

## СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЁЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВАХ ГОРОДА МУРМАНСКА

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет», 199034, Санкт-Петербург

**Введение.** Проблема загрязнения почв городских экосистем криолитозоны является крайне важной для обеспечения устойчивого функционирования урбоэкосистем и формирования благоприятной окружающей природной среды на территориях населённых мест. В связи с этим актуализация информации об экотоксикологическом состоянии почв и почвенного покрова арктических городов является весьма востребованной. Города и урбанизированные территории Арктической зоны РФ в санитарно-гигиеническом отношении изучены крайне мало. Между тем гигиеническое состояние почв в условиях криолитозоны является критическим фактором для устойчивого функционирования криогенных экосистем.

**Материал и методы.** В сентябре 2015 г. было проведено исследование почв четырёх различных функциональных зон Мурманска. Было отобрано 18 почвенных проб в пределах различных функциональных зон этого города. Было установлено, что почвы Мурманска представлены стратифицированными вариантами альфегумусовых и урбиковых почв, а также частично осушённых и антропогенно-трансформированных торфяно-глеезёмов. В ходе лабораторных исследований определили содержание тяжёлых металлов (Cu, Pb, Cd, Zn, Ni, Mn).

**Результаты.** Установлено, что концентрации тяжёлых металлов в почвах Мурманска несколько ниже, чем в крупных городах России. Полученные значения по тяжёлым металлам сопоставляли с имеющимися ориентировочно-допустимыми концентрациями и предельно-допустимыми концентрациями, указанными в ГН 2.1.7.2511–09. Анализ данных по суммарному индексу загрязнения Zc показал, что для большинства проб суммарное загрязнение по степени опасности характеризуется как неопасное ( $Zc < 16$ ). Почвы городов Полярной зоны РФ должны быть исследованы в плане полихимического загрязнения подробнее, поскольку профильное распределение загрязняющих веществ изменяется в ходе криогенных процессов. Установлено, что почвы Мурманска являются слабо загрязнёнными, что, вероятно, связано с недолгой историей освоения территории, но при детальном обследовании почв наблюдаются локальные очаги со средней степенью загрязнения почв.

**Заключение.** Почвенный покров г. Мурманска в целом не представляет опасности с точки зрения санитарно-гигиенических рисков для населения.

Ключевые слова: тяжёлые металлы; почвы Мурманска; химическое загрязнение почвы.

**Для цитирования:** Петрова А.А., Абакумов Е.В. Содержание тяжёлых металлов в почвах города Мурманска. *Гигиена и санитария*. 2019; 98(5): 478-482. DOI: <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-5-478-482>

**Для корреспонденции:** Абакумов Евгений Васильевич, доктор биол. наук, профессор каф. прикладной экологии ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет», 199034, г. Санкт-Петербург. E-mail: e\_abakumov@mail.ru, e.abakumov@spbu.ru

**Финансирование.** Работа выполнена при поддержке гранта СПбГУ: «Урбанизированные экосистемы Арктического пояса Российской Федерации: динамика, состояние и устойчивое развитие», № 24135074.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила 16.05.2018

Принята к печати 18.10.18

Опубликована 06.2019

Petrova A.A., Abakumov E.V.

## CONTENT OF HEAVY METALS IN THE SOILS OF THE CITY OF MURMANSK

St. Petersburg State University, St. Petersburg, 199034, Russian Federation

**Introduction.** The problem of the soil contamination in urbanized ecosystems is considered and very important in the context of sustainable functioning of urboecosystems on the populated areas. In this context, the actualization in the information on the ecotoxicological state of soils and soil cover on the Arctic cities became more and more urgent. Cities and urbanized territories of the Russian Arctic zone are investigated in the context of sanitary and hygiene not in details. At the same time, hygienical state of soils in conditions of cryolithozone is the critical factor for sustainable functioning of the cryogenic ecosystems.

**Materials and methods.** In September 2015 a study was conducted with the soil of 4 different zones with different functional load in the city of Murmansk. Totally 18 soil samples have been taken in various functional zones. Soils of the Murmansk city were shown to be presented by stratified versions of AL-Fe-humus and urban soils, and slightly drained and anthropogenically-transformed histic Gleysols. Laboratory experiments include the determination of heavy metals (Cu, Pb, Cd, Zn, Ni, Mn) content.

**Results.** The concentration of heavy metals was established to be somewhat lower than in large cities of Russia. Subsequently, the obtained values of heavy metals were compared with the existing estimated allowable concentrations (EAC) and the maximum permissible concentration (MPC) set forth in ГН 2.1.7.2511-09. Analysis of the total pollution index Zc data showed the majority of the total sample contamination on the degree of danger to be characterized as dangerous ( $Zc < 16$ ). Soils of the cities of the polar zones of Russia were emphasized to be investigated more detailed because the profile distribution of the contaminants is altered by the cryogenic processes.

*Soils of the Murmansk city were established to be classified as low contaminated which is related to the recent history of anthropogenic impact, at the same time, under the detailed investigation the practice with the hot spot of contamination could be revealed.*

**Key words:** *heavy metals; Murmansk soils; chemical pollution of the soil.*

**For citation:** Petrova A.A., Abakumov E.V. Content of heavy metals in the soils of the city of Murmansk. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)* 2019; 98(5): 478-482. (In Russ.). DOI: <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-5-478-482>

**For correspondence:** *Evgeny V. Abakumov*, MD, Ph.D., Dsci., professor, Head of the Department of Applied Ecology of the Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, 199034, Russian Federation. E-mail: [e\\_abakumov@mail.ru](mailto:e_abakumov@mail.ru), [e.abakumov@spbu.ru](mailto:e.abakumov@spbu.ru)

**Information about the author:**

Petrova A.A., <http://orcid.org/0000-0003-4138-5560>; Abakumov E.V., <http://orcid.org/0000-0002-5248-9018>

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

*Acknowledgments.* This work was supported by a grant from St. Petersburg State University: "Urbanized Ecosystems of the Arctic Belt of the Russian Federation: Dynamics, State and Sustainable Development", No. 24135074.

Received: 16 May 2018

Accepted: 18 October 2018

Published 06.2019

## Введение

Современные крупные города являются местами формирования особых экосистем, в которых природные факторы существенно трансформированы под влиянием человека. В наибольшей степени различные аспекты проявления антропогенной деятельности испытывают почвы и почвенный покров [1].

Почвы городов существенно отличаются от природных почв, что связано как с механическим нарушением, так и с химической трансформацией под влиянием различных источников [2]. В городских условиях существенно трансформируется химическое состояние почв. Почвенный покров крупных городов отличается также и высокой контрастностью, неоднородностью из-за сложной истории развития города, перемешанности погребенных разновозрастных исторических почв и культурных слоев [3], что, безусловно, определяет сложную реакцию почвенного покрова на комплексное химическое загрязнение. Важное место в исследованиях урбанизированных территорий занимает изучение почвенного покрова. Загрязнение почв тяжёлыми металлами (ТМ) приобретает характер глобальной экологической проблемы из-за разнообразия техногенных источников, активного включения металлов в процессы биохимической миграции и их токсичности для живых организмов. В результате хозяйственной деятельности человека в окружающую среду поступает избыточное, по сравнению с природными уровнями, количество многих элементов, зачастую в соединениях и формах, не характерных для природной обстановки [4]. Изучение почв в пределах городских территорий – достаточно молодое направление в науке, но уже более ста лет назад основатель научного почвоведения В.В. Докучаев обратил внимание на необходимость исследований почв Санкт-Петербурга и других крупных городов России, в то время как маленькие города остаются неисследованными [5]. К настоящему времени почвенный покров полярных регионов остаётся практически не изученным. Почвы такого крупного заполярного города как Мурманск ранее не были исследованы, в связи с чем изучение антропогенной трансформации почвенного покрова в полярных условиях представляет особый интерес. Потенциальными источниками загрязнения почвенного покрова в пределах Мурманска как примера Европейского типа арктической агломерации, являются комплексное газопылевое загрязнение, а также горнодобывающая промышленность, цветная металлургия и судоремонтная деятельность. В значительной степени рассеиванию загрязняющих веществ в атмосферном воздухе Мурманской области способствует

активная циклональная деятельность с умеренными и сильными ветрами, однако по сравнению с другими городами области Мурманск является относительно слабозагрязнённым.

Цель исследования – изучение степени техногенного загрязнения почв тяжёлыми металлами на основании оценки их валового содержания в урбанизированных почвах города Мурманска.

## Материал и методы

Мурманская область является одним из самых урбанизированных регионов Кольского Севера. Наиболее развитыми отраслями промышленности в Мурманской области являются горнодобывающая, цветная металлургия, рыбная промышленность, судоремонт.

Исследование проводилось в сентябре 2015 г. в пределах Мурманска на территории четырёх различных функциональных зон [5, 6]: промышленной, жилой, неосвоенной городской территории и в парке (см. рисунок на 2-й стр. обложки). В ходе работы было изучено 18 почвенных проб. В ходе лабораторных исследований определяли содержание ТМ (Cu, Pb, Cd, Zn, Ni, Mn). В дальнейшем полученные значения по ТМ сопоставляли с имеющимися ориентировочно-допустимыми концентрациями (ОДК) и предельно-допустимыми концентрациями (ПДК), указанными в ГН 2.1.7.2511–09 [7], ГН 2.1.7.2041–06 [8] и СанПиН 42-128-4433–87 [9].

Уровни опасности загрязнения городских почв рядом ТМ проведён по суммарному показателю химического загрязнения ( $Z_c$ ), предложенному СанПиН 4266–87 и отражающему наглядную дифференциацию химического загрязнения почвенного покрова в пределах урбанизированных территорий [10]. Суммарный  $Z_c$  почв вычислялся по наиболее распространённым ТМ, показавшим высокие концентрации в почвах района исследований, по формуле [4]:

$$Z_c = (K_{ci} + \dots + K_{cn}) - (n - 1),$$

где  $Z_c$  – суммарный показатель загрязнения почв;  $n$  – количество определяемых элементов в образце,  $K_{ci}$  – коэффициент концентрации  $i$ -го компонента загрязнения.

Также методика исследования включала определение гранулометрического состава, биологических и общих физико-химических характеристик мелкозёма почв. Производились измерения: дыхания почвы – методом инкубации [11], содержания органического углерода – по методу Тюрина со спектрофотометрическим окончанием; использовался фотоэлектроколориметр, величина показателя

Таблица 1

**Параметры кислотности почвы и содержание органического углерода**

Горизонт	Глубина, см	рН		Кислотность, мг-экв/100 г		Сорг, %
		H <sub>2</sub> O	KCl	обменная	гидролитическая	
<i>Разрез 1. Торфяно-стратозём на погребеном торфяно-подбуре</i>						
О	0–2	4,25	3,08	0,1	0,5	н/о
RTE	2–14	4,63	3,15	0,1	0,5	12,3
RG	14–24	4,8	3,07	0,3	1	3,3
T	24–36	5,03	3,88	0,5	1,1	4,3
BHF	36–52	5,99	4,27	0,1	0,4	2,02
<i>Разрез 2. Урбо-стратозём иллювиально-железисто-гумусовый глеевый</i>						
О	0–2	4,85	4,06	0,1	0,2	5,5
UR	2–32	4,15	3,52	0,3	0,6	н/о
BHF	32–49	3,58	3,51	0,2	0,4	19,2
G	49–90	4,12	3,67	0,2	0,8	н/о
<i>Разрез 3. Торфяно-подзол глеевый</i>						
TE	5–16	4,51	3,67	0,1	1	н/о
BHF	16–24	4,91	3,54	0,2	0,5	2,6
G	24–42	4,92	3,91	0,3	0,9	3,5
C	42–52	4,93	4,19	0,1	0,6	3,2
<i>Разрез 4. Торфяно-подбур глеевый</i>						
T	4–11	4,83	4,18	0,1	0,5	н/о
BHF	11–38/	5,82	4,92	0,1	0,2	2,6
G	38–84	5,56	4,9	0,1	0,1	2,35

Примечание. Здесь и в табл. 2: н/о – не определяли.

теля рН актуальной и потенциальной кислотности – потенциометрически со стеклянным электродом с помощью рН-метра – рН-150 М, величины обменной и гидролитической кислотности – титрованием [12]. Гранулометрический состав грунтов определяли по методу Качинского с седиментометрическим разделением фракций в цилиндре [13]. Содержание ТМ определяли по методике [14], в частности, отобранные пробы почв анализировались на содержание валовых форм *Pb, Cd, Cu, Ni, Zn, As* и *Hg*. Определение валового содержания ТМ в отобранных пробах производилось рентгенфлуоресцентным методом на спектрометре «СПЕКТРОСКАН МАКС» фирмы «НПО СПЕКТРОН, ООО»

**Результаты**

Ниже приведена краткая морфологическая характеристика почв и их диагностика.

*Разрез 1.* Расположен в зоне неосвоенной городской территории. Строение профиля почвы: О (0–2 см) – RTE – (2–14 см) – RG – (14–24 см) – [Т] – (24–36 см) – [BHF] – (36–52 см). Среди антропогенных включений преобладают остатки строительного мусора. Почва – торфяно-стратозём на погребеном торфяно-подбуре.

*Разрез 2.* Находится в пределах техногенной (промышленной) зоны. Строение профиля: О – (0–2 см) – UR – (2–32 см) – BHF – (32–49 см) – G – (49–90 см). Почва – урбо-стратозём иллювиально-железисто-гумусовый глеевый [14].

*Разрез 3.* Городской парк. Строение профиля: TE – (0–12 см) – BHF – (12–24 см) – G – (24–42 см) – C – (42–52 см). Почва – торфяно-подзол глеевый.

*Разрез 4.* Жилая зона, во дворе. Строение профиля: Т – (0–11 см) – BHF – (11–38 см) – G – (38–84 см). Почва – торфяно-подбур-глеевый.

Установлено, что в пределах промышленной зоны пробы почв характеризуются сильнокислой (рН 3,5–4,5), а в пределах трёх остальных функциональных зон – кислой (рН 4,5–5,5) реакцией среды (табл. 1).

Анализ полученных данных по обменной кислотности показал, что почти все пробы обладают очень кислой (рН < 4,5) реакцией среды, кроме образцов с неосвоенной территории, где реакция среды кислая (рН 4,5–5,0) (см. табл. 1). Так, снижение кислотности вниз по профилю характерно для подбуров, развивающихся в городских условиях, поскольку в верхних горизонтах происходит накопление щёлочноземельных элементов.

Эмиссия диоксида углерода почвами оценивается как очень низкая, т. е. её величины не превышают 100–150 мг СО<sub>2</sub>/100 г/сут в жилой зоне и парке, а в промышленной и неосвоенной городской территории значения варьируют от 100 до 120 мг СО<sub>2</sub>/100 г/сут (табл. 2). Такие значения эмиссии свидетельствуют об относительно низкой биологической активности почв, что является индикатором определённого угнетения микробного сообщества.

Максимальное содержание углерода органических соединений характерно для верхних органогенных гори-

Таблица 2

**Базальное дыхание почв и содержание важнейших гранулометрических фракций**

Горизонт	Глубина, см	Базальное дыхание СО <sub>2</sub> , мг СО <sub>2</sub> /100 г/сут	Плотность твёрдой фазы, г/см <sup>3</sup>	Физический песок, %	Физическая глина, %	Скелет, %	Мелкозём, %
<i>Разрез 1. Торфяно-стратозем на погребеном торфяно-подбуре</i>							
О	0–2	159	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о
RTE	2–14	118	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о
RG	14–24	145	2,84	90,6	9,4	17	83
T	24–36	88	2,46	92,4	7,6	43	57
BHF	36–52	145	2,61	88,9	11,1	48	52
<i>Разрез 2. Урбо-стратозем иллювиально-железисто-гумусовый глеевый</i>							
О	0–2	132	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о
UR	2–32	57	2,37	н/о	н/о	н/о	н/о
BHF	32–49	30	2,69	82,1	17,9	17	83
G	49–90	85	1,8	94,5	5,5	н/о	н/о
<i>Разрез 3. Торфяно-подзол глеевый</i>							
TE	5–16/	78	2,22	91,7	8,3	н/о	н/о
BHF	16–24	142	2,69	93	7	26	74
G	24–42	125	2,69	91,8	8,2	30	70
C	42–52	213	2,67	91,1	8,9	34	66
<i>Разрез 4. Торфяно-подбур глеевый</i>							
T	4–11	102	2,18	97,5	2,5	н/о	н/о
BHF	11–38	142	2,78	87,1	12,9	25	75
G	38–84	71	2,83	86	14	14	86



Таблица 3

## Краткое описание исследованных почв Мурманска

Шифр/горизонт	Глубина, см	Содержание тяжёлых металлов в почвах Мурманска, мг/кг					
		Cu	Pb	Cd	Zn	Ni	Mn
O-T	0-12	45	93	0,5	43	44	47
R	14-24	3,9	2,8	0,8	36	55	110
O	0-2	23	6,8	0,8	21	17	35
RY	2-34	13,7	2,1	0,7	16	16	40
T	0-12	51	55	0,8	51	78	130
E	12-24	2,2	3,5	0,8	6,7	3,9	19
T	0-11	52	16	0,8	67	90	1400
VHF	11-38	21	4,5	0,3	45	23	850
ПДК (для песчаных почв)	-	-	32	-	-	-	1500
ОДК	-	33	-	0,5	55	20	-
Фоновые значения	-	21,3	8,5	0,1	43,4	36	68,9

зонтов большинства образцов (32–40 %), кроме участка в промышленной зоне (2–10 %). Также для верхних горизонтов характерно высокое содержание азота. На исследуемой территории опад листьев и трав беден азотом (отношение C/N находится в диапазоне 18–27) (см. табл. 1).

Почвы Мурманска относятся к песчаным и супесчаным по гранулометрическому составу (см. табл. 2). Для лёгких и щебнистых отложений характерна большая водопроницаемость, наличие нисходящих токов почвенных растворов, свободный внутренний дренаж, господство окислительных процессов и отсутствие оглеения [2]. Почвы – несильно щебнистые с повышенным содержанием физического песка, в связи с чем ожидается их низкая буферная и сорбционная способность, а также низкая устойчивость к техногенным загрязнениям.

Процессы формирования почв в пределах города Мурманска разнообразны в связи с разными видами антропогенных изменений в соответствующих функциональных зонах. В табл. 3 приведено краткое описание исследованных почв.

Анализ данных по суммарному индексу загрязнения  $Z_c$  (арифметическое) показал, что в большинстве проб суммарное загрязнение по степени опасности характеризуется как неопасное ( $Z_c < 16$ ). Лишь в одной пробе (жилая зона, двор) по степени опасности характеризуется как умеренно-опасное ( $16 < Z_c < 32$ ). Превышение уровней нормативов наблюдается в основном для поверхностных горизонтов, что связано с повышенным содержанием в них органического вещества, играющего ключевую роль в фиксации катионных форм ТМ. Гораздо меньшее содержание ТМ характерно для минеральных горизонтов, в частности, для элювиального горизонта. Несмотря на то, что речь идет об Арктической зоне, это подтверждает факт накопления ТМ по типу подзолистых почв в почвах Мурманска.

В табл. 4 даны сведения о среднем содержании тяжёлых металлов в почвах Мурманска.

Анализ валового содержания ТМ [15] показал, что в верхней части профиля № 1 на глубинах 0–12 см содержание свинца составляет 93 мг/кг, меди – 45 мг/кг, кадмия – 0,46 мг/кг, никеля – 44 мг/кг (см. табл. 3). Это превышает уровни концентраций, характерные для почв Мурманска в среднем. Содержание никеля и цинка не превышает фоновых концентраций этих металлов в торфяно-стратозёме. В нижней части профиля на глубине 12–24 см концен-

Таблица 4

## Среднее содержание тяжёлых металлов (в мг/кг) в почвах Мурманска

Металл	Неосвоенная городская территория	Техногенная зона	Парк
Cu	1,15	0,86	1,25
Pb	5,63	0,52	3,44
Cd	4,84	3,51	6,13
Zn	0,91	0,43	0,66
Ni	1,37	0,46	1,14
Mn	1,14	0,54	1,08

трация ТМ в почве в разы уменьшается и не превышает фоновых значений. Наблюдаемые концентрации ТМ несколько ниже, чем в крупных городах России. Аккумулятивный характер распределения ТМ в профиле, а также набор загрязняющих веществ (Pb, Zn, Cu, Cd) свидетельствуют о ведущей роли газопылевых выбросов автотранспорта в загрязнении почвы на указанном участке [16].

Валовое содержание ТМ в профиле № 2 не превышает ОДК и составляет 23 мг/кг меди (см. табл. 3). Почва обладает гумусовым горизонтом с хорошей поглощательной способностью по отношению к ТМ. Концентрации свинца, цинка, кадмия, никеля и марганца в почве ниже, чем на остальных участках. Анализ валового содержания ТМ показал, что в верхней части профиля 0–12 см содержание свинца составляет 55 мг/кг свинца, 51 мг/кг цинка, 51 мг/кг меди, 78 мг/кг никеля, 0,8 мг/кг кадмия. В профиле распределения валового содержания металлов отсутствуют определённые закономерности, поскольку профиль сформирован привозным грунтом, неоднородным по составу. Высокая концентрация свинца, цинка и кадмия в условиях господства окислительного режима свидетельствует о наличии загрязнения грунта этими элементами. Валовое содержание свинца (16 мг/кг), меди (52 мг/кг), цинка (67 мг/кг), никеля (90 мг/кг) и марганца (1400 мг/кг) в почве повышены по сравнению с фоновыми концентрациями в Мурманске.

## Обсуждение

Почвенный покров г. Мурманска представлен дизъюнктивными ареалами сильно нарушенных маломощных щебнистых скальных почв, что отличает его от почвенного покрова других городов [17, 18]. Таким образом, почвы Мурманска трансформированы слабо, что иллюстрируется их морфологической организацией. По морфологическим свойствам изученные почвы сходны с почвами городов Европейского сектора Арктики [19, 20], хотя не имеют признаков криогенного массообмена, но в то же время отличаются от почв урбанизированных территорий Ямального региона, которые сочетают в себе признаки криотурбаций и альфегумусового процесса [21–26]. В целом же почвы г. Мурманска являются наиболее скелетными и аэрируемыми для всей Европейской Арктики, что связано с местными литологическими и почвенно-термическими условиями.

В отличие от многих других городов [27–28] почвы Мурманска не показывают нейтрализации или подщелачивания даже верхних горизонтов, что, с одной стороны, обусловлено высокой буферной и обменной кислотностью, что характерно для северных почв в целом [18–24], а с другой стороны, свидетельствует о невысокой степени антропогенного влияния на почвенный покров даже в верхнем слое почвы.

В целом почвы Мурманска загрязнены слабо. Это связано не только с непродолжительной историей урбанизации, но и с высокой водопроницаемостью, не свойственной для аналогичных городских почв Арктической Сибири. Напротив, в изученных почвах повышенное накопление ТМ в верхних горизонтах может являться результатом отсутствия криогенного массообмена, что характерно, например, для городских почв Ямалского и Якутского регионов [24–28].

### Заключение

В результате проведённых исследований установлено фактическое содержание ТМ в почвах Мурманска. Тяжёлые металлы аккумулируются в основном в верхних горизонтах. Анализ данных по суммарному индексу загрязнения  $Z_c$  показал, что для большинства проб степень опасности характеризуется как неопасная ( $Z_c < 16$ ). Лишь в одной пробе (почва, расположенная в жилой функциональной зоне, двор) по степени опасности характеризуется как умеренно-опасная ( $16 < Z_c < 32$ ).

Анализ валового содержания ТМ показал, что в верхних частях профилей содержание свинца, меди, кадмия и никеля повышено и превышает средние уровни, характерные для почв Мурманска. В нижних частях профилей концентрация ТМ в почве в разы уменьшается и не достигает фоновых значений. Наблюдаемые концентрации ТМ несколько ниже, чем в крупных городах России. Аккумулятивный характер распределения ТМ в профиле, а также набор загрязняющих веществ (Pb, Zn, Cu, Cd,) свидетельствуют о ведущей роли газопылевых выбросов автотранспорта в загрязнении почвы.

В почвах Мурманска отсутствует феномен уменьшения концентрации ТМ в верхних горизонтах и увеличения их содержания в нижних горизонтах в связи с отсутствием феномена криогенного массообмена, характерного для городских почв Арктической зоны, расположенных в пределах криолитозоны.

### Литература

(пп. 11, 16–28 см. References)

1. Герасимова М.И., Строганова М.Н., Можарова Н.В., Прокофьева Т.В. *Антропогенные почвы. Генезис, география, рекультивация*. Смоленск: Ойкумена, 2003: 268-73.
2. Добровольский Г.В., Строганова, М.Н. Почвы Москвы. *Наука в России*. 1996; 4: 69-72.
3. Добровольский Г.В., Никитин Е.Д. *Почва в биосфере и экосистемах (экологическое значение почв)*. М.: Наука, 1990. 261 с.
4. Гигиеническая оценка качества почвы населенных мест. Методические указания. МУ 2.1.7.730-99.
5. Абакумов Е.В., Тарасова А.А., Почвы различных функциональных зон города Мурманск. *Тезисы докладов VII съезда Общества почвоведов им. В.В. Докучаева и Всероссийской с международным участием научной конференции*. Белгород. 2016: 279-80.
6. Абакумов Е.В., Тарасова А.А., Алексеев И.И. Городские почвы Арктики в различных литологических условиях. *Материалы Шестнадцатой международной молодежной научной конференции*. Институт наук о Земле Санкт-Петербургского государственного университета; Санкт-Петербург. 2016: 329-31.
7. ГН 2.1.7.2511–09. Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве. М.; 2009.
8. ГН 2.1.7.2041–06. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве. М.; 2006.
9. СанПиН 42-128-4433–87. Санитарные нормы допустимых концентраций химических веществ в почве. М.; 1987.
10. СанПиН 4266-87 Методические указания по оценке степени опасности загрязнения почвы химическими веществами. М.; 1987.
12. Растворова О.Г., Андреев Д.П. *Химический анализ почв*. Изд-во С.-Пб. университета, 1995. 264 с.
13. Шенин Е.В., Архангельская Т.А., Гончаров В.М., Губер А.К., Початкова Т.Н., Сидорова М.А., Смагин А.В., Умарова А.Б. *Полевые и лабораторные методы исследования физических свойств и режимов почв*. М.: Изд-во МГУ, 2001. 198 с.
14. OST 10-259–2000. Почвы. Рентгенофлуоресцентное определение валового содержания тяжелых металлов. М.; 2000.
15. Докучаев В.В. Детальное естественноисторическое, физико-географическое и сельскохозяйственное исследование С.-Петербурга и его окрестностей. *VIII съезд русских естествоиспытателей и врачей. Общций отдел*. СПб, 1890: 119-24.

28. Сивцева Н.Е., Легостаева Я.Б., Макаров В.С., Васильев Н.Ф. Экологическая оценка состояния территории г. Якутска по суммарному загрязнению почвенного покрова. *Вестник Северо-Восточного Федерального университета*. 2011; 8 (2): 330-37.

### References

1. Gerassimova M.I., Stroganova M.N., Mozharova N.V., Prokofeva T.V. Anthropogenic soil. Genesis, geography, reclamation [*Антропогенные почвы. Генезис, география, рекультивация*]. Smolensk: Ojkumena, 2003: 268-73. (in Russian)
2. Dobrovolskij G.V., Stroganova M.N. Moscow soil. *Nauka v Rossii*. 1996. (in Russian)
3. Dobrovolskij G.V., Nikitin E.D. *Soil in the biosphere and ecosystems (ecological significance of the soil)*. [Pochva v biosfere i ekosistemax (ekologicheskoe znachenie pochv)]. Moscow: Nauka, 1990. 261s. (in Russian)
4. Hygienic assessment of soil quality in populated areas. Methodical instructions. MU 2.1.7.730-99. [Gigienicheskaya ocenka kachestva pochvy naselennykh mest. Metodicheskie ukazaniya. MU 2.1.7.730-99]. (in Russian)
5. Abakumov E.V., Tarasova A.A., Soils of various functional areas of the city of Murmansk. *Tezisy dokladov VII sezda Obshhestva pochvovedov im. V.V. Dokuchaeva i Vserossiyskoy s mezhduнародnym uchastiem nauchnoy konferencii*. Belgorod. 2016: 79-280. (in Russian)
6. Abakumov E.V., Tarasova A.A., Alekseev I.I. Urban soils of the Arctic in various lithological conditions. *Materialy Shestnadcatoy mezhduнародnoy moloдеzhnoy nauchnoy konferencii*. Institut nauk o Zemle Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo universiteta; Sankt-Peterburg. 2016: 329-31. (in Russian)
7. ГН 2.1.7.2511–09. Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве. Moscow; 2009. (in Russian)
8. ГН 2.1.7.2041–06. Estimated permissible concentration (ODC) of chemicals in the soil [Predelno dopustimye koncentracii (PDK) khimicheskix veshhestv v pochve]. Moscow; 2006. (in Russian)
9. SanPiN 42-128-4433–87. Sanitary norms of permissible concentrations of chemicals in the soil [Sanitarnyye normy dopustimyx koncentraciy khimicheskix veshhestv v pochve]. Moscow; 1987. (in Russian)
10. SanPiN 4266-87 Guidelines for assessing the degree of danger of soil contamination by chemicals [Metodicheskie ukazaniya po ocenke stepeni opasnosti zagryazneniya pochvy khimicheskimi veshhestvami]. Moscow, 1987. (in Russian)
11. Lal R., Kimble J.M., Follett R.F. and Stewart B.A. (Eds) *Assessment Methods for Soil Carbon*. CRC/Lewis Press, Boca Raton, FL. 2001. 676 pp.
12. Rastvorova O.G., Andreev D.P. *Chemical analysis of soil*. [Ximicheskij analiz pochv]: Izd-vo S.-Pb. universiteta, 1995. 264 p. (in Russian)
13. Shein E.V., Arxangel'skaya T. A., Goncharov V. M., Guber A. K., Pochatkova T.N., Sidorova M.A., Smagin A. V., Umarova A. B. *Field and laboratory methods for the study of physical properties and soil regimes*. [Polievye i laboratornyye metody issledovaniya fizicheskix svoystv i rezhimov pochv]. Moscow: Izd-vo MGU, 2001. p. 198. (in Russian)
14. OST 10-259–2000. *Soils. X-ray fluorescence determination of the gross content of heavy metals*. [Pochvy. Rentgenofluorescentnoe opredelenie valovogo soderzhaniya tyazhelyx metallov]. Moscow; 2000. (in Russian)
15. Dokuchaev V.V. Detailed natural-historical, physical-geographical and agricultural research of St. Petersburg and its environs. [Detalnoe estestvennoistoricheskoe, fiziko-geograficheskoe i selskoxozyajstvennoe issledovanie S.-Peterburga i ego okrestnostej]. *VIII sez d russkix estestvoispytatelej i vrachej. Obshhij ot del*. SPb, 1890: 119-24. (in Russian)
16. Pastukhov A.V., Kaverin D.A. Soil carbon pools in tundra and taiga ecosystems of northeastern Europe. *Eurasian Soil Science*. 2013; 46 (9): 958-67.
17. Dymov A.A., Kaverin D.A., Gabov D.N. Properties of soils and soil-like bodies in the Vorkuta area. *Eurasian Soil Science*. 2013; 46 (2): 217-24.
18. 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): 941-45.
19. Abakumov E., Shamishviliy G., Yurtaev A. Soil polychemical contamination on Belyi Island as key background and reference plot for Yamal region. *Polish Polar Research*. 2017; 38 (3): 313-32.
20. Abakumov E.V., Tomashunas V.M., Alekseev I.I. Electrical resistance profiles of permafrost-affected soils in the north of Western Siberia according to their vertical electrical sounding. *Eurasian Soil Science*. 2017; 50 (9): 1069-76.
21. Alekseev I., Kostecki J., Abakumov E. Vertical electrical resistivity sounding (VERS) of tundra and forest tundra soils of Yamal region. *International Agrophysics*. 2017; 31 (1): 1-8.
22. Beznosikov V.A., Lodygin, E.D., Shuktomova I.I. Artificial and natural radionuclides in soils of the southern and middle taiga zones of Komi Republic. *Eurasian Soil Science*. 2017; 50 (7): 814-9.
23. Lodygin E.D., Beznosikov V.A., Abakumov E.V. Hydrocarbons content in soils of the northernmost taiga ecosystem of Komi Republic (North-East of Russia). *Czech Polar Reports*. 2017; 7 (2): 248-56.
24. Alekseev I.I., Abakumov E.V., Shamishvili G.A., Lodygin E.D. Heavy metals and hydrocarbons content in soils of settlements of the Yamal-Nenets autonomous Okrug. *Gigiena i sanitariya [Hygiene and Sanitation, Russian journal]*. 2016, 95 (9): 818-21.
25. Beznosikov V.A., Lodygin E.D. Hydrocarbons in the background soils of the southern- and middle-taiga subzones of the Komi Republic. *Eurasian Soil Science*. 2014; 47 (7): 682-6.
26. Vasilevich R.S., Beznosikov V.A., Lodygin E.D., Kondratenok, B.M. complexation of mercury (II) ions with humic acids in tundra soils. *Eurasian Soil Science*. 2014; 47 (3): 162-72.
27. Beznosikov V.A., Lodygin E.D., Kondratenok B.M. Assessment of background concentrations of heavy metals in soils of the northeastern part of European Russia. *Eurasian Soil Science*. 2007; 40 (9): 949-55.
28. Sivceva N.E., Legostaeva Ya.B., Makarov V.S., Vasilev N.F. Ecological assessment of the state of the territory of Yakutsk on the total pollution of the soil cover. [Ekologicheskaya ocenka sostoyaniya territorii g. yakutsk po summarnomu zagryazneniyu pochvennogo pokrova]. *Vestnik severovostochnogo federalnogo universiteta*, 2011; 8 (2): 330-37.



Карта-схема точек отбора образцов.