

УДК 504.5:631.4

## СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВАХ ГОРОДА КОСТОМУКШИ

Новиков С.Г.

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт леса Карельского научного центра Российской академии наук, Карельский научный центр РАН, Петрозаводск, e-mail: novikovsergey.nsg@gmail.com*

На территории города Костомукши исследовано содержание тяжелых металлов (Cd, Pb, Cu, Zn, Cr, Co, Mn, Fe) в верхнем 10-ти сантиметровом слое почв на землях различного пользования. Рассчитаны статистические показатели, а также средние концентрации загрязнителей по различным методам усреднения. Полученные данные сравнивали с региональным фоном и принятыми в России нормативами (ПДК/ОДК). Для всех элементов определено значительное варьирование концентраций, данные сильно рассеяны от средних уровней. Представлена картосхема, построенная по комплексному показателю суммарного загрязнения Zc. В целом почвы г. Костомукши относятся к допустимой категории загрязнения, выявлены лишь отдельные пробные площади на землях общего пользования и городской застройки, где уровень содержания тяжелых металлов (Pb, Cu, Zn) в несколько раз превышает значения ПДК/ОДК. На землях природно-рекреационной зоны в небольшом количестве почвенных проб повышено содержание кадмия (1ОДК).

Ключевые слова: тяжелые металлы, городские почвы, загрязнение почв.

## HEAVY METALS IN SOILS OF THE TOWN OF KOSTOMUKSHA

Novikov S.G.

*Forest Research Institute of the Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences, Petrozavodsk, e-mail: novikovsergey.nsg@gmail.com*

Soils in sites belonging to different land use categories in the town of Kostomukshawere surveyed for the content of heavy metals (Cd, Pb, Cu, Zn, Cr, Co, Mn, Fe) in the 10-cm topsoil. Statistical indices as well as average concentrations of pollutants were calculated using various averaging methods. The resultant data were compared to the regional background and to national regulatory standards (maximum allowable concentrations MAC/tentative allowable concentrations TAC). Concentrations of all the elements varied greatly, and data spread from the average levels was considerable. A schematic map based on the integrated pollution index Zc was built. Soils in the town of Kostomuksha generally fall in the admissible pollution category; there were only some sample plots in public use and built-up areas where the content of heavy metals (Pb, Cu, Zn) was several times higher than MAC/TAC. A few soil samples from a natural recreation area contained elevated amounts of cadmium (1 TAC).

Ключевые слова: heavy metals, urban soils, soil contamination.

Почвы на урбанизированных территориях в результате мощного воздействия техногенного пресса накапливают большое количество химических загрязняющих веществ, среди которых такие токсичные загрязнители, как тяжелые металлы. В связи с этим у почв снижается способность выполнять свои экологические функции. Основными источниками загрязнения окружающей среды на городской территории являются предприятия цветной и черной металлургии; промышленные производства; электростанции и ТЭЦ, сжигающие уголь; сжигание различных видов топлива, автотранспорт и др.

Город Костомукша основан в 1977 году и расположен на севере Западно-Карельской возвышенности на восточном берегу озера Контокки. Основой промышленности города является добыча железной руды, что приводит к повышенной техногенной нагрузке на

окружающую среду. По данным Государственного доклада о состоянии окружающей среды республики Карелия градообразующее предприятие АО «Карельский окатыш» является одним из наиболее крупных загрязнителей окружающей среды промышленными отходами, в 2014 году оно внесло основной вклад в суммарные выбросы загрязняющих веществ от стационарных источников – 61,3 % от объема валовых выбросов по республике [6].

Целью данного исследования являлась оценка уровня загрязнения тяжелыми металлами почв различных категорий землепользования на территории города Костомукши. Для этого решались следующие задачи:

- выделить основные категории землепользования на территории города;
- установить средние показатели содержания тяжелых металлов в почвах города;
- оценить экологическое состояние почв г. Костомукши по комплексному показателю суммарного загрязнения  $Z_c$ .

#### **Объекты и методы**

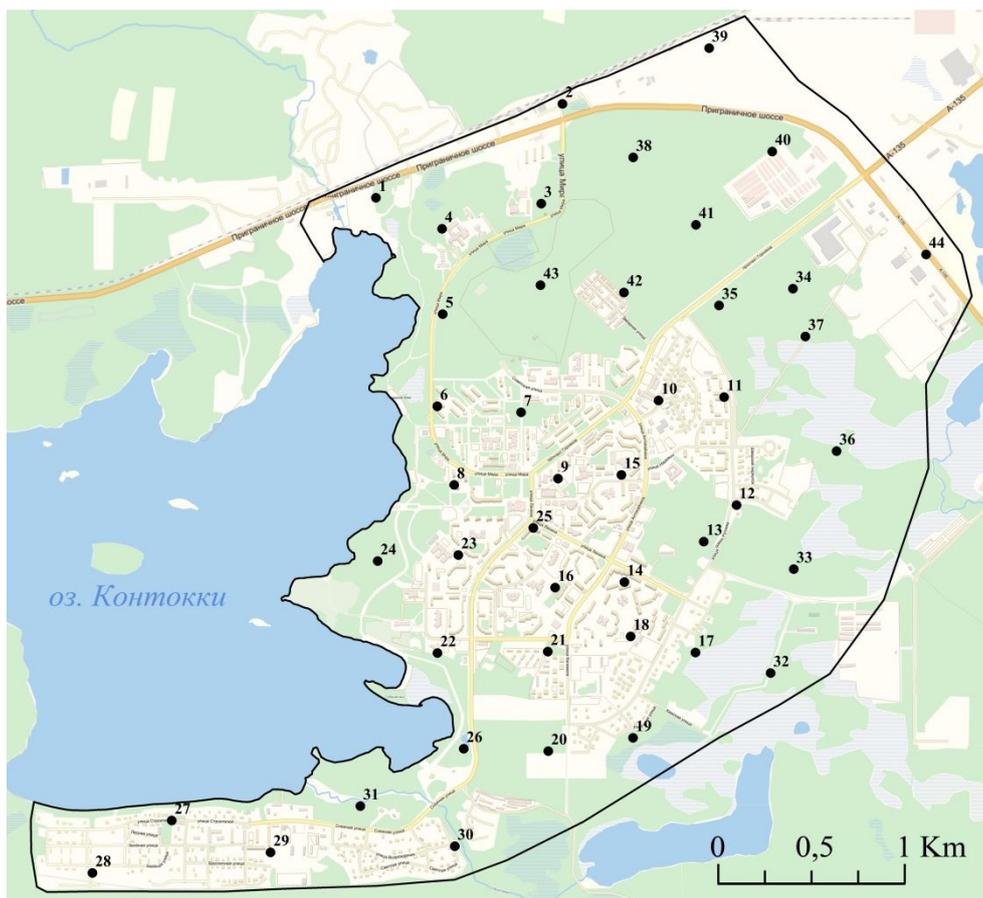
Объектами исследований являлись антропогенно преобразованные почвы города Костомукши. С целью изучения пространственного распределения тяжелых металлов на территории города отобрано 44 смешанных почвенных проб из верхнего 10-ти сантиметрового слоя (рис. 1). Отбор образцов осуществлялся с учетом рекомендаций [11] с площадок 10\*10 м методом «конверта». Категорию землепользования на каждой пробной площади определяли в соответствии с рекомендациями [10].

В отобранных почвенных образцах определяли содержание тяжелых металлов (Cd, Pb, Cr, Cu, Co, Ni, Mn, Zn, Fe) в вытяжках «AquaRegia» методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии (спектрофотометр AA-7000, Shimadzu, Япония) в ЦКП «Аналитическая лаборатория» ИЛ КарНЦ РАН. Полученные данные сравнивали с действующими в России в настоящее время гигиеническими нормативами ГН 2.1.7.2041-06 [4] и ГН 2.1.7.2511-09 [5], а также с естественным региональным фоном, в качестве которого использовали среднее содержание тяжелых металлов в минеральных подподстилочных горизонтах почв Карелии [12].

Расчет комплексного показателя суммарного загрязнения почв  $Z_c$  производили с учетом среднего геометрического коэффициентов концентрации и коэффициентов токсичности тяжелых металлов [1; 2].

Картосхема по показателю суммарного загрязнения  $Z_c$  построена при помощи программного пакета ArcGISArcMap методом ординарного кригинга (Kriging).

Статистическая обработка результатов проводилась при помощи программного пакета Statistica 6.



*Рис. 1. Точки отбора почвенных проб на территории города Костомукши*

### **Результаты и обсуждения**

В ходе исследования на территории города Костомукши выделены следующие категории землепользования:

- земли городской и сельской застройки – жилая часть: внутриворонные пространства, скверы, детские сады, школы и т.д. (пробные площади №: 4, 6, 8, 9, 11, 12, 14, 15, 16, 18, 21, 22, 23, 25, 27, 28, 29, 30);
- земли общего пользования – промышленная зона: автохозяйства, АЗС, крупные автодороги, железная дорога и т.д. (пробные площади №: 2, 10, 39, 40, 44);
- земли природно-рекреационной зоны – городские леса, лесопарки, парки, бульвары, скверы и т.д. (пробные площади №: 1, 3, 5, 7, 13, 17, 19, 20, 24, 26, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 41, 42, 43).

Основное градообразующее предприятие по добыче железной руды АО «Карельский окатыш» является основным загрязнителем окружающей среды промышленными отходами, такими как вскрышные породы, не утилизируемые отходы и шламы обогащения. Эти отходы в основном не утилизируются и, как следствие, загрязняют почву и водные объекты вокруг отвалов тяжелыми металлами (железо, хром и др.) [7]. В пылевых эмиссиях предприятия среди тяжелых металлов преобладает Fe [9]. Активно проводятся изучения влияния АО

«Карельский окатыш» на различные компоненты окружающей среды. Исследователи отмечают, что наибольшему загрязнению тяжелыми металлами вокруг АО «Карельский окатыш» подвергается зона в радиусе до 10 км [8; 9; 13]. Однако промышленная площадка находится на расстоянии 13 км от города.

В таблице 1 представлены данные по содержанию тяжелых металлов в почвах города Костомукши. Для всех исследуемых элементов определено значительное варьирование, о чем говорят высокие значения коэффициентов вариации (V,%). Особенно для свинца, цинка и меди, где максимальные концентрации в несколько раз выше средних уровней. По показателю стандартного отклонения ( $\sigma$ ) можно сделать вывод, что данные по содержанию элементов сильно рассеяны от среднего значения, за исключением никеля, хрома, кадмия и кобальта. При таких широких разбросах данных среднее арифметическое сильно зависит от небольшого числа образцов с максимально высокими значениями, в связи с этим в таблице 1 также представлены другие методы усреднения (среднее геометрическое, медиана). Стандартная ошибка среднего ( $\mu$ ) особенно велика для значений, полученных по содержанию железа.

Таблица 1

Содержание свинца в почвах города Костомукши, мг/кг

(n = 44 почвенные пробы)

Элемент	Среднее арифметическое	Среднее геометрическое	Медиана	Мин. значение	Макс. значение	$\sigma$	$\mu$	V, %
1 класс опасности								
<b>Pb</b> (ПДК 32 мг/кг)	12,31	6,71	5,92	1,47	183,77	27,54	4,15	224%
<b>Zn</b> (ОДК 55 мг/кг)	29,75	18,48	16,96	4,86	189,53	40,82	6,15	137%
<b>Ni</b> (ОДК 20 мг/кг)	8,36	7,32	8,26	2,49	17,16	4,08	0,62	49%
<b>Cr</b> -	17,16	15,77	17,38	5,84	31,25	6,64	1,00	39%
<b>Cd</b> (ОДК 0,5 мг/кг)	0,21	0,17	0,16	0,03	0,70	0,15	0,02	72%
2 класс опасности								
<b>Co</b> -	3,07	2,67	2,99	0,96	6,92	1,56	0,23	51%
<b>Cu</b> (ОДК 33 мг/кг)	24,55	8,11	7,05	2,00	384,04	76,23	11,49	311%
3 класс опасности								
<b>Mn</b> (ПДК 1500 мг/кг)	102,78	81,98	98,98	18,16	467,30	76,82	11,58	75%
без класса опасности								

Fe	6589,37	5639,60	6639,86	1167,24	15400,14	3416,09	515,00	52%
-								

Среднее содержание свинца в почвах города Костомукши ниже уровня регионального фона (15,5 мг/кг) по всем представленным методам усреднения. Многократное превышение ПДК (до 6ПДК) выявлено лишь на одной пробной площади № 40 заложенной на территории комплекса автогаражей на окраине города. Важно отметить, что на всей территории городской и сельской застройки показатели концентрации свинца в почвах ниже уровня ПДК.

Содержание цинка в городских почвах ниже фонового уровня (37,2). Значение ОДК превышено до 3,5 раз в небольшом количестве почвенных проб, отобранных на землях городской застройки и общего пользования (территории комплекса автогаражей). Проявляется тенденция к накоплению данного элемента в центральной части города. Следует отметить повышенное содержание поллютанта (2ОДК) на пробной площади № 15 рядом с территорией Детского сада № 14.

Концентрация никеля в почвах на всей территории города не превышает 18 мг/кг, что значительно ниже регионального фона (27,5 мг/кг). Пробная площадь (№ 10) с максимальным содержанием элемента относится к землям общего пользования и расположена на открытой площадке, захлавленной строительным мусором.

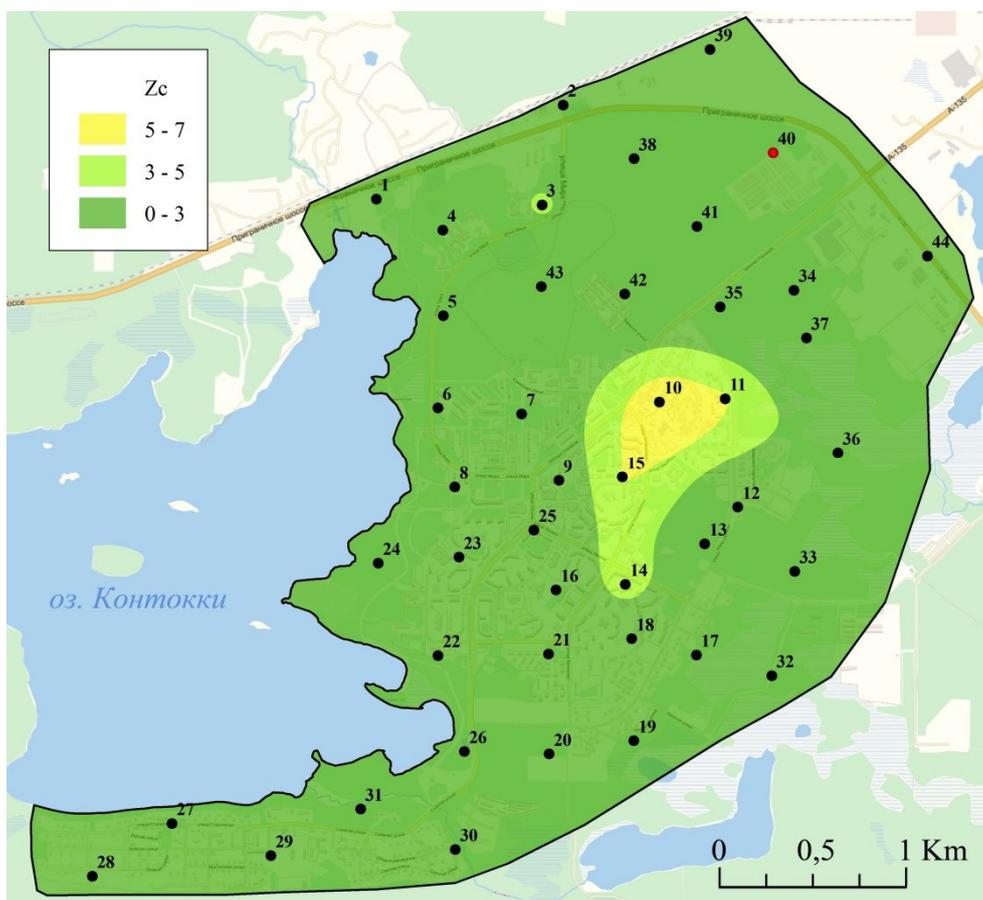
Концентрации кадмия, превышающие значение ОДК, выявлены в четырех почвенных пробах, отобранных на землях природно-рекреационной зоны в пригородных лесах южной и юго-восточной частях города. Максимальное содержание определено на пробной площади № 35 и составляет 0,7 мг/кг. Среднее количество поллютанта в почвах города по различным методам усреднения изменяется от 0,16 до 0,21 мг/кг. Данные по региональному фону в минеральных горизонтах отсутствуют.

Основной массив значений по содержанию меди в почвах города находится в диапазоне от 2 до 21 мг/кг. Однако на двух пробных площадях на землях городской и сельской застройки выявлены высокие концентрации элемента – 354 и 384 мг/кг, что значительно превышает ОДК (33 мг/кг). Оба участка расположены в зоне постоянного воздействия автомобильных выбросов – обочина дороги и комплекс автогаражей. В связи с этим среднее арифметическое значение в целом для города несколько завышено, однако среднее геометрическое и медиана ниже уровня регионального фона (18,5 мг/кг).

Среднее содержание железа и марганца в почвах г. Костомукши в 2 раза ниже фоновых значений (Fe – 17505 мг/кг; Mn – 282 мг/кг). Максимальные значения получены на землях общего пользования. Данные элементы не являются токсичными загрязнителями, однако при высоких концентрациях марганца может проявляться его фитотоксичность.

Концентрации кобальта и хрома на всей территории города низкие относительно регионального фона ( $Co - 11,6$ ;  $Cr - 47,3$ ). Проявляется тенденция к накоплению данных элементов в почвах на урбанизированной территории (земли городской застройки и общего пользования).

По полученным данным рассчитан комплексный показатель суммарного загрязнения почв тяжелыми металлами ( $Pb, Cu, Zn, Ni, Co, Cr, Mn, Fe, Zc$ ) и построена картосхема (рис. 2). Важно отметить, что при расчете не учитывались данные по содержанию кадмия в почвах, так как отсутствуют данные по его фоновому содержанию. На большинстве пробных площадей почвы относятся к допустимой категории загрязнения [3], показатель  $Zc < 16$ . Однако на пробной площади № 40 показатель суммарного загрязнения равен  $39,3$  – это максимальное значение определено как экстремально высокое по отношению ко всему набору данных и не учитывалось при построении картосхемы. Данная пробная площадь расположена на удаленном расстоянии от жилой части города на территории комплекса автогаражей, где почвы подвержены постоянному воздействию автомобильных выхлопов, а также захламлены техническим и бытовым мусором, что, вероятно, и послужило источником загрязнителей. Здесь выявлены высокие показатели содержания свинца (6ПДК), меди (11ОДК) и цинка (3ОДК).



- – точка отбора почвенной пробы,
- – точка с экстремально высоким значением

*Рис. 2. Картограмма загрязнения почв г. Костомукши  
тяжелыми металлами по показателю Zc*

### **Заключение**

На территории города Костомукши выделены следующие категории землепользования: городской и сельской застройки, общего пользования, природно-рекреационной зоны. В целом в городских почвах определены низкие уровни накопления тяжелых металлов относительно регионального фона, выявлены лишь локальные загрязнения отдельными элементами. Концентрация кадмия на землях природно-рекреационной зоны достигает 1ОДК. Основные ареалы концентрации тяжелых металлов (Pb, Cu, Zn) приурочены к местам скопления автотранспорта, а также несанкционированным свалкам строительного, технического и бытового мусора (земли городской застройки и общего пользования). Значительное расстояние до промышленной площадки АО «Карельский окатыш» (13 км), а также «молодой» возраст г. Костомукши (основан в 1977 г.) объясняет невысокое содержание поллютантов в городских почвах.

*Предоставленный материал был получен при выполнении государственного задания ИЛ КарНЦ РАН (0220-2014-0006).*

### **Список литературы**

1. Водяницкий Ю.Н. Формулы оценки суммарного загрязнения почв тяжелыми металлами и металлоидами // Почвоведение. – 2010. – № 10. – С. 1276-1280.
2. Выборов С.Г., Павелко А.И., Шукин В.Н., Янковская Э.В. Оценка степени опасности загрязнения почв по комплексному показателю нарушенного геохимического поля // Современные проблемы загрязнения почв. Межд. научная конф. – М., 2004. – С. 195–197.
3. Гигиеническая оценка качества почвы населенных мест: Методические указания. – М.: ФЦ ГСЭН Минздрава России, 1999. – 38 с.
4. ГН 2.1.7.2041-06. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве. Утв. Главным санитарным врачом РФ 19.01.2006. Изд. офиц. – М.: ИИЦ Минздрава России, 2006. – 15 с.
5. ГН 2.1.7.2511-09. Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве. Утв. Главным санитарным врачом РФ 18.05.2009. Изд. офиц. – М.: ИИЦ Минздрава России, 2009. – 3 с.
6. Государственный доклад о состоянии окружающей среды Республики Карелия в 2014 г. / Министерство по природопользованию и экологии Республики Карелия; [редкол.: А. Н. Громцев (гл. ред.) и др.]. – Петрозаводск: Verso, 2015. – 272 с.

7. Доклад объединения Bellona «Промышленное загрязнение территорий российской части Баренцева региона» / Л. Брондер, А. Солохина, Е. Веревкина, В. Никифоров. – Санкт-Петербург: ЭПЦ «Беллона», 2014. – 149 с.
8. Крутов В.И. Влияние газопылевых выбросов АО «Карельский окатыш» на фитосанитарное состояние сосновых лесов // Проблемы лесной фитопатологии и микологии. Тезисы докладов IV Международной конференции. – М., 1997. – С. 41-43.
9. 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. – Санкт-Петербург, 2009. – 20 с.
10. Почва, город, экология / под общей ред. Г.В. Добровольского. М.: Фонд «За экономическую грамотность», 1997. – 320 с.
11. Стурман В. И. Экологическое картографирование: учебное пособие. – М.: Аспект Пресс, 2003. – 251 с.
12. Федорец Н.Г., Бахмет О.Н., Солодовников А.Н., Морозов А.К.; [отв. ред. В.И. Крутов]. Почвы Карелии: геохимический атлас. Ин-т леса КарНЦ РАН. – М.: Наука, 2008. – 47 с.
13. Федорец Н.Г., Солодовников А.Н. Воздействие эмиссий Костомукшского горно-обогатительного комбината на лесные подстилки сосняков в Северотаежной подзоне Карелии // Труды КарНЦ РАН. No 6. Сер. Экологические исследования. Петрозаводск: КарНЦ РАН. – 2013. – С. 143-152.