

ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ В ПОЧВАХ ЕВРО-АРКТИЧЕСКИХ ТЕРРИТОРИЙ

Л.Ф. Попова, М.В. Никитина, Ю.И. Андреева, А.Н. Трофимова, С.С. Попов

Людмила Фёдоровна Попова, Мария Викторовна Никитина *, Юлия Игоревна Андреева, Анна Николаевна Трофимова, Сергей Сергеевич Попов

Кафедра химии и химической экологии, Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова (САФУ им. М.В. Ломоносова), наб. Сев. Двины, 17, Архангельск, Российская Федерация, 163002

E-mail: ludap9857@mail.ru, vitama@rambler.ru*, djulija.andreeva@gmail.com, a.trofimova@narfu.ru, sergey.sergeevich20@gmail.com

В статье представлены данные сравнительного анализа валового содержания и содержания подвижных форм тяжелых металлов и мышьяка в почвах Евро-Арктического региона территорий архипелагов Земли Франца Иосифа, Шпицбергена, Соловецкого, Новой Земли, о. Колгуев, м. Канин Нос, п. Варнек, о. Сосновец. Определение содержания элементов в отобранных образцах осуществлялось рентгенофлуоресцентным и атомно-абсорбционным методами. Степень загрязнения почв оценивали по кратности превышения предельно-допустимых концентраций и с использованием биогеохимических коэффициентов. Анализ экспериментальных данных показал, что накопление металлов различными типами почв Евро-Арктических территорий происходит неоднозначно: так в арктических и тундровых болотных почвах преобладают цинк и свинец, в тундровых неглеевых и глеевых почвах - марганец и кобальт, а в подзолистых и аллювиальных луговых почвах - кобальт и свинец. Корреляционным анализом выявлена зависимость накопления металлов в исследованных почвах от таких физико-химических параметров как содержание физической глины, органического вещества и pH почвенного раствора. Установлено, что согласно суммарному показателю загрязнения (Zc), рассчитанному относительно кларка по валовому содержанию металлов, опасный уровень загрязнения имеют арктические почвы п. Пирамида, тундровые неглеевые почвы м. Белый Нос, аллювиальные луговые почвы п. Диксон и торфяные болотные о. Сосновец. Тундровые глеевые почвы м. Канин Нос имеют умеренно-опасный уровень загрязнения. Однако почвы имеют допустимый уровень загрязнения по подвижным формам элементов, то есть практически все металлы представлены малоподвижными формами, что подтверждается высокими значениями коэффициента защитных свойств во всех исследованных типах почв.

Ключевые слова: тяжелые металлы, почвы Арктики, подвижные формы, техногенное загрязнение

HEAVY METALS IN SOILS OF EURO-ARCTIC TERRITORIES

L.F. Popova, M.V. Nikitina, Yu.I. Andreeva, A.N. Trofimova, S.S. Popov

Lyudmila F. Popova, Maria V. Nikitina *, Yulia I. Andreeva, Anna N. Trofimova, Sergey S. Popov
Department of Chemistry and Chemical Ecology, M. Lomonosov Northern (Arctic) Federal University, Sev. Dvina nab., 17, Arkhangelsk, 163002, Russia

E-mail: ludap9857@mail.ru, vitama@rambler.ru*, djulija.andreeva@gmail.com, a.trofimova@narfu.ru, sergey.sergeevich20@gmail.com

The features of metals accumulation by the Arctic soils are analyzed. The data of a comparative analysis of content of total and metal mobile forms in natural and anthropogenic soils in the Euro-Arctic region are presented. The following areas were studied: Frans Joseph Land, Spitsbergen, Solovetsky, Novaya Zemlya, Kolguev Island, cape Kanin Nos, Varnek, Sosnovets Island. The chemical analysis was carried out with the use of modern instrumental methods and certified methods: by X-ray fluorescence and atomic absorption methods. The degree of soil contamination was assessed by the maximum permissible concentrations exceeding and biogeochemical coefficients. Analysis of the experimental data has shown that metals accumulation by different types of soils is ambiguous: zinc and lead predominate in the arctic and tundra bog soils, manganese and cobalt in the non-gley and gley tundra soils, and cobalt and lead in the podzolic and alluvial meadow soils. Correlation analysis revealed the dependence of the metals accumulation with such physicochemical parameters as the content of physical clay, organic matter and the pH of the soil solution. According to the total pollution index (Zc), calculated related to clark, a dangerous level of contamination have the Arctic soils of Pyramid settlement, tundra non-gley soils of cape Belyy Nose, alluvial meadow acidic soils of Dixon settlement and peat soils of Sosnowiec Island. Tundra gley soils in Cape Kanin Nos have a moderately dangerous level of pollution. At the same time, the soils have an acceptable level of contamination with metals mobile forms. Practically all of the examined elements are represented by non-mobile forms, which are confirmed by the high value of the protective soils coefficients.

Key words: heavy metals, Arctic soils, total and mobile forms, technogenic pollution

Для цитирования:

Попова Л.Ф., Никитина М.В., Андреева Ю.И., Трофимова А.Н., Попов С.С. Тяжелые металлы в почвах Евро-Арктических территорий. *Изв. вузов. Химия и хим. технология.* 2019. Т. 62. Вып. 3. С. 102–107

For citation:

Popova L.F., Nikitina M.V., Andreeva Yu.I., Trofimova A.N., Popov S.S. Heavy metals in soils of Euro-Arctic territories. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.* 2019. V. 62. N 3. P. 102–107

ВВЕДЕНИЕ

Арктические и приарктические территории характеризуются суровым климатом, который вносит свой вклад в снижение устойчивости компонентов экосистем к антропогенным нагрузкам [1-5]. Особенностью техногенной деятельности в Европейской части Арктической зоны Российской Федерации является добывающая и перерабатывающая промышленность – мощный источник загрязнения, в первую очередь соединениями металлов [6-9]. В связи с этим они, являются приоритетными загрязнителями на данных территориях [10-15]. Поэтому целью данного исследования является анализ особенностей накопления металлов в различных типах почв Евро-Арктических территорий.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Отбор почвенных образцов осуществлялся согласно ГОСТ 17-4-4-02-84 в местах высадок по маршруту следования научно-исследовательского судна «Профессор Молчанов» во время экспеди-

ций «Арктический Плавающий университет», проходивших в 2012-2014 годах и организованных Северным (Арктическим) федеральным университетом и ФГБУ Северное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. Всего проанализировано 49 пробных площадей с территорий архипелага Земли Франца Иосифа, Шпицбергена, Соловецкого, Новой Земли, о. Колгуев, м. Канин Нос, п. Варнек, о. Сосновец. Все отобранные почвы были классифицированы по типам согласно базе данных для классификации почвенных ресурсов IUSS Working Group WRB [16].

Химический анализ почв был выполнен на базе лаборатории биогеохимических исследований САФУ с использованием оборудования ЦКП НО «Арктика» при финансовой поддержке Минобрнауки РФ (уникальный идентификатор работ RFMEFI59414X0004).

В исследуемых образцах определяли гранулометрический состав, pH водной вытяжки, содержание органического вещества. Валовое содержание металлов (Pb, Zn, Cu, Ni, Co, Fe, Mn, Cr, V, Ti,

As, Sr) определяли методом рентгено-флуоресцентной спектроскопии согласно М 049-П/04 на рентгеновском спектрофотометре «СПЕКТРОСКАН-МАКС». Содержание подвижных форм (Pb, Zn, Cu, Ni, Co, Mn) определяли методом атомно-абсорбционной спектроскопии согласно РД 52.18.289-90 из ацетатно-аммонийной буферной вытяжки с pH = 4,8 на атомно-абсорбционных спектрометрах «ContrAA-700» и «AA-7000». Степень загрязнения почв оценивали по кратности превышения ПДК и кларков, а также с использованием биогеохимических коэффициентов: коэффициента концентрации $K_c = C/C_{\text{кларк}}$, коэффициента подвижности $K_p = C_{\text{п.ф.}}/C_{\text{в.с.}}$ и коэффициента защитных свойств $K_z = (100 - C_{\text{п.ф.}}/C_{\text{в.с.}}) \cdot 100\%$, где $C_{\text{п.ф.}}$ – концентрация подвижных форм элемента, $C_{\text{в.с.}}$ – валовое содержание химического элемента в почве [17, 18]. Полученные данные были обработаны общепринятыми методами математической статистики с использованием MS Excel и Statistica-10.0. Достоверность различий средних величин оценивали по методу Фишера – Стьюдента. Для всех приведенных анализов различия считались значимыми при уровне $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ данных валового содержания металлов и мышьяка, представленных в табл. 1, показал, что все исследованные почвы богаты Mn. В арктических (м. Желания), тундровых неглеевых (м. Белый Нос) и глеевых (м. Канин Нос) почвах валовое содержание Mn превышает ПДК в 1,1-20,3 раз. В тундровых неглеевых (о. Колгуев), аллювиальных луговых кислых (п. Диксон) и торфяных болотных верховых почвах (о. Сосновец) установлено превышение ПДК валового содержания Pb (до 10,3 ПДК), As (до 3,0 ПДК), Co (до 91,7 ПДК) и Zn (1,1-2,0 ПДК).

Рассчитанные относительно кларка коэффициенты концентрации K_k показали, что накопление металлов почвами Евро-Арктического региона происходит неоднозначно.

Ряды накопления металлов в зависимости от типа почв согласно K_k выглядят следующим образом: арктические почвы - **Zn > Pb > Cu > Ni > V > Mn > As > Co**; подзолистые почвы - **Co > Pb > Cu > Zn > Mn > As > Ni > V**; тундровые неглеевые - **Co > Mn > Pb > Cu > Zn > V > As > Ni**; тундровые глеевые - **Mn > Co > Zn > Pb > Cu > As > V > Ni**; аллювиальные луговые - **Pb > Co > Zn > Cu > As > V > Ni > Mn**; торфяные болотные - **Pb > Zn > Co > As > Cu > Ni > V > Mn**. В целом, при неоднозначном

накоплении поллютантов в исследованных почвах преобладают Pb, Zn, Co и Mn, техногенными источниками которых можно назвать трансграничные потоки с Кольского полуострова [1, 2, 19, 20]. Корреляционный анализ показал, что независимо от типа почвы на накопление элементов существенное влияние оказывают физико-химические параметры: гранулометрический состав (коэффициент корреляции $r_{\text{ср.}} = -0,57$), pH ($r_{\text{ср.}} = +0,67$), содержание органического вещества ($r_{\text{ср.}} = +0,72$).

Таблица 1

Валовое содержание элементов в почвах Арктики, мг/кг

Table 1. The total content of elements in the Arctic soils, mg/kg

Тип почв	Валовое содержание элементов, мг/кг							
	Pb	Zn	Cu	Ni	Co	Mn	V	As
Арктические	<u>0*</u> 594	<u>38</u> 176	<u>20</u> 83	<u>10</u> 91	<u>0</u> 66	<u>105</u> 1790	<u>10</u> 289	<u>2</u> 9
Подзолистые	25	<u>10</u> 94	<u>20</u> 58	<u>10</u> 62	<u>19</u> 45	<u>135</u> 1455	<u>10</u> 40	<u>6</u> 9
Тундров. неглеев.	<u>0</u> 82	<u>21</u> 172	<u>9</u> 48	<u>3</u> 48	<u>0</u> 355	<u>33</u> 30438	<u>0</u> 162	<u>0</u> 6
Тундров. глеевые	<u>0</u> 25	<u>10</u> 64	<u>20</u> 45	<u>10</u> 45	<u>0</u> 180	<u>201</u> 1556	<u>10</u> 132	<u>0</u> 7
Аллювиал. луговые	<u>0</u> 330	<u>31</u> 134	<u>21</u> 47	<u>17</u> 48	<u>0</u> 19	<u>306</u> 779	<u>25</u> 151	<u>0</u> 6
Торфян. болотные	<u>0</u> 25	<u>10</u> 125	<u>20</u> 70	<u>11</u> 76	<u>0</u> 4585	<u>77</u> 902	<u>10</u> 126	<u>0</u> 6
ПДК	32	87	53	85	50	1500	150	2
Кларк	10	50	20	40	8	850	100	5

Примечание: * в числителе минимальное, в знаменателе максимальное значение

Note: * numerator is minimal value, denominator is maximal value

Используя суммарный показатель загрязнения $Z_c = K_c \cdot (n-1)$, по ориентировочной оценочной шкале опасности загрязнения почв ТМ была определена степень загрязнения исследованных почв ТМ (рис. 1).

Установлено, что арктические почвы п. Пирамида, тундровые неглеевые почвы м. Белый Нос, аллювиальные луговые почвы п. Диксон, и торфяные болотные о. Сосновец имеют опасный уровень загрязнения ($Z_c > 32$). Тундровые глеевые почвы м. Канин Нос имеют умеренно-опасный уровень загрязнения.

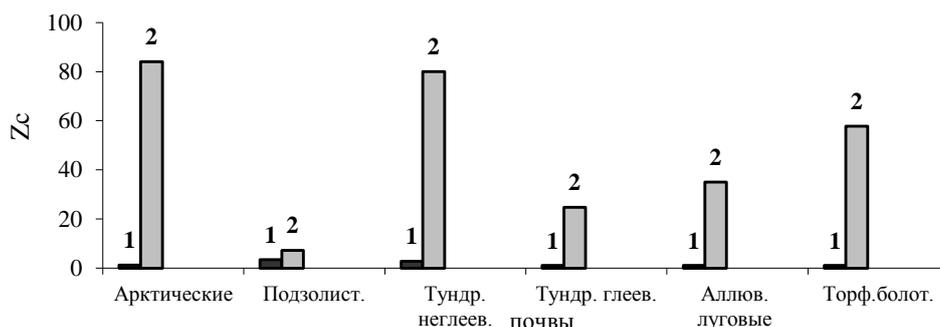


Рис. 1. Суммарный показатель загрязнения (Z_c) валового содержания металлов 1- минимальное, 2 - максимальное значение
Fig. 1. The total pollution index (Z_c) of total metals content 1- minimum, 2 - maximum

Содержание подвижных форм металлов представлено в табл. 2. Содержание подвижных форм Cu в почвах арктического типа на мысе Желания и о. Гукера превышает ПДК в 10 раз, а на о. Чамп в 4 раза. В тундровых неглеевых, торфяных болотных верховых и подзолистых почвах содержание подвижных форм Pb превышает ПДК в 1,3 раз (о. Колгуев); Mn в 1,2 раз (о. Вайгач) и в 2,8 раз (о. Русский Кузов). Подвижность металлов в арктических, тундровых глеевых и подзолистых почвах зависит линейно от физико-химических параметров (гранулометрического состава $r_{cp.} = -0,76$, pH $r_{cp.} = -0,82$, органического вещества $r_{cp.} = 0,83$).

Таблица 2

Содержание подвижных форм металлов в почвах Арктики, мг/кг

Table 2. The content of metal mobile forms in the Arctic soils, mg/kg

Тип почвы	Содержание подвижных форм металлов					
	Pb	Zn	Cu	Ni	Co	Mn
Арктические	<u>0,25*</u> 1,74	<u>0,19</u> 4,74	<u>2,14</u> 36,5	<u>0,48</u> 2,00	<u>0,12</u> 1,22	<u>38,9</u> 100
Подзолистые	<u>1,90</u> 2,63	<u>3,75</u> 13,3	<u>0,72</u> 2,83	<u>0,15</u> 0,74	<u>0,05</u> 0,76	<u>12,2</u> 393
Тундр. неглеев.	7,58	11,9	2,71	0,15	2,44	20,6
Тундр. глеевые	<u>0,84</u> 1,26	<u>1,07</u> 4,73	<u>1,67</u> 1,72	<u>0,43</u> 0,71	<u>0,73</u> 0,75	<u>48,9</u> 52,6
Торф. болотн.	2,09	18,3	1,25	0,06	0,16	167
ПДК	6,0	23,0	3,0	4,0	5,0	140,0

Примечание: * в числителе минимальное, в знаменателе максимальное значение

Note: * numerator is minimal value, denominator is maximal value

Суммарный показатель загрязнения почв подвижными формами металлов достигает значений 12, что соответствует допустимой степени загрязнения всех анализируемых почв.

В результате исследования было определено, что в почвах с антропогенной нагрузкой большая часть металлов находится в подвижной легко доступной для растений форме, в то время как для

почв природных территорий без антропогенной нагрузки характерна противоположная тенденция – здесь металлы накапливаются преимущественно в неподвижных фиксированных формах. Этот факт подтверждает коэффициент подвижности (K_p), который позволяет оценить способность почв аккумулировать металлы в виде соединений, недоступных для растений (рис. 2).

Наибольшей степенью подвижности обладают Cu, Zn и Mn. Особенно характерно это для арктических (Cu), тундровых неглеевых (Mn) и торфяных болотных верховых (Zn, Mn) почв. Более высокая подвижность металлов в почвах природных территорий с временной антропогенной нагрузкой (средний суммарный коэффициент подвижности K_p составляет 0,15-0,16, относительно 0,09-0,90 для почв природных территорий), объясняет высокое значение суммарного показателя загрязнения.

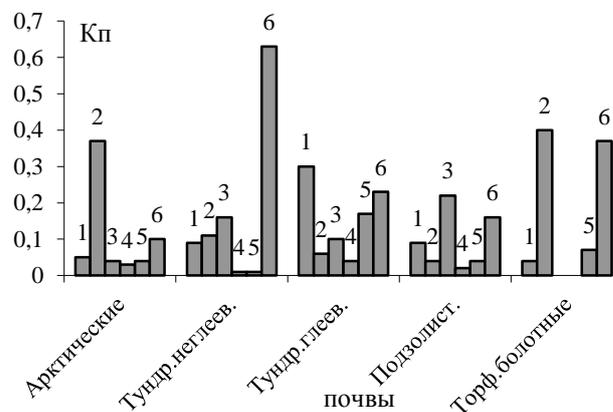


Рис. 2. Коэффициенты подвижности (K_p) металлов в почвах 1 - Pb, 2 - Cu, 3 - Zn, 4 - Ni, 5 - Co, 6 - Mn

Fig. 2. Coefficients of metal mobility in soils 1 - Pb, 2 - Cu, 3 - Zn, 4 - Ni, 5 - Co, 6 - Mn

Большое значение имеют буферные свойства почв [11], которые оценивали с помощью коэффициента защитных свойств K_z , представленного на рис. 3.

Полученные результаты указывают на то, что в разных типах почвах практически все исследованные металлы представлены малоподвижны-

ми формами ($K_3 > 60\%$). Благодаря высоким защитным свойствам почв по отношению к исследуемым элементам, даже при высоком показателе суммарного загрязнения по валовому содержанию этих поллютантов арктические, тундровые неглеевые, аллювиальные луговые кислые и торфяные болотные верховые почвы являются не опасными по содержанию в них подвижных форм, несмотря на высокую подвижность отдельных металлов в них. Даже при относительно низких показателях защитных свойств тундровых неглеевых почв по отношению к Mn и высоком значении его валового содержания, превышения допустимых норм по содержанию подвижных форм не отмечается.

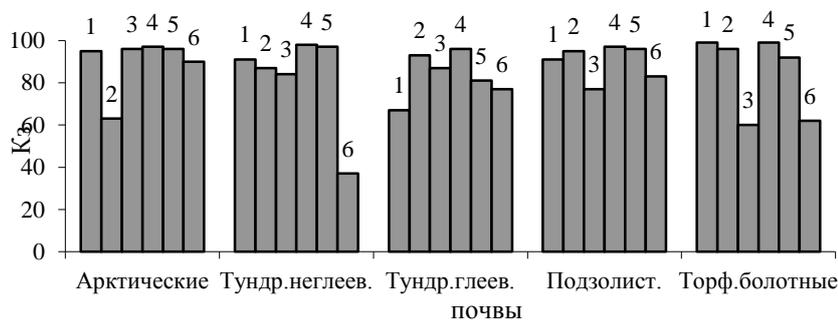


Рис. 3. Коэффициент защитных свойств (K_3) почв 1 - Pb, 2 - Cu, 3 - Zn, 4 - Ni, 5 - Co, 6 - Mn
 Fig. 3 Coefficient of soils protective properties 1 - Pb, 2 - Cu, 3 - Zn, 4 - Ni, 5 - Co, 6 - Mn

ЛИТЕРАТУРА

1. **Locas E., Zaborskaya A., Kolicka M., Rozycki M., Zawierucha K.** Accumulation of atmospheric radionuclides and heavy metals in cryoconite holes on an Arctic glacier. *Chemosphere*. 2016. N 160. P. 162-72. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2016.06.051.
2. **Halbach K., Mikkelsen O., Berg T., Steinnes E.** The presence of mercury and other trace metals in surface soils in the Norwegian Arctic. *Chemosphere*. 2017. N 188. P. 567-574. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2017.09.012.
3. **Allen-Gil S.M., Ford J., Lasorsa B.K., Monetti M., Vlasova T., Landers D.H.** Heavy metal contamination in the Taimyr Peninsula. *Sib. Arct. Sci. Total Environ*. 2003. 301. P. 119-138. DOI 10.1016/S0048-9697(02)00295-4.
4. **Gulińska J., Rachlewicz G., Szczuciński W., Baralkiewicz D., Kózka M., Bulska E., Burzyk M.** Soil contamination in high Arctic areas of human impact, Central Spitsbergen, Svalbard. *Polish J. Environ. Stud.* 2003. N 12 (6). P. 701-707.
5. **Агбалян Е.В.** Состояние окружающей среды в Арктике. *Усп. современ. естествозн.* 2011. № 4. С. 74-76.
6. **Evseev A.V., Krasovskaya T.M.** Toxic metals in soils of the Russian North. *J. Geochem. Explor.* 2017. P. 128-131. DOI: 10.1016%2Fj.gexplo.2015.05.018.
7. **Nikitina M., Popova L., Korobicina J., Efremova O., Trofimova A., Nakvasina E., Volkov A.** Environmental Status of the Arctic Soils. *J. Elem.* 2015. N 20(3). P. 643-651. DOI: 10.5601/jelem.2014.19.4.743.

ВЫВОДЫ

Таким образом, установлено, что на кумуляцию металлов влияют как техногенное воздействие, так и особенности почвообразовательных процессов. Большинство исследованных почв имеют допустимый уровень загрязнения, однако на отдельных территориях (арктические почвы п. Пирамида и тундровые неглеевые почвы м. Белый Нос) выявлен опасный уровень. Основными поллютантами региона являются свинец, цинк, кобальт и марганец. Определено, что содержание металлов в почвах Арктики зависит от физико-химических показателей почв (pH, гранулометрический состав, содержание органического вещества).

Несмотря на существенные значения суммарного показателя загрязнения по валовому содержанию элементов, мобильность, и соответственно, биодоступность их не велика, что подтверждается допустимой степенью загрязнения относительно подвижных форм и высокими значениями коэффициента защитных свойств исследованных почв.

Работа выполнена при финансовой поддержке Правительства РФ в соответствии с постановлением №220 от 09.04.2010 (договор №14.Y26.31.0009 от 14.03.2017).

REFERENCES

1. **Locas E., Zaborskaya A., Kolicka M., Rozycki M., Zawierucha K.** Accumulation of atmospheric radionuclides and heavy metals in cryoconite holes on an Arctic glacier. *Chemosphere*. 2016. N 160. P. 162-72. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2016.06.051.
2. **Halbach K., Mikkelsen O., Berg T., Steinnes E.** The presence of mercury and other trace metals in surface soils in the Norwegian Arctic. *Chemosphere*. 2017. N 188. P. 567-574. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2017.09.012.
3. **Allen-Gil S.M., Ford J., Lasorsa B.K., Monetti M., Vlasova T., Landers D.H.** Heavy metal contamination in the Taimyr Peninsula. *Sib. Arct. Sci. Total Environ*. 2003. 301. P. 119-138. DOI 10.1016/S0048-9697(02)00295-4.
4. **Gulińska J., Rachlewicz G., Szczuciński W., Baralkiewicz D., Kózka M., Bulska E., Burzyk M.** Soil contamination in high Arctic areas of human impact, Central Spitsbergen, Svalbard. *Polish J. Environ. Stud.* 2003. N 12 (6). P. 701-707.
5. **Agbalyan E.** Condition of the environment in the Arctic. *Usp. Sovrem. Estesstv.* 2011. N 4. P. 74-76 (in Russian).
6. **Evseev A.V., Krasovskaya T.M.** Toxic metals in soils of the Russian North. *J. Geochem. Explor.* 2017. P. 128-131. DOI: 10.1016%2Fj.gexplo.2015.05.018.
7. **Nikitina M., Popova L., Korobicina J., Efremova O., Trofimova A., Nakvasina E., Volkov A.** Environmental Status of the Arctic Soils. *J. Elem.* 2015. N 20(3). P. 643-651. DOI: 10.5601/jelem.2014.19.4.743.

8. Душкова Д.О., Евсеев А.В. Анализ техногенного воздействия на геосистемы Европейского Севера России. *Арктика и Север*. 2011. № 4. С. 1-32.
9. Шевченко В.П. Роль аэрозолей в загрязнении морей и океанов тяжелыми металлами и климатических изменениях. *Научн. альманах*. 2016. № 12-2 (26). С. 394-404. DOI: 10.17117/na.2016.12.02.394.
10. Kozak K., Polkowska Z., Stachnik L., Luks B., Chmiel S., Ruman M., Lech D., Koziol K., Tsakovski S., Simeonov V. Arctic catchment as a sensitive indicator of the environmental changes: distribution and migration of metals (Svalbard). *Int. J. Environ. Sci. Technol.* 2016. 13. P. 2779. DOI 10.1007/s13762-016-1137-6.
11. Antcibor I., Eschenbach A., Zubrzycki S., Kutzbach L., Bolshiyarov D., Pfeiffer E.-M. Trace metal distribution in pristine permafrost-affected soils of the Lena River delta and its hinterland, northern Siberia, Russia. *Biogeosciences*. 2014. N 11. P. 1-15. DOI: 10.5194/bg-11-1-2014.
12. Вишнева Ю.С., Попова Л.Ф. Оценка экологического состояния и степени загрязнения тяжелыми металлами почв Арктики. *Вестн. Москов. гос. обл. ун-та. Сер.: Естествен. науки*. 2016. № 2. С. 96-104. DOI: 10.18384/2310-7189-2016-2-96-104.
13. Чашин М.В., Барнес Е., Даер Р.С., Захарова Н.В., Ручина И.Л., Зибарев Е.В., Кузьмин А.В., Корбукова К.В., Абрюткина Л.И. Оценка значения стойких токсических веществ в накопленном экологическом ущербе для Арктики. *Экология человека*. 2009. № 2. С. 8-12.
14. Кожевников А.Ю., Варакин Е.А., Майоров И.С., Кузнецова И.А., Ларионов Н.С. Экологический мониторинг загрязнения свинцом морей Арктической зоны РФ при помощи экспериментального аппаратно-программного комплекса. *Arctic Environ. Res.* 2017. V. 17. N 2. P. 71-78. DOI: 10.17238/issn2541-8416.2017.17.2.71.
15. Дударев А.А., Одланд Й.О. Здоровье человека в связи с загрязнением Арктики – результаты и перспективы международных исследований под эгидой АМАП. *Экология человека*. 2017. № 9. С. 3-14.
16. IUSS Working Group WRB. 2014. World Reference Base for Soil Resources 2014. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports, Rome. № 106. P. 191.
17. Vodyanitskii Yu.N. Standards for the contents of heavy metals in soils of some states. *Ann. Agrar. Sci.* 2016. N 14. P. 257-263. DOI: 10.1016/j.aasci.2016.08.011.
18. Попова Л.Ф., Наквасина Е.Н. Нормирование качества городских почв и организация почвенно-химического мониторинга. Архангельск: Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова. 2014. С. 108. <https://narfu.ru/university/library/books/1083.pdf>.
19. Krapivin V., Phillips G. Application of a global model to the study of Arctic basin pollution: radionuclides, heavy metals and oil hydrocarbons. *Environ. Model. Software*. 2001. 16(1). P. 1-17. DOI:10.1016/S1364-8152(00)00031-1.
20. Луккин Ю.Ф. «Горячие точки» Российской Арктики. *Арктика и Север*. 2013. № 11. С. 1- 35.
8. Dushkova D., Evseev A. Analysis of technogenic impact on geosystems of the European Russian North. *Arktika Sever*. 2011. N 4. P. 1-32 (in Russian).
9. Shevchenko V. The role of aerosols in pollution of seas and oceans by heavy metals and in climate change. *Nauch. Almanakh*. 2016. № 12-2 (26). P. 394-404 (in Russian). DOI: 10.17117/na.2016.12.02.394.
10. Kozak K., Polkowska Z., Stachnik L., Luks B., Chmiel S., Ruman M., Lech D., Koziol K., Tsakovski S., Simeonov V. Arctic catchment as a sensitive indicator of the environmental changes: distribution and migration of metals (Svalbard). *Int. J. Environ. Sci. Technol.* 2016. 13. P. 2779. DOI 10.1007/s13762-016-1137-6.
11. Antcibor I., Eschenbach A., Zubrzycki S., Kutzbach L., Bolshiyarov D., Pfeiffer E.-M. Trace metal distribution in pristine permafrost-affected soils of the Lena River delta and its hinterland, northern Siberia, Russia. *Biogeosciences*. 2014. N 11. P. 1-15. DOI: 10.5194/bg-11-1-2014.
12. Vishnevaya Yu.S., Popova L.F. Assessment of the environmental status and degree of pollution of Arctic soils by heavy metals. *Vest. Mosk. Gos. Obl. Un-ta. Ser. Estesstv. Nauki*. 2016. N 2. P. 96-104 (in Russian). DOI: 10.18384/2310-7189-2016-2-96-104.
13. Chashchin M., Barnes E., Daer R., Zakharova N., Ruchina I., Zibarev E.V., Kuzmin A.V., Korbukova K.V., Abruytina L.I. Assessment of resistant toxic substances importance in accumulated environmental damage for Arctic Region. *Ekol. Cheloveka*. 2009. № 2. P. 8-12 (in Russian).
14. Kozhevnikov A.Yu., Varakin E.A., Mayorov I.S., Kuznetsova I.A., Larionov N. S. Ecological monitoring of sea lead contamination in the Russian Arctic Zone by the experimental hardware and software complex. *Arctic Environmental Research*. 2017. 17. N 2. P. 71-78 (in Russian). DOI: 10.17238/issn2541-8416.2017.17.2.71.
15. Dudarev A., Odland J.O. Human health in connection with Arctic pollution - results and perspectives of international studies under the aegis of AMAP. *Ekol. Cheloveka*. 2017. 9. P. 3-14 (in Russian).
16. IUSS Working Group WRB. 2014. World Reference Base for Soil Resources 2014. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports, Rome. № 106. P. 191.
17. Vodyanitskii Yu.N. Standards for the contents of heavy metals in soils of some states. *Ann. Agrar. Sci.* 2016. N 14. P. 257-263. DOI: 10.1016/j.aasci.2016.08.011.
18. Popova L.F., Nakvasina E.N. Rationing of urban soils quality and soil-chemical monitoring organization. Arkhangel'sk: Severnyi Federal. Un-t. 2014. P. 108 (in Russian). <https://narfu.ru/university/library/books/1083.pdf>.
19. Krapivin V., Phillips G. Application of a global model to the study of Arctic basin pollution: radionuclides, heavy metals and oil hydrocarbons. *Environ. Model. Software*. 2001. 16(1). P. 1-17. DOI:10.1016/S1364-8152(00)00031-1.
20. Lukin Yu. F. Trouble spots of the Russian Arctic. *Arktika Sever*. 2013. №11. С. 1- 35 (in Russian).

Поступила в редакцию 04.06.2018

Принята к опубликованию 03.12.2018

Received 04.06.2018

Accepted 03.12.2018