

DOI 10.17516/1997-1389-0379

УДК 630*114.2:549.2(470.117)

Assessment of the Distribution of Heavy Metals in Soils of Severny Island (Novaya Zemlya)

Sergey S. Popov^{*a, b},

Ludmila F. Popova^a, Aleksey V. Malkov^{a, b},

Anna N. Trofimova^a and Dmitry A. Nikitin^c

^a*M.V. Lomonosov Northern (Arctic) Federal University
Arkhangelsk, Russian Federation*

^b*N.P. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research UrB RAS
Arkhangelsk, Russian Federation*

^c*V.V. Dokuchaev Soil Science Institute
Moscow, Russian Federation*

Received 30.01.2021, received in revised form 12.03.2022, accepted 14.03.2022

Abstract. Global warming occurs the fastest in polar latitudes, increasing their economic accessibility and, consequently, entailing risks of technogenic contamination. Heavy metals (HM) are among the most common technogenic pollutants that may negatively affect the functioning of the Arctic's soil-based terrestrial ecosystems. There is almost no research on the actual HM content in the soils of Novaya Zemlya (NZ), and the purpose of this work is to assess the HM content in the soils of Severny Island in the NZ archipelago. The study was performed at Russkaya Gavan, Ledyanaya Gavan, Blagopoluchiya Bay, and Cape Zhelaniya. The soil cover in the northern part of Severny Island has a mosaic structure. On Severny Island, Cryosols (Loamic) are the most common soils among the soils studied in this work. Soils of the study regions on Severny Island are mostly loamy and clayey. The proportion of physical clay increases down the profiles. All study soils of NZ are alkaline and highly alkaline. In general, study soils have an acceptable level of HM contamination. The weighted average HM gross content in them varies insignificantly; however, the following elements exceed their threshold concentrations: Fe (1.1 clarke) – Russkaya Gavan bay; Fe (1.2 clarke), Cr (1.1 clarke), V (1.1 maximum permissible concentration (MPC)), Ti (1.1 clarke) – Blagopoluchiya bay; Fe (1.3 clarke) – Ledyanaya Gavan bay. This, apparently, is caused by their high contents in the soil-forming rock. The results obtained confirm the necessity to monitor the study territories in order to be able to assess the degree of pollution and prevent the risk of an environmental disaster in the future.

© Siberian Federal University. All rights reserved

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0).

* Corresponding author E-mail address: sergey.sergeevich20@gmail.com

ORCID: 0000-0002-3909-1611 (Popov S.); 0000-0003-1990-7158 (Popova L.); 0000-0003-0555-9201 (Malkov A.); 0000-0001-7271-2283 (Trofimova A.); 0000-0002-8533-6536 (Nikitin D.)

Keywords: Arctic, Novaya Zemlya, Russkaya Gavan bay, Ledyanaya Gavan bay, Blagopoluchiya bay, Cape Zhelaniya, soils, heavy metals.

Acknowledgements. The research was supported by Russian Foundation for Basic Research (project No. 20-04-00328).

Citation: Popov S. S., Popova L. F., Malkov A. V., Trofimova A. N., Nikitin D. A. Assessment of the distribution of heavy metals in soils of Severny Island (Novaya Zemlya). J. Sib. Fed. Univ. Biol., 2022, 15(1), 129–142. DOI: 10.17516/1997-1389-0379

Оценка распределения тяжелых металлов в почвах о. Северный (Новая Земля)

**С. С. Попов^{а, б}, Л. Ф. Попова^а,
А. В. Малков^{а, б}, А. Н. Трофимова^а, Д. А. Никитин^в**
*^аСеверный (Арктический) федеральный университет
имени М. В. Ломоносова
Российская Федерация, Архангельск
^бФедеральный исследовательский центр
комплексного изучения Арктики
им. академика Н. П. Лаверова УрО РАН
Российская Федерация, Архангельск
^вПочвенный институт им. В. В. Докучаева
Российская Федерация, Москва*

Аннотация. Глобальное потепление климата быстрее всего идет в полярных широтах. Это способствует улучшению транспортной доступности в Арктическом регионе и, как следствие, создает риск техногенного загрязнения. Тяжелые металлы (ТМ) являются одними из наиболее распространенных техногенных поллютантов, которые могут негативно влиять на функционирование наземных экосистем Арктики, основа которых почва. Новая Земля (НЗ) – одна из арктических территорий, где сосредоточены запасы полезных ископаемых, разработка месторождений которых будет способствовать поступлению ТМ в окружающую среду. Исследования актуального содержания ТМ в почвах НЗ практически не проводились. В данной статье приведены описания почвенных разрезов, их физико-химические характеристики и результаты определения валового содержания ТМ в почвах о. Северный архипелага НЗ (районы заливов Русская Гавань, Ледяная Гавань и Бухта Благополучия, а также мыса Желания) методом рентгенофлуоресцентной спектроскопии. Почвенный покров на ключевых участках о. Северный архипелага НЗ представлен чередованием карбопетроземов (Calcaric Leptosols (Loamic)), пелоземов (Lertic Cryosols (Loamic) и криоземов (Oxyaquic Cryosols (Loamic)). На исследованной территории преобладают почвы с щелочной реакцией среды и тяжелым гранулометрическим составом. Содержание некоторых ТМ (Fe, Cr, V, Ti) на отдельных участках незначительно превышает нормативные показатели. По суммарному показателю загрязнения исследуемые почвы имеют

допустимое содержание ТМ. Полученные результаты подтверждают необходимость проведения регулярного мониторинга арктических территорий, который поможет оценить степень их загрязнения и предотвратить риск экологической катастрофы в будущем.

Ключевые слова: Арктика, Новая Земля, Русская Гавань, Ледяная Гавань, Бухта Благополучия, мыс Желания, почвы, тяжелые металлы.

Благодарности. Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-04-00328.

Цитирование: Попов, С. С. Оценка распределения тяжелых металлов в почвах о. Северный (Новая Земля) / С. С. Попов, Л. Ф. Попова, А. В. Малков, А. Н. Трофимова, Д. А. Никитин // Журн. Сиб. федер. ун-та. Биология, 2022. 15(1). С. 129–142. DOI: 10.17516/1997-1389-0379

Введение

Актуальность исследования полярных регионов постоянно возрастает в связи с более активным откликом экосистем Арктики и Антарктики на глобальное потепление климата по сравнению с другими областями планеты. Так, с конца XX в. температура воздуха за Полярным кругом возросла в среднем на 2 °С, в то время как на остальной территории Земли – всего на 0,8 °С (Post et al., 2019). Потепление Северного Ледовитого океана, таяние ледников и многолетнемерзлых пород, ежегодное сокращение мощности морских льдов (Kumpfen et al., 2019; АМАР, 2019) улучшают доступность к запасам полезных ископаемых Высокой Арктики (Никулин, 2017). Активизация антропогенного воздействия на экосистемы высоких широт сопряжена с рисками техногенного загрязнения, часто обусловленными увеличением содержания тяжелых металлов (ТМ) в окружающей среде. В больших концентрациях они могут оказывать негативное влияние на функционирование экосистем (АМАР, 1998; Kabata-Pendias, Pendias, 2001; Agarwal, 2009; Evseev, Krasovskaya, 2017; Ji et al., 2019). Изучение и сохранение хрупких арктических экосистем имеет особое значение в связи с тем, что их нарушение зачастую необратимо (Vinogradova, 2000; Schmidt et al., 2017).

Содержание ТМ в различных компонентах экосистем (растения, почвы, почвообразующие породы и пр.) варьирует в широких пределах. Поскольку природное содержание ТМ в них со временем меняется незначительно, основную угрозу загрязнения наземных экосистем представляют источники техногенного характера (АМАР, 1998, 2005). Основа существования всех наземных экосистем – почвы, поскольку именно в них замыкаются биогеохимические циклы макро- и микроэлементов (Ferris, Tuomisto, 2015). Почвенный покров является ведущим резервуаром аккумуляции ТМ в биогеоценозах, поэтому его загрязнение ТМ приводит к нарушению функционирования экосистем и угнетению биоты. В связи с этим важно иметь представление о существующих уровнях содержания ТМ в почвах, чтобы предотвратить риск экологической катастрофы в будущем.

Цель данной работы – установление содержания тяжелых металлов в почвах о. Северный архипелага Новая Земля.

Объекты и методы

Изучение почвенного покрова в полевых условиях, а также отбор образцов проводили во второй половине июля 2018 г. в ходе экспедиции, выполняемой по проекту «Аркти-

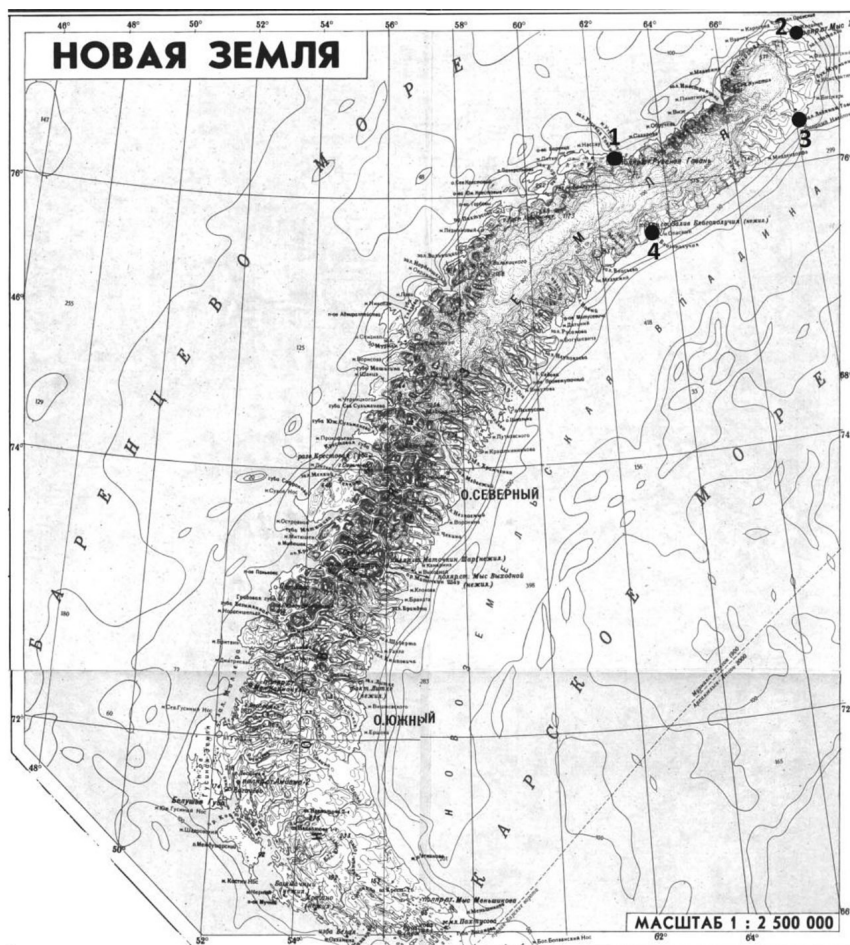


Рис. 1. Точки проведения полевых работ на архипелаге Новая Земля: 1 – залив Русская Гавань, 2 – мыс Желания, 3 – залив Ледяная Гавань, 4 – залив Бухта Благополучия

Fig. 1. Field work positions on Novaya Zemlya: 1 – Russkaya Gavan bay, 2 – Cape Zhelaniya, 3 – Ledanaya Gavan bay, 4 – Blagopoluchiya bay

ческий Плавающий Университет». Были исследованы территории о. Северный архипелага Новая Земля (НЗ) в районах заливов Русская Гавань, Ледяная Гавань, Бухта Благополучия, а также мыса Желания (рис. 1). Координаты ключевых точек и классификационный статус почв (USS Working Group WRB, 2015) приведены в табл. 1. Почвенный покров ключевых участков представлен карбопезомами (Calcaric Leptosols (Loamic)), пелоземами (Leptic Cryosols (Loamic)) и криоземами (Oxyaquic Cryosols (Loamic)) (Nikitin et al., 2021). Образцы почв для физико-химических

исследований отобраны в соответствии с генетическими горизонтами из 11 почвенных разрезов, заложенных на глубину до материнской породы (табл. 1). В почвах определяли гранулометрический состав в соответствии с ГОСТ 12536–2014, актуальную кислотность – с ГОСТ 26423–85 на базе лаборатории биогеохимических исследований САФУ им. М.В. Ломоносова (г. Архангельск). Разновидности почв по гранулометрическому составу устанавливали по классификации Н.А. Качинского (Терпелец, Слюсарев, 2016). Кислотность почв оценивали в соот-

Таблица 1. Характеристика почв о. Северный

Table 1. Soil characteristics of Severny Island

Район исследования	Координаты почвенного разреза	Название почвы	Номер почвенного разреза	Горизонт	Глубина горизонта, см	pH водной вытяжки	Содержание			
							Сорг, %	CaCO ₃ , %	Частиц >0,01 мм, %	Частиц <0,01 мм, %
	76.19110° N 62.67194° E	пелозем глееватый мерзлотный	1	O	0-4	7,91	9,80	-*	-	-
				BC _g	4-11	8,01	3,85	-	67,16	32,84
				C _g	11-22	8,14	2,76	-	71,27	28,73
Русская Гавань	76.19250° N 62.72722° E	пелозем мерзлотный	2	C	0-21	8,61	0,83	-	61,50	38,50
				W	0-9	8,86	2,59	28,90	61,85	38,15
				C	9-16	8,95	2,13	30,57	36,80	63,20
				C _{ca}	0-14	8,72	6,32	18,83	37,94	62,06
Бухта Благополучия	75.623610° N 63.814167° E	пелозем гумусовый мерзлотный остаточно-карбонатный	5	C _{ca}	0-31	8,58	0,94	8,16	58,56	41,44
				CR	0-10	7,71	1,38	5,91	94,39	5,61
				C	10-19	7,54	3,84	-	70,98	29,02
				C	0-17	8,94	2,06	40,15	70,37	29,63
				O	0-4	-	-	-	-	-
Ледяная Гавань	76.297500° N 68.153889° E	пелозем гумусовый мерзлотный остаточно-карбонатный	8	W	4-19	8,90	1,16	9,91	61,58	38,42
				C _{ca}	19-32	8,87	1,52	12,50	52,95	47,05
				O	0-4	-	-	-	-	-
				W	4-17	8,89	1,37	33,15	56,84	43,16
				C _{ca}	17-30	8,97	0,21	2,67	41,25	58,75
				O	0-3	-	-	-	-	-
Мыс Желания	76.95064° N 68.52282° E	криозем	10	CR	3-28	8,91	0,76	3,42	55,59	44,41
				O	0-23	8,40	0,33	-	72,41	27,59
				C _{ca}	23-33	8,44	0,23	4,41	68,68	31,32

* Символ «-» означает, что указанный параметр не определяли.

ветствии с оценочной шкалой по величине рН почвенного раствора при соотношении почва: раствор 1: 25 для органогенных и 1: 5 для минеральных горизонтов (Околелова и др., 2017). Содержание углерода в образцах почв определяли методом сухого сжигания на CNSH-анализаторе Elementar Vario Isotope Select (Германия) в ЦКП «Лаборатория радиоуглеродного датирования и электронной микроскопии» Института географии РАН (г. Москва). Величину общего углерода ($C_{\text{общ}}$) определяли при анализе образца почвы (стандартная пробоподготовка), углерода органических соединений ($C_{\text{орг}}$) – после предварительного удаления из образца почвы углерода минеральных соединений 10 %-ным раствором соляной кислоты. Содержание неорганического углерода $C_{\text{неорг}}$ рассчитывали по разнице значений $C_{\text{общ}}$ и $C_{\text{орг}}$. Полученные значения $C_{\text{неорг}}$ пересчитывали на содержание CaCO_3 (Nikitin et al., 2021; Soil Survey Laboratory Methods Manual, 2004). Данные по содержанию в образцах почв $C_{\text{орг}}$ и CaCO_3 использовали для установления генетической принадлежности диагностических горизонтов и определения типов почв.

Валовое содержание ТМ (Pb, Zn, Cu, Ni, Co, Fe, Mn, Cr, V, Ti, Sr) определяли методом рентгенофлуоресцентной спектроскопии на спектрометре «СПЕКТРОСКАН Макс» GF-2E согласно М 049-П/04 в лаборатории при кафедре теоретической и прикладной химии САФУ им. М.В. Ломоносова (г. Архангельск). Степень загрязнения почв ТМ оценивали, сопоставляя средневзвешенные концентрации элементов со значениями предельно допустимых (ПДК) и ориентировочно допустимых (ОДК) концентраций этих металлов в почве (СанПиН 1.2.3685–21; Vodyanitskii, 2016). Ввиду отсутствия ПДК/ОДК для Co, Fe, Cr, Ti, Sr концентрации этих элементов сопоставляли со значениями их кларков в почве.

Для оценки общего вклада ТМ в загрязнение почвенного покрова использовали суммарный показатель загрязнения (Z_c), рассчитанный на основе коэффициентов концентрации (K_c). Степень загрязнения почв ТМ характеризовали на основе шкалы суммарной загрязненности почв ТМ (СанПиН 1.2.3685–21): значение Z_c менее 16 – допустимая; от 16 до 32 – умеренно опасная; от 33 до 128 – опасная; более 128 – чрезвычайно опасная.

Результаты

Почвенный покров на ключевых участках о. Северный архипелага НЗ представлен чередованием карбопетроземов, пелоземов гумусовых мерзлотных, пелоземов мерзлотных остаточного карбонатных, пелоземов глеевых мерзлотных, криоземов и криоземов грубогумусовых. Среди изученных почв в почвенном покрове о. Северный преобладают пелоземы. Глубина заложённых разрезов не превышает 33 см, а число горизонтов варьирует от одного до трех. Почвы в районе залива Русской Гавани представлены пелоземами мерзлотными и пелоземами глееватыми мерзлотными, здесь заложено четыре почвенных разреза, мощность которых варьировала от 14 до 22 см. На территории Бухты Благополучия описаны пелозем гумусовый мерзлотный остаточного-карбонатный и криозем грубогумусовый, мощность которых составила 31 и 19 см соответственно. В районе залива Ледяной Гавани выявлены карбопетрозем и пелозем гумусовый мерзлотный остаточного-карбонатный мощностью от 17 до 32 см. На мысе Желания почвенный покров представлен криоземами и пелоземами мерзлотными остаточного-карбонатными, мощность которых 28 и 33 см соответственно (табл. 1).

Для оценки профильного изменения свойств почв из 11 исследованных почвенных

разрезов были выбраны те, которые состоят более чем из одного горизонта. Результаты физико-химических исследований приведены в табл. 1.

Величина актуальной кислотности рассмотренных почв варьирует от 7,54 до 8,97. На основании значений pH водных вытяжек установлено, что 16,7 % исследованных почв относятся к категории щелочных; 83,3 % – к сильнощелочным (табл. 1). Изменения величины pH по профилю почв незначительны, как правило, не выходят за пределы установленных градаций кислотности (щелочности) почв по величине pH водных вытяжек (величина pH для нейтральных почв 6,5–7,0, слабощелочных – 7,0–7,5, щелочных – 7,5–8,5, сильнощелочных – больше 8,5). Исключением является разрез № 6, в котором отмечена тенденция к снижению величины pH водных вытяжек вниз по профилю (табл. 1) с переходом величины щелочности почв от категории щелочных в горизонте CR (глубина 0–10 см) к категории слабощелочных в горизонте C (глубина 10–19 см).

Среди исследованных почв преобладают суглинистые (82 % от общего числа исследуемых образцов) и глинистые (12 %). Только криозем грубогумусовый в районе залива Бухта Благополучия имеет песчаный нанос с поверхности, который подстилается легкими суглинками (табл. 1). Содержание физической глины во всех почвенных разрезах в целом увеличивается с глубиной.

Распределение ТМ по горизонтам представлено в табл. 2. В рассматриваемых почвенных разрезах валовое содержание Fe, Cr и V увеличивается от верхнего горизонта к нижнему. Содержание Zn, Cu и Ni снижается только в пелоземе гумусовом мерзлотном остаточно-карбонатном (разрез № 9), в остальных растёт с глубиной. Для Co, Mn, Ti и Sr четкой закономерности распределе-

ния ТМ по горизонтам почв не выявлено. Pb во всех почвах находится, как правило, в следовых количествах, или его содержание нами не обнаружено.

Расчет значений суммарного показателя загрязнения (Z_c) показал, что для почв в районе залива Русская Гавань он находится в пределах 1,7; Бухты Благополучия – 3,3; Ледяной Гавани – 1,7; мыса Желания – 1,9.

Сравнение средневзвешенных концентраций ТМ в почвах исследуемых районов с их нормированными значениями представлены на рис. 2.

Обсуждение

Почвенный покров севера о. Северный архипелага НЗ (Бухта Благополучия, мыс Желания, Русская Гавань, Ледяная Гавань) имеет мозаичное строение, которое определяется не столько широтным положением районов, сколько сложившимися на них местными условиями (ориентацией по отношению к ледникам, господствующим ветрам, активностью денудационных процессов и локализацией птичьих базаров) (Горячкин, 1998, 2010). Глубина заложенных нами разрезов не превышает 33 см, общее количество почвенных горизонтов варьирует от 1 до 3 (табл. 1), что характеризует рассмотренные нами почвы как маломощные (USS Working Group WRB, 2015) и подтверждает данные других авторов о строении почвенных профилей в северной части архипелага НЗ (Горячкин, 1998, 2010).

Полевые наблюдения позволили предварительно заключить, что большинство почвенных разновидностей и структур почвенного покрова более характерны для высокоарктических тундр, чем для арктических пустынь, к которым принято относить ландшафты севера НЗ (Ратманов, 1930; Александрова, 1983; Serebryanny, Malyasova, 1998).

Таблица 2. Распределение некоторых ТМ по горизонтам исследованных почв, $\omega(\Sigma) \pm \Delta$ * мг/кг

Table 2. Distribution of some HM on soil horizons of study soils, $\omega(\Sigma) \pm \Delta$ * mg/kg

Район исследования	Номер почвенного разреза	Гори-зонт	Глубина горизонта, см	Pb	Zn	Cu	Ni	Co	Fe	Mn	Cr	V	Ti	Sr
Русская Гавань	1	O	0-4	н/о**	87,6±15,2	34,6±7,9	33,5±4,2	н/о	38606 ±4340	826,4±42,2	76,0±9,79	99,1±14,3	2962±580	94,3±22,5
		BC _g	4-11	н/о	89,6±15,6	35,6±8,4	34,5±4,6	н/о	43072 ±4740	693,0±38,6	81,5±10,6	115,0±16,7	3697±698	91,5±21,3
		C _g	11-22	н/о	93,7±16,3	37,0±8,9	36,2±5,4	8,77±2,37	45218±4940	453,3±30,9	83,3±10,8	139,1±20,0	4295±795	87,8±19,6
	3	W	0-9	н/о	85,8±14,9	25,1±5,8	22,2±3,1	9,34±3,55	23270±2930	388,8±28,5	59,4±7,3	60,3±7,6	2450±496	127,9±36,2
		C	9-16	н/о	89,2±15,5	26,0±6,2	23,2±3,8	6,95±1,77	25084±3097	413,7±29,5	68,4±8,7	68,3±9,1	2308±473	121,2±33,6
Бухта Благополучия	6	CR	0-10	н/о	79,1±14,0	47,7±12,8	48,9±9,8	5,00±2,13	45183±4940	702,1±38,9	95,0±12,4	159,7±22,6	4320±799	66,6±9,3
		C	10-19	н/о	80,1±13,8	52,1±14,2	54,1±10,8	4,86±2,09	47242±5125	723,4±39,4	106,4±13,8	167,4±23,5	4237±786	66,2±9,0
Ледяная Гавань	8	W	4-19	н/о	74,9±13,6	35,2±8,2	33,9±4,4	18,38±4,51	64196±6678	1532,7±57,9	96,4±12,5	134,1±19,3	4611±846	82,2±16,9
		C _{ca}	19-32	н/о	78,3±13,9	36,0±8,5	34,9±4,8	24,16±6,4	70054±7214	1585,0±58,9	100,1±13,0	164,4±23,2	4359±805	76,9±14,4
		W	4-17	н/о	43,5±10,2	25,3±5,9	22,3±3,1	4,09±1,84	44589±4883	365,8±27,6	84,6±11,0	137,9±19,8	3237±600	126,2±35,5
	9	C _{ca}	17-30	н/о	38,6±9,59	21,9±4,3	18,2±2,6	19,32±4,82	72411±7430	209,8±20,6	124,6±15,9	234,6±30,9	4296±796	131,1±37,4
		O	0-23	н/о	38,4±9,6	28,3±7,3	25,9±3,4	1,14±0,87	28141±3780	872,5±43,4	76,0±9,0	63,7±8,2	2509±506	48,5±7,9
Мыс Желания	11	C _{ca}	23-33	н/о	45,6±10,5	29,5±7,8	27,2±3,5	0,83±0,77	32269±3755	201,0±45,9	81,8±10,6	75,5±10,4	2480±501	52,2±8,2
		ПДК/ОДК, мг/кг *****		32/130	87/220	53/132	85/80	- ***	-	1500	-	-	150	-
Кларк, мг/кг *****				17	75	27	50	15	40600	770	92	106	3900	270

* где $\omega(\Sigma)$ – массовая доля элемента в образце почвы, $\pm \Delta$ – погрешность определения метода;

** символом «н/о» отмечены концентрации ТМ, близкие или равные нулю;

*** знаком «-» отмечено отсутствие регламентированных значений ПДК/ОДК;

***** согласно СанПиН 1.2.3685-21;

***** Cu, Co, V – по (Ну, Гао, 2008), остальные ТМ – по (Григорьев, 2009) (цит. по: Касимов, Власов, 2015).

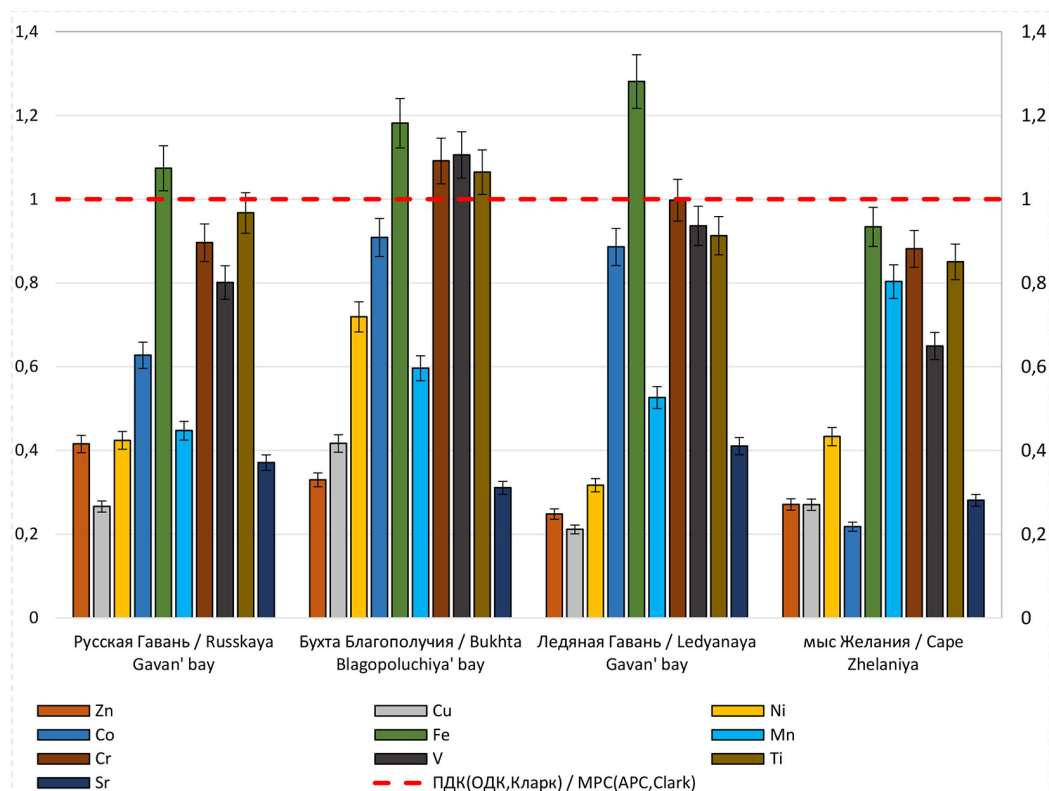


Рис. 2. Отношение средневзвешенных концентраций ТМ в почвах (мг/кг) к ПДК/ОДК и кларку (Co, Fe, Cr, Ti, Sr) (мг/кг)

Fig. 2. Ratio of HM weighted average concentrations in soils (mg/kg) to MPC/APC and clark (Co, Fe, Cr, Ti, Sr) (mg/kg)

Среди изученных почв о. Северный преобладают пелоземы (табл. 1), что противоречит полученным ранее данным о доминировании на севере архипелага НЗ литоземов и петроземов (Goryachkin et al., 1999; Горячкин, 2010; Ратманов, 1930; Иванов, 1933). Такое расхождение, вероятно, связано с малой изученностью о. Северный и изменением климата, которое преобразует не только растительный, но и почвенный покров Высокой Арктики.

Все изученные нами почвы НЗ щелочные и сильнощелочные (табл. 1). Это согласуется с данными литературы – в этом районе архипелага отмечены преимущественно слабощелочные почвы (Ратманов, 1930). Минимальные значения рН характерны для поверхностных органогенных горизонтов,

в то время как большей щелочностью отличаются более глубокие слои почвенного профиля. Преобладание щелочных почв преимущественно обусловлено присутствием в них карбонатов (табл. 1).

Почвы исследованных районов о. Северный по большей части суглинистые и глинистые, что не противоречит данным прошлых лет (Ратманов, 1930). В целом более тяжелый гранулометрический состав имеют пелоземы и карбопетроземы, более легкий – криоземы (табл. 1), что подтверждает их классификационный статус (USS Working Group WRB, 2015). Доля физической глины увеличивается вниз по профилю почв (на 9–25 %). Это явление может быть обусловлено мерзлотным процессом ретинизации тонкодисперсного

материала над многолетнемерзлыми породами (Горячкин, 2010; Lupachev et al., 2019).

Средневзвешенное валовое содержание ТМ в почвах варьирует несущественно, но по некоторым ТМ встречается незначительное превышение нормативных показателей. Так, было зафиксировано превышение пороговых концентраций ТМ в почвах района залива Русская Гавань – Fe (1,1 кларка); Бухты Благополучия — Fe (1,2 кларка), Cr (1,1 кларка), V (1,1 ПДК), Ti (1,1 кларка); Ледяной Гавани – Fe (1,3 кларка). Это, вероятно, обусловлено высоким содержанием данных элементов в материнской породе, о чем свидетельствует их распределение по горизонтам почвенных профилей (табл. 2). В работе (Vodyanitskii et al., 2011), посвященной загрязнению почв выбросами Среднеуральского медеплавильного завода и Норильского горно-металлургического комбината, авторы выявили высокую загрязненность верхних горизонтов почвы ТМ на расстоянии до 30 км около этих предприятий. Превышение кларковых значений для следующих элементов составило: Zn (1,5–19 раз), Cu (65–287 раз), Ni (35–78 раз), Pb (0,8–46 раз), Cr (1,9–4,7 раз). Сравнение опубликованных данных с полученными нами результатами показывает, что уровень содержания ТМ в исследованных почвах о. Северный ниже уровня, характеризующего техногенное загрязнение, поэтому почвы о. Северный можно рассматривать как незагрязненные и использовать полученные данные по содержанию в них ТМ в качестве фоновых.

Концентрации Zn, Cu, Ni, Co, Mn, V в исследуемых почвах в целом сопоставимы с полученными ранее результатами для территорий НЗ и архипелага Шпицберген (Nikitina et al., 2015; Вишневая, Попова, 2016; Kłos et al., 2017; Kriauciunas et al., 2018). Низкое валовое содержание Co, выявленное нами в почвах

на территории о. Северный (НЗ), также отмечается и в работе (Kriauciunas et al., 2018) для о. Южный (НЗ), однако средневзвешенное содержание Cr – 88,9 мг/кг, установленное нами, практически в два раза выше, чем на территории о. Южный (НЗ) (45,3 мг/кг), но сопоставимо с концентрациями, полученными для разрезов территории о. Северный архипелага Шпицберген (121,3±3,2; 92,9±8,9; 102,0±10,9; 97,9±15,3; 69,2±10,6 мг/кг) (Kriauciunas et al., 2018). Концентрации Pb (25,0±1,2 и 30,0±1,5 мг/кг) и Pb (24–48 мг/кг) для о. Северный (НЗ), выявленные в работах (Вишневая, Попова, 2016; Migoshnikov et al., 2017), были выше полученных нами (содержание Pb близко или равно нулю). Исследование восточного побережья НЗ показало высокое валовое содержание Cr, V, Co, Ni, Cu, Zn, Sr, Zr, Ba, Pb в материнских породах, с которыми связаны соответственно более высокие концентрации этих элементов в почвах (Усачева и др., 2016). Превышение ПДК V, как и частные случаи превышения кларков Fe, Cr, Ti в исследованных нами почвах, являются незначительными и, вероятно, также обусловлены их высоким содержанием в материнской породе. Расчет значений суммарного показателя загрязнения (Z_c варьирует в пределах 1,7–3,3) свидетельствует том, что все рассмотренные почвы не выходят по этому параметру за пределы допустимого уровня загрязнения ($Z_c < 16$).

Заключение

Таким образом, среди изученных почв о. Северный – одного из двух крупных островов архипелага Новая Земля – установлено преобладание в почвенном покрове пелоземов, что противоречит данным о доминировании на севере архипелага литоземов и петроземов. Большинство почвенных разновидностей и структур почвенного покрова в большей

степени характерны для высокоарктических тундр, чем для арктических пустынь, к которым принято относить ландшафты севера НЗ.

По степени актуальной кислотности на изученных территориях преобладают сильнощелочные почвы, они в основном имеют тяжелый гранулометрический состав. Содержание физической глины в почвенных разрезах с глубиной увеличивается.

Аккумуляция ТМ в почвах о. Северный архипелага НЗ имеет разный характер: в них отмечено крайне низкое валовое содержание Pb, в то время как валовое содержание V, Fe, Cr, Ti в отдельных случаях превышает

значения ПДК и кларков. Последнее может быть связано с их высоким содержанием в материнской породе. Данные профильного распределения валового содержания ТМ свидетельствуют о их поступлении в почвы преимущественно из природных источников. В целом исследуемые почвы имеют допустимый уровень загрязнения ТМ.

Полученные нами результаты подтверждают необходимость проведения регулярного мониторинга арктических территорий, который поможет оценить степень их загрязнения и предотвратить риск экологической катастрофы в будущем.

Список литературы / References

Александрова В. Д. (1983) *Растительность полярных пустынь СССР*. Л., Наука, 142 с. [Aleksandrova V. D. (1983) *Polar desert vegetation in the Union of Soviet Socialist Republics*. Leningrad, Nauka, 142 p. (in Russian)]

Вишнева Ю. С., Попова Л. Ф. (2016) Оценка экологического состояния и степени загрязнения тяжелыми металлами почв Арктики. *Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Естественные науки*, 2: 96–104 [Vishnevaia I. S., Popova L. F. (2016) Assessment of the environmental status and degree of pollution of arctic soils by heavy metals. *Bulletin of the Moscow Region State University. Series: Natural Sciences* [Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo oblastnogo universiteta. Seriya: Estestvennyye nauki], 2: 96–104 (in Russian)]

Горячкин С. В. (1998) Почвенный покров равнин и гор западной части Южного острова. *Новая Земля. Природа. История. Археология. Культура. Труды морской арктической комплексной экспедиции (МАКЭ) под общей редакцией П. В. Бояровского. Книга 1*. М., Российский научно-исследовательский институт культурного и природного наследия имени Д. С. Лихачева, с. 149–175 [Goryachkin S. V. (1998) Soil cover of plains and mountains in the western part of the South Island. *Novaya Zemlya. Nature. History. Archeology. Culture. Proceedings of the Marine Arctic Complex Expedition (MACE) edited by Boyarovskiy P. V. Book 1*. Moscow, Likhachev Russian Research Institute for Cultural and Natural Heritage, p. 149–175 (in Russian)]

Горячкин С. В. (2010) *Почвенный покров Севера (структура, генезис, экология, эволюция)*. М., ГЕОС, 414 с. [Goryachkin S. V. (2010) *Soil cover of the North (structure, genesis, ecology, evolution)*. Moscow, GEOS, 414 p. (in Russian)]

ГОСТ 12536–2014. Грунты. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава (2015) Москва, Стандартинформ, 24 с. [GOST 12536–2014. Soils. Methods of laboratory granulometric (grain-size) and microaggregate distribution (2015) Moscow, Standartinform, 24 p. (in Russian)]

ГОСТ 26423–85. Почвы. Методы определения удельной электрической проводимости, pH и плотного остатка водной вытяжки (2011) Москва, Стандартинформ, 6 с. [Soils. Methods for

determination of specific electric conductivity, pH, and solid residue of water extract (2011) Moscow, Standartinform, 6 p. (in Russian)]

Иванов И. М. (1933) О почвенных образованиях ледяной зоны. *Труды Арктического института по изучению Севера*. Т. 12. с. 183–202 [Ivanov I. M. (1933) On soil formations of the ice zone. *Proceedings of the Arctic Institute for the Study of the North*. Vol. 12. p. 183–202 (in Russian)]

Касимов Н. С., Власов Д. В. (2015) Кларки химических элементов как эталоны сравнения в экогеохимии. *Вестник Московского университета. Серия 5. География*, 2: 7–17 [Kasimov N. S., Vlasov D. V. (2015) Clarkes of chemical elements as comparison standards in ecogeochimistry. *Moscow University Vestnik. Series 5. Geography* [Vestnik Moskovskogo Universiteta. Seriya 5. Geografiya], 2: 7–17 (in Russian)]

Никулин А. А. (2017) Полезные ископаемые Арктической зоны России: потенциал и перспективы освоения. *Проблемы национальной стратегии*, 1: 163–187 [Nikulin A. A. (2017) Mineral resources of Russia's arctic zone: potential capacity and exploitation perspectives. *National Strategy Issues* [Problemy nacional'noj strategii], 1: 163–187 (in Russian)]

Околелова А. А., Желтобрюхов В. Ф., Егорова Г. С. (2017) *Экологическое почвоведение и законы экологии*. Волгоград, ВГАУ, 261 с. [Okolelova A. A., Zheltobryukhov V. F., Egorova G. S. (2017) *Ecological soil science and environmental laws*. Volgograd, Volgograd State Agrarian University, 261 p. (in Russian)]

Ратманов Г. Е. (1930) Почвы Новой Земли. *Труды Почвенного института им. В. В. Докучаева*, 3–4: 145–148 [Ratmanov G. E. (1930) Soils of Novaya Zemlya. *Proceedings of the V. V. Dokuchaev Soil Science Institute* [Trudy Pochvennogo instituta imeny V. V. Dokuchaeva], 3–4: 145–148 (in Russian)]

СанПиН 1.2.3685–21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. Зарегистрировано в Минюсте России 29.01.2021 N62296. 987 с. [SanPiN2.1.7.1287–03 Hygienic standards and requirements for ensuring the safety and (or) harmlessness to humans of environmental factors. Registered by the Ministry of Justice of the Russian Federation on 29.01.2021 N62296. 987 p. (in Russian)]

Терпелец В. И., Слюсарев В. Н. (2016) *Агрофизические и агрохимические методы исследования почв. Учебно-методическое пособие*. Краснодар, КубГАУ, 65 с. [Terpelets V. I., Slyusarev V. N. (2016) *Agrophysical and agrochemical methods of soil research. Educational and methodical manual*. Krasnodar, Kuban State Agrarian University, 65 p. (in Russian)]

Усачева А. А., Семенов И. Н., Мирошников А. Ю., Крупская В. В., Закусин С. В. (2016) Геохимические особенности Арктотундровых ландшафтов восточного побережья Новой Земли. *Вестник Московского университета. Серия 5. География*, 6: 87–95 [Usacheva A. A., Semenov I. N., Miroshnikov A. Yu., Krupskaya V. V., Zakusin S. V. (2016) Geochemical features of arctic tundra landscapes of the Novaya Zemlya eastern coast. *Moscow University Vestnik. Series 5. Geography* [Vestnik Moskovskogo Universiteta. Seriya 5. Geografiya], 6: 87–95 (in Russian)]

Agarwal S. K. (2009) *Heavy metal pollution*. New Delhi, A.P.H. Publishing Corporation, 259 p.

АМАР (1998) *АМАР Assessment Report: Arctic Pollution Issues*. Arctic Monitoring and Assessment Programme (АМАР), Oslo, Norway, 859 p.

АМАР (2005) *АМАР Assessment 2002: Heavy Metals in the Arctic*. Arctic Monitoring and Assessment Programme (АМАР), Oslo, Norway, 265 p.

AMAP (2019) *AMAP Climate Change Update 2019: An Update to Key Findings of Snow, Water, Ice and Permafrost in the Arctic (SWIPA) 2017*. Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP), Oslo, Norway, 12 p.

Evsseev A. V., Krasovskaya T. M. (2017) Toxic metals in soils of the Russian North. *Journal of Geochemical Exploration*, 174: 128–131

Ferris H., Tuomisto H. (2015) Unearthing the role of biological diversity in soil health. *Soil Biology and Biochemistry*, 85: 101–109

Goryachkin S. V., Karavaeva N. A., Targulian V. O., Glazov M. V. (1999) Arctic soils: spatial distribution, zonality and transformation due to global change. *Permafrost and Periglacial Processes*, 10(3): 235–250

Ji X., Abakumov E., Polyakov V. (2019) Assessments of pollution status and human health risk of heavy metals in permafrost-affected soils and lichens: A case-study in Yamal Peninsula, Russia Arctic. *Human and Ecological Risk Assessment*, 25(8): 2142–2159

Krumpen T., Belter H. J., Boetius A., Damm E., Haas C., Hendricks S., Nicolaus M., Nöthig E. M., Paul S., Peeken I., Ricker R., Stein R. (2019) Arctic warming interrupts the Transpolar Drift and affects long-range transport of sea ice and ice-rafted matter. *Scientific Reports*, 9: 5459

Kabata-Pendias A., Pendias H. (2001) *Trace Elements in Soils and Plants*. 3rd ed. Boca Raton-London-New York- Washington D.C, CRC Press, 331 p.

Kriauciunas V. V., Iglovsky S. A., Kuznetsova I. A. (2018) Trace metals in soil catenas of the Arctic islands (the Svalbard and Novaya Zemlya Archipelagos). *Biogeochemistry of trace elements*. Pokrovsky O. S. and Viers J. (eds.) New York, Nova Science Publishers, p. 309–359

Kłos A., Ziembik Z., Rajfur M., Dołhańczuk-Śródka A., Bochenek Z., Bjerke J. W., Tømmervik H., Zagajewski B., Ziółkowski D., Jerz D., Zielińska M., Krems P., Godyń P. (2017) The origin of heavy metals and radionuclides accumulated in the soil and biota samples collected in Svalbard, near Longyearbyen. *Ecological Chemistry and Engineering S*, 24(2): 223–238

Lupachev A. V., Gubin S. V., Gerasimova M. I. (2019) Problems of the cryogenic soils' diagnostics in the recent Russian soil classification system. *Eurasian Soil Science*, 52(10): 1170–1174

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. (2017) Radioecological investigations on the Northern Novaya Zemlya Archipelago. *Oceanology*, 57(1): 204–214

Nikitina M., Popova L., Korobitcina J., Efremova O., Trofimova A., Nakvasina E., Volkov A. (2015) Environmental status of the arctic soils. *Journal of Elementology*, 20(3): 643–651

Nikitin D. A., Lysak L. V., Badmadashiev D. V., Kholod S. S., Mergelov N. S., Dolgikh A. V., Goryachkin S. V. (2021) Biological activity of soils in the north of the Novaya Zemlya Archipelago: effect of the largest glacial sheet in Russia. *Eurasian Soil Science*, 54(10): 1496–1516

Post E., Alley R. B., Christensen T. R., Macias-Fauria M., Forbes B. C., Gooseff M. N., Iler A., Kerby J. T., Laidre K. L., Mann M. E., Olofsson J., Stroeve J. C., Ulmer F., Virginia R. A., Wang M. (2019) The polar regions in a 2 °C warmer world. *Science Advances*, 5(12): eaaw9883

Schmidt N. M., Hardwick B., Gilg O., Høye T. T., Krogh P. H., Meltofte H., Michelsen A., Mosbacher J. B., Raundrup K., Reneerkens J., Stewart L., Wirta H., Roslin T. (2017) Interaction webs in arctic ecosystems: Determinants of arctic change? *Ambio*, 46: 12–25

Serebryanny L., Malyasova E. (1998) The quaternary vegetation and landscape evolution of Novaya Zemlya in the light of palynological records. *Quaternary International*, 45–46: 59–70

Soil Survey Laboratory Methods Manual (2004) *Soil Survey Investigations Report No. 42. Version 4.0*. Rebecca Burt (Ed.) Natural Resources Conservation Service, U. S. Department of Agriculture, 700 p.

USS Working Group WRB (2015) *World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports, 106*. Rome, FAO, 192 p.

Vinogradova A. A. (2000) Anthropogenic pollutants in the Russian Arctic atmosphere: sources and sinks in spring and summer. *Atmospheric Environment*, 34(29–30): 5151–5160

Vodyanitskii Yu.N., Plekhanova I. O., Prokopovich E. V., Savichev A. T. (2011) Soil contamination with emissions of non-ferrous metallurgical plants. *Eurasian Soil Science*, 44(2): 217–226

Vodyanitskii Yu.N. (2016) Standards for the contents of heavy metals in soils of some states. *Annals of Agrarian Science*, 14(3): 257–263