

Гигиена окружающей среды и населённых мест

© КОЛЛЕКТИВ АВТОРОВ, 2017

УДК 614.77(571.1)

Алексеев И.И.¹, Динкелакер Н.В.², Орипова А.А.², Семьина Г.А.², Морозов А.А.², Абакумов Е.В.¹

ОЦЕНКА ЭКОТОКСИЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОЧВ ПОЛЯРНОГО УРАЛА И ЮЖНОГО ЯМАЛА

¹ ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет», 199034, Санкт-Петербург;² ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики», 197101, Санкт-Петербург

Нарастающие темпы антропогенного воздействия на природные и городские экосистемы Арктики требуют проведения детального мониторинга состояния природной среды региона. В связи с этим следует уделить внимание исследованию фоновых концентраций приоритетных неорганических токсикантов в почвах. Цель данной работы заключается в оценке фоновых содержания тяжелых металлов в природных почвах Полярного Урала (окрестности горы Черная), окрестностей города Салехард и предгорий Полярного Урала, а также в почвах населенных пунктов (пос. Харсаим, Аксарка, города Лабитнанги, Харп и Салехард). Было установлено, что по некоторым элементам (As, Ni, Co) практически во всех проанализированных образцах (как природных, так и городских) уровни ПДК превышены. Это может свидетельствовать о высоких фоновых концентрациях вышеперечисленных элементов в почвах данного региона, особенно в случае природных почв. При этом стоит отметить, что наиболее значительные превышения уровней ПДК отмечаются в почвенных образцах, отобранных в населенных пунктах. Концентрации остальных элементов, определяемых в ходе исследования (Cu, Zn, Pb, Sr), превышают уровни ПДК и ОДК лишь в некоторых случаях. Максимальные концентрации тяжелых металлов в условиях городских ландшафтов отмечены, в основном, в местах сосредоточения локальных факторов усиленного антропогенного воздействия (например, хромоперерабатывающий завод в пос. Харп). В свою очередь, максимальные концентрации тяжелых металлов в почвах природных ландшафтов могут быть связаны с тремя факторами: 1. торфяными горизонтами; 2. глеевыми и мерзлотными геохимическими барьерами; 3. горизонтами тяжелого гранулометрического состава. Также были обсуждены вопросы поведения тяжелых металлов и других приоритетных неорганических токсикантов в условиях изменяющегося климата Арктического региона и деградации многолетней мерзлоты.

Ключевые слова: тяжелые металлы; Ямал; городские и природные ландшафты.

Для цитирования: Алексеев И.И., Динкелакер Н.В., Орипова А.А., Семьина Г.А., Морозов А.А., Абакумов Е.В. Оценка экотоксикологического состояния почв Полярного Урала и Южного Ямала. *Гигиена и санитария*. 2017; 96(10): 941-945. DOI: <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2017-96-10-941-945>

Для корреспонденции: Алексеев Иван Ильич, магистрант, магистерская программа «Полярные и морские исследования», Санкт-Петербургский государственный университет, 199034, Санкт-Петербург. E-mail: alekseevivan95@gmail.com

Alekseev I.I.¹, Dinkelaker N.V.², Oripova A.A.², Semyina G.A.², Morozov A.A.², Abakumov E.V.¹

ASSESSMENT OF ECOTOXICOLOGICAL STATE OF SOILS OF THE POLAR URAL AND SOUTHERN YAMAL

¹Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, 199034, Russian Federation;²Saint Petersburg Institute of Fine Mechanics and Optics, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation

Increasing rates of anthropogenic forcing on natural and urban ecosystems in the Arctic requires the development of more detailed environmental monitoring. In this context, studying of contents of background trace elements seems to be actual goal. The goal of this study is an assessment of the content of background heavy metals in natural soils of the Polar Urals (surroundings of mountain Chyornaya), surroundings of Salekhard and foothills of the Polar Urals and urban soils (Kharsaim, Aksarka, Labytnangi, Kharp, Salekhard). Levels of maximum permissible concentrations (MPCs) were established to be exceeded by some elements (As, Ni, Co) in most of soil samples (from both urban and natural environments). It can indicate to high regional background contents for these elements especially in case of natural soils. The highest exceedance of MPCs is typical for soil samples from urban environments. For other studied trace elements (Cu, Zn, Pb, Sr) MPCs are exceeded only in few cases. The highest trace elements content in urban soils is connected with sites with significantly high rates of anthropogenic forcing (chrome-processing factory in Kharp). The highest trace elements content for natural soils can be connected with three soil profile zones: peat-like horizons, stagnic and cryogenic geochemical barriers, and soil horizons with clay texture class. Moreover, we discussed problems of trace elements behavior in conditions of changing climate of the Arctic and permafrost degradation.

Key words: heavy metals; Yamal; urban and natural environments

For citation: Alekseev I.I., Dinkelaker N.V., Oripova A.A., Semyina G.A., Morozov A.A., Abakumov E.V. Assessment of ecotoxicological state of soils of the Polar Ural and Southern Yamal. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)* 2017; 96(10): 941-945. (In Russ.). DOI: <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2017-96-10-941-945>

For correspondence: Ivan I. Alekseev, MD, student in the master's programme, Master Program for Polar and Marine sciences (POMOR), Saint Petersburg Institute of Fine Mechanics and Optics, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation. E-mail: alekseevivan95@gmail.com

Information about authors:

Alekseev I.I., <http://orcid.org/0000-0002-0512-3849>; Dinkelaker N.V., <http://orcid.org/0000-0002-1821-0044>;

Oripova A.A., <http://orcid.org/0000-0003-0570-5096>; Semyina G.A., <http://orcid.org/0000-0001-9004-0441>;

Abakumov E.V., <http://orcid.org/0000-0002-5248-9018>; Morozov A.A., <http://orcid.org/0000-0002-5970-4606>.

Conflict of interest: The authors declare no conflict of interest.

Acknowledgment: This study was supported by the Russian Foundation for Basic Research (grant 16-34-60010), a grant from the President of the Russian Federation for young doctors of sciences (grant MD-3615.2015.4), the government of the Yamalo-Nenets Autonomous District and the Arktika International Medical Center.

Received: 09 March 2017

Accepted: 05 July 2017

Введение

Почвенный покров полярных регионов изучен недостаточно. В частности, не до конца исследованы вопросы генезиса полярных почв и их классификационного положения. В связи с этим существуют пробелы и разногласия в интерпретации почвенно-географических данных полярных областей [1]. В то же время почвы являются важным элементом функционирования полярных биомов. Функциональные характеристики почвенного покрова во многом определяют геохимические особенности полярных ландшафтов [2].

Одной из приоритетных задач для российской экономики на ближайшие десятилетия является проблема развития арктических территорий. Ямальский регион при этом выступает одним из главнейших, так как обладает значительными запасами углеводородов и рудных полезных ископаемых. Нарастающие темпы антропогенного воздействия на природные и городские экосистемы этого региона требуют изучения причин, механизмов и последствий таких воздействий. В связи с этим, актуальной является задача по исследованию фоновых концентраций приоритетных неорганических токсикантов в почвах.

Почвенный покров арктических регионов отличается существенным влиянием многолетней мерзлоты на процессы почвообразования. Процессы криогенного массообмена и надмерзлотной аккумуляции вещества, которые связаны как раз с влиянием многолетней мерзлоты, отражаются на специфическом характере вертикального профильного распределения компонентов загрязнения в почвах [3].

В свою очередь, почвы мерзлотных ландшафтов отличаются от немерзлотных аналогов усложненным характером вертикального распределения элементов, в том числе и приоритетных неорганических токсикантов.

Тяжелые металлы, с одной стороны, содержатся в природных условиях в почвообразующих породах и почвах (в формах сульфидов, оксидов, силикатов и карбонатов). С другой стороны, тяжелые металлы рассматриваются в настоящее время как основная группа веществ, связанных с загрязнением почв антропогенного генезиса [4]. Исследования, проведенные ранее, показали, что тяжелые металлы могут достигать Арктического региона с помощью

различных путей и механизмов как антропогенного, так и природного происхождения [5, 6, 7].

Металлургическая и энергетическая отрасли обычно связаны с поступлением в природную среду кислотообразующих субстанций. Эти субстанции могут быть транспортированы на большие расстояния и могут способствовать выщелачиванию таких лабильных элементов, как алюминий, кадмий и цинк [8]. Западносибирский сектор Российской Арктики в настоящее время активно развивается в связи с интенсификацией разведки и добычи полезных ископаемых. Проблемы, связанные с восстановлением естественного состояния природной среды и экологического менеджмента, уже наиболее остро встали на Ямале, Тазовском полуострове и юго-востоке Гыданского полуострова [9].

Химическое загрязнение тундровых ландшафтов тяжелыми металлами и углеводородами в ходе промышленного освоения недр представляет угрозу для существования животного и растительного мира арктического региона, а также приводит к снижению качества и уровня жизни в населенных пунктах Арктики. Отдельной проблемой является отсутствие нормативных документов, регулирующих допустимые концентрации таких элементов в почвах Арктики и учитывающих специфику почвообразования в данном регионе. Поэтому помимо оценки поведения в почве самих токсикантов важным представляется вопрос изучения геохимии мерзлотных ландшафтов (геохимических барьеров). Оно позволит выявить тренды в накоплении опасных химических элементов в почвенно-мерзлотной толще, а также разработать адаптированную под природные условия арктического региона нормативно-правовую базу, регулиующую уровни допустимого содержания химических элементов в почвах и грунтах. Стоит отметить, что ранее район настоящего исследования практически не изучался на предмет фоновых концентраций химических элементов в почвах. Поэтому проблема установления фоновых концентраций химических элементов в почвах является актуальной и нерешенной для всего Арктического региона России. Проблема фоновых концентраций в почвах и экотоксикологического состояния почв Ямальского региона изучалась ранее лишь некоторыми авторами [2, 10, 11]. Данные по мощности ак-

Таблица 1

Общая информация об участках исследования

Участок	Географические координаты	Функциональная зона/Природный ландшафт	Название почв согласно WRB (2014); «Классификации почв России» (2008)
<i>Антропогенные ландшафты</i>			
Аксарка	N 66°33' 54,3'' E 67°48' 04,8''	Рекреационная функциональная зона	Urbic Technosols; Урбанозём
Харсаим	N 66°35' 54,7'' E 67°18' 34,2''	Рекреационная функциональная зона	Urbic Technosols; Урбанозём
Салехард	N 66°33' 31,9'' E 66°34' 07,2''	Рекреационная функциональная зона	Urbic Technosols; Урбанозём
Лабитнанги	N 66°40' 01,1'' E 66°20' 59,6''	Индустриальная функциональная зона	Urbic Technosols; Технозём
Харп	N 66°48' 34,0'' E 65°47' 08,0''	Индустриальная функциональная зона	Urbic Technosols; Технозём
<i>Природные ландшафты</i>			
Окрестности Салехарда	N 66°32' 58,5'' E 66°47' 34,7''	Участок лесотундры, относительно выровненный и заболоченный участок	Histic Podsol/Histosol; Торфяно-подзол/ Олиготрофная торфяная почва
Предгорья Полярного Урала	N 67°26' 39,3'' E 67°22' 35,7''	Участок лесотундры; склон южной экспозиции, относительно крутой	Stagnic Cryosol/Entic Podsol; Глеезём типичный/Подбур глеевый
Полярный Урал (гора Черная)	N 66°33' 51,9'' E 66°34' 07,2''	Заболоченная равнина между горой Черная и Кердамон-Шор, обилие коллювиального материала	Typic Cryosol/Histic Gleysol; Криозём типичный/Торфяно-глеезём

тивного слоя и некоторым физико-химическим свойствам изученных почв изложены авторами ранее [12, 13].

Целью этой работы была оценка фоновое содержания тяжелых металлов и экотоксикологического состояния почвенного покрова в пределах ключевых участков района исследования.

Материал и методы

Данное исследование было проведено в Ямало-Ненецком автономном округе. Район исследования включает несколько ключевых участков как в относительно нарушенных природных ландшафтах Полярного Урала (в окрестности горы Черная), в окрестностях города Салехард, предгорий Полярного Урала (в районе реки Халыталбей), а также в антропогенных ландшафтах населенных пунктов (пос. Харсаим, Аксарка, города Лабытнанги, Харп, Салехард) (см. рисунок на 3-й стр. обложки, табл. 1).

Диагностика почв была выполнена согласно мировой коррелятивной базе почвенных ресурсов – WRB и «Классификации и диагностики почв России» [14, 15].

Определение содержания кислоторастворимых форм тяжелых металлов в почвах проведено в соответствии с метрологически аттестованной методикой (ПНД Ф 16.1:2.3:3.11–98), основанной на определении ионов металлов на атомно-эмиссионном спектрометре с индуктивно-связанной аргонной плазмой (Spectro Ciros, Германия [16]. В дальнейшем полученные значения по тяжелым металлам сопоставлялись с имеющимися ориентировочно-допустимыми концентрациями (ОДК) и предельно-допустимыми концентрациями (ПДК), указанными в ГН 2.1.7.2511–09, ГН 2.1.7.2041–06 и СанПиН 42-128-4433–87 [17, 18, 19].

Также стоит отметить, что адекватная оценка поведения приоритетных неорганических токсикантов в почвах криогенных ландшафтов затруднена в связи с отсутствием единого подхода к отбору анализируемых образцов. В нашем исследовании мы совместили два подхода. Первый, установленный в СанПиН 42-128-4433–87, предполагает сбор почвенных образцов с глубин 0–5 и 5–20 см и был применен для городских почв. Второй подход профильный и предусматривает сбор образцов со всех почвенных горизонтов и представляется более предпочтительным при изучении поведения химических элементов в почвах криогенных ландшафтов, где вертикальные профили их распределения сильно осложнены в связи с мерзлотными процессами в почве.

Этот подход был применен авторами этой статьи при сборе материала в природных ландшафтах.

Для определения фоновых концентраций большинства тяжелых металлов были взяты данные по природным почвам острова Белый, полученные ранее В.М. Томашунасом и Е.В. Абакумовым, а также Д.В. Московченко, для определения цинка [2, 20]. Для определения фоновой концентрации по свинцу было взято кларковое содержание этого элемента в земной коре. В ходе нашего исследования было изучено 48 индивидуальных проб из 17 почвенных профилей.

Результаты и обсуждение

В ходе исследований было установлено, что по некоторым элементам практически во всех проанализированных образцах (как природных, так и городских) наблюдается превышение уровней ПДК (табл. 2). К этим элементам относятся мышьяк (As), никель (Ni) и кобальт (Co). Это может свидетельствовать о высоких фоновых концентрациях этих элементов в почвах вышеуказанного региона, особенно в случае природных почв, что хорошо согласо-

уется с данными, полученными ранее В.М. Томашунасом и Е.В. Абакумовым [2]. При этом стоит отметить, что наиболее значительные превышения уровней ПДК отмечаются в почвенных пробах, отобранных в населенных пунктах. Концентрации остальных элементов, определяемых в ходе исследования (Cu, Zn, Pb, Sr), превышают уровни ПДК и ОДК лишь в некоторых случаях (см. табл. 2). Далее будут подробнее рассмотрены особенности профильного содержания тяжелых металлов в городских и природных почвах.

Почвы городских экосистем

Результаты по валовому содержанию тяжелых металлов в городских почвах представлены в табл. 2. Наиболее высокие значения концентраций тяжелых металлов по меди (Cu), цинку (Zn) и никелю (Ni) в городских почвах пос. Харп могут быть обусловлены функционированием в поселке хромоперерабатывающего завода. Наиболее высокие средние значения содержания по свинцу (Pb) были идентифицированы в пробах из пос. Аксарка и г. Лабытнанги. Пробы из пос. Харсаим и Харп характеризуются наиболее высокими средними значениями содержания по цинку. Это может быть объяснено высокой фоновой концентрацией данного элемента [20].

Почвы естественных экосистем

Результаты по валовому содержанию тяжелых металлов в природных почвах представлены в табл. 2. Стоит отметить, что анализ этих данных показал слабую элювиально-иллювиальную дифференциацию почвенных профилей, что было показано и в предыдущих работах [20, 21]. Среди процессов, наиболее сильно влияющих на аккумуляцию и перераспределение вещества в изученных почвах, стоит выделить торфообразование, торфонакопление, образование горизонтов погребенного торфяного (или гумусового материала), а также иллювиование железа и алюминия. Торф играет роль сильного сорбента микроэлементов. Поэтому наиболее высокие концентрации элементов в изученных природных почвах связаны с торфяными горизонтами. Высокие значения содержания тяжелых металлов в изученных почвах также характерны для глубин, где образуются мерзлотные или глеевые геохимические барьеры. Так, в торфяно-глееземе суглинистом на многолетнемерзлых суглинках (M23, участок «Полярный Урал») наибольшие значения по многим элементам наблюдаются в глеевом горизонте (10–20 см) (см. табл. 2). Другая возможная причина в формировании условий для повышенного накопления элементов в изученных почвах связана с тяжелыми по гранулометрическому составу горизонтами (преобладание глинистой фракции). Однако пики в содержании тяжелых металлов, обусловленные этой причиной, были описаны лишь в глееземе, типичном в средней части профиля (M9, участок «Предгорья Полярного Урала») и выражены лишь в нижней части профиля (на глубинах 30–45 см).

Данные об экотоксикологическом состоянии почв Арктики на сегодняшний день как количественно, так и качественно ограничены, поэтому их следует признать недостаточными. Более того, оценка антропогенного воздействия на экосистемы Арктики требует не только знания фоновых концентраций тяжелых металлов и других приоритетных неорганических токсикантов, но и знания ландшафтного распределения этих элементов в криогенных почвах в контексте почвенных характеристик [4].

Максимальные концентрации тяжелых металлов в изученных природных почвах были идентифицированы в торфяных горизонтах, а также в зонах мерзлотных и глеевых геохимических барьеров, что хорошо коррелирует с ранее полученными результатами по Арктическому региону [4, 8, 20]. Поэтому авторы статьи предполагают, что предска-

Содержание валовых форм элементов, в том числе тяжёлых металлов в изученных почвах (в мг кг⁻¹)

ID почвы и глубины почвенного горизонта, см	Sr	Pb	As	Zn	Cu	Ni	Co	MnO	Cr	V	Fe ₂ O ₃ , %
<i>Городские почвы</i>											
Г1 0–5	182	23	10	234	17	23	6	599	80	79	25,3
Г2 5–20	227	20	9	38	27	29	13	538	127	95	35,7
Г3 0–5	167	2	7	19	10	11	5	339	93	55	14,4
Г3 5–20	162	20	6	12	0	10	2	87	49	4	6,5
Г4 0–5	190	17	8	21	17	19	6	262	102	49	18,6
Г4 5–20	191	22	7	33	11	27	10	392	104	84	32,1
Г7 0–5	175	19	9	40	6	20	8	419	91	84	32,9
Г7 5–20	168	13	9	42	0	23	9	497	103	91	35,5
Г8 0–5	173	7	9	32	3	19	11	499	106	87	27,6
Г8 5–20	166	12	7	41	4	23	9	649	101	71	29,2
Г9 0–5	297	14	6	105	105	98	20	1520	152	139	77
Г9 5–20	385	8	4	92	121	37	27	1745	77	143	84,4
Г10 0–5	372	5	5	90	99	42	25	1886	121	129	81,5
Г10 5–20	363	13	4	90	142	52	18	1799	108	136	80,7
Г12 0–5	178	23	9	54	0	29	10	557	95	91	39
Г13 0–5	179	9	8	33	13	23	5	402	108	98	34,3
Г13 5–20	180	8	8	35	25	25	10	449	119	100	37,1
<i>Природные почвы</i>											
М3 8–10	119	13	8	20	0	16	4	179	98	67	18,5
М3 10–18	135	13	7	10	0	5	1	86	52	21	5,3
М3 20–30	111	11	6	16	0	14	3	206	166	38	17,3
М3 30–45	144	22	7	18	22	13	2	198	65	47	24
М3 45–55	144	7	9	24	25	15	5	289	147	44	29,1
М3 55–65	147	9	8	17	9	16	2	235	99	40	14,9
М5 0–4	65	8	7	59	0	30	11	157	65	2	9,3
М5 10–20	78	7	8	28	0	41	15	161	116	48	29,7
М5 ММП	119	8	9	27,6	33	7,85	1,85	92,5	52	52	500
М9 0–5	172	11	8	46	0	60	19	1028	148	93	41,9
М9 7–20	156	16	6	40	42	115	27	1851	228	96	57,9
М9 20–30	172	10	6	43	32	91	33	1255	168	115	49,1
М9 30–34	165	9	6	40	50	142	25	1145	230	110	56,1
М9 40–50	177	13	7	46	39	158	33	1813	187	107	52,3
М9 48–52	205	18	6	46	47	120	15	789	228	105	49,7
М10 0–10	151	15	9	60	0	107	24	831	219	124	54,9
М10 10–18	182	21	8	45	51	70	23	634	149	119	49,9
М10 20–40	195	11	8	48	82	120	34	1409	155	123	51,8
М20 0–1	248	18	5	63	99	170	32	1222	251	132	68,1
М20 1–10	254	16	5	74	126	260	35	1859	267	156	77,1
М20 10–25	271	6	6	81	137	244	29	1430	349	163	83,6
М20 25–35	262	7	6	70	112	243	32	1318	279	143	74,2
М20 60–70	224	9	7	67	116	223	34	1447	345	142	71,8
М23 0–1,5	69	15	7	114	0	1263	87	2226	1059	46	68,6
М23 1,5–10	133	2	6	65	39	1278	92	1075	1270	66	83,2
М23 10–20	88	10	5	66	70	1491	101	1214	1576	81	87,1
М23 20–29	84	6	4	63	80	1701	105	1202	1666	68	83
М23 30–45	86	7	6	83	62	1392	109	1321	2108	81	84,4
М23 45–60	84	0	4	52	75	1666	101	1643	1225	71	79,5
М23 45–60	83	0	4	52	78	1682	101	1623	1096	72	79
М23 61–68	77	17	4	51	71	1706	108	1655	1299	55	78,9
ПДК	–	32	2	–	–	–	5	1500	6	150	–
ОДК	–	–	–	55	33	20	–	–	–	–	–

занное потепление климата, таяние многолетней мерзлоты приведет к ускорению биогеохимических циклов в этом важнейшем регионе с точки зрения глобальных климатических изменений. Деградация многолетней мерзлоты в связи с этим может привести к изменению поведения приоритетных неорганических токсикантов в почвах, изменения скорость аккумуляции, трансформации, перераспределения и выщелачивания этих элементов в криогенных ландшафтах. Деградация многолетней мерзлоты также приведет к увеличению мощности активного слоя и, соответственно, понижению уровня мерзлотного геохимического барьера. Это поспособствует, с одной стороны, менее выраженному влиянию криотурбационных процессов на почвообразование и на профильное распределение элементов в почве. С другой стороны, в связи с возможным усилением эмиссии парниковых газов (CO_2 , CH_4) из почвы поведение тяжелых металлов в почвенной толще будет существенно изменено, т. к. большинство тяжелых металлов связано в органо-минеральные соединения.

Заключение

Анализ полученных данных выявил значительные различия в профильном распределении тяжелых металлов в городских и природных почвах в условиях многолетней мерзлоты. Распределение тяжелых металлов по профилю как городских, так и природных почв обусловлено одной группой факторов – криотурбационными процессами. Однако антропогенное влияние на почвы в условиях городских ландшафтов выражено гораздо сильнее, что приводит к еще большему осложнению структуры почвенного покрова и распределению элементов по профилю почв.

Причиной максимальных концентраций тяжелых металлов в условиях городских ландшафтов являются повышенные фоновые значения по конкретным элементам либо локальные факторы усиленного антропогенного воздействия (хромперерабатывающий завод «Конгор-Хром» в пос. Харп). Максимальные концентрации тяжелых металлов в почвах природных ландшафтов отмечены в трёх зонах в почвенном профиле: торфяные горизонты, глеевые и мерзлотные геохимические барьеры и горизонты тяжелого гранулометрического состава.

Полученные данные хорошо коррелируют с изложенными ранее для Арктического региона [2, 4, 8, 20]. Изученные природные ландшафты могут в дальнейшем стать референс-ландшафтами для более детального изучения поведения экотоксикологического состояния почвенного покрова Арктики в условиях изменяющейся окружающей среды. Содержание тяжелых металлов, изложенные в работе, могут быть использованы для определения фоновых концентраций этих элементов на Севере Западной Сибири в связи с ограниченностью имеющихся на сегодняшний день данных. Поэтому актуальной представляется задача корректировки имеющегося подхода к отбору почвенных образцов для целей более адекватной оценки экотоксикологического состояния почвенного покрова Арктического региона.

Финансирование. Исследование поддержано РФФИ (грант 16-34-60010), грантом Президента РФ для молодых докторов наук (грант МД-3615.2015.4), правительством Ямало-Ненецкого Автономного округа и МЭЦ «Арктика».

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Литература (п.п. 4–8, 11, 13, 14 см. References)

1. Горячкин С.В. *Почвенный покров Севера (структура, генезис, экология, эволюция)*. М.: ГЕОС, 2010.
2. Томашунас В.М., Абакумов Е.В. Содержание тяжелых металлов в почвах полуострова Ямал и острова Белый. *Гигиена и санитария*. 2014, 93(6): 26–5.
3. Водяницкий Ю.Н. *Тяжелые металлы и металлоиды в почвах*. М.:

- Почвенный институт им. В.В. Докучаева РАСХН; 1998.
9. Ребриская О.В., Хитун О.В. Восстановительный потенциал флоры Ямала. В кн.: *Освоение Севера и проблемы рекультивации. Тезисы докладов на 3-й Международной конференции*. Сыктывкар: 1997: 100–5.
10. Алексеев И.И., Абакумов Е.В., Шамилишвили Г.А., Лодыгин Е.Д. Содержание тяжелых металлов и углеводородов в почвах населенных пунктов Ямало-Ненецкого автономного округа. *Гигиена и санитария*. 2016; 95(9): 818–21.
12. Алексеев И.И., Абакумов Е.В. Степень гумификации органического вещества почв южного Ямала и восточного макросклона Полярного Урала. *Живые и биокосные системы*. 2016; (16): 7.
15. Шнишов Л.Л., Тонконогов В.Д., Лебедева И.И., Герасимова М.И. *Классификация и диагностика почв России*. Смоленск: Ойкумена; 2004.
16. ПНД Ф 16.1.2.3.3.11–98. Количественный химический анализ почв. Методика выполнения измерений содержания металлов в твердых объектах методом спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой. М.; 1998.
17. ГН 2.1.7.2511–09. Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве. М.; 2009.
18. ГН 2.1.7.2041–06. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве. М.; 2006.
19. СанПиН 42-128-4433–87. Санитарные нормы допустимых концентраций химических веществ в почве. М.; 1987.
20. Москвиченко Д.В. *Геохимия ландшафтов севера Западно-Сибирской равнины: структурно-функциональная организация веществ геосистем и проблемы экодиагностики*: Автореф. дисс. ... д-ра геогр. наук. Санкт-Петербург; 2010.
21. Васильевская В.Д. *Почвообразование в тундрах Средней Сибири*. М.: Наука; 1980.

References

1. Goryachkin S.V. *Soil Cover of the North (Structure, Genesis, Ecology, Evolution) [Pochvennyy pokrov Severa (struktura, genezis, ekologiya, evolutsiya)]*. Moscow: GEOS; 2010. (in Russian)
2. Tomashunas V.M., Abakumov E.V. The content of heavy metals in the soils of the Yamal Peninsula and the White Island. *Gigiena i sanitariya*. 2014, 93(6): 26–5. (in Russian)
3. Vodyanitskiy Yu.N. *Heavy Metals and Metalloids in Soils [Tyazhelye metally i metalloidy v pochvakh]*. Moscow: Pochvennyy institut im. V.V. Dokuchayeva RASKhN; 1998. (in Russian)
4. 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; (11): 1–15.
5. Rahn K.A., Tomza U., Khodzher T.V. An event of long-range transport of Siberian aerosol to Tiksi, Russia. *J. Aerosol Sci.* 1997; (28 Suppl. 1): s465–6.
6. Rovinsky F., Pastuchov B., Bouyvolov Y., Burtseva L. Present day state of background pollution of the natural environment in the Russian Arctic in the region of the Ust-Lena Reserve. *Sci. Total Environ.* 1995; 160/161: 193–9.
7. Thomas D.J., Tracey B., Marshall H., Norstrom R.J. Arctic terrestrial ecosystem contamination. *Sci. Total Environ.* 1992; 122: 135–64.
8. Nikitina M., Popova L., Korobicina J., Efremova O., Trofimova A., Nakvasina E., et al. Environmental Status of the Arctic Soils. *J. Elem.* 2015; 20(3): 643–51.
9. Rebristaya O.V., Khitun O.V. The restoration potential of the Yamal flora. In: *The Development of the North and the Problems of Reclamation. Theses of reports at the 3rd International Conference [Osvoenie Severa i problemy rekultivatsii. Tезисы докладов на 3-й Mezhdunarodnoy konferentsii]*. Syktывkar; 1997: 100–5. (in Russian)
10. Alekseev I.I., Abakumov E.V., Shamilishvili G.A., Lodygin E.D. The content of heavy metals and hydrocarbons in the soils of settlements of the Yamal-Nenets Autonomous District. *Gigiena i sanitariya*. 2016; 95(9): 818–21. (in Russian)
11. Alekseev I., Abakumov E., Shamilishvili G. Heavy metals and hydrocarbons contents in soils of urban areas of Yamal autonomous region (Russia). In: *EGU General Assembly Conference Abstracts*. 2016; 18: 9114.
12. Alekseev I.I., Abakumov E.V. The degree of humification of organic matter in the soils of southern Yamal and the eastern macroslope of the Polar Urals. *Zhivye i biokosnye sistemy*. 2016; (16): 7. (in Russian)
13. Alekseev I., Kostecky J., Abakumov E. Vertical electrical resistivity sounding (VERS) of tundra and forest tundra soils of Yamal region. *Int. Agrophys.* 2017; 31(1): 1–8.
14. FAO World Reference Base for Soil Resources 2014. Rome; 2014.
15. Shishov L.L., Tonkonogov V.D., Lebedeva I.I., Gerasimova M.I. *Classification and Diagnostics of Soils in Russia [Klassifikatsiya i diagnostika pochv Rossii]*. Smolensk: Oykumena; 2004. (in Russian)
16. ПНД Ф 16.1.2.3.3.11–98. Quantitative chemical analysis of soils. Method for performing measurements of the metal content in solid objects by spectrometry with inductively coupled plasma. Moscow; 1998. (in Russian)
17. ГН 2.1.7.2511–09. Approximate permissible concentration (UDC) of chemicals in the soil. Moscow; 2009. (in Russian)
18. ГН 2.1.7.2041–06. The maximum permissible concentration (MPC) of chemicals in the soil. Moscow; 2006. (in Russian)
19. SanPiN 42-128-4433–87. Sanitary norms of permissible concentrations of chemicals in the soil. Moscow; 1987. (in Russian)
20. Moskvichenko D.V. *Geochemistry of landscapes of the north of the West Siberian Plain: structural and functional organization of matter of geosystems and problems of eco-diagnostics*: Diss. St. Petersburg; 2010. (in Russian)
21. Vasil'evskaya V.D. *Soil Formation in the Tundra of Central Siberia [Pochvoobrazovanie v tundrach Sredney Sibiri]*. Moscow: Nauka; 1980. (in Russian)

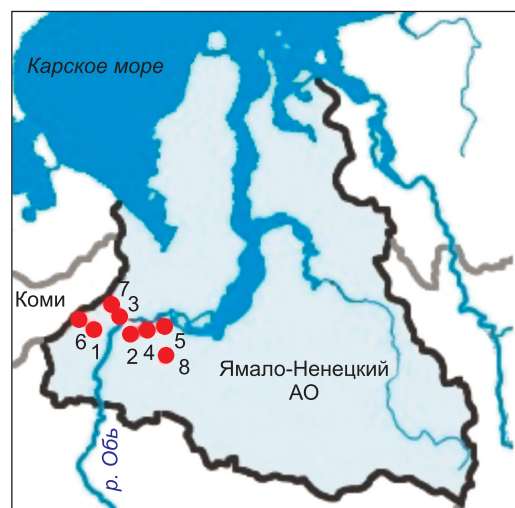
Поступила 09.03.17

Принята к печати 05.07.17

К ст. И. И. Алексеева и соавт.

Карта района исследований.

Антропогенные ландшафты: 1 – пос. Харп, 2 – г. Салехард, 3 – г. Лабытнанги, 4 – с. Аксарка, 5 – пос. Харсаим. Природные ландшафты: 6 – Полярный Урал, 7 – предгорья Полярного Урала, 8 – окрестности города Салехард.



К ст. Н. Н. Беляевой и соавт.



Рис. 1. Семенные каналцы при воздействии наносеребра в дозе 50 мг/кг.

Слева – нормальный семенной каналец, справа – каналец с разряженным семенным эпителием.

Окраска гематоксилин-эозином, увеличение 10 x 40.

Рис. 2. Тот же участок с увеличением 10 x 90.

