Научная статья

Original article

УДК 504.054.4:622.1

DOI 10.55186/25880209_2025_9_2_11

ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ МЕТАЛЛОВ (МАРГАНЦА, НИКЕЛЯ, ХРОМА И ЦИНКА) В ПОЧВЕ НА УЧАСТКЕ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ НА БЕЛОМОРСКО-КУЛОЙСКОМ ПЛАТО

EVALUATION OF METAL CONTENT (MANGANESE, NICKEL, CHROMIUM AND ZINC) IN THE SOIL AT THE GEOLOGICAL EXPLORATION SITE ON THE BELOMORSKO-KULOYSKOYE PLATEAU

Семёнов Никита Андреевич, аспирант, Северный (Арктический) федеральный университет им. М. В. Ломоносова (163002, Российская Федерация, г. Архангельск, набережная Северной Двины, д. 17), тел. 8(993) 751-25-08, ORCID: https://orcid.org/0009-0001-5800-5176, ebbies17@gmail.com

Мискевич Игорь Владимирович, доктор географических наук, профессор, Институт океанологии им. П. П. Ширшова Российской академии наук (163013, г. Архангельск, Маймаксанское шоссе, д. 1 к1.), тел. 8(921) 247-38-80, ORCID: 0000-0002-5737-4236, subarct@gmail.com

Nikita A. Semenov, postgraduate student, Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov (17 Severnaya Dvina Embankment, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation), tel. +7 (993) 751-25-08, ORCID: https://orcid.org/0009-0001-5800-5176, ebbies17@gmail.com

Igor V. Miskevich, Doctor of Geographical Sciences, Professor, Shirshov Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences (1-1 Maymaksanskoe Shosse, Arkhangelsk, 163013, Russian Federation), tel. +7 (921) 247-38-80, ORCID: 0000-0002-5737-4236, subarct@gmail.com

Аннотация. Исследование направлено на оценку содержания марганца (Mn), никеля (Ni), хрома (Cr) и цинка (Zn) в почвах участка геологоразведочных работ на Беломорско-Кулойском плато (Архангельская область). Цель работы — определить уровень техногенного воздействия на почвенный покров при использовании гусеничной техники (ТЛТ-100 и УРБ-2А2-ТСН-4) и материалов (бентонит «ПБМА», дизельное топливо «ДТ-Л-К5», сталь «№45»). Пробы отбирались на буровой площадке, подъездных путях и фоновых участках (подзолистые почвы) согласно методике [1]. Анализ выполнялся методами прямой потенциометрии (Ni, Cr, Zn) и атомно-эмиссионной спектрометрии (Mn).

Результаты показали, что средние концентрации металлов не превышают предельно допустимых концентраций (ПДК) по СанПиН 1.2.3685–21 [2]: Zn — 4,25 мг/кг (ПДК 23), Ni — 0,49 (ПДК 4), Cr — 0,92 (ПДК 6), Mn — 12,4 (ПДК 1500). Максимальное содержание Mn (44 мг/кг) зафиксировано в точке подъезда техники, где значение превысило верхний квартиль с поправкой Тьюки (12,35), что связано с износом гусениц из марганцовистой стали (110Г13Л). Для Ni, Cr и Zn аномалий не выявлено.

Выводы: геологоразведочные работы не приводят к критичному загрязнению почв, но мониторинг Mn рекомендован как индикатор техногенного воздействия. Объем исследования — 6 проб, статистическая обработка включала медиану, квартили и разведочный анализ Тьюки.

Abstract. The study assesses the content of manganese (Mn), nickel (Ni), chromium (Cr), and zinc (Zn) in soils at a geological exploration site on the Belomorsko-Kuloi Plateau (Arkhangelsk Oblast). The aim was to evaluate the level of technogenic impact on topsoil caused by tracked vehicles (TLT-100 and URB-2A2-TSN-4) and materials (bentonite "PBMA", diesel fuel "DT-L-K5", steel "No. 45"). Sampling was conducted at drilling sites, access roads, and background areas (podzolic soils) following

methodology [1]. Analysis was performed using direct potentiometry (Ni, Cr, Zn) and atomic emission spectrometry (Mn).

Results revealed that average metal concentrations did not exceed maximum permissible concentrations (MPC) per SanPiN 1.2.3685-21: Zn — 4.25 mg/kg (MPC 23), Ni — 0.49 (MPC 4), Cr — 0.92 (MPC 6), Mn — 12.4 (MPC 1500). Peak Mn content (44 mg/kg) was recorded at vehicle access points, exceeding the Tukey-adjusted upper quartile (12.35), attributed to wear of manganese steel tracks (110G13L). No anomalies were detected for Ni, Cr, or Zn.

Conclusions: geological exploration does not cause critical soil pollution, but Mn monitoring is recommended as a technogenic impact indicator. The study analyzed 6 samples using median, quartiles, and Tukey's exploratory analysis.

Ключевые слова: *тяжелые металлы, почвенный покров, геологоразведочные работы, Беломорско-Кулойское плато, марганец, никель, хром, цинк, экологический мониторинг, предельно допустимые концентрации (ПДК), техногенное воздействие, гусеничная техника, разведочный анализ Тьюки.*

Keywords: *heavy metals, topsoil, geological exploration, Belomorsko-Kuloi Plateau, manganese, nickel, chromium, zinc, environmental monitoring, maximum permissible concentrations (MPC), technogenic impact, tracked vehicles, Tukey's exploratory analysis.*

Введение

Геологоразведочные работы, направленные на поиск и оценку месторождений полезных ископаемых, играют ключевую роль в освоении природных ресурсов, но часто сопровождаются техногенным воздействием на окружающую среду, включая почвенный покров. Почва, как важный компонент экосистем, служит индикатором антропогенного влияния, особенно в контексте накопления тяжелых металлов, что может привести к долгосрочным экологическим последствиям.

Беломорско-Кулойское плато в Архангельской области — уникальный регион, где ведутся активные геологоразведочные работы, включая поиск алмазов. Использование тяжелой гусеничной техники создает риски для почвенного покрова, особенно в хрупких таежных экосистемах. В связи с этим

оценка содержания металлов (марганца, никеля, хрома и цинка) в почвах на участках разведки становится важной задачей для минимизации экологических рисков. [4,5]

Основная часть

Для оценки накопления нормируемых металлов летом 2024 года на территории Беломорско-Кулойского плато (Архангельская область) в районе алмазоносных геологоразведочных работ проведён отбор проб почвы. Геологоразведочные работы, в особенности с применением тяжёлой гусеничной техники, создают существенную антропогенную нагрузку на экосистемы. В ходе исследований на участке были задействованы две единицы спецтехники: бульдозер ТЛТ-100 и буровая установка УРБ-2А2-ТСН-4. К потенциально опасным материалам, способным оказывать влияние на почвенно-растительный покров, относятся: бентонитовая глина марки «ПБМА», дизельное топливо класса «ДТ-Л-К5» и стальные конструкции из сплава «№45». [10]

Локализация точек отбора проб почвенного покрова детализирована в таблице 1.

Таблица 1. **Распределение точек отбора почвенных проб по зонам техногенного воздействия**

Table 1. **Distribution of soil sampling points by technogenic impact zones**

Группа точек	**Диапазон расстояний, м**	**Количество проб, шт**	**Преобладающий тип почвы**
Буровая зона (непосредственно бурение)	3-7	2	Подзолистая
Фоновая зона (отсутствие воздействия)	24-29	2	Подзолистая
Техногенная зона (движение гусеничной техники	48-52	2	Подзолистая

Процедура отбора выполнялась в строгом соответствии с методическими указаниями [1]. В отобранных образцах проводился количественный анализ содержания марганца (Mn), никеля (Ni), хрома (Cr) и цинка (Zn) - металлов, традиционно используемых в качестве легирующих добавок в стальных сплавах для геологоразведочного оборудования.

Содержание железа в пробах не анализировалось, так как в почвах северной тайги сложно разделить влияние природных и техногенных факторов на его концентрацию. [9]

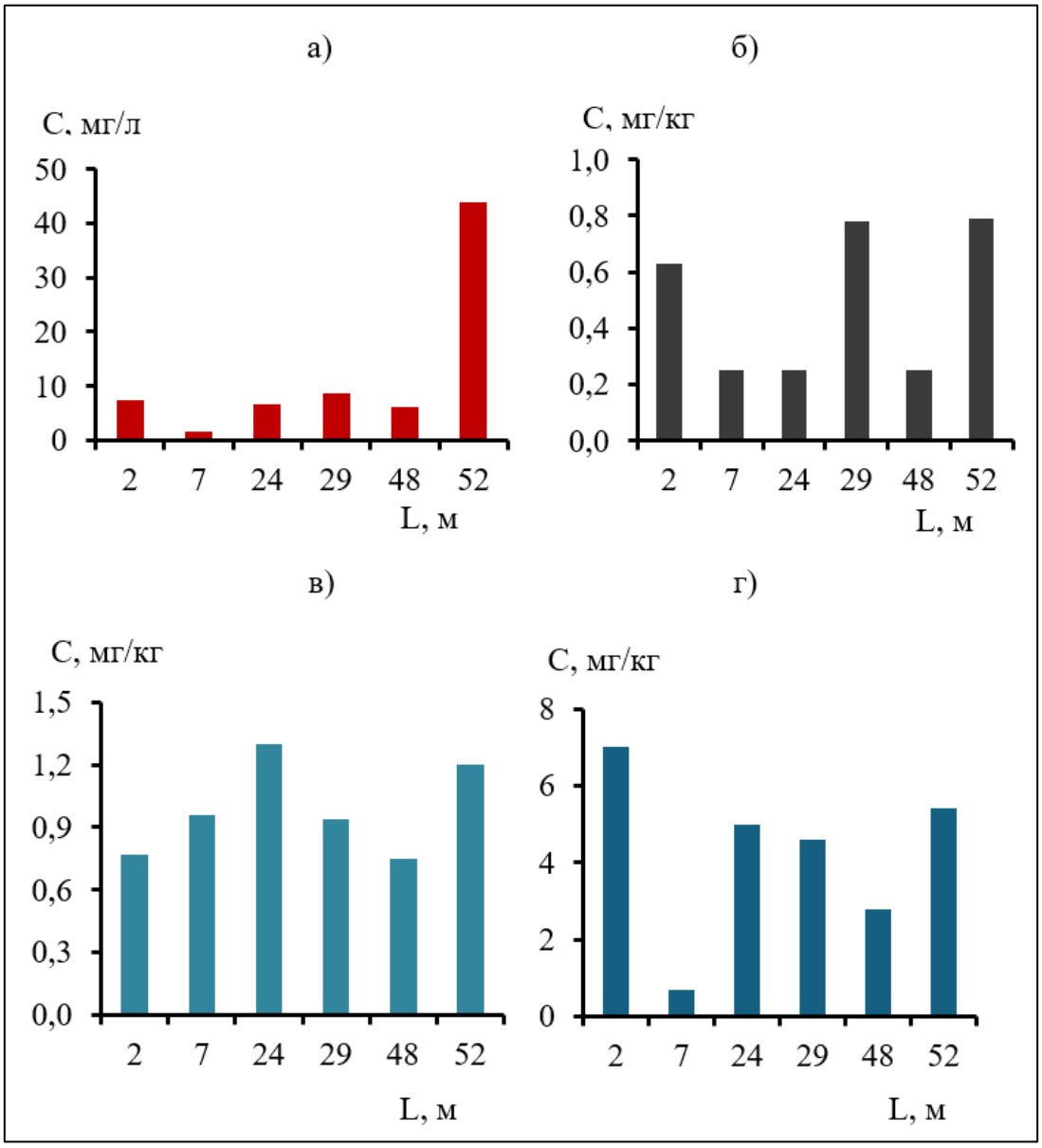

Рисунок 1. **Распределение концентраций Mn (а), Ni (б), Cr (в) и Zn (г) в почвах геологоразведочного участка в зависимости от расстояния до буровой площадки**

Figure 1. **Spatial distribution of Mn (a), Ni (b), Cr (c), and Zn (d) concentrations in soils of the exploration site at varying distances from the drilling center.**

Исследование проб проводилось в аккредитованной испытательной лаборатории ФГБУ (г. Архангельск). Количественное определение никеля, хрома и цинка выполняли методом прямой потенциометрии в соответствии с методикой ФР 1.31.2017.27474, содержание марганца устанавливали методом атомно-

эмиссионной и атомно-абсорбционной спектрометрии по методике М-МВИ-80-2008.

Полученные данные свидетельствуют, что уровни содержания всех исследуемых металлов в почве не превышают гигиенических нормативов, установленных СанПиН 1.2.3685-21 (ПДК и ОДК). [2] Пространственная вариабельность концентраций Mn, Ni, Cr и Zn в зависимости от расстояния до буровой площадки визуализирована на рисунке 1.

Таблица 2. **Статистические параметры распределения концентраций металлов (Zn, Ni, Cr, Mn) в почвенном покрове района геологоразведочных работ Беломорско-Кулойского плато (n=6)**

Table 2. **Statistical parameters of metal (Zn, Ni, Cr, Mn) concentration distribution in soils of the Belomorsko-Kuloi Plateau exploration area (n=6)**

Статистические показатели	**Содержание тяжёлых элементов, мг/кг**			
	Zn	**Mn**	**Cr**	**Ni**
Ср. значение	4,25	12,4	0,92	0,49
Стандартное отклонение	2,20	15,7	0,22	0,27
Медиана	4,80	7,0	0,95	0,44
Максимальное значение (max)	7,00	44,0	1,30	0,79
Минимальное значение (min)	0,70	1,6	0,73	0,25
Нижний квартиль ($C_{25\,\%}$)	3,25	6,1	0,77	0,25
Верхний квартиль ($C_{75\,\%}$)	5,30	8,6	1,20	0,78
Интерквартильный размах (H)	2,05	2,5	0,43	0,53
$C_{75\,\%}$ + 1,5H (вн. барьер Тьюки)	10,08	12,35	1,85	1,56
ПДК (СанПиН 1.2.3685–21)	*23*	*1500*	*6*	*4*
ОДК (СанПиН 1.2.3685–21)	*55*	-	-	*20*

Примечание: ПДК – предельно допустимая концентрация; ОДК – ориентировочно допустимая концентрация (согласно СанПиН 1.2.3685–21). [2]

Сравнительный анализ показал отсутствие статистически значимых различий в содержании металлов между фоновыми (лесной массив) и техногенными (буровая площадка и подъездной путь) участками за исключением марганца, продемонстрировавшего достоверные изменения концентраций.

При обработке данных применялся комплекс статистических методов, включающий:

- классические параметры (среднее арифметическое и стандартное отклонение);
- устойчивые показатели (медиана, квартили, интерквартильный размах), особенно эффективные для малых выборок в геоэкологических исследованиях.

Медиана использовалась как устойчивая мера центра распределения, а интерквартильный размах - как надежный показатель вариабельности данных. Для детекции аномалий был задействован метод Тьюки, позволяющий установить статистические границы ("внутренние барьеры"). Значения, выходящие за эти пределы, рассматривались как потенциальные техногенные аномалии. [8,11]

Заключение

В результате анализа была выявлена аномалия в распределении концентраций марганца в точке 6гр, где наблюдаемое значение превысило верхний предел «внутреннего барьера Тьюки». [11] Стоит так же отметить, что полученное значение не превышает ПДК. Точка 6гр расположена на подъезде к буровой площадке, где образовалась колея от гусеничной техники. Вероятно, в этой колее накапливаются частицы, образующиеся в результате механической и химической эрозии гусениц и других частей техники, а также аэрозоли из выхлопных газов. Эти частицы содержат не только железо, но и марганец, который часто используется в качестве присадки в стальных изделиях. [10,3]

Важно отметить, что для изготовления траков гусеничной техники применяются сплавы с высоким содержанием марганца, такие как сталь 50Г или сплав Гатфилда (110Г13Л). Эти сплавы характеризуются следующим химическим составом: углерод (C) — 0,9–1,5%, кремний (Si) — 0,3–1,0%, марганец (Mn) — 11,5–15%, никель (Ni) — не более 1%, хром (Cr) — не более 1%, сера (S) — не более 0,05%, фосфор (P) — не более 0,12%. Высокое содержание марганца в этих сплавах объясняется его способностью повышать износостойкость и прочность стали, что особенно важно для деталей, подвергающихся интенсивным механическим нагрузкам.

Частицы, образующиеся в результате износа гусениц, могут содержать значительное количество марганца, что объясняет его аномально высокую

концентрацию в почве в точке 6гр. При этом другие металлы, такие как никель и хром, также присутствующие в сплавах, не демонстрируют значительного превышения концентраций, что может быть связано с их меньшим содержанием в используемых материалах

Таким образом, проведение геологоразведочных работ на Беломорско-Кулойском плато не приводит к экологически неприемлемому воздействию на почвенный покров в таежной зоне. Однако при организации мониторинга окружающей среды в районах геологоразведочных работ рекомендуется включать марганец в перечень контролируемых показателей загрязнения почвы.

Литература

1. ГОСТ 17.4.4.02-2017. Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа. - М.: Стандартинформ, 2017. - 25 с.

2. СанПиН 1.2.3685–21. Гигиенические нормативы содержания вредных веществ в окружающей среде (утв. постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 28.01.2021 № 2). - М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2021. - 387 с.

3. Гигиенические нормативы ГН 2.1.7.2041-06. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве. - М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2006. - 15 с.

4. Горшков Д.П., Шварцман Ю.Г. Влияние геоэкологических факторов на освоение природных ресурсов Беломорско-Кулойского плато // Arctic Environmental Research. - 2012. - № 2. - С. 16-22.

5. Игловский С.А. Антропогенная трансформация мерзлотных условий Европейского Севера России и ее последствия // АиС. - 2013. - № 10. - С. 107-124.

6. Микулинская С.М., Рожков В.А. Обработка малых выборок // Режимообразующие факторы, информационная база и методы ее анализа. - Л.: Гидрометеоиздат, 1989. - С. 167-176.

7. Минеев А.Л., Кутинов Ю.Г., Чистова З.Б., Полякова Е.В. Геоэкологическое районирование территории Архангельской области с

использованием цифровых моделей рельефа и ГИС-технологий // Пространство, и Время. - 2017. - № 2-4(28-30). - С. 267-288.

8. Мискевич И.В., Котова Е.И., Лохов А.С., Нецветаева О.П. Оптимизация схем отбора геоэкологических проб в труднодоступных арктических районах: статистический подход // Успехи современного естествознания. - 2023. - № 1. - С. 58-62.

9. Семёнов Н.А. Возможное воздействие геологоразведочных работ на экосистемы // Актуальные проблемы освоения нефтегазовых месторождений приарктических территорий России. - 2022. - С. 219–223.

10. Семёнов Н.А., Мискевич И.В. Влияние геологоразведочных работ на фауну северной тайги // Естественные и технические науки. - 2024. - № 4. - С. 154-157.

11. Tukey J.W. Exploratory Data Analysis. - Reading, MA: Addison-Wesley, 1977. - 688 p.

References

1. GOST 17.4.4.02-2017. Nature protection. Soils. Methods for sampling and preparation of samples for chemical, bacteriological, helminthological analysis. - Moscow: Standartinform, 2017. - 25 p.

2. SanPiN 1.2.3685-21. Hygienic standards for harmful substances in the environment (approved by the Chief State Sanitary Doctor of the Russian Federation on 28.01.2021 No. 2). - Moscow: Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing, 2021. - 387 p.

3. Hygienic standards GN 2.1.7.2041-06. Maximum permissible concentrations (MPC) of chemicals in soil. - Moscow: Federal Center of Hygiene and Epidemiology of Rospotrebnadzor, 2006. - 15 p.

4. Gorshkov D.P., Shvartsman Yu.G. [Impact of geoecological factors on natural resource development of the Belomorsko-Kuloi Plateau]. Arctic Environmental Research. 2012. No. 2. Pp. 16-22.

5. Iglovskii S.A. [Anthropogenic transformation of permafrost conditions in the European North of Russia and its consequences]. AiS. 2013. No. 10. Pp. 107-124.

6. Mikulinskaya S.M., Rozhkov V.A. [Processing of small samples]. In: Mode-forming factors, information base and methods of its analysis. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1989. Pp. 167-176.

7. Mineev A.L., Kutinov Yu.G., Chistova Z.B., Polyakova E.V. [Geoecological zoning of Arkhangelsk Oblast using digital elevation models and GIS technologies]. Prostranstvo i Vremya [Space and Time]. 2017. No. 2-4(28-30). Pp. 267-288.

8. Miskevich I.V., Kotova E.I., Lokhov A.S., Netsvetaeva O.P. [Optimization of geoecological sampling schemes in hard-to-reach Arctic regions: statistical approach]. Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya [Advances in Current Natural Sciences]. 2023. No. 1. Pp. 58-62.

9. Semenov N.A. [Potential impact of geological exploration on ecosystems]. Aktual'nye problemy osvoeniya neftegazovykh mestorozhdenii priarkticheskikh territorii Rossii [Current Problems of Oil and Gas Field Development in Russian Arctic Territories]. 2022. Pp. 219-223.

10. Semenov N.A., Miskevich I.V. [Impact of geological exploration on northern taiga fauna]. Estestvennye i tekhnicheskie nauki [Natural and Technical Sciences]. 2024. No. 4. Pp. 154-157.

11. Tukey J.W. Exploratory Data Analysis. Reading, MA: Addison-Wesley, 1977. 688 p.

© Семёнов Н. А., Мискевич И.В., 2025. International agricultural journal, 2025, № 2, 545-554.

Для цитирования: Семенов Н. А., Мискевич. И.В. ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ МЕТАЛЛОВ (МАРГАНЦА, НИКЕЛЯ, ХРОМА И ЦИНКА) В ПОЧВЕ НА УЧАСТКЕ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ НА БЕЛОМОРСКО-КУЛОЙСКОМ ПЛАТО //International agricultural journal. 2025. № 2, 545-554.