

УДК 504.054 : 631.412

DOI: 10.19047/0136-1694-2022-111-157-184



Ссылки для цитирования:

Новиков С.Г. Оценка уровня загрязнения тяжелыми металлами почв г. Кондопога и г. Костомукша (Республика Карелия) // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2022. Вып. 111. С. 157-184. DOI: 10.19047/0136-1694-2022-111-157-184

Cite this article as:

Novikov S.G., Assessment of the heavy metal contamination of soils in Kondopoga and Kostomuksha (Republic of Karelia), Dokuchaev Soil Bulletin, 2022, V. 111, pp. 157-184, DOI: 10.19047/0136-1694-2022-111-157-184

Благодарность:

Финансовое обеспечение исследований осуществлялось из средств федерального бюджета на выполнение государственного задания КарНЦ РАН (Институт леса КарНЦ РАН).

Acknowledgments:

The research was financed from the Federal budget to fulfil the State assignment of the Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences (Forest Research Institute).

Оценка уровня загрязнения тяжелыми металлами почв г. Кондопога и г. Костомукша (Республика Карелия)

© 2022 г. С. Г. Новиков

*Институт леса КарНЦ РАН, ФИЦ “Карельский научный центр РАН”,
Россия, 185910, Республика Карелия, Петрозаводск, ул. Пушкинская, 11,
<https://orcid.org/0000-0003-2387-2656>,
e-mail: novikovsergey.nsg@gmail.com.*

*Поступила в редакцию 24.05.2022, после доработки 04.07.2022,
принята к публикации 27.09.2022*

Резюме: Исследования проводились на территории г. Кондопоги и г. Костомукши, основная промышленность которых представлена целлюлозно-бумажным производством и добычей железной руды соответственно. На землях различного пользования были отобраны почвенные образцы из верхнего слоя 0–10 см, в которых определяли содержание тяжелых металлов (Pb, Cu, Zn, Ni, Co, Cr, Mn) методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии (вытяжка “царская водка”).

А также были заложены почвенные прикопки, в данном случае отбор проб проводили по слоям – 0–5, 5–10, 10–20 см, в отобранных образцах определяли их физико-химические свойства и содержание тяжелых металлов. Показано, что почвы обследованных городов имеют низкий уровень загрязнения тяжелыми металлами. На территории г. Кондопога выявлены локальные участки на землях общего пользования, где содержание отдельных элементов превышает установленные в Российской Федерации нормативы (Pb – 6 ПДК, Cu – 9 ОДК, Zn – 16 ОДК), концентрации подвижных форм меди и цинка достигают 2–3 ПДК. Почвы г. Костомукши отличаются невысокими уровнями накопления исследуемых тяжелых металлов, в целом их концентрации не превышают уровень регионального фона на всех выделенных категориях землепользования. И лишь в отдельных случаях концентрация поллютантов (Pb, Ni, Cu, Zn) достигает 1–2 ПДК/ОДК. Полученные данные могут быть использованы при проведении мониторинга состояния городских почв, а также для разработки рекомендаций, направленных на сохранение окружающей среды.

Ключевые слова: городские почвы, почвенный мониторинг, уровень загрязнения.

Assesment of the heavy metal contamination of soils in Kondopoga and Kostomuksha (Republic of Karelia)

© 2022 S. G. Novikov

*Forest Research Institute of the Karelian Research Centre
of the Russian Academy of Sciences,
11 Pushkinskaya Str., 185910 Petrozavodsk, Republic of Karelia,
<https://orcid.org/0000-0003-2387-2656>,
e-mail: novikovsergev.nsg@gmail.com.*

Received 24.05.2022, Revised 04.07.2022, Accepted 27.09.2022

Abstract: Surveys were carried out in Kondopoga and Kostomuksha, where the main industries are pulp-and-paper making and iron ore mining and concentration, respectively. Samples were taken from the top 0–10 cm soil layer in sites belonging to different land use categories and the content of heavy metals (Pb, Cu, Zn, Ni, Co, Cr, Mn) in the samples was determined by atomic absorption spectrophotometry (Aqua Regia extract). In addition, subsidiary soil pits were made for sampling at 0–5, 5–10, and 10–20 cm depths. These samples were analyzed for physico-chemical properties and

heavy metal content. The results showed a relatively low level of heavy metal pollution of soil in the mentioned towns. Surveys in Kondopoga revealed limited general-use areas containing some elements in concentrations exceeding Russian national maximum allowable (MAC) and tentative allowable (TAC) levels (Pb – 6x MAC, Cu – 9x TAC, Zn – 16x TAC), and with labile copper and zinc concentrations up to 2x–3x MAC. Soils of Kostomuksha exhibited relatively low levels of the analyzed heavy metals with concentrations generally not exceeding the regional background in all land use categories. It was only occasionally that pollutant concentrations (Pb, Ni, Cu, Zn) reached 1–2x MAC/TAC. The resultant data can be used in the monitoring of urban soils and for working out recommendations for environmental protection.

Keywords: urban soils, soil monitoring, pollution level.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время высокие темпы урбанизации оказывают мощное негативное воздействие на окружающую среду. Хозяйственная деятельность человека способствует загрязнению различных компонентов естественных экосистем. Значительная техногенная нагрузка падает на почвы, которые являются одним из основных аккумуляторов поллютантов. Ведущими и наиболее опасными химическими загрязнителями на городской территории по токсикологическим оценкам и воздействию на здоровье населения становятся тяжелые металлы ([Bruemmer, 1986](#); [Bidwell, Dowdy, 1987](#); [Сагт и др., 1990](#); [Щербо, Киселев, 2004](#); [Калашникова, 2003](#); [Пляскина, Ладонин, 2009](#)). Они связываются с минеральными и органическими соединениями ([Ramakrishnaiah, Somashekar, 2002](#); [Джувеликян, 2005](#)), что повышает общий уровень токсичности почвы. Главную роль в связывании катионов металлов играют гуминовые вещества ([Демин, 1994](#)), которые взаимодействуют друг с другом на основе явлений ионного обмена, сорбции, хелатообразования, коагуляции и пептизации ([Байдина, 1994](#)). Большое влияние на поведение тяжелых металлов оказывает кислотность почвы ([Зырин, 1968](#); [Беус, 1976](#)).

Как правило, при экологическом мониторинге техногенно загрязненных почв, принято определять валовое содержание тяжелых металлов, а также извлекаемых смесью крепких растворов кислот (условно валовое содержание) ([Методические указания...](#),

[1992](#)). По нормативным документам инженерно-экологических изысканий ([Свод правил..., 1998](#)) предусмотрено обязательное определение показателей загрязнения почв тяжелыми металлами ввиду их индикационного значения. Если их концентрации не превышают фоновые, то исследования на предмет других видов загрязнения не проводят ([Стурман, 2003](#)). Исследование содержания тяжелых металлов в почвах, находящихся в условиях урбанизации, должно проводиться с учетом функций и типа землепользования на обследуемой территории, так как данный фактор является формирующим в развитии городских почв ([Почва, город, экология, 1997](#)).

Данная статья посвящена оценке уровня загрязнения тяжелыми металлами почв различных категорий землепользования на территории монопрофильных городов Республики Карелии – г. Кондопога, г. Костомукша. Для достижения поставленной цели решались следующие задачи: 1) Выделить основные категории землепользования на территории исследуемых городов; 2) Определить содержание тяжелых металлов в поверхностном слое почв (0–10 см) обследуемых городов; 3) Определить физико-химические свойства и содержание различных форм тяжелых металлов (вытяжка “царская водка”, вытяжка $\text{CH}_3\text{COONH}_4$) на разных глубинах поверхностного слоя почв (0–5, 5–10, 10–20 см); 4) Оценить уровень загрязнения городских почв тяжелыми металлами.

Предприятия Карелии ежегодно выбрасывают в окружающую среду более 130 тыс. т различных загрязнителей ([Государственный доклад..., 2010; 2015](#)). Значительный вклад в загрязнение воздуха вносят передвижные источники загрязнения – железнодорожный и автомобильный транспорт. Усугубляют экологическую обстановку в городах выбросы печного отопления домов частного сектора, занимающих значительную часть селитебных территорий кварталов усадебной застройки ([Почва, город, экология, 1997](#)). Ранее поверхностный слой почв г. Кондопоги и г. Костомукши исследовался на наличие загрязнения тяжелыми металлами (Pb, Cu, Zn, Ni, Co, Cr, Mn) по суммарному показателю Zc ([Новиков, 2015; 2016; 2017](#)). Полученные результаты показали, что на всей обследуемой территории городов показатель Zc < 16,

что соответствует допустимой категории загрязнения, лишь на одной пробной площадке в г. Кондопога и одной в г. Костомукша Z_s превышал значение 16, данные участки расположены на территории автогаражей, где почвы подвержены интенсивному техногенному воздействию, а также захламлены техническим мусором.

Данное исследование позволит получить сведения о состоянии почв обследуемых городов в зависимости от категории землепользования, установить зоны наиболее уязвимые к антропогенному воздействию, а также более подробно проанализировать содержание различных форм тяжелых металлов (вытяжка “царская водка”, вытяжка $\text{CH}_3\text{COONH}_4$) в поверхностном слое почв на разных глубинах (0–5, 5–10, 10–20 см).

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводились на территории двух городов Республики Карелии – Кондопога и Костомукша (рисунок).

Город Кондопога расположен в среднетаежной подзоне Карелии. Он находится между двух озер: на юге граничит с Онежским озером, на севере – с озером Нигозеро. Несмотря на то, что Кондопожское поселение имеет более чем вековую историю, статус города оно получило лишь в 1938 году. На территории Кондопоги в 1929 году впервые был запущен Кондопожский целлюлозно-бумажный комбинат (АО “Кондопожский ЦБК”), который в настоящее время является основным промышленным предприятием города. По оценке РОССТАТ численность постоянного населения Кондопоги на 1 января 2022 г. составляет 28 150 человек.

Город Костомукша расположен в северотаежной подзоне Карелии на восточном берегу озера Контокки вблизи границы России и Финляндии. Он основан в 1977 г. в связи с разработкой железорудного месторождения. Население города по оценке РОССТАТ на 1 января 2022 г. составляет 29 739 человек. Комбинат по добыче и переработке железной руды АО “Карельский окатыш” на территории Костомукши является градообразующим предприятием и функционирует с 1974 г. Промышленная площадка комбината находится на расстоянии 13 км от города.

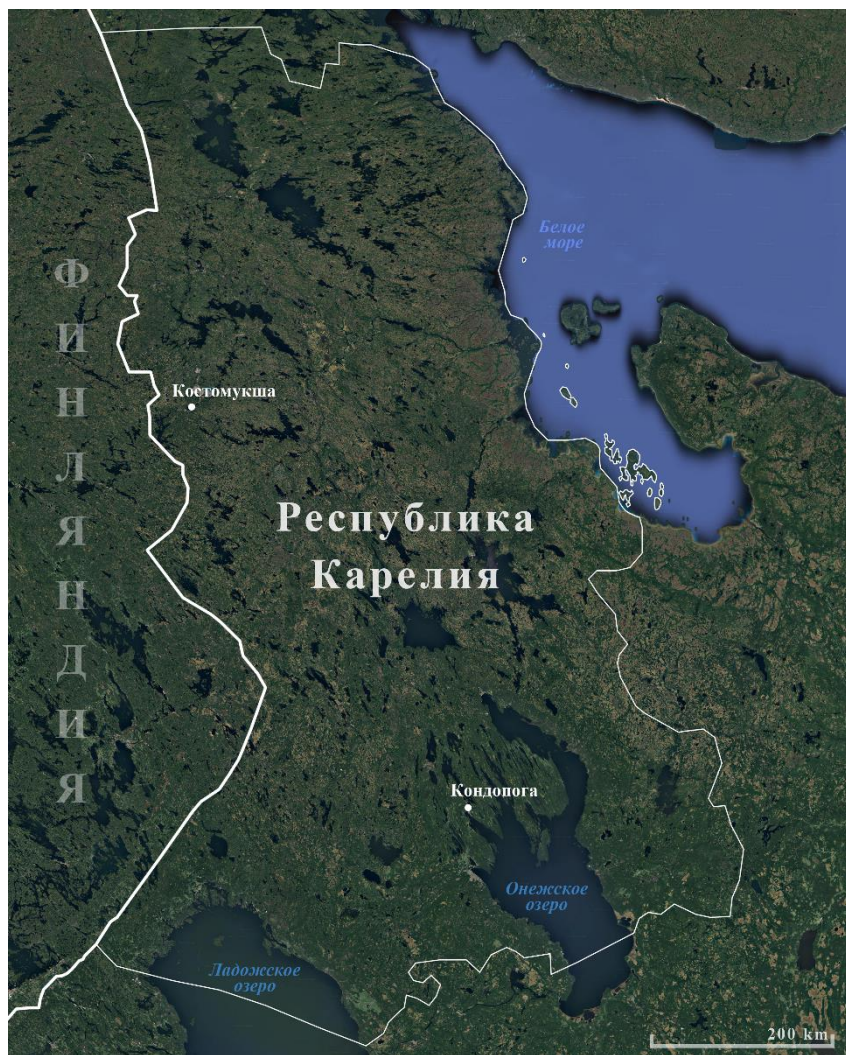


Рис. Расположение обследуемых городов на территории Республики Карелии (картографические данные © Google, 2022).

Fig. Location of surveyed towns on the territory of the Republic of Karelia (© Google, 2022).

Отбор почвенных образцов на обследуемых городских территориях проводили методом “конверта” из верхнего 10-сантиметрового слоя почв ([Почва, город экология, 1997](#); [Стурман, 2003](#)). Категория землепользования в местах отбора проб определялась в соответствии с рекомендациями, предложенными в работе ([Почва, город экология, 1997](#)). Всего на территории г. Кондопоги было отобрано 37 смешанных почвенных проб, г. Костомукши – 44. В них определяли условно валовое содержание следующих тяжелых металлов: Pb, Cu, Zn, Ni, Co, Cr, Mn (вытяжка “царская водка”) методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии (спектрофотометр AA-7000, Shimadzu, Япония). После получения результатов на участках с наибольшим количеством тяжелых металлов в почве были заложены прикопки – по 3 на каждой выделенной категории землепользования. В данном случае почвенные образцы отбирали по слоям 0–5, 5–10, 10–20 см. В отобранных пробах определяли следующие агрохимические показатели: pH солевой вытяжки, степень насыщенности основаниями, валовое содержание углерода и азота ([Агрохимические методы..., 1975](#)), подвижные соединения фосфора и калия определяли в одной вытяжке по методу Кирсанова: окончание анализа (K_2O) – на атомно-абсорбционном спектрофотометре AA-7000 (Shimadzu, Япония), (P_2O_5) – на фотоэлектроколориметре. Также в почвенных образцах, отобранных из прикопок, проводили определение содержания тяжелых металлов в вытяжке “царская водка” и их подвижных форм (Cu, Zn, Ni, Co, Cr, Mn – вытяжка CH_3COONH_4 , Pb – вытяжка NH_4Cl) методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии (спектрофотометр AA-7000, Shimadzu, Япония). Исследования выполнены на научном оборудовании Центра коллективного пользования Федерального исследовательского центра “Карельский научный центр Российской академии наук” (Аналитическая лаборатория ИЛ КарНЦ РАН).

Оценку уровня загрязнения городских почв тяжелыми металлами проводили при помощи эмпирического показателя PLI (Pollution load index), который учитывает фактическое содержание загрязнителей в почве на исследуемой территории, а также региональный фон ([Tomlinson et al., 1980](#); [Peng et al., 2016](#); [Rashed, 2010](#); [Islam et al., 2015](#)). PLI рассчитывался следующим образом:

$$PLI = \sqrt[n]{CF_1 \times CF_2 \dots \times CF_n},$$

где CF (Concentration factor) – коэффициент концентрации химического вещества, рассчитанный для каждого отдельного элемента, n – число исследуемых элементов. CF рассчитывался по формуле:

$$CF = \frac{c_i}{c_{b i}},$$

где c_i – фактическое содержание металла в почве, $c_{b i}$ – региональный фон.

Если $PLI > 1$ – почва характеризуется как химически загрязненная, а при $PLI < 1$ загрязнение отсутствует ([Tomlinson et al., 1980](#)). Для показателя CF использовали следующую градацию ([Hakanson, 1980](#)): $CF < 1$ – низкий уровень загрязнения; $1 < CF < 3$ – умеренный уровень загрязнения; $3 < CF < 6$ – значительный уровень загрязнения; $CF > 6$ – высокий уровень загрязнения.

В работе также рассчитывали показатель CD (Contamination degree), по формуле:

$$CD = CF_1 + CF_2 \dots + CF_n,$$

который показывает степень общего загрязнения исследуемых почв. В соответствии с [Hakanson \(1980\)](#) степень загрязнения (CD) классифицируется следующим образом: $CD < 6$ – низкая; $6 \leq CD < 12$ – умеренная; $12 \leq CD < 24$ – значительная; $CD \geq 24$ – очень высокая.

В качестве регионального фонового показателя использовали среднее содержание тяжелых металлов в минеральных подстиловых горизонтах почв Карелии ([Федорец и др., 2008](#)).

Полученные данные сравнивали с действующими в России в настоящее время гигиеническими нормативами, представленными в СанПиН 1.2.3685-21 (табл. 1).

Табл. 1. Гигиенические нормативы содержания тяжелых металлов в почве

Table 1. Hygienic standards for the content of heavy metals in the soil

Показатель	Pb, мг/кг	Cu, мг/кг	Zn, мг/кг	Ni, мг/кг	Co, мг/кг	Cr, мг/кг	Mn, мг/кг
ПДК	$\frac{32}{6}$	$\frac{-}{3}$	$\frac{-}{23}$	$\frac{-}{4}$	$\frac{-}{5}$	$\frac{-}{-}$	$\frac{1500}{80}$
ОДК	32	33	55	20	—	—	—

Примечание. ПДК (Предельно допустимая концентрация), в числителе по валовому содержанию, в знаменателе по подвижным формам, ОДК (Ориентировочная допустимая концентрация) по валовому содержанию.

Note. MAC (maximum allowable concentration), numerator – total content, denominator – labile forms, TAC (tentative allowable concentration) of the total content of heavy metals.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

При проведении исследований на территории г. Кондопоги и г. Костомукши выделены земли трех основных категорий:

- земли городской застройки – жилая часть (внутридворовые пространства, скверы, детские сады, школы и т. д.);
- земли общего пользования – промышленная зона (заводы, автохозяйства, склады, АЗС, крупные автодороги, железные дороги и т. д.);
- земли природно-рекреационной зоны (городские леса, лесопарки, парки, бульвары, скверы и т. д.);

Установлено, что данные по условно валовому содержанию большинства тяжелых металлов в поверхностном слое почв обследуемых городов сильно рассеяны от среднего значения независимо от категории землепользования. В данном случае для характеристики среднего содержания элементов в почве целесообразно использовать значение медианы или любые другие методы усреднения, так как среднее арифметическое сильно зависит от небольшого числа образцов с максимально высокими значениями ([Shacklette, Boerngen, 1984](#); [Kabala et al., 2009](#)). В таблице 2 пред-

ставлены значения медиан, а также максимальные и минимальные значения условно валового содержания тяжелых металлов в почвах обследуемых городов. На территории г. Кондопоги средняя концентрация поллютантов первого класса опасности незначительно превышает уровень регионального фона: свинца – на землях общего пользования и природно-рекреационной зоны, цинка – на землях общего пользования и городской застройки. Также выявлено превышение фона по содержанию меди – металла второго класса опасности – на каждой из выделенных категорий землепользования. Территория г. Костомукши характеризуется низкими концентрациями поллютантов, их среднее содержание находится в пределах регионального фонового значения. Это объясняется тем, что город расположен на удаленном расстоянии от промышленной площадки горно-обогатительного комбината (13 км), а также его молодым возрастом (45 лет).

На территории Кондопожского района самым крупным промышленным предприятием является АО “Кондопожский ЦБК”. Известно, что целлюлозно-бумажная промышленность оказывает негативное воздействие на все компоненты окружающей среды ([Литучина и др., 2011](#); [Gavrilescu et al., 2012](#)). При производстве целлюлозы образуются газопылевые выбросы, загрязняющие атмосферный воздух и, при оседании, – почвы ([Лаптева и др., 2021](#)). Однако основной удар приходится на водные объекты из-за большого количества сбросов ([Балакшин, 2004](#)).

Почвы г. Кондопоги на землях всех выделенных категорий не загрязнены никелем, кобальтом, хромом и марганцем, это подтверждается рассчитанными средними коэффициентами их концентрации – $CF < 1$ (табл. 3). На землях городской застройки этот показатель для свинца также < 1 . Для других поллютантов значение CF находится в диапазоне $1 < CF < 3$, что соответствует умеренному типу загрязнения. Однако значения превышают единицу несущественно, то есть концентрация тяжелых металлов находится фактически на уровне регионального фона.

Независимо от категории землепользования степень загрязнения тяжелыми металлами исследованных почв (CD) характеризуется как низкая – $CD < 6$.

Табл. 2. Содержание тяжелых металлов в поверхностном слое почв (10 см) различного землепользования на территории обследуемых городов, мг/кг (вытяжка “царская водка”)

Table 2. The content of heavy metals in the surface layer of soils (10 cm) of different land uses on the territory of the surveyed cities, mg/kg (extract “Aqua regia”)

	г. Кондопога							г. Костомукша						
	Pb	Cu	Zn	Ni	Co	Cr	Mn	Pb	Cu	Zn	Ni	Co	Cr	Mn
	Земли общего пользования (n = 13)							Земли общего пользования (n = 5)						
Мин. знач.	3.8	12.0	15.8	5.9	1.7	4.8	89.6	1.5	6.9	14.4	6.0	1.0	14.7	69.8
Макс. знач.	237.2	225.0	276.5	25.0	5.2	17.6	309.2	183.8	353.9	189.5	17.2	6.9	31.3	265.6
Медиана	17.3	29.9	41.8	14.7	3.5	10.9	251.2	8.7	10.2	23.3	14.0	3.9	24.6	158.3
	Земли городской застройки (n = 19)							Земли городской застройки (n = 18)						
Мин. знач.	4.1	7.8	20.2	5.1	1.6	5.3	95.7	1.9	2.9	4.9	3.3	1.3	9.2	25.0
Макс. знач.	43.5	57.3	155.9	22.2	5.5	17.1	376.7	22.5	384.0	129.2	13.7	6.0	26.4	467.3
Медиана	11.4	23.4	43.4	11.6	2.8	10.2	184.7	5.2	11.3	21.2	10.1	4.0	22.0	116.3
	Земли природно-рекреационной зоны (n = 5)							Земли природно-рекреационной зоны (n = 21)						
Мин. знач.	5.6	6.2	12.1	6.8	1.4	6.7	59.5	2.6	2.0	5.4	2.5	1.1	5.8	18.2
Макс. знач.	77.0	54.2	116.7	23.7	5.8	15.9	352.3	35.1	13.9	29.6	15.6	5.9	20.9	144.0
Медиана	17.7	19.6	37.1	12.2	2.8	8.8	279.9	6.2	4.3	11.4	5.4	1.7	12.3	57.5
Рег. фон	15.5	18.5	37.2	27.5	11.6	47.3	282	15.5	18.5	37.2	27.5	11.6	47.3	282

Табл. 3. Показатели загрязнения верхнего слоя почв (0–10 см) на территории г. Кондопоги
Table 3. Indexes of contamination of the upper soil layer (0–10 cm) in Kondopoga

Категория земле- пользования	Pb	Cu	Zn	Ni	Co	Cr	Mn	CD	PLI
	CF								
Земли общего пользования	1.11	1.62	1.12	0.53	0.30	0.23	0.89	5.82	0.68
Земли городской застройки	0.73	1.26	1.17	0.42	0.24	0.91	0.65	5.39	0.68
Земли природно- рекреационной зоны	1.14	1.06	1.00	0.44	0.24	0.19	0.99	5.06	0.59

Рассчитанный показатель максимален для земель общего пользования, где почвы испытывают наиболее высокие техногенные нагрузки.

Показатель уровня загрязнения PLI для почв города Кондопоги не достигает значения 1. Это говорит о том, что в целом загрязнение почв тяжелыми металлами отсутствует.

Почвы на землях городской застройки г. Кондопоги характеризуются кислой, слабокислой реакцией среды – рН 4.2–5.6. Земли общего пользования заметно подщелочены, показатель рН находится на уровне 7.0–7.8. Для почв природно-рекреационной зоны характерна кислая реакция – рН 3.8–5.3. В отдельном случае в лесном массиве вдоль крупной автодороги реакция рН слабощелочная –7.3–7.8. Наиболее насыщены основаниями почвы на землях общего пользования (83.8–99.6%) и природно-рекреационной зоны (71.5–99.7%) по всей глубине прикопок. На землях городской застройки степень насыщенности основаниями изменяется в пределах от 46.8 до 84.4%. Максимальная концентрация подвижных форм калия (до 3 704 мг/кг) выявлена в почвенных образцах, отобранных на открытом наветренном склоне от городских улиц к Онежскому озеру. На расстоянии 600 м вдоль береговой линии от данного участка расположена промышленная площадка Кондопожского ЦБК. Причиной высоких концентраций элемента могут являться техногенные выбросы, а также использование антигололедных реагентов, содержащих калий, которые с талой водой по склону попадают в почву. Высокие концентрации подвижного фосфора (до 968 мг/кг) выявлены на пробной площадке, расположенной вблизи железнодорожных путей. В целом среднее содержание подвижных форм фосфора и калия в почвах г. Кондопоги без учета экстремально высоких значений составляет 46 и 251 мг/кг соответственно. Повышенные концентрации данных элементов приурочены к землям общего пользования и городской застройки. Количество углерода и азота равномерно снижается по глубине и максимально в почвах земель городской застройки (13.8 и 0.98% соответственно).

Содержание тяжелых металлов на различных глубинах поверхностного слоя почв (0–20 см) г. Кондопоги представлено в таблице 4. Повышенные концентрации свинца, меди, никеля и

цинка относительно ПДК/ОДК, извлекаемые вытяжкой “царская водка”, определены на всех представленных категориях землепользования.

Максимальное содержание тяжелых металлов выявлено в почвенных образцах, отобранных вблизи железной дороги, где значение ПДК/ОДК по валовому содержанию цинка превышено в 16, меди – в 9 и свинца – в 6 раз, концентрации подвижных форм меди и цинка достигают 2–3 ПДК. Почвы на землях городской застройки характеризуются неравномерным распределением тяжелых металлов по глубине. Концентрации никеля и меди в данном случае находятся на уровне 1–2 ОДК, цинка – до 6 ОДК, свинца – до 3 ПДК (вытяжка “царская водка”). Выявлено превышение норматива по содержанию подвижных форм цинка в поверхностном слое почв (0–5 см) в 3 раза. На землях природно-рекреационной зоны отмечены повышенные относительно нормативов концентрации марганца. Это связано с тем, что марганец, являясь биофильным элементом, принимает участие в окислительно-восстановительных процессах, фотосинтезе, дыхании, углеводном и белковом обмене ([Mukhopadhyay, Sharma, 1991](#)). В связи с вышесказанным происходит его биогенное накопление в поверхностных горизонтах почвы, в частности, в лесной подстилке, формирующейся из растительного опада. Образцы, отобранные на территории небольших скверов в черте города, отличаются высоким условно валовым содержанием свинца (4 ПДК), цинка (8 ОДК) и меди (4 ОДК). Содержание кобальта по профилю остается примерно на одном уровне независимо от категории землепользования.

На территории Костомукшского городского округа основной промышленности является добыча железной руды, что, как известно, приводит к повышенной техногенной нагрузке на окружающую среду и является источником ее загрязнения промышленными отходами, такими как вскрышные породы, не утилизируемые отходы и шламы обогащения, которые в основном не утилизируются и, как следствие, загрязняют тяжелыми металлами атмосферный воздух, почву и водные объекты вокруг отвалов ([Пантелеева, 2009](#); [Брондер и др., 2014](#)).

Табл. 4. Содержание тяжелых металлов на различных глубинах поверхностного слоя почв (0–20 см) г. Кондопоги ($M \pm m$, где M – среднее арифметическое, m – ошибка среднего, $n = 3$)

Table 4. The content of heavy metals at different depths of the surface layer of soils (0–20 cm) in Kondopoga ($M \pm m$, M – arithmetic mean, m – standard error of mean, $n = 3$)

Глубина, см	Pb, мг/кг	Co, мг/кг	Ni, мг/кг	Cu, мг/кг	Zn, мг/кг	Cr, мг/кг	Mn, мг/кг
земли городской застройки							
0–5	$\frac{37 \pm 23.3}{2.77 \pm 1.01}$	$\frac{7 \pm 0.6}{2.55 \pm 1.14}$	$\frac{20 \pm 3.7}{1.68 \pm 0.93}$	$\frac{42 \pm 11.9}{0.90 \pm 0.52}$	$\frac{180 \pm 75.2}{37.9 \pm 20.5}$	$\frac{47 \pm 5.5}{1.77 \pm 0.33}$	$\frac{329 \pm 108.2}{17.7 \pm 2.37}$
5–10	$\frac{25 \pm 15.4}{3.32 \pm 1.15}$	$\frac{8 \pm 1.7}{1.56 \pm 0.78}$	$\frac{22 \pm 4.0}{2.52 \pm 1.12}$	$\frac{39 \pm 7.5}{1.05 \pm 0.59}$	$\frac{121 \pm 45.5}{13.4 \pm 7.8}$	$\frac{47 \pm 5.5}{3.22 \pm 1.23}$	$\frac{348 \pm 121.1}{12.0 \pm 1.02}$
10–20	$\frac{24 \pm 15.3}{2.90 \pm 2.34}$	$\frac{8 \pm 3.1}{1.15 \pm 0.78}$	$\frac{17 \pm 6.2}{0.91 \pm 0.64}$	$\frac{51 \pm 21.6}{0.52 \pm 0.19}$	$\frac{121 \pm 61.8}{11.7 \pm 9.6}$	$\frac{40 \pm 8.3}{3.03 \pm 1.71}$	$\frac{356 \pm 178.5}{7.17 \pm 3.86}$
земли общего пользования							
0–5	$\frac{86 \pm 41.8}{0.67 \pm 0.21}$	$\frac{15 \pm 1.0}{0.32 \pm 0.04}$	$\frac{38 \pm 2.7}{0.45 \pm 0.02}$	$\frac{109 \pm 25.3}{1.62 \pm 1.08}$	$\frac{282 \pm 152.2}{28.2 \pm 21.7}$	$\frac{75 \pm 9.3}{0.78 \pm 0.23}$	$\frac{485 \pm 21.9}{13.4 \pm 2.92}$
5–10	$\frac{75 \pm 52.7}{0.97 \pm 0.11}$	$\frac{13 \pm 1.3}{0.43 \pm 0.08}$	$\frac{41 \pm 2.1}{0.40 \pm 0.10}$	$\frac{164 \pm 61.5}{2.62 \pm 1.59}$	$\frac{375 \pm 247.6}{29.7 \pm 23.2}$	$\frac{94 \pm 17.6}{1.02 \pm 0.47}$	$\frac{1121 \pm 583.8}{26.5 \pm 17.8}$
10–20	$\frac{51 \pm 15.1}{0.76 \pm 0.07}$	$\frac{12 \pm 2.6}{0.37 \pm 0.04}$	$\frac{29 \pm 6.4}{0.36 \pm 0.11}$	$\frac{114 \pm 20.2}{2.46 \pm 1.63}$	$\frac{151 \pm 21.6}{25.8 \pm 18.0}$	$\frac{59 \pm 16.9}{0.56 \pm 0.20}$	$\frac{386 \pm 94.1}{11.8 \pm 4.35}$

Продолжение таблицы 4
Table 4 continued

Глубина, см	Pb, мг/кг	Co, мг/кг	Ni, мг/кг	Cu, мг/кг	Zn, мг/кг	Cr, мг/кг	Mn, мг/кг
земли природно-рекреационной зоны							
0–5	$\frac{59 \pm 43.7}{3.25 \pm 2.38}$	$\frac{13 \pm 3.7}{0.33 \pm 0.03}$	$\frac{36 \pm 12.4}{0.24 \pm 0.09}$	$\frac{53 \pm 28.8}{0.38 \pm 0.06}$	$\frac{198 \pm 131.6}{24.8 \pm 23.4}$	$\frac{80 \pm 20.0}{1.05 \pm 0.46}$	$\frac{814 \pm 414.3}{58.2 \pm 29.7}$
5–10	$\frac{67 \pm 37.6}{3.06 \pm 1.99}$	$\frac{17 \pm 6.6}{0.26 \pm 0.07}$	$\frac{42 \pm 16.6}{0.23 \pm 0.07}$	$\frac{58 \pm 38.7}{0.79 \pm 0.51}$	$\frac{84 \pm 31.7}{0.78 \pm 0.37}$	$\frac{81 \pm 21.8}{0.97 \pm 0.33}$	$\frac{731 \pm 293.6}{99.4 \pm 86.3}$
10–20	$\frac{42 \pm 36.6}{1.05 \pm 0.15}$	$\frac{15 \pm 6.4}{0.31 \pm 0.06}$	$\frac{37 \pm 15.9}{0.28 \pm 0.06}$	$\frac{56 \pm 39.8}{0.93 \pm 0.58}$	$\frac{81 \pm 27.0}{0.85 \pm 0.15}$	$\frac{74 \pm 23.1}{0.83 \pm 0.28}$	$\frac{583 \pm 286.4}{110.8 \pm 98.1}$

Примечание. В числителе вытяжка “царская водка”, в знаменателе подвижные формы.

Note. The numerator – “Aqua Regia” extract, the denominator – labile forms of heavy metals.

Однако, по полученным результатам, поверхностный слой почв на территории г. Костомукши не загрязнен тяжелыми металлами. Рассчитанные коэффициенты их концентраций (CF) меньше единицы, судя по показателю PLI, загрязнение почв отсутствует (табл. 5).

Табл. 5. Показатели загрязнения верхнего слоя почв (0–10 см) на территории г. Костомукши

Table 5. Indexes of contamination of the upper soil layer (0–10 cm) in Kostomuksha

Категория земле-пользования	Pb	Cu	Zn	Ni	Co	Cr	Mn	CD	PLI
	CF								
Земли общего пользования	0.56	0.55	0.63	0.51	0.34	0.52	0.56	3.67	0.52
Земли городской застройки	0.33	0.61	0.57	0.37	0.34	0.46	0.41	3.10	0.43
Земли природно-рекреационной зоны	0.40	0.23	0.31	0.20	0.15	0.26	0.20	1.75	0.24

Кислотность почв городской застройки г. Костомукши находится на уровне pH 4–5 – кислая реакция. На землях природно-рекреационной зоны показатель pH близок к естественным почвам и варьирует в пределах от 2.7 до 4. На землях общего пользования выявлено подщелачивание почв – реакция близкая к нейтральной (pH 5.5–6.9). Наиболее высокая степень насыщенности основаниями определена в почвах на землях общего пользования (80–90%). В целом городские почвы обогащены подвижными формами фосфора и калия, их среднее содержание без учета экстремально высоких значений составляет 49 мг/кг и 230 мг/кг. Максимальные концентрации P₂O₅ (95 мг/кг) и K₂O (845 мг/кг) определены в почвенных образцах, отобранных на землях природно-рекреационной зоны в северной части города, на участке

отмечены фрагменты строительного и бытового мусора. Содержание общего азота и углерода максимально в верхних слоях почв 0–5 см, и находится на уровне 0.1–0.3 и 1.5–5% соответственно. Лишь в одном случае на землях природно-рекреационной зоны на территории заболоченного участка, где верхние слои почв представлены оторфованными горизонтами, содержание общего азота достигает 1.7%, углерода – 54%.

Распределение тяжелых металлов в почвах города Костомукши представлено в таблице 6. В целом концентрации подвижных форм элементов и извлекаемые вытяжкой “царская водка” снижаются по глубине. На землях общего пользования вблизи автостоянки и комплекса автогаражей выявлено превышение в 2 раза ПДК по валовому содержанию свинца в верхних слоях почв (0–10 см), однако концентрация подвижных форм находится в пределах нормы. На территории поселка Контолки (земли городской застройки), который входит в состав города, значение ПДК подвижных форм свинца превышено на глубине 5–10 см. В почвенных образцах, отобранных в пригородном лесу восточной части города, в вытяжке “царская водка” определено повышенное содержание свинца, никеля, меди и цинка (1.5–2 ОДК/ПДК) на глубине 0–5 см, концентрация подвижных форм цинка в данном случае достигает 1 ПДК. Данный слой представлен задернованной лесной подстилкой, в нижележащих минеральных горизонтах концентрация элементов значительно ниже, это свидетельствует об аэротехногенном поступлении поллютантов.

Таким образом, проведены исследования содержания тяжелых металлов и некоторых физико-химических свойств поверхностного слоя почв на территории двух монопрофильных городов Карелии.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По данным Государственного доклада о состоянии окружающей среды Республики Карелия, АО “Кондопожский ЦБК” и АО “Карельский окатыш” являются одними из основных загрязнителей окружающей среды ([Государственный доклад..., 2021](#)).

Табл. 6. Содержание тяжелых металлов на различных глубинах поверхностного слоя почв (0–20 см) г. Костомукши ($M \pm m$, где M – среднее арифметическое, m – ошибка среднего, $n = 3$)

Table 6. The content of heavy metals at different depths of the surface layer of soils (0–20 cm) in Kostomuksha ($M \pm m$, M – arithmetic mean, m – standard error of mean, $n = 3$)

Глубина, см	Pb, мг/кг	Co, мг/кг	Ni, мг/кг	Cu, мг/кг	Zn, мг/кг	Cr, мг/кг	Mn, мг/кг
земли общего пользования							
0–5	$\frac{40 \pm 11.0}{0.82 \pm 0.31}$	$\frac{6 \pm 1.0}{0.51 \pm 0.17}$	$\frac{16 \pm 2.2}{0.34 \pm 0.03}$	$\frac{18 \pm 5.6}{0.36 \pm 0.11}$	$\frac{49 \pm 19.4}{3.22 \pm 2.04}$	$\frac{37 \pm 4.7}{0.95 \pm 0.39}$	$\frac{113 \pm 39.9}{3.65 \pm 2.00}$
5–10	$\frac{16 \pm 9.4}{0.95 \pm 0.25}$	$\frac{6 \pm 1.4}{0.58 \pm 0.17}$	$\frac{15 \pm 3.1}{0.35 \pm 0.15}$	$\frac{17 \pm 2.8}{0.26 \pm 0.14}$	$\frac{44 \pm 17.2}{1.01 \pm 0.48}$	$\frac{35 \pm 5.4}{1.77 \pm 0.43}$	$\frac{117 \pm 39.1}{2.16 \pm 0.58}$
10–20	$\frac{14 \pm 5.1}{0.61 \pm 0.12}$	$\frac{8 \pm 1.4}{0.36 \pm 0.03}$	$\frac{18 \pm 4.7}{0.26 \pm 0.09}$	$\frac{18 \pm 2.8}{0.35 \pm 0.15}$	$\frac{38 \pm 10.4}{0.59 \pm 0.28}$	$\frac{36 \pm 5.5}{1.63 \pm 0.43}$	$\frac{136 \pm 37.2}{1.82 \pm 0.34}$
земли городской застройки							
0–5	$\frac{24 \pm 12.8}{2.52 \pm 0.84}$	$\frac{9 \pm 1.8}{2.89 \pm 2.05}$	$\frac{14 \pm 2.4}{0.53 \pm 0.21}$	$\frac{11 \pm 1.3}{0.65 \pm 0.54}$	$\frac{19 \pm 7.2}{0.82 \pm 0.36}$	$\frac{29 \pm 4.6}{3.37 \pm 2.41}$	$\frac{103 \pm 20.8}{7.0 \pm 5.45}$
5–10	$\frac{21 \pm 8.9}{1.64 \pm 0.62}$	$\frac{6 \pm 1.4}{0.78 \pm 0.18}$	$\frac{17 \pm 0.9}{0.18 \pm 0.05}$	$\frac{12 \pm 4.0}{0.38 \pm 0.17}$	$\frac{21 \pm 3.4}{0.62 \pm 0.45}$	$\frac{26 \pm 1.6}{1.46 \pm 0.65}$	$\frac{104 \pm 11.8}{3.8 \pm 0.59}$
10–20	$\frac{7 \pm 2.7}{0.89 \pm 0.14}$	$\frac{7 \pm 1.3}{0.54 \pm 0.31}$	$\frac{16 \pm 1.3}{0.18 \pm 0.08}$	$\frac{10 \pm 0.8}{0.17 \pm 0.04}$	$\frac{19 \pm 2.2}{0.32 \pm 0.17}$	$\frac{29 \pm 2.3}{2.14 \pm 0.51}$	$\frac{118 \pm 5.9}{4.2 \pm 1.18}$

Продолжение таблицы 6
Table 6 continued

Глубина, см	Pb, мг/кг	Co, мг/кг	Ni, мг/кг	Cu, мг/кг	Zn, мг/кг	Cr, мг/кг	Mn, мг/кг
земли природно-рекреационной зоны							
0–5	$\frac{25 \pm 16.6}{3.13 \pm 2.52}$	$\frac{5 \pm 0.8}{1.22 \pm 0.68}$	$\frac{15 \pm 5.2}{0.84 \pm 0.36}$	$\frac{19 \pm 8.4}{1.62 \pm 1.18}$	$\frac{60 \pm 37.8}{13.50 \pm 9.50}$	$\frac{72 \pm 56.4}{5.07 \pm 1.77}$	$\frac{106 \pm 36.7}{25.5 \pm 7.9}$
5–10	$\frac{6 \pm 2.7}{1.09 \pm 0.48}$	$\frac{6 \pm 1.2}{1.33 \pm 0.99}$	$\frac{14 \pm 4.0}{0.73 \pm 0.43}$	$\frac{10 \pm 3.2}{0.38 \pm 0.07}$	$\frac{43 \pm 31.6}{5.75 \pm 4.50}$	$\frac{18 \pm 7.7}{1.12 \pm 0.53}$	$\frac{78 \pm 32.9}{4.1 \pm 2.4}$
10–20	$\frac{8 \pm 3.3}{2.66 \pm 1.76}$	$\frac{6 \pm 0.2}{1.79 \pm 1.13}$	$\frac{11 \pm 2.0}{0.76 \pm 0.41}$	$\frac{11 \pm 3.7}{0.85 \pm 0.32}$	$\frac{18 \pm 7.7}{0.67 \pm 0.33}$	$\frac{23 \pm 8.8}{1.06 \pm 0.21}$	$\frac{87 \pm 32.1}{3.0 \pm 1.1}$

Примечание. В числителе вытяжка “царская водка”, в знаменателе подвижные формы.
Note. The numerator – Aqua Regia extract, the denominator – labile forms of heavy metals.

Однако полученные результаты показали, что почвы обследованных городов (Кондопога, Костомукша) имеют низкий уровень загрязнения тяжелыми металлами.

По результатам исследования содержания поллютантов на различных глубинах поверхностного слоя почв (0–20 см) г. Кондопоги выявлены локальные участки, на которых концентрация свинца, меди и цинка (вытяжка “царская водка”) значительно превышает установленные нормативы (6 ПДК, 9 ОДК и 16 ОДК соответственно), содержание подвижных форм меди и цинка достигает 2–3 ПДК. Данные участки относятся к категории общего пользования и расположены вблизи крупных автодорог и железнодорожных путей. Почвы имеют кислую и слабокислую реакцию, в отдельных случаях слабощелочную. Наиболее насыщены основаниями почвы на землях общего пользования и природно-рекреационной зоны.

Территория г. Костомукши отличается более низкими уровнями накопления тяжелых металлов, их концентрации в целом находятся на уровне регионального фона на всех выделенных категориях землепользования. Кислотность почв близка к естественным региональным почвам – кислая реакция. Максимальная степень насыщенности основаниями определена в почвах на землях общего пользования.

Почвы обследуемых городов характеризуются высоким содержанием подвижных форм фосфора и калия, количество углерода и азота равномерно снижается по глубине и максимально в почвах земель городской застройки.

Таким образом на территории г. Костомукша негативное влияние техногенного пресса на почвы менее выражено. Это связано с тем, что город находится на достаточно большом расстоянии (13 км) от промышленной площадки горно-обогачительного комбината АО “Карельский окатыш”.

В целом невысокие уровни накопления тяжелых металлов в почвах обследуемых городов связаны со снижением количества аэротехногенных выбросов промышленного производства в последние годы ([Государственный доклад..., 2016](#); [2018](#); [2021](#)). Тем не менее, доля выбросов автомобильного транспорта возрастает,

что в дальнейшем может стать причиной увеличения степени химического загрязнения городских почв.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Соколов А.В.* Агрохимические методы исследования почв: руководство. М.: Изд-во Наука, 1975. 656 с.
2. *Байдина Н.Л.* Инактивация тяжелых металлов гумусом и цеолитами в техногеннозагрязненной почве // Почвоведение. 1994. № 9. С. 121–125.
3. *Балакишин П.Н.* Экологические проблемы в целлюлозно-бумажной промышленности РФ // Лесной журнал. 2004. № 1. С. 100–102.
4. *Беус А.А., Грабовская Л.И., Тихонова Н.В.* Геохимия окружающей среды. М., 1976. 248 с.
5. *Брондер Л., Солохина А., Вережкина Е., Никифоров В.* Доклад объединения Bellona “Промышленное загрязнение территорий российской части Баренцева региона”. Санкт-Петербург: ЭПЦ “Беллона”, 2014. 149 с.
6. Государственный доклад о состоянии окружающей среды Республики Карелия в 2009 г. / *А. Н. Громцев* (гл. ред.) и др. Петрозаводск: Мин-во сельского, рыбного хоз-ва и экологии РК, 2010. 296 с.
7. Государственный доклад о состоянии окружающей среды Республики Карелия в 2014 г. / *А. Н. Громцев* (гл. ред.) и др. Петрозаводск: Мин-во природопользованию и экологии Республики Карелия, 2015. 272 с.
8. Государственный доклад о состоянии окружающей среды Республики Карелия в 2015 г. / *А. Н. Громцев* (гл. ред.) и др. Петрозаводск: Мин-во природопользованию и экологии Республики Карелия, 2016. 300 с.
9. Государственный доклад о состоянии окружающей среды Республики Карелия в 2017 г. / *А. Н. Громцев* (гл. ред.) и др. Петрозаводск: Мин-во природных ресурсов и экологии Республики Карелия, 2018. 292 с.
10. Государственный доклад о состоянии окружающей среды Республики Карелия в 2020 г. / *А. Н. Громцев* (гл. ред.) и др. Петрозаводск: Мин-во природных ресурсов и экологии Республики Карелия, 2021. 277 с.
11. *Демин В.В.* Роль гуминовых кислот в необратимой сорбции и биогеохимии тяжелых металлов в почве // Известия ТСХА. 1994. Вып. 2. С. 79–86.
12. *Джувеликян Х.А.* Подвижные формы тяжелых металлов в черноземах незагрязненных ландшафтов // Вестник Самарского Государственного Университета, Серия: Химия, Биология, Фармация. 2005. № 1. С. 107–112.
13. *Зырин Н.Г.* Узловые вопросы учения о микроэлементах: Автореф. дис. ... докт. биол. наук. М.: Изд. МГУ, 1968. 37 с.

14. *Калашиникова О.В.* Техногенное загрязнение почв и состояние древесных насаждений в г. Москве: Дис. ... канд. биол. наук. М., 2003. 141 с.
15. *Лантеева Е.М., Холопов Ю.В., Шахтарова О.В., Бондаренко Н.Н., Кострова С.Н.* Почвы и почвенный покров в зоне влияния аэротехногенных выбросов целлюлозно-бумажного производства // Известия Коми НЦ УрО РАН. 2021. №5 (51). С. 46–60. DOI: [10.19110/1994-5655-2021-5-46-60](https://doi.org/10.19110/1994-5655-2021-5-46-60).
16. *Личутина Т.Ф., Боголицын К.Г., Гумакова М.А.* Экологическая оценка деятельности предприятий целлюлозно-бумажной промышленности. Перспективные направления утилизации отходов // Российский химический журнал. 2011. Т. LV. № 1. С. 101–107.
17. Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства. М.: ЦИНАО, 1992. 61 с.
18. *Новиков С.Г.* Оценка загрязнения тяжелыми металлами почв города Кондопога // Труды четвертой международной научно-практической конференции молодых ученых “Индикация состояния окружающей среды: теория, практика, образование”. М.: Буки-Веди, 2015. С. 117–120.
19. *Новиков С.Г.* Содержание тяжелых металлов в почвах города Костомукши // Современные проблемы науки и образования. 2016. № 5; URL: <http://www.science-education.ru/article/view?id=25327>.
20. *Пантелеева Я.Г.* Геохимические изменения окружающей среды в зоне влияния горнопромышленного комплекса ОАО “Карельский окатыш” (г. Костомукша, республика Карелия): Автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. СПб., 2009. 20 с.
21. *Пляскина О.В., Ладонин Д.В.* Загрязнение городских почв тяжелыми металлами // Почвоведение. 2009. № 7. С.877–885.
22. Почва, город, экология / *Г.В. Добровольский* (ред.). М.: Фонд “За экономическую грамотность”, 1997. 320 с.
23. *Саэт Ю.Е., Ревич Б.А., Янин Е.П., Смирнова Р.С., Башаркевич И.Л., Онищенко Т.Л., Павлова Л.Н., Трефилова Н.Я., Ачкасова А.И., Саркисян С.Ш.* Геохимия окружающей среды. М.: Мир, 1990. 319 с.
24. Свод правил “Инженерно-экологические изыскания для строительства” (СП 11-102-97). М., 1998.
25. *Стурман В.И.* Экологическое картографирование. М.: Аспект Пресс, 2003. 251 с.
26. *Федорец Н.Г., Бахмет О.Н., Солодовников А.Н., Морозов А.К.* Почвы Карелии: геохимический атлас. М.: Наука, 2008. 47 с.
27. *Щербо А.П., Киселев А.В.* О проблеме эколого-гигиенических маркеров в аспекте доказательной медицины // Гигиена и санитария. 2004. № 6. С. 5–8.

28. *Bidwell A.M., Dowdy R.H.* Cadmium and zinc availability to com following termination of sewage sludge applications // *J. Environm. Qual.* 1987. No. 164. P. 438–442.
29. *Bruemmer G.W., Gerth J., Herms U.* Heavy metal species, mobility and availability in soils // *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde.* 1986. Bd 149. No. 4. P. 382–398.
30. *Gavrilescu D., Puitel A.C., Dutuc Gh., Cracium G.* Environmental impact of pulp and paper mills // *Environmental Engineering and Management Journal.* 2012. Vol. 11. Iss. 1. P. 81–85. DOI: [10.30638/eemj.2012.012](https://doi.org/10.30638/eemj.2012.012).
31. *Hakanson L.* An Ecological Risk Index for Aquatic Pollution Control – A Sedimentological Approach // *Water Research.* 1980. Vol. 14. Iss. 8. P. 975–1001.
32. *Islam S., Ahmed K., Habibullah-Al-Mamun, Masunaga S.* Potential ecological risk of hazardous elements in different land-use urban soils of Bangladesh // *Science of The Total Environment.* 2015. Vol. 512–513. P. 94–102
33. *Kabala C., Chodak T., Szerszen L., Karczewska A., Szopka K., Frateczak U.* Factors influencing the concentration of heavy metals in soils of allotment gardens in the city of wroclaw, Poland // *Fresenius Environmental Bulletin.* 2009. Vol. 18. Iss. 7. P. 1118–1124.
34. *Mukhopadhyay M.J., Sharma A.* Manganese in cell metabolism of higher plants // *The Botanical Review.* 1991. Vol. 57. No. 2. P. 117–149.
35. *Novikov S.* Ecological condition of soils in small towns of the Republic of Karelia // *Urbanization: a challenge and an opportunity for soil functions and ecosystem services 9th international congress. Proc. Soils of Urban Industrial Traffic Mining and Military Areas (SUITMA 9).* Moscow, 2017. P. 392–394.
36. *Peng C., Cai Y., Wang T., Xiao R., Chen W.* Regional probabilistic risk assessment of heavy metals in different environmental media and land uses: An urbanization-affected drinking water supply area // *Scientific Reports.* 2016. Vol. 6. 37084.
37. *Ramakrishnaiah H., Somashekar R.K.* Heavy metal contamination in roadside soil and their mobility in relations to pH and organic carbon // *Soil and Sediment Contamination: An International Journal.* 2002. Vol. 5. Iss. 1. P. 643–654.
38. *Rashed M.N.* Monitoring of contaminated toxic and heavy metals, from mine tailings through age accumulation, in soil and some wild plants at Southeast Egypt // *Journal of hazardous materials.* 2010. Vol. 178. Iss. 1–3. P. 739–746.
39. *Shacklette H.T., Boerngen J.G.* Element concentrations in soils and other surficial materials of the conterminous United States. U.S. Geological Paper 1270, 1984. 105 p.

40. Tomlinson D.C., Wilson J.G., Harris C.R., Jeffery D.W. Problems in the assessment of heavy metals levels in estuaries and the formation of a pollution index // *Helgoland Marine Research*. 1980. Vol. 33. Iss. 1. P 566–575.

REFERENCES

1. Sokolov A.V. (Ed.), *Agrokhimicheskie metody issledovaniya pochv: rukovodstvo* (Agrochemical methods of soil research: a guide), Moscow: Izd-vo Nauka, 1975, 656 p.
2. Baidina N.L., Inaktivatsiya tyazhelykh metallov gumusom i tseolitami v tekhnogennozagryaznennoy pochve (Inactivation of heavy metals by humus and zeolites in a technogenically polluted soil), *Pochvovedenie*, 1994, No. 9, pp. 121–125.
3. Balakshin P.N., *Ekologicheskie problemy v tsellyulozno-bumazhnoy promyshlennosti RF* (Environmental problems in pulp-and-paper industry of RF), *Lesnoy zhurnal*, 2004, No. 1, pp. 100–102.
4. Beus A.A., Grabovskaya L.I., Tikhonova N.V., *Geokhimiya okruzhayushchey sredy* (Geochemistry of the environment), Moscow, 1976, 248 p.
5. Bronder L., Solohina A., Verevkina E., Nikiforov V., *Doklad ob'edineniya Bellona "Promyshlennoe zagryaznenie territoriy rossiyskoy chasti Barentseva regiona"* (Report of the Bellona association "Industrial pollution of the territories of the Russian part of the Barents region"), St. Petersburg: ERC "Bellona", 2014, 149 p.
6. Gromtsev A.N. (Ed.), State report on the state of the environment of the Republic of Karelia in 2014, Petrozavodsk: Ministry of Nature Management and Ecology of the Republic of Karelia, 2015, 272 p.
7. Gromtsev A.N. (Ed.), State report on the state of the environment of the Republic of Karelia in 2015, Petrozavodsk: Ministry of Nature Management and Ecology of the Republic of Karelia, 2016, 300 p.
8. Gromtsev A.N. (Ed.), State report on the state of the environment of the Republic of Karelia in 2017, Petrozavodsk: Ministry of Natural Resources and Ecology of the Republic of Karelia, 2018, 292 p.
9. Gromtsev A.N. (Ed.), State report on the state of the environment of the Republic of Karelia in 2020, Petrozavodsk: Ministry of Natural Resources and Ecology of the Republic of Karelia, 2021, 277 p.
10. Gromtsev A.N. (Ed.), State report on the state of the environment of the Republic of Karelia in 2009, Petrozavodsk: Ministry of Agriculture, Fisheries and Ecology of the Republic of Kazakhstan, 2010, 296 p.
11. Demin V.V., Rol' guminovykh kislot v neobratimoy sorbtсии i biogeokhimiі tyazhelykh metallov v pochve (The role of humic acids in the irreversible

sorption and biogeochemistry of heavy metals in soil, *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*, 1994, No. 2, pp. 79–86.

12. Dzhuvelikyan H.A., Podvizhnye formy tyazhelykh metallov v chernozemakh nezagryaznennykh landshaftov (Mobile forms of heavy metals in chernozems of uncontaminated landscapes), *Vestnik Samarskogo Gosudarstvennogo Universiteta, Seriya: Himiya, Biologiya, Farmatsiya*, 2005, No. 1, pp. 107–112.

13. Zyryn N.G., *Uzlovye voprosy ucheniya o mikroelementakh: Avtoref. dis. ... dokt. biol. nauk* (Key issues of the doctrine of microelements, Extended abstract of Dr. biol. sci. thesis), Moscow State University, 1968, 37 p.

14. Kalashnikova O.V., *Tekhnogennoe zagryaznenie pochv i sostoyanie drevesnykh nasazhdeniy v g. Moskve: Dis. ... kand. biol. nauk* (Technogenic pollution of soils and the state of tree plantations in Moscow: Cand. biol. sci. thesis), Moscow, 2003, 141 p.

15. Lapteva E.M., Holopov Yu.V., SHahtarova O.V., Bondarenko N.N., Kostrova S.N., *Pochvy i pochvennyy pokrov v zone vliyaniya aerotekhnogennykh vybrosov tsellyulozno-bumazhnogo proizvodstva* (Soils and soil cover in the zone of influence of airborne industrial emissions from pulp and paper production), *Izvestiya Komi NTs UrO RAN*, 2021, No. 5 (51), pp. 46–60, DOI: [10.19110/1994-5655-2021-5-46-60](https://doi.org/10.19110/1994-5655-2021-5-46-60).

16. Lichutina T.F., Bogolicyn K.G., Gumakova M.A., *Ekologicheskaya otsenka deyatelnosti predpriyatiy tsellyulozno-bumazhnoy promyshlennosti. Perspektivnye napravleniya utilizatsii otkhodov* (Environmental assessment of the activities of pulp and paper industry enterprises. Promising areas of waste disposal), *Rossiyskiy himicheskii zhurnal*, 2011, Vol. LV, No. 1, pp. 101–107.

17. Guidelines for the determination of heavy metals in agricultural soils and crop production, Moscow: TsINAO, 1992, 61 p.

18. Novikov S.G., *Otsenka zagryazneniya tyazhelymi metallami pochv goroda Kondopoga* (Assessment of heavy metal contamination of urban soils in Kondopoga), *Trudy chetvertoy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii molodykh uchenykh "Indikatsiya sostoyaniya okruzhayushchey sredy: teoriya, praktika, obrazovanie"* (Proc. 4th Intern. scientific and practical conference of young scientists "Indication of the state of the environment: theory, practice, education"), Moscow: Buki-Vedi, 2015, pp. 117–120.

19. Novikov S.G., *Soderzhanie tyazhelykh metallov v pochvakh goroda Kostomukshi* (Heavy metals in soils of the town of Kostomuksha), *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*, 2016, No. 5, URL: <http://www.science-education.ru/article/view?id=25327>.

20. Panteleeva Ya.G., *Geokhimicheskie izmeneniya okruzhayushchey sredy v zone vliyaniya gornopromyshlennogo kompleksa OAO "Karel'skiy okatysh" (g. Kostomuksha, respublika Kareliya): Avtoref. dis. ... kand. geol.-mineral.*

Nauk (Geochemical changes in the environment in the zone of influence of the mining complex OJSC “Karelsky Okatysh” (Kostomuksha, Republic of Karelia), Extended abstract of Cand. geol.-mineral. sci. thesis), St. Petersburg, 2009, 20 p.

21. Plyaskina O.V., Ladonin D.V., Zagryaznenie gorodskikh pochv tyazhelymi metallami (Heavy metal pollution of urban soils), *Eurasian Soil Science*, 2009, Vol. 42, No. 7, pp. 816–823.

22. Dobrovolsky G.V. (Ed.), *Pochva, gorod, ekologiya* (Soil, City, Ecology), Moscow: Fond “Za ekonomicheskuyu gramotnost’”, 1997, 320 p.

23. Saet Yu.E., Revich B.A., Yanin E.P., Smirnova R.S., Basharkevich I.L., Onishchenko T.L., Pavlova L.N., Trefilova N.Ya., Achkasova A.I., Sarkisyan S.Sh., *Geokhimiya okruzhayushchey sredy* (Environmental geochemistry), Moscow: Mir, 1990, 319 p.

24. Code of rules “Engineering and environmental surveys for construction” (11-102-97), Moscow, 1998.

25. Sturman V.I., *Ekologicheskoe kartografirovaniye* (Ecological mapping, Moscow): Aspekt Press, 2003, 251 p.

26. Fedorec N.G., Bahmet O.N., Solodovnikov A.N., Morozov A.K., *Pochvy Karelii: geokhimicheskiy atlas* (Soils of Karelia: geochemical atlas), Moscow: Nauka, 2008, 47 p.

27. Shcherbo A.P., Kiselev A.V., O probleme ekologo-gigienicheskikh markerov v aspekte dokazatel'noy meditsiny (Ecological and hygienic markers in evidence-based medicine), *Gigiena i sanitariya*, 2004, No. 6, pp. 5–8.

28. Bidwell A.M., Dowdy R.H., Cadmium and zinc availability to com following termination of sewage sludge applications, *J. Environm. Qual.*, 1987, No. 164, pp. 438–442.

29. Bruemmer G.W., Gerth J., Herms U., Heavy metal species, mobility and availability in soils, *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde*, 1986. Bd 149, No. 4, pp. 382–398.

30. Gavrilescu D., Puitel A.C., Dutuc Gh., Craciun G., Environmental impact of pulp and paper mills, *Environmental Engineering and Management Journal*, 2012, Vol. 11, Iss. 1, pp. 81–85, DOI: [10.30638/eemj.2012.012](https://doi.org/10.30638/eemj.2012.012).

31. Hakanson L., An Ecological Risk Index for Aquatic Pollution Control – A Sedimentological Approach, *Water Research*, 1980, Vol. 14, Iss. 8, pp. 975–1001.

32. Islam S., Ahmed K., Habibullah-Al-Mamun, Masunaga S., Potential ecological risk of hazardous elements in different land-use urban soils of Bangladesh, *Science of The Total Environment*, 2015, Vol. 512–513, pp. 94–102.

33. Kabala C., Chodak T., Szerszen L., Karczewska A., Szopka K., Fraczkak U., Factors influencing the concentration of heavy metals in soils of

allotment gardens in the city of wroclaw, Poland, *Fresenius Environmental Bulletin*, 2009, Vol. 18, Iss. 7, pp. 1118–1124.

34. Mukhopadhyay M.J., Sharma A., Manganese in cell metabolism of higher plants, *The Botanical Review*, 1991, Vol. 57, No. 2, pp. 117–149.

35. Novikov S., Ecological condition of soils in small towns of the Republic of Karelia, *Urbanization: a challenge and an opportunity for soil functions and ecosystem services 9th international congress. Proc. Soils of Urban Industrial Traffic Mining and Military Areas (SUITMA 9)*, Moscow, 2017, pp. 392–394.

36. Peng C., Cai Y., Wang T., Xiao R., Chen W., Regional probabilistic risk assessment of heavy metals in different environmental media and land uses: An urbanization-affected drinking water supply area, *Scientific Reports*, 2016, Vol. 6, 37084.

37. Ramakrishnaiah H., Somashekar R.K., Heavy metal contamination in roadside soil and their mobility in relations to pH and organic carbon, *Soil and Sediment Contamination: An International Journal*, 2002, Vol. 5, Iss. 1, pp. 643–654.

38. Rashed M.N., Monitoring of contaminated toxic and heavy metals, from mine tailings through age accumulation, in soil and some wild plants at Southeast Egypt, *Journal of hazardous materials*, 2010, Vol. 178, Iss. 1–3, pp. 739–746.

39. Shacklette H.T., Boerngen J.G., Element concentrations in soils and other surficial materials of the conterminous United States, *U.S. Geological Paper 1270*, 1984, 105 p.

40. Tomlinson D.C., Wilson J.G., Harris C.R., Jeffery D.W., Problems in the assessment of heavy metals levels in estuaries and the formation of a pollution index, *Helgoland Marine Research*, 1980, Vol. 33, Iss. 1, pp. 566–575.