

УДК 504.53:504.054(470.21)

**ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МЕДИ, ВАНАДИЯ, НИКЕЛЯ И СВИНЦА В ПОЧВАХ ГОРОДА МОНЧЕГОРСКА****Котова Е.И., Кузнецова И.А., Крячюнас В.В., Игловский С.А.,  
Миرونенко К.А., Бедрина Д.Д.***ФГБУН «Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики  
им. академика Н.П. Лаврова» РАН, Архангельск, e-mail: ecopp@yandex.ru*

Несмотря на то, что строительство г. Мончегорска велось с учетом розы ветров, выбросы от производственных цехов и теплоэлектростанции комбината оказывают значительное влияние на состав воздуха и почв города. Целью исследования являлась оценка уровней содержания тяжелых металлов в почвах г. Мончегорска. В рамках работы было отобрано 50 проб почв на территории г. Мончегорска, проведен анализ проб на зольность, фракционный состав, содержание валовых форм никеля, меди, ванадия и свинца. Анализ состава проб проводили рентгеноспектральным методом. Проведена статистическая обработка данных, корреляционный и факторный анализ. По результатам анализа установлено, что состав городских почв в основном представлен средними (0,25–0,5 мм) и мелкими (0,1–0,25 мм) песчаными частицами (42%) со значительным содержанием гравия (19%). По данным проведенных работ установлено, что содержание меди, никеля, ванадия и свинца в почвах г. Мончегорска нередко превышает предельно допустимые значения. Наиболее загрязненными являются почвы в районе безымянного озера, в аллее на пр. Metallurgov, районе правого берега р. Нюдуай и поселка «31 километр». Высокие содержания элементов определены также в почве парковой зоны, расположенной вдоль Ленинградской набережной. Относительно чистыми являются почвы юго-восточной окраины города и жилой квартал, ограниченный улицами Бредова, Комарова, Гагарина и Ферсмана. Данные статического анализа выявили большую пространственную неоднородность содержания рассматриваемых металлов в городских почвах. Корреляционный анализ данных о содержании элементов и фракционном составе почв показал наличие значимой связи содержания никеля и цинка с фракцией почвы 10 мм. Факторный анализ данных о содержании элементов в пробах почв исследованной территории показал наличие трех факторов, влияющих на состав городских почв. Первый фактор, регулирующий состав городских почв, определяется фракционным составом.

**Ключевые слова:** почвы, Мончегорск, никель, медь, ванадий, свинец**SPATIAL DISTRIBUTION OF COPPER, VANADIUM, NICKEL  
AND LEAD IN THE SOILS OF MONCHEGORSK****Kotova E.I., Kuznetsova I.A., Kryauchyunas V.V., Iglovskiy S.A.,  
Mironenko K.A., Bedrina D.D.***N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research RAS, Arkhangelsk, e-mail: ecopp@yandex.ru*

Emissions from the production halls and thermal power plants of the plant have a significant impact on the composition of the air and soils of the Monchegorsk. The aim of the study was to evaluate the levels of heavy metals in soils of Monchegorsk. 50 soil samples were taken on the territory of city. Analysis of samples for ash content, fractional composition, statistical data processing, correlation and factor analysis were carried out. Content of gross forms of nickel, copper, vanadium and lead was carried out by X-ray spectrum analysis. According to the analysis, it was established that the composition of urban soils is mainly represented by medium (0.25-0.5 mm) and small (0.1-0.25 mm) sand particles (42%) with a significant gravel content (19%). According to the data of the research, it was found that the content of metals in the soils of Monchegorsk often exceed the maximum permissible concentrations. The most polluted are the soils in the area of the nameless lake, in the alley on Metallurgov ave., the right bank of the river Nyuduay, the village "31-kilometer" and in the park zone located along the Leningradskaya embankment. Relatively clean are the soils of the south-eastern outskirts of the city. Statistical analysis data revealed a large spatial heterogeneity of the content of the considered metals in urban soils. Factor analysis of data of the content of elements in soil samples of the studied territory showed that the composition of urban soils is determined by the fractional composition.

**Keywords:** soil, Monchegorsk, nickel, copper, vanadium, lead

Ведущее предприятие г. Мончегорска – АО «Кольская горно-металлургическая компания» (площадка «Североникель») осуществляет производство цветных металлов – никеля, меди, кобальта, а также некоторых драгоценных металлов и является основным источником загрязнения тяжелыми металлами компонентов природной среды не только г. Мончегорска, но и водосборов озер юго-западной и центральной

частей Мурманской области. Газопылевые выбросы предприятия, содержат в себе значительные количества Ni и Cu, и, в меньшей степени, Ag, Al, As, Ca, Cd, Co, Cr, Fe, Hg, Mg, Mn, Pb, Sb, Sr, Th, Tl, V, Zn [1]. Несмотря на то, что для снижения негативного воздействия комбината строительство г. Мончегорска велось с учетом розы ветров, выбросы от производственных цехов и теплоэлектростанции комбината оказывают

значительное влияние на состав воздуха и почв города. Помимо влияния выбросов комбината, дополнительную антропогенную нагрузку оказывает ТЭЦ. Дополнительное количество никеля поступает в атмосферу при сжигании мазута, на котором работает часть ТЭЦ арктического региона. Кроме никеля, летучая зола может содержать до 8 мас. % ванадия [2].

Тяжелые металлы не подвержены микробиологической или химической деградации и способны накапливаться в почвах в течение длительного времени. В свою очередь почвы могут стать вторичными источниками загрязнения воздуха, растений и природных вод, что может вызвать нарастание экологически опасных последствий. Загрязнение природных сред приводит к увеличению поступления токсикантов в организм человека. Последние подробные данные о почвах г. Мончегорска опубликованы в 2006 г. и отражают содержание в них подвижных форм тяжелых металлов на 2002 г. [3].

С учетом того, что, с одной стороны, подавляющая часть населения Арктики проживает в городах, а с другой – данных о качестве городских почв недостаточно, представляется необходимым изучение их состава как компонента окружающей среды человека.

Цель исследования: оценка уровней содержания тяжелых металлов в почвах г. Мончегорска. Для достижения цели были поставлены следующие задачи: произвести описание и отбор проб почвы селитебных ландшафтов; установить фактические уровни содержания тяжелых металлов в почвах, выявить наиболее загрязненные участки.

#### Материалы и методы исследования

В ходе проведения экспедиционных работ в 2018 г. было отобрано 50 проб почв на территории г. Мончегорска (рис. 1).

Отбор проб осуществляли с площадок размером 1x1 м методом конверта в плотные холщовые мешки (общий вес – не менее 1 кг). Глубина отбора проб составляла 5–10 см. Подготовка проб к анализу включала высушивание до воздушно-сухого состояния, извлечение крупных включений (бульжники, ветки, неразложившиеся корешки, мусор), просеивание и перетирание.

Определение гранулометрического состава почвы осуществляли ситовым методом путем просеивания навески почвенного образца через набор стандартных сит, различающихся размером ячеек (10 мм, 2 мм,

1 мм, 0,5 мм, 0,25 мм, 0,1 мм и 0,045 мм) с применением аналитической просеивающей машины серии Retsch AS 200 Control. Для дальнейших анализов использовали фракцию менее 2 мм.

Определение зольности почвы проводили согласно ГОСТ 27784-88 путем озоления проб почвы в лабораторно-экспериментальной муфельной печи при температуре  $(525 \pm 25)^\circ\text{C}$ .

Анализ состава проб был проведен в ЦКП НО «Арктика» Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова рентгеноспектральным методом с применением энергодисперсионного рентгенофлуоресцентного спектрометра типа EDX (Shimadzu) по методике ФР.1.31.2017.25613. Таблетирование измельченных проб (до фракции 71 мкм) проводили с использованием связующего – поливинилового спирта.

Статистическая обработка данных включала расчет среднего арифметического значения, медианы, стандартного отклонения, стандартной ошибки среднего и была произведена с помощью программного обеспечения StatSoft, Inc. (2011). STATISTICA (data analysis software system), version 10. Кроме того, были рассчитаны коэффициенты парной корреляции R (квадратная матрица), критический уровень значимости принимали  $p < 0,05$ . Факторный анализ применялся в целях выявления количества и степени влияния различных параметров среды на исследуемые объекты.

#### Результаты исследования и их обсуждение

Анализ гранулометрического состава почв показал, что состав городских почв в основном представлен средними (0,25–0,5 мм) и мелкими (0,1–0,25 мм) песчаными частицами (42%) со значительным содержанием гравия (19%).

Среднее содержание элементов в почвах г. Мончегорска приведено в табл. 1, пространственное распределение в долях ПДК представлено на рис. 2.

Валовое содержание меди в органогенном горизонте почв Кольского полуострова изменяется от 2,59 мг/кг до 1950 мг/кг [5]. Во всех пробах почв, отобранных в городе Мончегорске, концентрация меди превышает ПДК в два и более раз, а в некоторых почвенных образцах – в 520 раз. Так, аномально высокие концентрации Cu (28640 мг/кг) зафиксированы в торфяных отложениях у безымянного озера (точка 41 рис. 1, рис. 2 (А)).

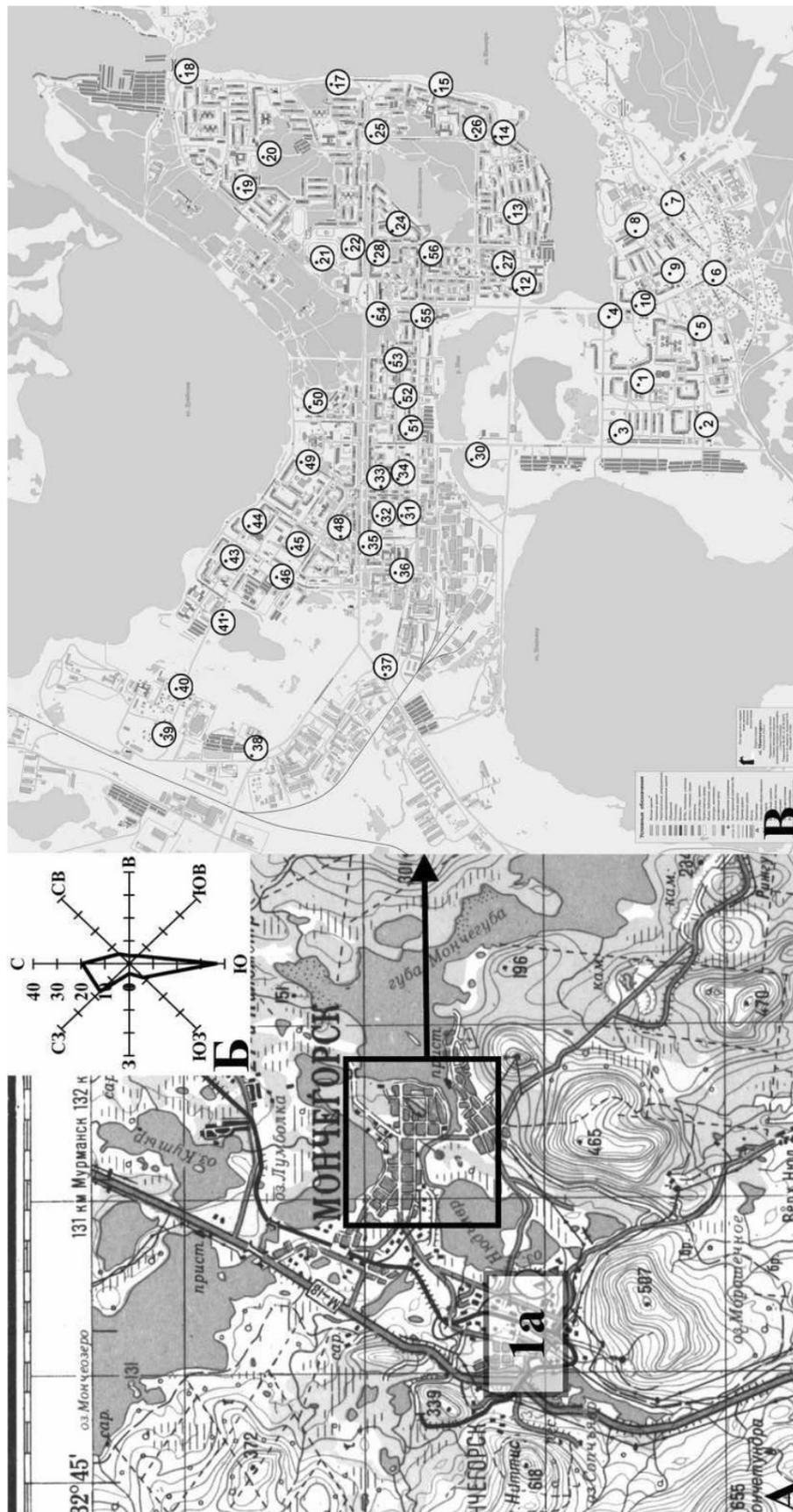


Рис. 1. Район исследования: А – Карта расположения комбината «Североникель» (1а) относительно г. Мончегорска, Б – Роза ветров, В – Места расположения отбора проб

Таблица 1

Содержание элементов в пробах

Элемент	V, мг/кг	Ni, мг/кг	Cu, мг/кг	Pb, мг/кг
Содержание элементов в пробах, мг/кг	$\frac{60-240}{85 \pm 26 (80)}$ *	$\frac{110-35680}{2651 \pm 5316 (985)}$	$\frac{110-28640}{2502 \pm 4756 (760)}$	$\frac{10-630}{65,9 \pm 106 (30)}$
ПДК	150**	85***	55***	32**

Примечание. \* – в числителе – минимальное и максимальное значения, в знаменателе – среднее значение и стандартное отклонение, в скобках – медиана; \*\* – в соответствии с ГН 2.1.7.2042-06; \*\*\* – в соответствии с [4].

Высокое содержание Cu (8320–12280 мг/кг) зафиксировано также в образцах почвы, отобранных в районе домов 5 и 10 по просп. Металлургов (точки 35 и 48 рис. 1, рис. 2 (А)). Следует отметить, что в данном районе расположен детский сад. Высокое значение концентрации Cu в почве (12270 мг/кг), кроме того, обнаружено в почвах поселка «31 километр» (точка 39 рис. 1, рис. 2 (А)). Показатель содержания меди в почвах имеет обратную значимую корреляцию с зольностью ( $R = -0,5241$ ,  $p = 0,000$ ), что предположительно отражает высокую удерживающую способность органических компонентов почвы. Характерные для г. Мончегорска кислотные осадки способствуют повышению миграционной активности меди, однако такая миграция непродолжительна и при нейтрализации кислых вод сульфаты меди адсорбируются гумусом и глинами. Анализ пространственного распределения Cu в почвогрунтах г. Мончегорска показал, что основным геохимическим барьером на пути миграции Cu из атмосферы в городские почвогрунты является верхний органический горизонт почв, где медь активно адсорбируется основными фракциями гумусовых веществ – гуминовыми и фульвокислотами.

В целом на территории города средняя концентрация ванадия в почвах не превышает ПДК (табл. 1). Превышение ПДК в почве было обнаружено в торфянистых почвах у безымянного озера (точка 41 рис. 1, рис. 2 (Б)), где концентрация V составляет 240 мг/кг. Данная аномалия может быть связана со способностью ванадия аккумулироваться в условиях пониженного окислительно-восстановительного потенциала среды (что характерно для заболоченных почв) [6]. В близко расположенном поселке «31 километр» также зафиксированы относительно повышенные концентрации V в отобранных почвенных образцах – 100 мг/кг (точка 40 рис. 1, рис. 2 (Б)) и 120 мг/кг (точка 39 рис. 1, рис. 2 (Б)). Повышенные значения V в городских почвах отмечены

на правом берегу р. Ньюдауй (точка 30 рис. 1, рис. 2 (Б)), где концентрация V составляет 130 мг/кг. Значимая обратная корреляция между зольностью и содержанием ванадия в почвах ( $R = -0,4534$ ,  $p = 0,001$ ) отражает влияние бедной ванадием подстилающей породы – морены. Анализируя поведение V в почве, следует учитывать, что торфянистые почвы характеризуются самым низким содержанием ванадия, а сам ванадий относится к группе слабо мигрирующих элементов. Таким образом, в данном районе отбора поступление V в почвы превышает его вынос. Учитывая преобладающее в течение года южное направление ветра, можно утверждать, что основным источником загрязнения рассматриваемой территории является деятельность металлургического комбината. Еще одним участком, где зафиксировано повышение концентрации V (120 мг/кг) в верхнем почвенном горизонте, является парковая зона вдоль Ленинградской набережной (точка 17 рис. 1, рис. 2 (Б)). На данном участке представлены подзолы с хорошо оформленным почвенным профилем, а аккумуляция V в верхнем гумусовом горизонте, вероятно, связана со способностью ванадия активно участвовать в комплексообразовании с органическими лигандами.

Многолетние исследования по программе изучения Баренц-региона показали, что среднее валовое содержание никеля в органическом горизонте почв Кольского полуострова – 14,4 мг/кг [5]. Концентрация Ni в почвогрунтах г. Мончегорска изменяется от 110 мг/кг до 35680 мг/кг (табл. 1). Среднее содержание Ni в городской почве Мончегорска превышает ПДК в 30 раз, а аномально высокие значения – в 100–420 раз. Все почвенные образцы с аномально высокими значениями Ni были отобраны в трех-четырех километрах к северу от комбината (точки 41, 39, 30 рис. 1, рис. 2 (В)). Учитывая розу ветров, можно сделать вывод, что генезис данных аномалий напрямую связан с влиянием выбросов предприятия «Североникель».

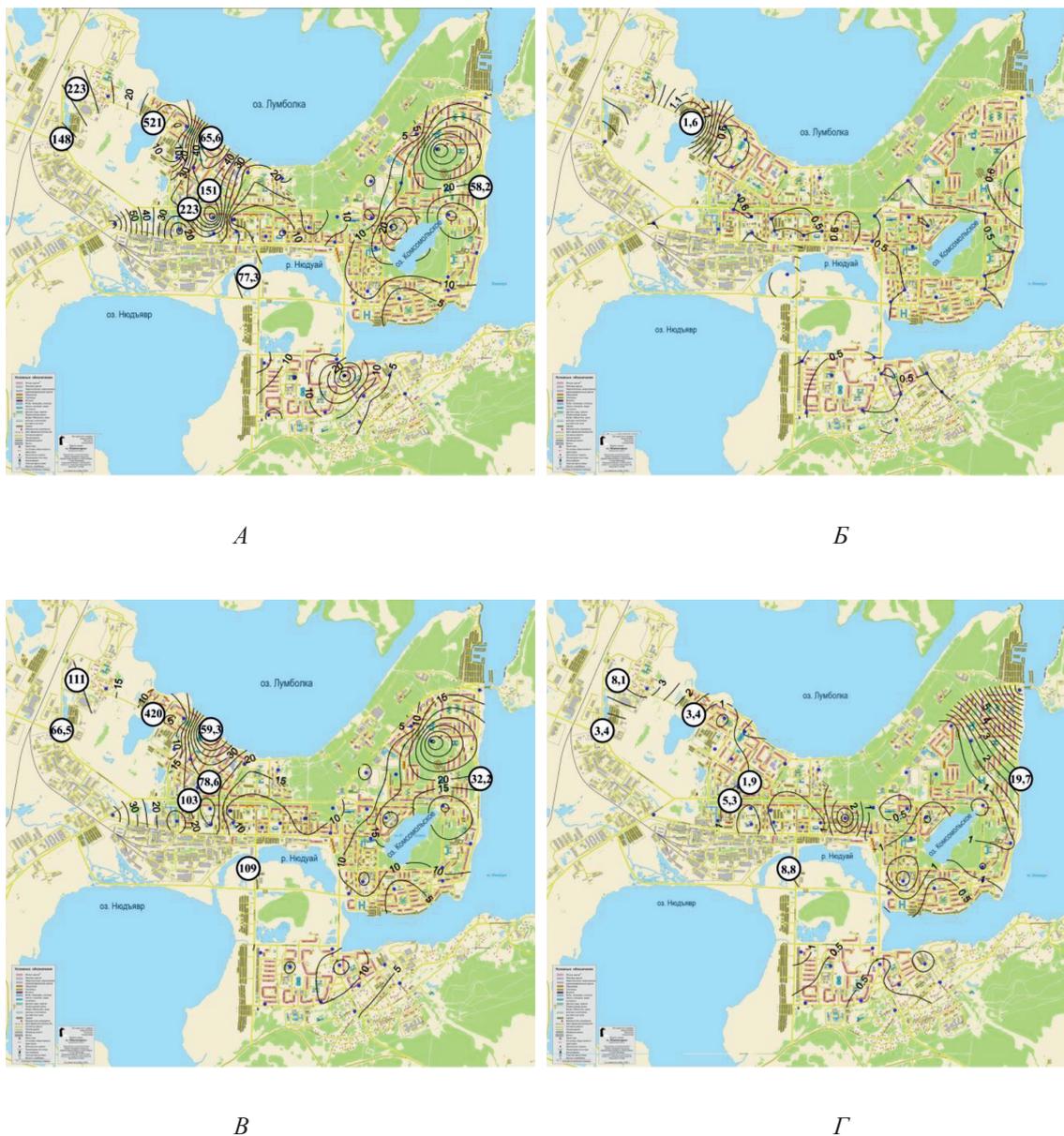


Рис. 2. Пространственное распределение химических элементов в почве г. Мончегорска (доли ПДК):  
А – Cu, Б – V, В – Ni, Г – Pb

Валовое содержание свинца в органогенном горизонте почв Кольского полуострова составляет в среднем 15,4 мг/кг, изменяясь от 3,09 до 101 мг/кг [5]. В целом на территории города содержание свинца в почве превышало ПДК в 43% проб. Максимальные концентрации свинца в почве наблюдаются вдоль берега оз. Имандра, в точках 17 и 18 (рис. 1) – 300 и 630 мг/кг соответственно, что выше допустимых значений в 10 и 21 раз. Также превышения ПДК в 4–9 раз обнаружены на правом берегу р. Нюдуай (точка 30, рис. 1, рис. 2 (Г)), в поселке «31 километр» (точки

39–40, рис. 1, рис. 2 (Г)), у безымянного озера (точка 41 рис. 1, рис. 2 (Г)), на территории аллеи вдоль пр. Metallургов (точка 35, рис. 1, рис. 2 (Г)) и в районе поликлиники (точка 53, рис. 1, рис. 2 (Г)). Превышения допустимых значений для свинца в почве приурочены отчасти к местам большого скопления автотранспорта, гаражным кооперативам и станциям обслуживания транспорта. Это обусловлено тем, что свинец является одним из основных загрязнителей, поступающих в окружающую среду с отработанными газами автомобилей [7].

Таблица 2

Результаты факторного анализа

Показатель \ Фактор	Фактор (1)	Фактор (2)	Фактор (3)
V, мг/кг	<b>0,82</b>	0,01	0,22
Ni, мг/кг	<b>0,80</b>	-0,26	0,22
Cu, мг/кг	<b>0,78</b>	-0,30	0,27
Pb, мг/кг	0,63	0,51	0,11
10 мм, %	<b>0,74</b>	-0,09	-0,54
2 мм, %	0,43	0,27	0,40
1 мм, %	0,13	0,39	0,41
0,5 мм, %	-0,65	0,23	0,23
0,25 мм, %	<b>-0,83</b>	-0,04	0,13
0,1 мм, %	<b>-0,75</b>	-0,14	0,34
0,045 мм, %	-0,44	-0,03	0,59
менее 0,045 мм, %	-0,28	0,19	0,60
Общая дисперсия	9,94	4,08	2,71
Доля общей дисперсии	0,34	0,14	0,09

Данные *статического анализа* выявили большую пространственную неоднородность содержания рассматриваемых металлов в городских почвах (табл. 1), о чем свидетельствуют высокие значения стандартного отклонения. Увеличение амплитуды колебаний значений концентраций металлов в почве является одним из признаков загрязнения.

*Корреляционный анализ* данных о содержании элементов и фракционном составе почв показал наличие значимой связи содержания никеля и цинка с фракцией почвы 10 мм (коэффициент корреляции  $R = 0,38-0,45$ ,  $p = 0,001-0,002$ ).

*Факторный анализ* данных о содержании элементов в пробах почв исследованной территории показал наличие трех факторов, влияющих на состав городских почв (табл. 2). Первый фактор, регулирующий состав городских почв, определяется фракционным составом. Содержание никеля и меди приурочено к крупнодисперсной фазе (10 мм).

**Заключение**

Авторами установлено, что содержание меди, никеля, ванадия и свинца в почвах г. Мончегорска нередко превышает предельно допустимые значения. Наиболее загрязненными являются почвы в районе безымянного озера (точка 41, рис. 1), в аллее на пр. Metallurgov (точка 35, рис. 1), район правого берега р. Ньюдай (точка 30, рис. 1) и поселка «31 километр» (точки 38–

40, рис. 1). Высокие содержания элементов определены в почве парковой зоны вдоль Ленинградской набережной (точка 17, рис. 1). Относительно чистыми являются почвы юго-восточной окраины города (точка 7, рис. 1) и жилой квартал ограниченный улицами Бредова, Комарова, Гагарина и Ферсмана (точка 3, рис. 1).

*Работа выполнена в рамках темы государственного задания № 0409-2019-0037.*

**Список литературы / References**

1. Kashulina G., de Caritat P., Reimann C. Snow and rain chemistry around the «Severonikel» industrial complex, NW Russia: Current status and retrospective analysis. *Atmospheric Environment*. 2014. V. 89. P. 672–682. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2014.03.008.
2. Касиков А.Г. Пылевые выбросы медно-никелевого производства и последствия их воздействия на организм человека в условиях Крайнего Севера // *Вестник Колского научного центра РАН*. 2017. № 4 (9). С. 58–63.
3. Kasikov A.G. Particulate Emissions from Copper-Nickel Production and the Consequences of their Impact on Human Body in the Far North // *Vestnik Kol'skogo nauchnogo tsentra RAN*. 2017. № 4 (9). P. 58–63 (in Russia).
3. Опекунова М.Г., Чекушин В.А., Томила О.В., Салминен Р., Рейманн К. Мониторинг изменения состояния окружающей среды в зоне воздействия комбината «Североникель». Часть 1. Миграция и аккумуляция химических элементов в почвогрунтах города Мончегорска // *Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 7. Геология. География*. 2006. № 2. С. 96–103.
4. Opekunova M.G., Elsukova E.Yu., Chekushin V.A., Tomilina O.V., Salminen R., Reimann C. Environmental condition monitoring in the districts of industrial complex «Severonikel». I. Migration and accumulation of chemical elements in soils in Monchegorsk-city // *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Seriya 7. Geologiya. Geografiya*. 2006. № 2. P. 96–103 (in Russia).
4. Серегина Ю.Ю., Семенова И.Н., Кужина Г.Ш. Комплексная оценка загрязнения тяжелыми металлами

почвенного покрова прибрежной зоны р. Белая Белорецкого района Республики Башкортостан // Живые и биокосные системы. 2013. № 3. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.jbks.ru/archive/issue-3/article-4/> (дата обращения: 10.11.2019).

Seregina Yu.Yu., Semenova I.N., Kuzhina G.Sh. Comprehensive assessment of heavy metal pollution of the soil cover of the coastal zone of the river Belaya Beloretsky district of the Republic of Bashkortostan // Zhivyye i biokosnyye sistemy. 2013. № 3. [Electronic resource]. URL: <http://www.jbks.ru/archive/issue-3/article-4/> (date of access: 10.11.2019) (in Russia).

5. Salminen R., Chekushin V., Tenhola M., Bogatyrev I., Glavatskikh S.P., Fedotova E., Gregorauskiene V., Kashulina G., Niskavaara H., Polischuok A., Rissanen K., Slenok L., Tomi-

lina O., Zhdanova L. Geochemical atlas of the Eastern Barents region. Elsevier, 2004. 548 p.

6. Панасин В.И., Рымаренко Д.А., Ермоленко Е.Н. Ванадий в дерново-подзолистых почвах Калининградской области // Агрехимический вестник. 2012. № 6. С. 7–9.

Panasin V.I., Rymarenko D.A., Ermolenko E.N. Vanadium in sod-podzolic soils of the Kaliningrad region // Agrokhimicheskiy vestnik. 2012. № 6. P. 7–9 (in Russia).

7. Парфенова Е.А. Оценка загрязнения почв тяжелыми металлами в результате влияния выбросов автотранспорта // Известия ПГПУ им. В.Г. Белинского. 2011. № 25. С. 590–592.

Parfenova E.A. Assessment of soil pollution by heavy metals as a result of the impact of vehicle emissions // Izvestiya PGPU im. V.G. Belinskogo. 2011. № 25. P. 590–592 (in Russia).