

УДК 550.42

Снеговая съемка в пределах месторождений медных руд в горнопромышленных районах Урала

Н. В. Гончар, А. Б. Макаров, О. М. Гуман*, И. А. Антонова

*ООО "Уралгеопроект", г. Екатеринбург, Россия;

e-mail: guman2007@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7078-6916>

Информация о статье Реферат

Поступила
в редакцию
06.02.2024;

получена
после доработки
29.05.2024;

принята
к публикации
31.05.2024

Ключевые слова:

месторождения меди,
снеговая съемка,
пылевые остатки,
сульфиды,
тяжелые металлы

В работе представлены результаты исследований пылевых остатков снегового покрова в пределах различных природно-климатических зон и месторождений меди Уральского региона. Исследование снегового покрова является одним из методов экологической оценки территорий. Это касается изучения пылевых остатков проб снегового покрова, что показано на примере территорий Северного и Южного Урала на разных стадиях работ на месторождениях меди. Начальная стадия изучения и разработки рассмотрена на примере медно-порфировых месторождений в Челябинской области, где для снеговых проб в пылевых остатках характерны семена березы, выявляется органика, очень незначительное количество минеральной части при низкой пылевой нагрузке ($P < 100$ кг/сут на км²). Для месторождений Ивдельского района (Северный Урал) в пылевых остатках в значительной мере присутствует органическая труха, обломки рудных минералов (пирита, халькопирита) и минералы вулканогенных пород и метасоматитов. Максимальное значение пылевой нагрузки установлено для отрабатываемого в настоящее время Ново-Шемурского месторождения. Изучение пылевых остатков в зоне влияния Карабашского медеплавильного комбината (до его реконструкции) показало, что в некоторых частях санитарно-защитной зоны уровень загрязнения снегового покрова очень высокий при значениях пылевой нагрузки до 12 633 кг/сут на км², что определяется прежде всего широким использованием дробленых медеплавильных шлаков. В целом изучение пылевых остатков снежного покрова дает информацию как об экологическом состоянии территорий, так и минеральном составе остатков, что необходимо использовать в практических целях.

Для цитирования

Гончар Н. В. и др. Снеговая съемка в пределах месторождений медных руд в горнопромышленных районах Урала. Вестник МГТУ. 2024. Т. 27, № 2. С. 158–169. DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2024-27-2-158-169>.

Snow survey within the copper ore deposits in the mining regions of the Urals

Natalia V. Gonchar, Anatoly B. Makarov, Olga M. Guman*, Irina A. Antonova

*Uralgeoproekt LLC, Yekaterinburg, Russia;

e-mail: guman2007@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7078-6916>

Article info

Received
06.02.2024;

received
in revised form
29.05.2024;

accepted
31.05.2024

Key words:

copper deposits,
snow survey,
dust residues,
sulfides,
heavy metals

Abstract

The paper presents the results of studies of dust residues of snow cover within various climatic zones and copper deposits of the Ural region. Snow cover research is one of the methods for environmental assessment of territories. This concerns the study of dust residues from snow cover samples, as shown by the example of the territories of the Northern and Southern Urals at different stages of work on copper deposits. The initial stage of study and development is considered using the example of porphyry copper deposits in the Chelyabinsk region, where snow samples reveal organic matter in dust residues, typical birch seeds, a small amount of minerals at a low dust load ($P < 100$ kg/day per km²). For the deposits of the Ivdel region (Northern Urals), the dust residues largely contain organic dust, fragments of ore minerals (pyrite, chalcopyrite) and minerals of volcanic rocks and metasomatic rocks. The maximum value of the dust load is set for the Novo-Shemurskoye deposit currently being developed. A study of dust residues in the zone of influence of the Karabash copper smelter (before its reconstruction) has shown that in some parts of the sanitary protection zone the level of snow cover pollution is very high with dust load values up to 12,633 kg/day per km², which is determined primarily by the widespread use of crushed copper smelting slag. In general, the study of dust residues of snow cover provides information about both the ecological state of the territories and the mineral composition of the residues, which must be used for practical purposes.

For citation

Gonchar, N. V. et al. 2024. Snow survey within the copper ore deposits in the mining regions of the Urals. *Vestnik of MSTU*, 27(2), pp. 158–169. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2024-27-2-158-169>.

Введение

Снеговая съемка является одним из методов оценки степени загрязнения атмосферного воздуха в течение зимнего периода (*Василенко и др., 1985; Гончар и др., 2023*). Снежный покров обладает рядом свойств, делающих его удобным индикатором загрязнения природной окружающей среды. Это обусловлено тем обстоятельством, что концентрации загрязняющих веществ в нем обычно в два-три раза выше, чем в атмосферном воздухе. Особенности снежного покрова, устанавливающие его важную роль в решении экологических задач, определяются следующими факторами: в пределах Уральского региона – это длительность его существования (до 5 месяцев), которого хватает для накопления поллютантов в объеме, достаточном для количественного определения стандартными методами анализа (гидрохимического, атомной абсорбции, нейтронной активации). Снежный покров является накопителем витающей пыли, не осаждающейся гравитационным путем. Накопление снега сопровождается захватом аэрозольных частиц, что дает возможность определения поллютантов в каждом горизонте своеобразной пробы, отобранной в течение снегопада, а низкие температуры обеспечивают консервацию химических соединений, захваченных снегом в течение всего зимнего сезона, и чем длительнее существование снежного покрова, тем большее количество пыли в нем накапливается. Немаловажно и то, что опробование снежного покрова можно произвести в сжатые сроки на большой площади, определяя интегральное загрязнение, накопленное за весь зимний период. При этом учитывается, что снег перекрывает открытую поверхность почвы, поэтому исключается естественное пылевыведение и частицы, находящиеся в воздухе, имеют техногенное происхождение. В то же время картирование загрязнения снежного покрова обуславливает в ряде случаев структуру зимних воздушных потоков (преобладающих ветров) и горизонтальные перемещения снега в метель и вьюгу, что необходимо учитывать при интерпретации полученных данных¹ (*Большаков и др., 1993; Макаров, 1997; Сергеев и др., 2002; Таловская и др., 2009; Таловская, 2022; Федоров и др., 1996*).

Исследования снежного покрова в пределах Уральского региона выполнялись неоднократно (*Макаров и др., 2017; Удачин и др., 2014; Масленников и др., 2016; Udachin et al., 2003*). Выполненные нами ранее исследования снежного покрова (*Макаров и др., 2017*) на примере прилегающих к шлаковому отвалу Нижнетагильского металлургического комбината (НТМК) территорий показали, что пылевая нагрузка на снеговой покров при разработке шлакового отвала составляет от 69,2 кг/км² в сутки в юго-юго-западном направлении до 1 544,7 кг/км² в сутки в северо-западном направлении. Очевидно, что основная пылевая нагрузка здесь связана как с разработкой отвала, так и общим воздействием металлургического производства. В отобранных на участках с максимальной пылевой нагрузкой пробы почв в магнитной фракции были выявлены магнитные сферулы, отражающие техногенную составляющую выбросов. Следует лишь отметить, что эти исследования проводились преимущественно для урбанизированных территорий² (*Емлин, 1984а; б*), а для г. Екатеринбурга А. А. Селезневым и др. (*Selesnev et al., 2021*) изучен состав и особенности снеготрясовой смеси. При этом снеговая съемка являлась элементом комплексных геоэкологических исследований. Особенности снеговой съемки в пределах зоны воздействия горнопромышленных предприятий исследовались в данной работе.

Цель работы – минералогическое изучение пылевых остатков проб снежного покрова вблизи действующих горнорудных предприятий для оценки их воздействия на природную окружающую среду.

Материалы и методы

В процессе выполнения снеговой съемки в пределах горнорудных и металлургических предприятий Урала нами был изучен минеральный состав твердой нерастворимой фракции с целью получения данных об источнике и интенсивности поступления пыли в течение зимнего периода. Изучение проведено визуально под биноклюром с выделением природных и техногенных частиц.

Исследования снегового покрова вблизи месторождений меди выполнялись в два этапа. На первом было выполнено опробование снегового покрова как депонирующей среды вблизи карьеров по добыче руд, что представляется необходимым для определения состава аэрозольных выпадений из атмосферы и последующей оценки экологического состояния этих территорий. В качестве методических указаний на этом этапе использовались "Методические рекомендации по геохимической оценке источников загрязнения окружающей среды ИМГРЭ", "Требования к мониторингу месторождений твердых полезных ископаемых"³, достаточно известные методические предпосылки в работах А. В. Таловской и других исследователей сибирского региона (*Таловская и др., 2009; Таловская, 2022*), а также РД 52.04.186-89 "Руководство по контролю

¹ Островский В. Н., Островский Л. А. Методические рекомендации по составлению эколого-геологических карт масштаба 1 : 200 000 – 1 : 100 000. М. : ВСЕГИНГЕО, 1996. 61 с.

² Оценка геохимического рассеяния рудных элементов при промышленном освоении колчеданных месторождений : (метод. рекомендации) / сост. : Э. Ф. Емлин. Свердловск : НТО Горное, 1983. 41 с.

³ Методические рекомендации по геохимической оценке источников загрязнения окружающей среды / Ин-т минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов; сост. Ю. Е. Саг и др. М. : ИМГРЭ, 1982. 66 с. ; Требования к мониторингу месторождений полезных ископаемых / утв. первым зам. МПР РФ 04.08.2000. М. : 2000. 31 с.

загрязнения атмосферы⁴. Опробование снежного покрова выполняется либо по определенной сети, которая равномерно покрывает исследуемую территорию, либо по определенным профилям с учетом расположения возможных источников загрязнения, расстояние между пробами определяется масштабом исследований. Пример отбора проб снежного покрова по профилям, расположенным в направлении преобладающих ветров, для Карабашского медеплавильного завода показан на рис. 1. Опробование снежного покрова проводилось из шурфов, вскрывающих снеговой покров на всю мощность с размером сечения 25×25 см с отбором снега в полиэтиленовые пакеты.

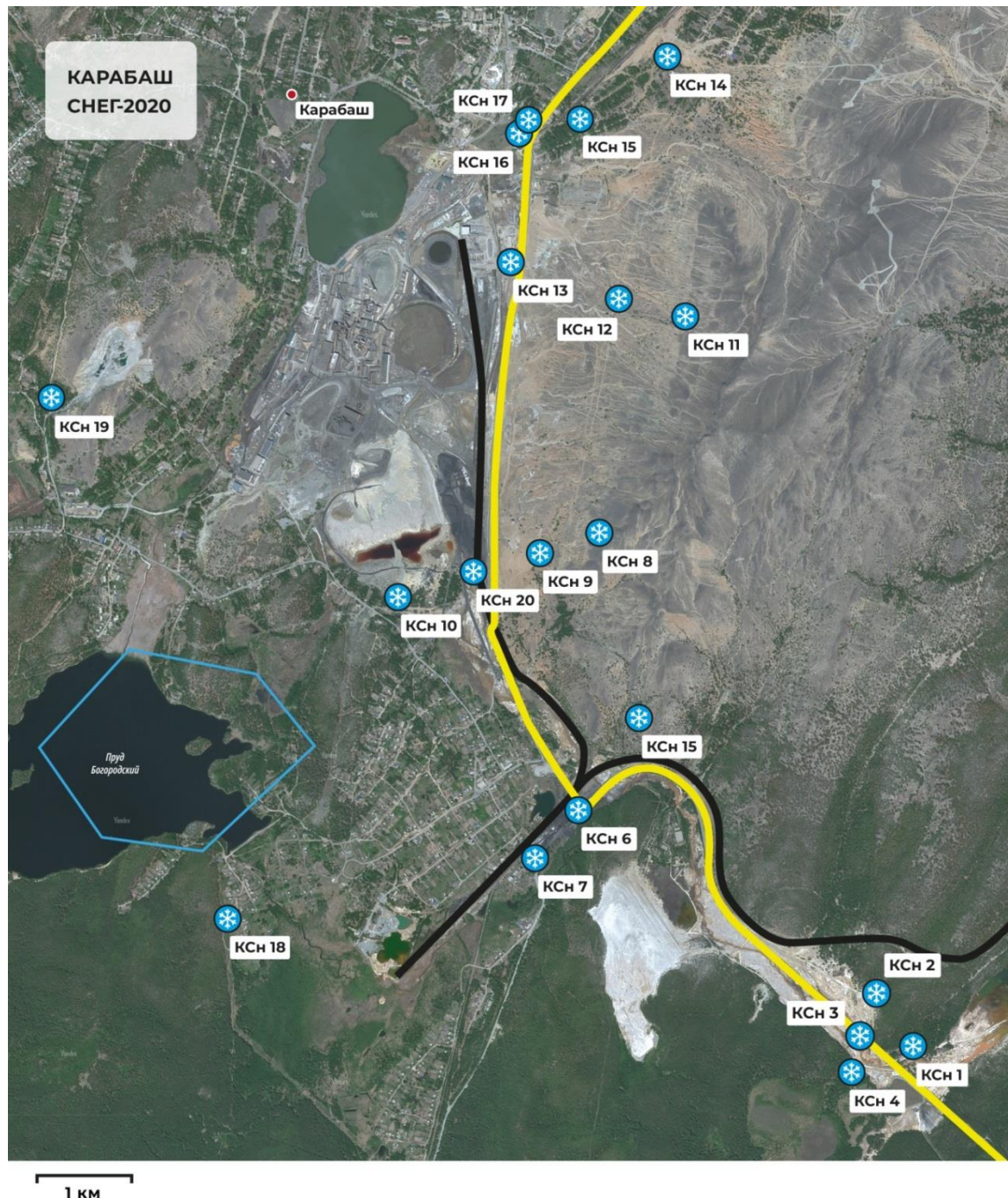


Рис. 1. Схема отбора проб снега по профилям от источников пыления по направлению преобладающих ветров (Источник: URL:

https://yandex.ru/maps/?l=sat&ll=60.225438%2C55.459698&source=serp_navig&z=14)

Fig. 1. Snow sampling scheme by profiles from dust sources in the direction of prevailing winds (Resource: URL: https://yandex.ru/maps/?l=sat&ll=60.225438%2C55.459698&source=serp_navig&z=14)

⁴ Руководство по контролю загрязнения атмосферы. РД 52.04.186-89. М. : Госкомитет СССР по гидрометеорологии, Министерство здравоохранения, 1991.

Оттаивание снега производилось при комнатной температуре. Твердая нерастворимая фракция выделялась путем фильтрования, просушивалась и взвешивалась. Масса полученной пыли в пробе служила основой для определения пылевой нагрузки (P_n) в $\text{мг}/\text{м}^2$ в сутки, расчет проводился по стандартной формуле (МР 5174-90 "Методические рекомендации по оценке степени загрязнения атмосферного воздуха населенных пунктов металлами по их содержанию в снежном покрове и почве"⁵)

$$P_n = m/S \times t,$$

где m – масса пыли в пробе, г; S – площадь шурфа, м^2 ; t – время от начала снеговывалки, сутки.

Снеговая вода, полученная при оттаивании, после фильтрования подвергалась химическому анализу с определением ее макрокомпонентного состава и растворимых форм металлов.

В процессе выполнения исследований в пределах горнорудных и металлургических предприятий Урала особое внимание уделялось изучению минерального состава твердой нерастворимой фракции с целью оценки поступления пыли в течение зимнего периода и ее вещество-минерального состава. Для этого нерастворимый остаток подвергался стандартному минералогическому анализу под бинокулярным микроскопом с оценкой минерального состава и наличия техногенных частиц.

Было проанализировано 36 проб пылевых остатков различных территорий и медных месторождений Уральского региона. В результате был выделен ареал механического золового рассеяния, сформированного воздушными потоками при осаждении взвешенной пыли и фиксируется распределение тяжелых металлов в метеорных осадках.

Результаты и обсуждение

Для Уральского региона в настоящее время характерно освоение и разработка значительного количества сульфидных залежей медных руд различного генезиса, которые расположены в различных физико-географических зонах, различных климатических условиях и разрабатываются преимущественно открытым способом (рис. 2).

При этом главным эффектом техногенного воздействия является резкое увеличение дисперсности рудной и горной массы в результате механического разрушения на разных стадиях работ: бурение, взрывные работы, экскавация, транспортировка, погрузка и разгрузка. Мелкие фракции (менее 30 мкм) часто обогащаются рудными элементами: цинком, медью, кадмием (*Емлин, 1984а*). Таким образом, при разработке сульфидных залежей появляется минеральная пыль, обогащенная металлами в метастабильной сульфидной форме, миграция которых определяется воздушными и водными потоками. Интенсивность пылевыведения определяется не столько скоростью ее образования, сколько активацией пыли, накопленной в карьерах.

В пределах Ивдельского района Свердловской области, в Северо-Уральской предгорно-среднегорной северо-таежной области велась разработка Тарньерского медноколчеданного (законсервированное), Шемурского (отработанное, рекультивируемое) и Ново-Шемурского (отрабатываемое) месторождений. При разработке колчеданных залежей появляется минеральная пыль, обогащенная тяжелыми металлами (Zn, Cu, Cd, Pb) в метастабильной сульфидной форме, миграция которых осуществляется воздушными и водными потоками.

Исследования твердой нерастворимой фракции (пыли) в пределах этих месторождений показали, что во всех пробах в значительном количестве фиксируется труха – тонкий органический материал разложения растительных остатков (серая пыль) (табл. 1). Остальную, более значительную, массу пылевого остатка составляют рудные минералы (пирит и халькопирит), минералы метасоматитов (полевые шпаты, кварц, слюда) и темноцветные минералы вмещающих пород (амфибол, эпидот, хлорит и др.), в пяти пробах выявлен карбонат меди. Очевидна унаследованность пылевой фракцией снегового покрова минерального состава пород медноколчеданных месторождений.

Наиболее высокое содержание пыли обнаружено в пределах законсервированного Тарньерского месторождения, также здесь наблюдаются и низкие значения рудных минералов (пирит, халькопирит), что соответствует незначительной техногенной нагрузке. Более высокие содержания рудных минералов в пылевом остатке снега Шемурского и Ново-Шемурского месторождений (до 40–45 %). Техногенное воздействие фиксируется появлением единичных черных сфер и обломков шлака.

⁵ МР 5174-90. Методические рекомендации по оценке степени загрязнения атмосферного воздуха населенных пунктов металлами по их содержанию в снежном покрове и почве / Ин-т минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов. М. : ИМГРЭ, 1990. 16 с.

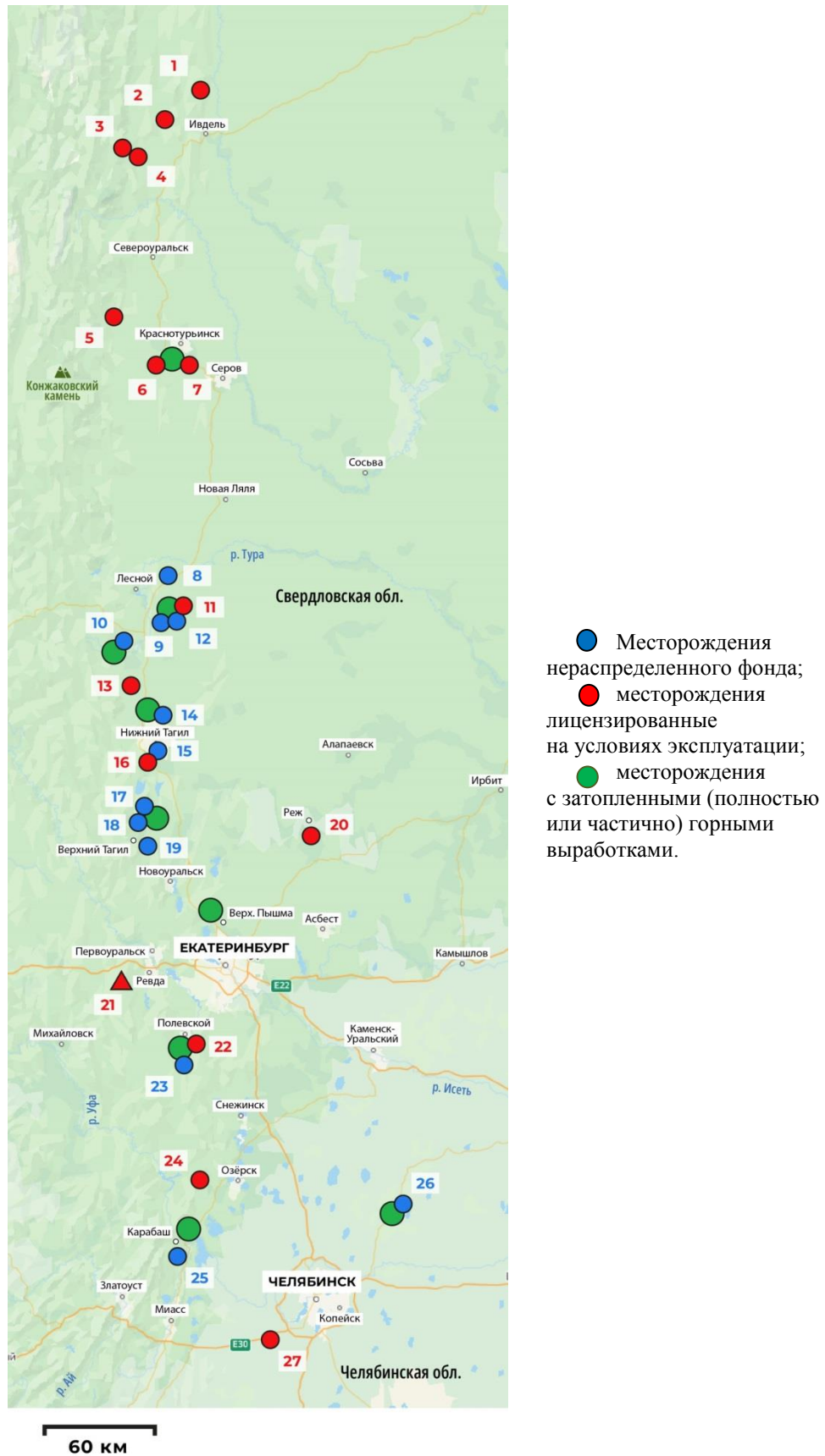


Рис. 2. Месторождения меди Уральского региона

(Источник: URL: https://yandex.ru/maps/?ll=62.113661%2C56.975234&source=serp_navig&z=7.43)

Fig. 2. Copper deposits of the Ural region

(Resource: URL: https://yandex.ru/maps/?ll=62.113661%2C56.975234&source=serp_navig&z=7.43)

Таблица 1. Минеральный состав пылевых остатков в зоне влияния участков разработки медноколчеданных месторождений

Table 1. Mineral composition of dust residues in the zone of influence of mining sites of copper-pyrite deposits

Материал	Номер пробы, содержание в %				
	Тарньерское месторождение (законсервированное)		Шемурское месторождение (отработанное, рекультивируемое)	Ново-Шемурское месторождение (отрабатываемое)	
	ТС-4	ТС-5	ШС-3	НШС-1	НШС-2
Труха	50–55	100	10–12	10–15	10–15
Пирит, халькопирит	1–2	Ед. зн.	40–45	35–40	5–7
Полевые шпаты, кварц, редко – слюда	40–45	Ед. зн.	40–45	45–50	55–60
Темноцветные минералы: амфибол, эпидот, хлорит и т. п.	2–3	Отс.	1–2	2	10–15
Карбонат меди	Ед. зн.	Отс.	Ед. зн.	Ед. зн.	Ед. зн.
Шлак	Отс.	Отс.	Ед. зн.	Отс.	Отс.
Черные сферы	Отс.	Отс.	Ед. зн.	Отс.	Отс.
Пылевая нагрузка, мг/м ² в сутки	20,97	78,63	32,26	129,03	72,58

В целом, запыленность снегового покрова в зоне влияния объектов разработки медноколчеданных месторождений согласно МР 5174-90⁶ оценивается как низкая (менее 250 мг/м² в сутки). Максимальное значение пылевой нагрузки установлено для отрабатываемого в настоящее время Ново-Шемурского месторождения (129,03 мг/м² в сутки).

На Южном Урале с 1933 г. работает Карабашский медеплавильный комбинат, что привело к значительной трансформации природной окружающей среды. Изучение состава пылевых остатков выполнено по лучам по направлению преобладающих ветров на расстоянии до 1,5 км от источников воздействия. В минеральном составе пылевой составляющей выбросов ранее (*Удачин и др., 2014*) выделены "первичные" минералы перерабатываемых медных концентратов (пирит, халькопирит, галенит, кварц, слюда, хлорит и др.) и минералы, образование которых обусловлено металлургическим процессом. К последним относятся металлургические шлаки, состоящие из железо-силикатного стекла и шпинелеподобных фаз медно-цинкового состава: цинкит, англезит, ганнингит.

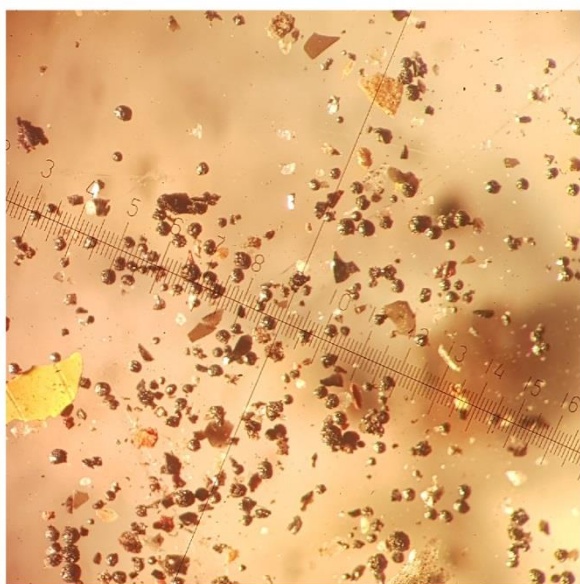
В пределах территории воздействия медеплавильного производства в результате проведения снеговой съемки получены данные, отраженные в табл. 2. Состав пылевых остатков определяется источником выбросов: вблизи автодороги в них фиксируются минералы, входящие в состав пескосоляной смеси и щебня, применяемых для дорожного покрытия (пробы КС-1, КС-3, КС-12 и др.). Другим компонентом, изученным в направлении ветра, являются частицы черных металлургических шлаков медеплавильного производства, часть из которых – магнитные (рис. 3).

Таблица 2. Состав пылевых остатков в снеговых пробах в зоне воздействия медеплавильного комбината
Table 2. Composition of dust residues in snow samples in the impact zone of the copper smelter

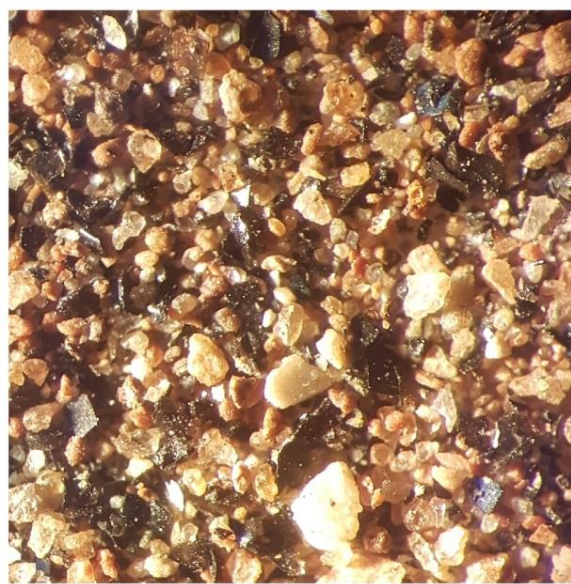
Номер пробы	Пылевая нагрузка P, кг/сут·км ²	Состав пылевой фазы снегового покрова
КС-1	110,14	Кварц ~60 %, полевые шпаты ~35 %, слюды (биотит, мусковит) < 1 %, обломки желтого пластика, стекловатых черных шлаков
КС-2	2 926,90	Пирит 20 %, кварц ~70 %, глина ~10 %, мелкие (< 0,1 мм) черные магнитные частицы (шлак?) < 1 %, полевые шпаты (< 1 %), слюда ~ < 1 %, органика ~ < 1 %
КС-3	398,03	Кварц ~80 %, полевые шпаты ~15 %, слюда ~5 %
КС-4	6,06	Труха (серая пыль) с частичками сосновой коры, иголок ~100 %, обломки металла (< 0,1 мм)
КС-5	75,11	Кварц ~20 %, шлак стекловатый, остроугольные обломки ~80 %, единичные магнитные сферулы (< 0,1 мм)
КС-6	811,89	Обломки стекловатых шлаков черного цвета, в тонких сколах прозрачные. Небольшое количество (5 %) шлаков магнитных
КС-7	96,49	Кварц ~20 %, остроугольные обломки стекловатых шлаков черного цвета ~80 %, единичные немагнитные сферулы и листья растений

⁶ МР 5174-90. Методические рекомендации по оценке степени загрязнения атмосферного воздуха населенных пунктов металлами по их содержанию в снежном покрове и почве / Ин-т минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов. М. : ИМГРЭ, 1990. 16 с.

КС-8	425,26	Кварц ~50 %, полевые шпаты ~30 %, обломки стекловатых черных шлаков ~20 %
КС-9	12 632,98	Кварц ~70 %, обломки стекловатых черных шлаков ~30 %
КС-10	99,78	Кварц ~70 %, полевые шпаты ~10 %, слюда ~10 %, пирит ~5 %, обломки шлака ~5 %, магнитные мелкие сферулы (0,1 мм) и частички < 1 %
КС-11	225,96	Кварц (зерна полуокатанные до 1 мм, прозрачные, желтоватые и мелкие, остроугольные) ~60 %, слюда ~10 %, полевые шпаты ~10 %, пирит (светлый, желтый) ~10 %, обломки черных шлаков ~10 %
КС-12	629,47	Кварц ~60 %, полевые шпаты ~35 %, слюда ~5 %
КС-13	6 964,47	Черная пыль – частицы шлаков, кварца < 1 %, единичные черные сферулы. Магнитная фракция ~5 %
КС-14	84,80	Черная пыль с редкими зернами кварца, магнитная фракция ~20 %, в ней как угловатые зерна, так и редкие сферулы
КС-15	150,77	50 % труха (серая пыль), кварц (полуокатанные угловатые зерна) ~30 %, обломки черных шлаков ~20 %
КС-16	2 393,13	Кварц ~100 %, ед. зерна гранат, роговая обманка, магнетит, стекловатые шлаки
КС-17	154,61	Кварц ~90 %, черные стекловатые шлаки ~10 %
КС-18	6,03	Шлак стекловатый (обломки 0,1 мм) ~100 %, мелкие сферулы, немного органики и кварца
КС-19	8,77	Кварц ~60 %, полевые шпаты ~10 %, обломки стекловатых шлаков ~30 %, единичные черные сферулы
КС-20	2 945,96	Кварц ~80 %, обломки стекловатых шлаков ~20 %



Пылевые остатки пробы КС-7 под бинолупой.
Ув. 12



Пылевые остатки пробы КС-9 под бинолупой.
Ув. 12

Рис. 3. Дробленые стекловатые черные шлаки медеплавильного производства в пылевом остатке талого снега
Fig. 3. Crushed glassy black slag of copper smelting production in the dust phase of snowmelt

Наличие дробленых стекловатых черных шлаков медеплавильного производства в пылевых остатках снеговых проб обусловлено их использованием как для отсыпки дорожного полотна, так и для планировки ландшафта, реже отмечается наличие сульфидов (воздействие обогатительной фабрики).

Медеплавильное производство определяет наличие в шести пробах мелких черных металлических сферул, ареал этих частиц соответствует зоне воздействия. Расчет пылевой нагрузки показал, что ее значения вне зоны влияния медеплавильного комбината и сопутствующих объектов составляют 6,03–8,77 кг/сут·км², что характеризует наличие на территории незагрязненного снежного покрова.

Таким образом, изучая минералогию и состав пылевых остатков, достаточно четко можно установить источник выбросов, а по характерным образованиям (черные сферулы) – и зону воздействия некоторых видов производства.

Снеговая съемка может проводиться и для установления выбросов и состава пылевых остатков вновь осваиваемых месторождений медно-порфировой рудной формации (Гончар и др., 2023). Выполненные исследования в пределах Биргильдинского, Зеленодольского и Томинского участков показали, что основную массу пылевых остатков составляет органика, представленная семенами трав, березы в виде характерных "бабочек" (рис. 4), обломки стеблей. В виде мелких обломков в единичных пробах встречены зерна пирита, обычно в ассоциации с кварцем (табл. 3).

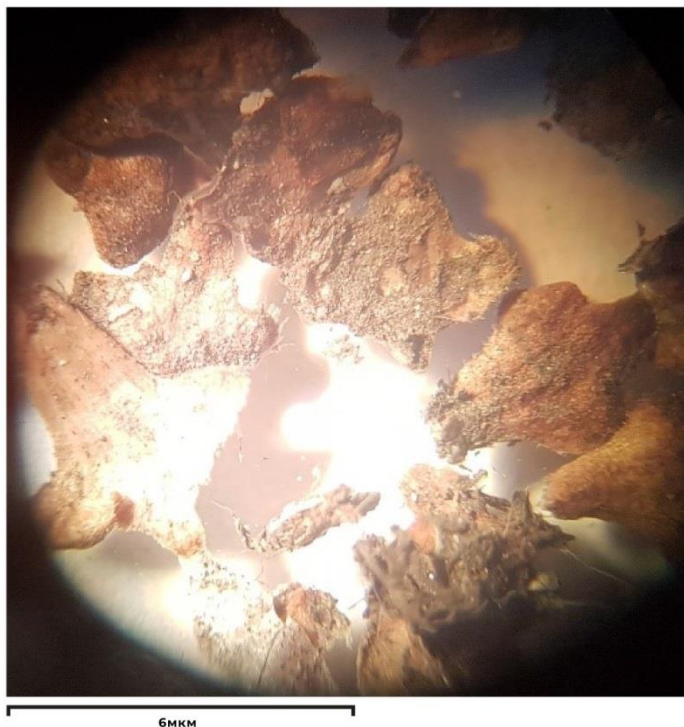


Рис. 4. Отсутствие техногенной составляющей в пылевом остатке (семена березы). Ув.12
 Fig. 4. Absence of a technogenic component in the dust residue (birch seeds)

Таблица 3. Состав пылевых остатков в снеговых пробах на территории месторождений медно-порфировой рудной формации
 Table 3. Composition of dust residues in snow samples on the territory of deposits of the porphyry copper ore formation

Номер пробы	Пылевая нагрузка P , кг/сут·км ²	Состав пылевой фазы снегового покрова
Биргильдинское месторождение		
СБ-1	5,2	Семена трав – вытянутые удлиненные зерна, берез – "бабочки"; неорганическая пыль – кварц прозрачный, карбонат, пирит (немного)
СБ-2	2,1	Семена трав ~80 %, вытянутая удлиненная форма, мелкие зерна кварца, ед. хлорит, уголь
СБ-3	3,5	Преобладают семена трав, по массе ~70 %, мелкая пыль, состоящая из кварца, очень мелких обломков пирита
СБ-4	5,2	Органика – обломки стеблей, трав ~70 %, мелкая пыль, серая, различаются тонкие зерна кварца
СБ-5	11,4	Органика – обломки стеблей, растений, немного семян березы ~60 %, пыль – тонкие зерна кварца и карбонатов
Зеленодольское месторождение		
CZ-1	4,7	Органика, представленная обломками стеблей и ед. семечком березы, тонкая пыль, в которой немного кварца и чешуйки биотита

CZ-2	8,1	Серая черная пыль – округлые комочки почвы, в которой зерна кварца, окатанные, железненные ~20 %, немного органики – обломки стеблей и семечко березы
CZ-3	6,7	Семена березы, немного зерен кварца и пирита (мелкий)
CZ-4	41,7	Комочки серой почвы ~80 %, кварц ~20 %, немного семян березы, обломков стеблей
CZ-5	83,4	Тонкая серая пыль с частицами кварца и биотита, семена березы до 30 %
Томинское месторождение		
СТ-1	8,5	Органические остатки – тонкие обломки стеблей растений, семена березы; пыль тонкая – кварц. Биотит, редко карбонат, сульфиды (пирит)
СТ-2	26,5	Органические остатки – семена березы составляют ~50 %, тонкая серая пыль, в которой по цвету и блеску выделяются кварц и сульфиды (пирит)
СТ-3	50,8	Органические остатки – семена березы ~60 %, тонкая пыль серого цвета с обломками кварца и сульфидов (пирит)
СТ-4	19,0	Органические остатки семена березы ~50 %, тонкая пыль серого цвета с обломками кварца и сульфидов (пирит)

Фоновое значение пылевой нагрузки на территории разведываемых Биргильдинского и Зеленодольского участков медно-порфировых руд оценивается как низкое ($P < 100$ кг/сут на км²) и определяется наличием вблизи объектов транспортной инфраструктуры. В зоне влияния отрабатываемого с 2017 г. Томинского месторождения в пылевых остатках фиксируются частицы техногенного происхождения, соответствующие минеральному составу пород месторождения, при этом на данном этапе разработки уровень загрязнения снегового покрова характеризуется как низкий ($P < 100$ кг/сут на км²) при значениях пылевой нагрузки до 26,5–50,8 кг/сут на км².

Начало отработки Томинского месторождения – 2017 г.; проектная производственная мощность Томинского ГОКа по сырой руде 45 млн т. К наиболее значимым достоинствам этого проекта можно отнести использование хвостов обогащения в производстве закладочного материала для заполнения и рекультивации Коркинского разреза, в последние годы являющегося источником техногенных, экологических и социальных проблем. Размещение закладочного материала в выработанном пространстве разреза позволит ликвидировать эндогенные пожары, снизить риск оползневых явлений, сократить размеры карьерной выемки, глубина которой достигает около 500 м (Алтушкин и др., 2017).

Результаты исследований снегового покрова вблизи Коркинского разреза показали унаследованность пылевой фракцией снегового покрова минеральному составу пород разреза. Это объясняется тем, что закладочный материал подается в виде смеси с водой (табл. 4) и пыление тонкой фракции закладочного материала отсутствует, но вблизи разреза идут планировочные работы, экскавация горных пород, выбросы в атмосферу при горении как отвалов, так и пород карьера. В целом, уровень загрязнения снегового покрова отработанной выработки угольного разреза согласно МР 5174-90⁷ – низкий ($P < 250$ кг/сут на км²).

Таблица 4. Состав пылевой фазы снегового покрова вблизи Коркинского угольного разреза

Table 4. Composition of the dust phase of the snow cover near the Korkinsky coal mine

Номер пробы	Пылевая нагрузка P , кг/сут·км ²	Состав пылевой фазы снегового покрова
СК-1	63,5	Пыль тонкая, серая ~90 %, в пыли различаются угловатые зерна прозрачного кварца, редкие черные обломки угля, органика (кроме пыли, в которой следы горения) – семена березы ~5 %, тонкие нити и мелкий кусочек синего пластика
СК-2	120,8	Основной материал пробы – пыль тонкая, серая, в которой присутствуют зерна кварца и редкие обломки черного угля. Довольно много органики – обломки стеблей, семян ~40 %, единичная сфера – металл

⁷ МР 5174-90. Методические рекомендации по оценке степени загрязнения атмосферного воздуха населенных пунктов металлами по их содержанию в снежном покрове и почве / Ин-т минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов. М. : ИМГРЭ, 1990. 16 с.

Заключение

Результаты выполненного исследования показали, что специфика снеговой съемки в пределах осваиваемых и действующих горнопромышленных районов может сопровождаться детальным, на первой стадии визуальным, изучением пылевых остатков. Для месторождений меди Уральского региона различного генезиса на разных этапах освоения в пылевых остатках снега фиксируется новая тонкодисперсная фаза механического рассеяния – минеральная пыль, обогащенная металлами в метастабильной сульфидной форме (пирит, халькопирит). Количество пыли в пределах вновь осваиваемых и законсервированных месторождений незначительно, как и значение пылевой нагрузки. Материала для аналитических исследований здесь немного, поэтому главная роль принадлежит минералогическим исследованиям.

В пределах техногенно-измененной территории Карабашского медеплавильного комбината для пылевых остатков снегового покрова характерно наличие многочисленных техногенных частиц. В этом случае появляется возможность не только изучить вещественно-минералогический состав пыли с выделением техногенного материала (дробленные стекловатые шлаки медеплавильного производства, магнитные сферулы), но и определить источник их происхождения и ареал пылевых выбросов. Это может определять практическую значимость исследований, которая сводится к изучению фоновой нагрузки до разработки месторождений, и может служить основой для последующего мониторинга месторождений.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Библиографический список

- Алтушкин И. А., Левин В. В., Сизиков А. В., Король Ю. А. Опыт освоения месторождений медно-порфирового типа на Урале // Записки Горного института. 2017. Т. 228. С. 641–648. EDN: YQCXGT.
- Большаков В. А., Краснова Н. М., Борисочкина Т. И., Сорокин С. Е. [и др.]. Аэротехногенное загрязнение почвенного покрова тяжелыми металлами: источники, масштабы, рекультивация. М. : Почв. ин-т, 1993. 91 с.
- Василенко В. Н., Назаров И. М., Фридман Ш. Д. Мониторинг загрязнения снежного покрова. Л. : Гидрометеоздат, 1985. 181 с.
- Гончар Н. В., Макаров А. Б., Гуман О. М., Антонова И. А. Пылевые остатки снеговых проб как индикатор экологической ситуации // Региональные проблемы геологии, географии, техносферной и экологической безопасности : материалы V Всерос. науч.-практ. конф., Оренбург, 24 ноября 2023 г. Оренбург : ОГУ, 2023. С. 79–83. EDN: DMRTNC.
- Емлин Э. Ф. Активно разрабатываемое колчеданное месторождение как геотехническая система // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. 1984а. № 9. С. 1–7.
- Емлин Э. Ф. Геодинамические процессы на активно разрабатываемых колчеданных месторождениях Урала. Свердловск : НТО Горное, 1984б. 72 с.
- Макаров А. Б. Геоэкологическое исследование территорий. Экологический аудит месторождений полезных ископаемых // Обеспечение радиационной безопасности. Екатеринбург : Уральское о-во горных инженеров. 1997. С. 117–125.
- Макаров А. Б., Гуман О. М., Антонова И. А., Захаров А. В. Трансформация геологической среды при разработке медноколчеданных месторождений Урала // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2018. № 6. С. 98–106. DOI: <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2018-6-0-98-106>. EDN: XSMANF.
- Макаров А. Б., Осовецкий Б. М., Антонова И. А. Магнитные сферулы из почв вблизи шлакового отвала Нижнетагильского металлургического комбината // Известия Уральского государственного горного университета. 2017. Вып. 4(48). С. 42–45. DOI 10.21440/2307-2091-2017-4-42-45. EDN: YLSKTM.
- Маслеников В. В., Мелекесцева И. Ю., Масленикова С. П., Масленикова А. В. [и др.]. Дифференциация токсичных элементов в условиях литогенеза и техногенеза колчеданных месторождений. Екатеринбург : РИО УрО РАН, 2016. 368 с.
- Сергеев А. П., Буевич А. Г. Снегомерная оценка на малой площадке // Техногенез и экология. Информационно-тематический сб. Екатеринбург : УГГГА, 2002. С. 73–80.
- Таловская А. В. Экогеохимия атмосферных аэрозолей на урбанизированных территориях юга Сибири : по данным изучения состава нерастворимого осадка снегового покрова : автореф. дис. ... д-ра геол.-минерал. наук. Томск, 2022. 46 с.
- Таловская А. В., Язиков Е. Г. Методические основы изучения минерально-геохимических особенностей пылеаэрозолей на урбанизированных территориях (на примере г. Томска) // Эколого-геологические проблемы урбанизированных территорий : материалы Второй Всерос. науч.-практ. конф., Екатеринбург, 2009. С. 68–71.
- Удачин В. Н., Аминов П. Г., Филлипова К. А. Геохимия горнопромышленного техногенеза Южного Урала. Екатеринбург : РИО УрО РАН, 2014. 252 с.

- Федоров Ю. Н., Макаров А. Б., Талалай А. Г. Некоторые аспекты геоэкологических исследований (на примере составления карты экологического аудита одного из районов Западной Сибири) // Испытательный центр: возможности и перспективы. Екатеринбург, 1996. С. 84–86.
- Seleznev A., Ilgasheva E., Yarmoshenko I., Malinovsky G. Coarse technogenic material in urban surface deposited sediments (USDS) // *Atmosphere*. 2021. Vol. 12, Iss. 6. Article number: 754. DOI: <https://doi.org/10.3390/atmos12060754>.
- Udachin V., Williamson B. J., Purvis O. W., Spiro B. [et al.]. Assessment of environmental impacts of active smelter operations and abandoned mines in Karabash, Ural Mountains of Russia // *Sustainable Development*. 2003. Vol. 11, Iss. 3. P. 133–142. DOI: <https://doi.org/10.1002/sd.211>.

References

- Altushkin, I. A., Levin, V. V., Sizikov, A. V., Korol, Yu. A. 2017. Experience in the development of copper-porphyrty deposits in the Urals. *Zapiski Gornogo instituta*, 228, pp. 641–648. EDN: YQCXGT. (In Russ.)
- Bolshakov, V. A., Krasnova, N. M., Borisochkina, T. I., Sorokin, S. E. et al. 1993. Aerotechnogenic pollution of soil cover with heavy metals: sources, scales, reclamation. Moscow. (In Russ.)
- Vasilenko, V. N., Nazarov, I. M., Friedman, S. D. 1985. Monitoring of snow cover pollution. Leningrad. (In Russ.)
- Gonchar, N. V., Makarov, A. B., Guman, O. M., Antonova, I. A. 2023. Dust residues of snow samples as an indicator of the ecological situation. Proceedings of V All-Russ. scien.-techn. conf. *Regional problems of geology, geography, technosphere and environmental safety*, Orenburg, 24 November, 2023. Orenburg, pp. 79–83. EDN: DMRTHC. (In Russ.)
- Emlin, E. F. 1984a. Actively developed pyrite deposit as a geotechnical system. *Minerals and Mining Engineering*, 9, pp. 1–7. (In Russ.)
- Emlin, E. F. 1984b. Geodynamic processes in the actively developed pyrite deposits of the Urals. Sverdlovsk. (In Russ.)
- Makarov, A. B. 1997. Geoecological study of territories. Environmental audit of mineral deposits. In *Ensuring radiation safety*. Yekaterinburg, pp. 117–125. (In Russ.)
- Makarov, A. B., Guman, O. M., Antonova, I. A., Zakharov, A. V. 2018. Transformation of the geological environment during the development of copper-crusted deposits in the Urals. *Mining Informational and Analytical Bulletin*, 6, pp. 98–106. DOI: <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2018-6-0-98-106>. EDN: XSMANF. (In Russ.)
- Makarov, A. B., Osovetsky, B. M., Antonova, I. A. 2017. Magnetic spheres from soils near the slag dump of the Nizhny Tagil Metallurgical Plant. *Izvestiâ Ural'skogo gosudarstvennogo gornogo universiteta*, 4(48), pp. 42–45. DOI 10.21440/2307-2091-2017-4-42-45. EDN: YLSKTM. (In Russ.)
- Maslennikov, V. V., Melekesseva, I. Yu., Maslennikova, S. P., Maslennikova, A. V. et al. 2016. Differentiation of toxic elements in the conditions of lithogenesis and technogenesis of pyrite deposits. Yekaterinburg. (In Russ.)
- Sergeev, A. P., Buevich, A. G. 2002. Snow-dimensional assessment on a small site. Technogenesis and Ecology: Inf.-thematic collection. Yekaterinburg, pp. 73–80. (In Russ.)
- Talovskaya, A. V. 2022. Ecogeochemistry of atmospheric aerosols in urbanized areas of southern Siberia (submitted by studying the composition of insoluble snow cover sediment). Abstract of Ph.D. dissertation. Tomsk. (In Russ.)
- Talovskaya, A. V., Yazikov, S. G. 2009. Methodological foundations for the study of mineral and geochemical features of dust aerosols in urbanized territories (on the example of Tomsk). Proceedings of II All-Russ. scien.-techn. conf. *Ecological and geological problems of urbanized territories*. Yekaterinburg, pp. 68–71. (In Russ.)
- Udachin, V. N., Aminov, P. G., Fillipova, K. A. 2014. Geochemistry of mining and industrial technogenesis of the Southern Urals. Yekaterinburg. (In Russ.)
- Fedorov, Yu. N., Makarov, A. B., Talalai, A. G. 1996. Some aspects of geoecological research (on the example of drawing up an environmental audit map of one of the regions of Western Siberia). In *Test Center: Opportunities and prospects*. Yekaterinburg, pp. 84–86. (In Russ.)
- Seleznev, A., Ilgasheva, E., Yarmoshenko, I., Malinovsky, G. 2021. Coarse technogenic material in urban surface deposited sediments (USDS). *Atmosphere*, 12(6). Article number: 754. DOI: <https://doi.org/10.3390/atmos12060754>.
- Udachin, V., Williamson, B. J., Purvis, O. W., Spiro, B. et al. 2003. Assessment of environmental impacts of active smelter operations and abandoned mines in Karabash, Ural Mountains of Russia. *Sustainable Development*, 11(3), pp. 133–142. DOI: <https://doi.org/10.1002/sd.211>.

Сведения об авторах

Гончар Наталия Валерьевна – ул. Горького, стр. 57, г. Екатеринбург, Россия, 620075;
АО "Русская медная компания", канд. техн. наук;
e-mail: info@rcc-group.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-0180-9592>

Natalia V. Gonchar – 57 Gorkogo Str., Yekaterinburg, Russia, 620075;
JSC "Russian Copper Company", Cand. Sci. (Engineering);
e-mail: info@rcc-group.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-0180-9592>

Макаров Анатолий Борисович – ул. Куйбышева, 30, г. Екатеринбург, Россия, 620144;
Уральский государственный горный университет, д-р геол.-минерал. наук, доцент;
e-mail: fgg.gpr@m.ursmu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4687-4857>

Anatoly B. Makarov – 30 Kuibysheva Str., Yekaterinburg, Russia, 620144;
Ural State Mining University, Dr Sci. (Geology & Mineralogy), Associate Professor;
e-mail: fgg.gpr@m.ursmu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4687-4857>

Гуман Ольга Михайловна – ул. Академика Бардина, 48а, г. Екатеринбург, Россия, 620146;
ООО "Уралгеопроект", д-р геол.-минерал. наук, профессор;
e-mail: guman2007@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7078-6916>

Olga M. Guman – 48a Academician Bardin Str., Yekaterinburg, Russia, 620146;
Uralgeoproekt LLC, Dr Sci. (Geology & Mineralogy), Professor;
e-mail: guman2007@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7078-6916>

Антонова Ирина Александровна – ул. Академика Бардина, 48а, г. Екатеринбург, Россия, 620146;
ООО "Уралгеопроект", канд. геол.-минерал. наук;
e-mail: dolinina_ira@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2749-1957>

Irina A. Antonova – 48a Academician Bardin Str., Yekaterinburg, Russia, 620146;
Uralgeoproekt LLC, Cand. Sci. (Geology & Mineralogy);
e-mail: dolinina_ira@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2749-1957>