3
	BF6	2,6±2,3	10,6±4,6	21,0±5,5	572,0±122,0
	BF7	–	10,1±5,2	28,7±7,1	623,0±136,0
П-8-18	O	12,3±8,8	15,2±5,9	–	–
	AY	105,0±17,7	4,8±4,7	–	126,0±101,0
	E	–	5,4±3,3	5,0±3,1	289,7±71,2
	BF1	–	6,2±3,1	8,0±3,2	253,5±61,8
	BF2	2,0±1,1	9,6±4,1	13,1±4,3	337,7±81,2
	BF3	3,7±1,5	4,3±2,9	5,0±2,9	154,3±46,9
	BF4	–	8,0±3,9	8,8±3,9	248,3±67,0
	BF C	2,4±2,0	3,4±3,2	8,4±3,7	216,6±60,4

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6
П-9-18	O	39,5±15,0	13,3±8,8	–	–
	AУ	102,1±17,5	–	–	–
	E	3,9±1,9	4,0±2,9	–	226,4±58,6
	BF1	–	5,1±2,8	3,0±2,5	258,6±62,2
	BF2	–	3,7±2,8	3,7±2,7	252,0±62,0
	BF3	7,9±2,9	7,3±6,1	8,4±6,4	417,0±119,0
	BF4	–	10,3±4,0	7,3±3,5	315,6±77,1
D	–	5,2±2,8	4,7±2,6	234,5±57,4	
П-10-18	O	78,5±13,2	4,8±3,4	–	62,0±38,3
	AУ	78,1±19,0	–	–	–
	E	1,7±1,6	3,8±2,9	–	306,0±72,0
	BF1	–	5,8±3,2	2,9±2,7	354,2±80,8
	BF2	–	5,6±3,0	4,3±2,8	114,5±39,1
	BF3g	1,2±0,6	7,5±3,2	9,3±3,2	272,9±64,5
	BF C	12,0±5,7	5,0±4,7	12,3±5,7	362,3±97,0

Примечание. Прочерк обозначает удельную активность ниже предела обнаружения.



**Рисунок 3.** Распределение активности радионуклидов по генетическим горизонтам почв исследуемого района (средние значения по всем разрезам).

Общая тенденция накопления естественных изотопов  $^{40}\text{K}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  и  $^{232}\text{Th}$  в почвенных горизонтах в зависимости от типа и подтипа почвы выражена слабо (см. табл. 2). В ряде почвенных разрезов выявлено увеличение активности естественных радионуклидов с глубиной: в основном это характерно для  $^{40}\text{K}$ , где его активность изменялась от 82,6 до 652 Бк/кг. Активность  $^{226}\text{Ra}$  и  $^{232}\text{Th}$  в почвенных профилях изменялась в пределах от 2,4 до 47,2 Бк/кг и от 2,9 до 40,6 Бк/кг, соответственно. Это связано с тем, что торий прочно сорбируется почвой, поэтому миграция его по почвенному профилю выражена слабо. Он осаждается в почвах в виде гидроксидов. Почвы, развитые на изверженных породах, характеризуются максимальными концентрациями тория в нижних горизонтах (Фесенко, Емлютина, 2020). Напротив, в карбонатных почвах он накапливается в верхних слоях (Чевычелов, Собакин, 2020). По нашим данным, больше обогащены радием суглинистые и глинистые почвы, а песчаные почвы бедны



этим радионуклидом. В целом же количество радиоактивных элементов, содержащихся в почве, в значительной мере определяется концентрацией изотопов в подстилающих горных породах.

### ВЫВОДЫ

Получены новые данные по радиоактивности почв в районе разработки месторождения алмазов им. М.В. Ломоносова, расположенного на территории Беломорско-Кулойского плато (Архангельская область). Максимальные содержания  $^{137}\text{Cs}$  выявлены в подстильно-торфяном и гумусовом горизонтах.

Установлено, что верхние горизонты почвы выступают в роли биогеохимического барьера, который удерживает  $^{137}\text{Cs}$ . Однако ввиду высокой фильтрационной способности подзолов нижележащие горизонты – подзолистый и альфегумусовый – не являются надежными барьерами, и некоторое количество  $^{137}\text{Cs}$  может проникать до подстилающей почвообразующей породы.

Установлено, что распределение естественных радионуклидов  $^{40}\text{K}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  и  $^{232}\text{Th}$  имеет хаотичный характер и в большей степени связано с составом почвообразующих пород. Подвижность радионуклидов и их накопление по профилю почвы зависят от гранулометрического состава, содержания органического вещества, полуторных оксидов, минералогического состава, а также от температурного и водного режимов почв.

### ФИНАНСОВАЯ ПОДДЕРЖКА

Экспедиционные исследования выполнены по теме государственного задания «Комплексные изотопно-геохимические исследования качества природной среды и идентификация процессов её трансформации на приморских территориях Европейского Севера в современности и в прошлом» (№ 0409-2019-0037 рег. номер НИОКТР АААА-А19-119011890018-3).

Аналитические и лабораторные исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ в рамках научных проектов № 18-05-60151, № 20-35-70060, а также гранта Президента РФ № МК-1919.2020.5.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Баженов А.В. *Цезий-137 в почвах Архангельской области*. Автореф. дисс. ... канд. геол.-минер. наук. М.: Ин-т геоэкологии РАН, 2001. 23 с. <https://search.rsl.ru/ru/record/01002644583>
2. *География Архангельской области* / Под ред. Г.И. Горбовой, В.Ф. Изотова. Архангельск: Сев.-Зап. кн. изд-во, 1977. 94 с. <https://search.rsl.ru/ru/record/01007719998>
3. Горячкин С.В. *Почвенный покров Севера (структура, генезис, экология, эволюция)*. М.: ГЕОС, 2010. 421 с.
4. Ефремов И.В., Рахимова Н.Н., Янчук Е.Л. Особенности миграции радионуклидов цезия-137 и стронция-90 в системе почва-растение // *Вестник ОГУ*. 2005. № 12. С. 42–46. <http://vestnik.osu.ru/doc/1033/article/2473/lang/0>
5. Киселев Г.П., Баженов А.В., Киселева И.М. Радиоактивные изотопы в почвах Архангельской промышленной агломерации // *Вестник Северного (Арктического) Федерального университета. Серия Естественные науки*. 2013. № 4. С. 12–20. [https://vestnik.narfu.ru/archive/?ELEMENT\\_ID=147276](https://vestnik.narfu.ru/archive/?ELEMENT_ID=147276)
6. Козодуб Г.М., Таскаев А.И. *Радиобиологические исследования хвойных в районе Чернобыльской катастрофы (1986-2001 гг.)*. М.: ИПЦ «Дизайн. Информация. Картография», 2002. 272 с.
7. *Методика измерения активности радионуклидов с использованием сцинтилляционного гамма-спектрометра с программным обеспечением «Прогресс»*. Москва: ООО НТЦ «Амплитуда», 2016. 12 с.
8. *Классификация почв и диагностика почв России*. Авторы и составители: Л.Л. Шишов, В.Д. Тонконогов, И.И. Лебедева, М.И. Герасимова. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
9. Егорова И.А., Кислицина Ю.В., Пузанов А.В. Радионуклиды в почвах Северо-Западного Алтая // *География и природные ресурсы*. 2012. № 3. С. 31–35.
10. Крючюнас В.В., Шахова Е.В. Основные закономерности миграции  $^{232}\text{Th}$  и  $^{226}\text{Ra}$  в почвах города Архангельска // *Экология человека*. 2013. № 8. С. 23–27.
11. Рачкова Н.Г., Шуктумова И.И., Таскаев А.И. Состояние в почвах естественных радионуклидов урана, радия и тория (обзор) // *Почвоведение*. 2010. № 6. С. 698–705.
12. Фесенко С.В., Емлютина Е.С. Концентрация тория в природных средах: обзор мировых данных // *Радиационная биология. Радиоэкология*. 2020. Т. 60. № 6. С. 635–648. DOI: [10.31857/S0869803120050033](https://doi.org/10.31857/S0869803120050033)
13. Чевычелов А.П., Собакин П.И. Содержание и распределение естественных радионуклидов  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$  в мерзлотных почвах центральной Якутии // *Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Биология*. 2020. Т. 13. № 1. С. 109–123. DOI: [10.17516/1997-1389-0315](https://doi.org/10.17516/1997-1389-0315)

Поступила в редакцию 17.05.2021

Принята 05.11.2021

Опубликована 09.11.2021

**Сведения об авторах:**

**Баженов Александр Викторович** – кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник лаборатории экологической радиологии Института геодинамики и геологии Федерального исследовательского центра комплексного изучения Арктики Российской академии наук (Архангельск, Россия); [abv-2009@yandex.ru](mailto:abv-2009@yandex.ru)

**Яковлев Евгений Юрьевич** – кандидат геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией экологической радиологии Института геодинамики и геологии Федерального исследовательского центра комплексного изучения Арктики Российской академии наук (Архангельск, Россия); [yakov24lev99@mail.ru](mailto:yakov24lev99@mail.ru)

**Дружинин Сергей Валерьевич** – научный сотрудник лаборатории экологической радиологии Института геодинамики и геологии Федерального исследовательского центра комплексного изучения Арктики Российской академии наук (Архангельск, Россия); [druzhininserg@yandex.ru](mailto:druzhininserg@yandex.ru)

**Игловский Станислав Анатольевич** – кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории экологической радиологии Института геодинамики и геологии Федерального исследовательского центра комплексного изучения Арктики Российской академии наук (Архангельск, Россия); [iglovskys@mail.ru](mailto:iglovskys@mail.ru)

*Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.*



Статья доступна по лицензии [Creative Commons Attribution 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

## SOIL RADIOECOLOGICAL STUDY IN THE LOMONOSOV DIAMOND MINING AREA (ARKHANGELSK REGION, RUSSIA)

© 2021 A.V. Bazhenov , E.Yu. Yakovlev , S.V. Druzhinin , S.A. Iglovsky 

*Affiliation: N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (FECIAR UrB RAS), Severnaya Dvina Embankment, 23, Arkhangelsk 163000, Russia.*

*E-mail: [abv-2009@yandex.ru](mailto:abv-2009@yandex.ru)*

*The aim of the study was to obtain new data and on their basis to analyze soil radioactivity in the Lomonosov diamond mining area (Arkhangelsk region, Russia).*

*Location and time of the study: Field studies were carried out in the summer of 2018 in the Lomonosov diamond mining area (Arkhangelsk region, Russia).*

*Methodology: To accomplish the task, 10 soil profile pits were cut, and 69 soil samples were taken from them. In the field, a description of soil morphology was carried out. Under laboratory conditions, the samples were dried at 105° C to constant mass. After weighing, the soil samples were placed in a Marinelli vessel to measure the specific activity of isotopes (cesium (<sup>137</sup>Cs), potassium (<sup>40</sup>K), radium (<sup>226</sup>Ra) and thorium (<sup>232</sup>Th)) by gamma spectrometry. Registration of gamma radiation from a counting soil sample, as well as processing of spectra was carried out using the Progress-gamma software and hardware complex FVKM.412131.002-03. The energy calibration of the gamma spectrometer to control the safety of the setup parameters was carried out after each measurement using a combined control source OISN-137-1 in a Marinelli vessel. The minimum exposure time of the counting sample was 3600 seconds. However, depending on the activity of the sample, the exposure time in individual samples with weak activity increased.*

*Main results: As a result of field studies, it was found that Podzols, characteristic of the northern taiga, prevail in this area. The maximum activity of <sup>137</sup>Cs was concentrated in the litter-peat (11.4–71.8 Bq/kg) and the humus horizon (26.7–105 Bq/kg). In the podzolic and Al-Fe-humus horizons there was a sharp decrease in the activity, reaching the lowest measured values in the parent rock (2–3 Bq/kg). The general tendency for the accumulation of natural isotopes <sup>40</sup>K, <sup>226</sup>Ra, and <sup>232</sup>Th in the soil horizons was found to be weakly related to soil type or subtype. In some soil pits an increase in the natural radionuclides with depth was observed, being mostly the characteristic of <sup>40</sup>K as its activity changed downwards from 82.6 to 652 Bq/kg. The <sup>226</sup>Ra*

and  $^{232}\text{Th}$  activities in the soil profiles varied from 2.4 to 47.2 Bq/kg and from 2.9 to 40.6 Bq/kg, respectively. This is due to the fact that thorium is strongly sorbed by soil; therefore, its migration along the soil profile is poorly expressed, and the element is deposited in soils in the form of hydroxides. Loamy and clayey soils, were shown to be more enriched in radium, whereas sandy soils were poor in this element. The amount of radioactive elements, contained in a soil, is largely determined by the concentration of their isotopes in the underlying rocks.

**Conclusion:** The peaks of increasing concentration in the Al-Fe-humus horizons (BF, BFg) were associated with an increase in the content of the clay fraction, Fe, Al hydroxides, which increase the sorption capacity of soils. The litter-peat and the humus horizon act as a biogeochemical barrier that retains radioactive elements in the soil for a long time. Due to the high filtration capacity of podzols, the underlying horizons are not reliable barriers.  $^{137}\text{Cs}$  and other radioisotopes can bind with humic substances, oxides and hydroxides of iron and aluminum, form humus-ferruginous complexes, precipitate as new soil formations, e.g. become part of the mineral composition of hard pans. The distribution of natural radioisotopes  $^{40}\text{K}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  and  $^{232}\text{Th}$  was found to be more chaotic and more related to the composition of the constituent rocks. The mobility and accumulation of radionuclides along soil profiles depends on the particle size distribution, the content of organic matter, sesquioxides, mineralogical composition, as well as on the temperature and water regime.

**Key words:** soil, radionuclides; cesium; potassium; radium; thorium; diamond mining

**How to cite:** Bazhenov A.V., Yakovlev E.Yu., Druzhinin S.V., Iglovsky S.A. Soil radioecological study in the Lomonosov diamond mining area (Arkhangelsk region, Russia) // *The Journal of Soils and Environment*. 2021. 4(2). e137. doi: [10.31251/pos.v4i2.137](https://doi.org/10.31251/pos.v4i2.137) (in Russian with an English abstract).

## REFERENCES

1. Bazhenov A.V. *Cesium-137 in the soils of the Arkhangelsk region*. Abstract of Dissertation ... Cand. geological miner. sciences. Moscow: Institute of Geoecology RAS, 2001. 23 p. (in Russian) <https://search.rsl.ru/ru/record/01002644583>
2. *Geography of the Arkhangelsk Region* / Ed. G.I. Gorbova, V.F. Izotova. Arkhangelsk: North-West. book publishing house, 1983. 110 p. (in Russian) <https://search.rsl.ru/ru/record/01007719998>
3. Goryachkin S.V. *Soil cover of the North (structure, genesis, ecology, evolution)*. Moscow: GEOS, 2010. 421 p. (in Russian)
4. Efremov I.V., Rakhimova N.N., Yanchuk E.L. Features of migration of cesium-137 and strontium-90 radionuclides in the soil-plant system, *Vestnik OSU*, 2005, No. 12, p. 42–46. (in Russian) <http://vestnik.osu.ru/doc/1033/article/2473/lang/0>
5. Kiselev G.P., Bazhenov A.V., Kiseleva I.M. Radioactive isotopes in the soils of the Arkhangelsk industrial agglomeration, *Bulletin of the Northern (Arctic) Federal University. Series Natural Sciences*, 2013, No. 4, p. 12–20. (in Russian) [https://vestnik.narfu.ru/archive/?ELEMENT\\_ID=147276](https://vestnik.narfu.ru/archive/?ELEMENT_ID=147276)
6. Kozodub G.M., Taskaev A.I. *Radiobiological studies of conifers in the area of the Chernobyl disaster (1986–2001)*. Moscow: CPC «Design. Information. Cartography», 2002. 272 p. (in Russian)
7. *Methods for measuring the activity of radionuclides using a scintillation gamma spectrometer with Progress software*. Moscow: LLC STC «Amplitude», 2016. 12 p. (in Russian)
8. *Soil classification of Russia / Authors and compilers: L.L. Shishov, V.D. Tonkonogov, I.I. Lebedeva, M.I. Gerasimova*. Smolensk: Oykumena Publ., 2004. 342 p. (in Russian)
9. Egorova I.A., Kislitsina Yu.V., Puzanov A.V. Radionuclides in the soils of Northwestern Altai, *Geography and natural resources*, 2012, No. 3, p. 31–35. (in Russian)
10. Kriauciunas V.V., Shakhova E.V. Main regularities of  $^{232}\text{Th}$  and  $^{226}\text{Ra}$  migration in the soils of the city of Arkhangelsk, *Human Ecology*, 2013, No. 8, p. 23–27. (in Russian)
11. Rachkova N.G., Shuktumova I.I., Taskaev A.I. State of natural radionuclides of uranium, radium and thorium in soils (review), *Pochvovedenie*, 2010, No. 6, p. 698–705. (in Russian)
12. Fesenko S.V., Emlyutina E.S. Thorium Concentration in Natural Environments: Review of World Data, *Radiation Biology. Radioecology*, 2020, Vol. 60, No. 6, p. 635–648. (in Russian) DOI: [10.31857/S0869803120050033](https://doi.org/10.31857/S0869803120050033)
13. Chevychelov A.P., Sobakin P.I. Content and distribution of natural radionuclides  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$  in permafrost soils of central Yakutia, *Journal of the Siberian Federal University. Series: Biology*, 2020, Vol. 13, No. 1, p. 109–123. (in Russian) DOI: [10.17516/1997-1389-0315](https://doi.org/10.17516/1997-1389-0315)

Received 17 May 2021

Accepted 05 November 2021

Published 09 November 2021

**About the author(s):**

**Bazhenov Alexander Viktorovich** – Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Senior Researcher, Laboratory of Environmental Radiology, Institute of Geodynamics and Geology, N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Arkhangelsk, Russia; [abv-2009@yandex.ru](mailto:abv-2009@yandex.ru)

**Yakovlev Evgeny Yurievich** – Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Head of the Laboratory of Environmental Radiology, Institute of Geodynamics and Geology, N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Arkhangelsk, Russia; [yakov24lev99@mail.ru](mailto:yakov24lev99@mail.ru)

**Druzhinin Sergey Valerievich** – Researcher, Laboratory of Ecological Radiology, Institute of Geodynamics and Geology, N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Arkhangelsk, Russia; [druzhininserg@yandex.ru](mailto:druzhininserg@yandex.ru)

**Iglovsky Stanislav Anatolyevich** – Candidate of Geographical Sciences, Leading Researcher, Laboratory of Environmental Radiology, Institute of Geodynamics and Geology, N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences Arkhangelsk, Russia; [iglovskys@mail.ru](mailto:iglovskys@mail.ru)

*The author read and approved the final manuscript*



The article is available under [Creative Commons Attribution 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)