

СТАТЬИ

УДК 550.42:551.578.46

DOI 10.17513/use.38116

ЗАГРЯЗНЕНИЕ СНЕЖНОГО ПОКРОВА ПРИ РАЗРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ГИПСА В АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ

Наход В.А., Малов А.И., Зыкова Е.Н.

ФГБУН Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаврова Уральского отделения Российской академии наук, Архангельск, e-mail: Nakhod.Vitaliy@knauf.ru

В статье приведены данные по загрязнению снежного покрова при разработке месторождения гипса в Архангельской области. На основе анализа 12 проб снега, отобранных в марте 2023 г., дана оценка степени загрязнения снежного покрова тяжелыми металлами в результате производственной деятельности горнодобывающего предприятия. Целью работы являлось сравнение растворимой и нерастворимой форм тяжелых металлов, выявленных в отобранных пробах снега на исследуемой территории, определение их соотношения и корреляции. Также были определены физико-химические показатели талой воды: минерализация, проводимость, водородный показатель, что необходимо для понимания миграционной способности соединений тяжелых металлов. Концентрации практически всех элементов в растворимой форме были значительно выше, чем в нерастворимой. Концентрации меди, цинка, молибдена, свинца и ванадия превышали ПДК для объектов рыбохозяйственного значения. В одной из проб содержание свинца было около ПДК для водоемов, используемых для хозяйственно-бытовых нужд. Выполненные исследования показали, что концентрации химических элементов убывают в следующей последовательности: Fe > Zn > Mo > Mn > Pb > Sb > V > Cr > Cu > As > Ti > N > Co. Предварительный анализ показал, что марганец может иметь природное происхождение, а молибден и медь связаны с разработкой месторождений полезных ископаемых Кольского полуострова. Техногенная природа повышенных концентраций свинца, ванадия и цинка наиболее предпочтительна за счет их источников непосредственно в исследованном районе.

Ключевые слова: тяжелые металлы, горные работы, окружающая среда, снег

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (проект № 122011300333-1; тема FUUW-2022-0043).

SNOW COVER POLLUTION DURING OPERATION OF THE GYPSUM DEPOSIT IN ARKHANGELSK REGION

Nakhod V.A., Malov A.I., Zyкова E.N.

Federal Center for Integrated Arctic Research named after N.P. Laverov, Ural branch of the Russian Academy of Sciences, Arkhangelsk, e-mail: Nakhod.Vitaliy@knauf.ru

The article presents data on the pollution of snow cover during operation of the gypsum deposit in Arkhangelsk region. Based on the analysis of twelve snow samples taken in March 2023, the degree of heavy metal pollution of the snow cover as a result of production activities of the mining company is assessed. The purpose of the work is to compare soluble and insoluble forms of heavy metals detected in selected snow samples in the study area, to determine their ratio and correlation. Physic-chemical parameters of melt water were also determined: mineralisation, conductivity, hydrogen index, which is necessary to understand the migration ability of heavy metal compounds. The concentrations of almost all elements in soluble form were significantly higher than those in insoluble form. Concentrations of copper, zinc, molybdenum, lead and vanadium exceeded the MPC for objects of fishery significance. In one of the samples the lead content corresponded to MPC for water bodies used for household needs. The performed studies showed that concentrations of chemical elements decrease in the following sequence: Fe > Zn > Mo > Mn > Pb > Sb > V > Cr > Cu > As > Ti > Ni > Co. Preliminary analysis has shown that manganese may be of natural origin, while molybdenum and copper are associated with the development of mineral deposits in the Kola Peninsula. The technogenic nature of elevated concentrations of lead, vanadium and zinc is most favoured due to their sources directly in the studied area.

Keywords: heavy metals, mining, environment, snow

This work was supported by the Ministry of Education and Science of the Russian Federation (project No. 122011300333-1; topic FUUW-2022-0043).

Минеральное сырье (в том числе строительные материалы) является важнейшим компонентом ресурсного потенциала нашей страны. Ежегодная добыча многих видов строительных материалов сопоставима с годовой добычей угля и других полезных ископаемых. Месторождение гипса «Глубокое» в Архангельской области раз-

рабатывается с 2008 г., и ежегодная добыча гипсового камня составляет 600 тыс. т. Вместе с тем добыча гипсового камня – серьезное вмешательство в окружающую среду. Месторождение разрабатывается карьерным способом, а именно открытые горные разработки оказывают наиболее глубокое и зримое негативное воздействие на окру-

жающую среду [1–3]. При эксплуатации карьера происходит загрязнение атмосферы, поверхностных и подземных вод, растительности и почв выбросами газообразных и взвешенных веществ и сбросами сточных вод и отходов.

Естественно, на предприятии осуществляются необходимые мероприятия для снижения негативных воздействий. Для снижения пылеобразования при ведении горных работ в сухой теплый период года производится систематическое орошение взорванной горной массы, поверхности отвалов и автодорог, а также увлажнение перерабатываемого материала при подаче в приемный бункер дробильно-сортировочной установки и перед подачей готовой продукции на открытые складские площадки. Карьерные воды, сформированные за счет подземных вод и атмосферных осадков, собираются в специальный водосборник, откуда откачиваются насосами за пределы карьера – в пруд-отстойник, где они осветляются. Для борьбы с ветровой эрозией на откосах и поверхностях отвалов вскрышных пород производится посев многолетних трав. Обязательным условием является и стандартный экологический мониторинг, выполняемый в соответствии со строительными нормами и правилами.

В данной работе была поставлена цель более глубокого научного исследования особенностей загрязнения окружающей среды при разработке месторождения гипсов с оценкой источников загрязнения, интенсивности переноса и видов переноса загрязнений в растворимой и нерастворимой формах. В качестве первого этапа было изучено распределение тяжелых металлов в снежном покрове, сформированном за зимний период вокруг действующего карьера [4, 5]. Актуальность данного исследования связана с тем, что в период снеготаяния все эти загрязнения будут разнесены талыми водами по окружающей территории и в конечном итоге попадут в поверхностные водоемы и водотоки, загрязняя воду и донные отложения и оказывая негативное воздействие на водных обитателей [6, 7].

Материалы и методы исследования

В марте 2023 г., то есть в конце зимнего периода накопления снегового материала, были отобраны 12 проб снега. На рис. 1 показан участок исследования и места отбора проб. Пробы были отобраны по четырем лучам, направленным от центра карьера на северо-восток, юго-восток, северо-запад

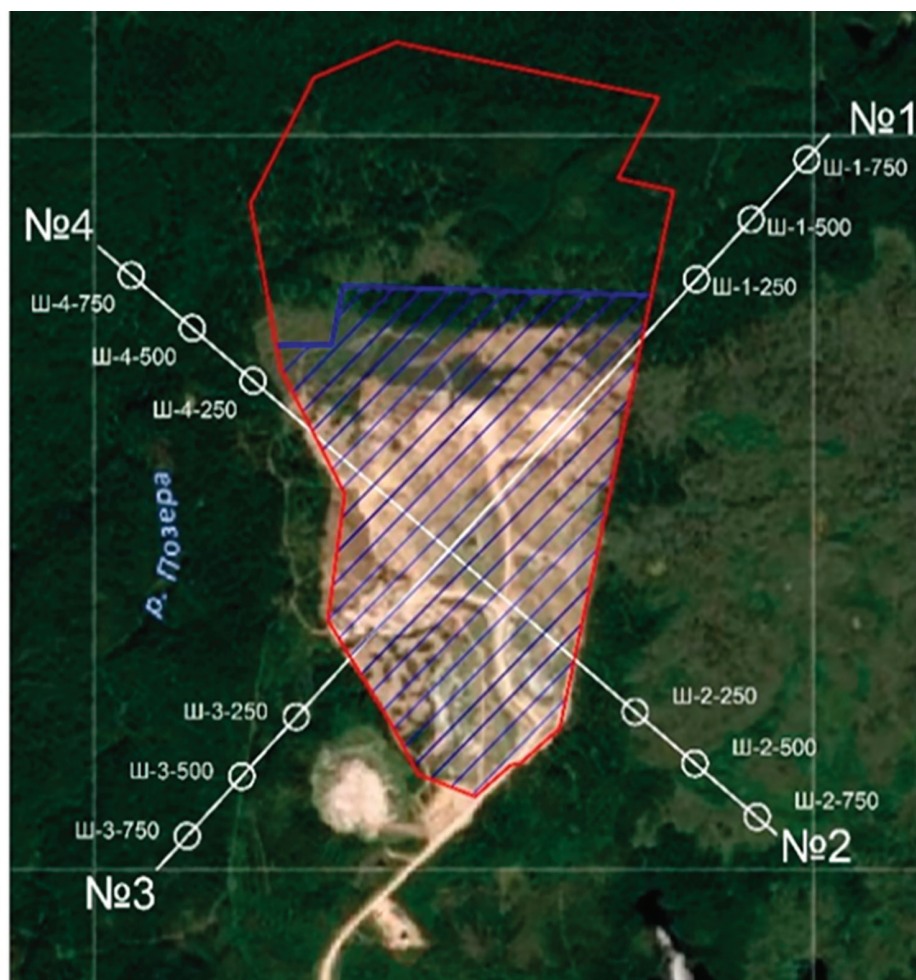
и юго-запад, на расстояниях 250, 500 и 750 м от границ карьера. Пробы отбирали непосредственно в лесу, не менее чем в 100 м от дорог, учитывая то, что поток транспорта в данном месте незначительный. Координаты точек отбора привязывались по GPS.

На каждой точке пробы снега отбирались методом «конверта» с площадки 5 x 5 м в пластиковые ведра с помощью пропиленового совка. Глубина отбора проб определялась мощностью снегового покрова, которая составляла от 54 до 76 см. Нижние 5 см не опробовались, чтобы исключить попадание частиц растительности, дерна и почвы в пробу снега. Затем составлялась смешанная проба уплотненного снега объемом 1 л.

Далее пробы снега транспортировали в лабораторию и растапливали в емкостях, в которые он был отобран, при температуре 20 °С. Непосредственно в талой воде измерялись значения общей минерализации и водородного показателя с помощью кондуктометра Mettler Toledo FiveGo F3 и pH-метра Hanna Instruments 9124.

Для анализа растворимой формы тяжелых металлов пробы талой воды отфильтровывали через ацетатную целлюлозу с размером пор 0,45 мкм в полипропиленовые пробирки с крышкой емкостью 50 мл, консервировали особо чистой азотной кислотой и передавали на анализ. Для того чтобы отфильтровать нерастворенные частицы, использовали предварительно взвешенный и высушенный в сушильном шкафу фильтр «синяя лента» диаметром 90 мм. Фильтрацию проводили при помощи вакуумного насоса на воронке Бюхнера. Затем фильтр высушивали в сушильном шкафу при 105 °С, помещали в эксикатор для стабилизации массы, взвешивали и вычисляли массу осадка. В последующем фильтры, содержащие нерастворимые (твердые) фракции, обрабатывали кислотной экстракцией растворением в 2 мл азотной кислоты и 1 мл перекиси водорода в закрытых тefлоновых чашках при 95 °С. Концентрации металлов во фракции взвешенных (нерастворенных) частиц снега относили к отфильтрованному объему водного эквивалента.

Определялись в обеих фракциях Ti, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Cd, Mo, Pb, V, As, Sb, Fe, U. Оба вида анализа проводились в ЦКП НО «Арктика» Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова методом ИСП-МС (прибор Aurora Elite фирмы Bruker Daltonics, Inc) с погрешностью $\pm 0,005$ мкг/л.



Условные обозначения:

- Горный отвод карьера
- Площадь ведения горных работ
- №2** Номер направления отбора проб снежного покрова
- Шурф отбора проб снежного покрова
- Ш-2-750 Имя шурфа отбора проб снежного покрова

Координаты шурфов:

Имя	N	E
1-250	64.124196894	42.663686945
1-500	64.125894596	42.667069250
1-750	64.127687354	42.670442728
2-250	64.112274442	42.660649084
2-500	64.110890169	42.664703518
2-750	64.109509408	42.668746920
3-250	64.111764204	42.638934856
3-500	64.110072713	42.635569624
3-750	64.108380886	42.632204268
4-250	64.120944140	42.635387136
4-500	64.122327973	42.631348551
4-750	64.123718375	42.627286018

Рис. 1. Схема расположения шурфов для отбора проб снега на карьере гипса

Результаты исследования и их обсуждение

Значения суммарной концентрации тяжелых металлов, за исключением Ti, Fe, в нерастворимой форме колеблются в интервале от 0,066 мкг/л (проба Ш 3-500-F) до 1,774 мкг/л (проба Ш 4-500-F). В сумме с содержаниями Ti и Fe эти показатели вырастают от 0,491 мкг/л в пробе Ш

3-500-F до 9,831 мкг/л в пробе Ш 2-250-F (табл. 1).

Значения суммарной концентрации тяжелых металлов, за исключением Ti, Fe, в растворимой форме колеблются в интервале от 17,9 мкг/л (проба Ш 2-250-F) до 42,7 мкг/л (проба Ш 1-250-F). В сумме с содержаниями Ti и Fe эти показатели вырастают от 23,8 мкг/л (проба Ш 4-750-F) и до 67,1 мкг/л (проба Ш 1-250-F) (табл. 2).

Таблица 1

Содержание нерастворимой формы тяжелых металлов в пробах снега на карьере гипса, мкг/л

Пробы	Ti	Cr	Mn	Co	Ni	Cu	Zn	Cd	Mo	Pb	V	As	Sb	Fe	Σ (без Ti, Fe)	Σ
III 1-250-F	0,00	0,01	0,06	0,00	0,09	0,02	0,06	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,36	0,25	0,61
III 2-250-F	0,21	0,02	0,33	0,08	0,00	0,05	0,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,89	0,74	9,83
III 3-250-F	0,12	0,02	0,22	0,03	0,01	0,02	0,03	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	3,22	0,38	3,72
III 4-250-F	0,12	0,01	0,27	0,03	0,01	0,03	0,14	0,00	0,00	0,10	0,00	0,01	0,00	3,17	0,61	3,89
III 1-500-F	0,15	0,01	0,17	0,03	0,01	0,02	0,36	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	3,06	0,62	3,83
III 2-500-F	0,04	0,01	0,06	0,01	0,00	0,01	0,10	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	1,23	0,20	1,46
III 3-500-F	0,01	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,41	0,07	0,48
III 4-500-F	0,20	0,03	0,29	0,04	0,04	0,04	1,24	0,00	0,03	0,05	0,00	0,02	0,00	4,18	1,77	6,16
III 1-750-F	0,00	0,00	0,30	0,04	0,00	0,04	1,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,37	1,44	5,81
III 2-750-F	0,05	0,01	0,07	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,60	0,13	1,77
III 3-750-F	0,00	0,00	0,17	0,02	0,00	0,02	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,51	0,30	2,80
III 4-750-F	0,04	0,01	0,07	0,01	0,01	0,02	0,10	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,98	0,23	1,25
Сумма	0,93	0,12	2,04	0,29	0,19	0,29	3,44	0,00	0,04	0,27	0,00	0,03	0,00	33,98	6,75	41,62

Таблица 2

Содержание растворимой формы тяжелых металлов в пробах снега на карьере гипса, мкг/л

Пробы	Ti	Cr	Mn	Co	Ni	Cu	Zn	Cd	Mo	Pb	V	As	Sb	Fe	Σ (без Ti, Fe)	Σ
III 1-250-F	3,30	10,10	3,10	0,50	0,00	6,90	11,80	0,00	0,00	8,90	0,00	0,30	1,10	21,10	42,70	67,10
III 2-250-F	0,10	1,10	2,00	0,10	0,00	1,10	2,70	0,40	4,80	0,00	2,10	1,30	2,30	6,70	17,90	24,70
III 3-250-F	0,30	1,10	7,00	0,40	0,00	0,90	10,00	0,40	5,10	0,00	2,10	1,30	2,30	6,30	30,60	37,20
III 4-250-F	0,30	1,10	9,20	0,20	0,00	0,80	5,60	0,40	5,50	1,60	2,00	1,20	2,00	4,90	29,60	34,80
III 1-500-F	0,00	1,10	4,60	0,20	0,00	0,90	9,00	0,40	5,70	1,20	2,20	1,20	1,90	12,80	28,40	41,20
III 2-500-F	0,40	1,30	1,20	0,20	0,00	1,00	5,00	0,40	5,90	1,60	2,10	1,30	2,30	7,60	22,30	30,30
III 3-500-F	0,40	1,30	1,30	0,40	0,50	0,90	2,40	0,50	6,10	5,10	2,20	1,50	2,20	7,90	24,40	32,70
III 4-500-F	0,50	1,10	7,80	0,30	0,70	0,80	9,50	0,50	5,60	1,60	2,20	1,20	2,20	4,70	33,50	38,70
III 1-750-F	0,40	1,00	5,90	0,20	0,70	0,80	7,10	0,40	5,60	1,90	2,20	1,10	2,10	5,00	29,00	34,40
III 2-750-F	0,40	1,00	1,00	0,30	0,40	1,00	3,20	0,40	5,60	1,90	2,10	1,20	2,50	4,90	20,60	25,90
III 3-750-F	0,40	1,20	5,10	0,30	0,60	0,90	9,70	0,40	5,60	2,80	2,10	1,30	2,40	4,10	32,40	36,90
III 4-750-F	0,40	0,90	0,80	0,00	0,70	0,70	2,90	0,40	6,20	0,00	2,30	1,40	2,10	5,00	18,40	23,80
Сумма	6,90	22,30	49,00	3,10	3,60	16,70	78,90	4,60	61,70	26,60	23,60	14,30	25,40	91,00	329,80	427,70

Валовая концентрация варьирует в пределах от 25,05 мкг/л в точке Ш 4-750-F до 67,71 мкг/л в точке Ш 1-250-F. Относительно высокие значения отмечаются в точках, находящихся ближе к карьере: пробы Ш 1-250-F (67,71 мкг/л), Ш 1-500-F (45,03 мкг/л). Наиболее низкие значения отмечены в точках Ш 2-750-F (27,67 мкг/л) и Ш 4-750-F (25,05 мкг/л) (табл. 3, рис. 2).

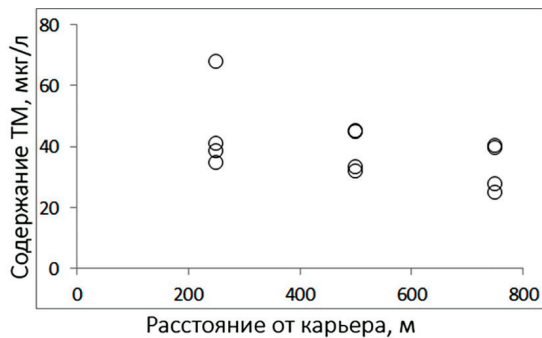


Рис. 2. Распределение валовых концентраций тяжелых металлов (ТМ) в снеге в зависимости от расстояния до карьера

Полученные в данном исследовании результаты показали, что в снежном покрове ландшафтов в зоне влияния разработки месторождения гипса преобладают водорастворимые микроэлементы. Массовая доля элементов в составе нерастворимой фракции талой воды для данных элементов значимо меньше (рис. 3).

Если мы обратим внимание на добычу гипсового камня, то здесь можно отметить, что на всем протяжении горных работ образуется мелкодисперсная гипсовая пыль (буровые, взрывные работы, процессы дробления и классификации гипсового камня, а также погрузка в транспортные сосуды и транспортировка). Данная пыль абсорбирует на себе подвижные формы металлов, образующиеся при производственных процессах.

Содержания тяжелых металлов в снежном покрове сравнивались с ПДК для объектов рыбохозяйственного значения [8] и для поверхностных вод [9] (табл. 4). На основе полученных данных превышение ПДК для объектов рыбохозяйственного значения было установлено по следующим металлам: Cu, Zn, Mo, Pb и V, также повышенное содержание в пределах от 0,5 до 1 ПДК зафиксировано по Mn для объектов рыбохозяйственного значения и Pb для поверхностных вод. На основе полученных удельных концентраций в моделирующей программе Surfer 8.0 построены пространственные

распределения микроэлементов на исследуемой территории (рис. 4).

Распределения демонстрируют неравномерность рассеяния микроэлементов Mn, Zn, Cu, Mo, Pb, V, обусловленное влиянием техногенных источников металлов горнодобывающего предприятия.

Вместе с тем концентрации марганца на уровне 10–15 мкг/л характерны для небольших рек Архангельской области, имеющих болотное питание [10]. Марганец, как и железо, принадлежит к числу элементов, окисленные формы которых гораздо менее растворимы, чем восстановленные. Однако для окисления марганца необходимы гораздо большие значения окислительно-восстановительного потенциала. Образование окисленных форм марганца в околонейтральных водах возможно только при $Eh > +600$ мВ [11]. По результатам анализов, Eh талых вод изменяется в интервале от 203 до 345 мВ (табл. 5). Кроме того, условиями, благоприятными для увеличения концентрации марганца в подземных водах, являются рост концентрации CO_2 и уменьшение pH, которое в талой воде составляет в среднем 5,11, изменяясь от 3,71 до 8,35 (табл. 5). Низкая минерализация талых вод (3,13–6,23 мкг/л) (табл. 5) обуславливает их высокую неравновесность по отношению практически ко всем минералам осадочных пород района, содержащих марганец в качестве примеси.

Молибден также может иметь природное происхождение и переходить в воду за счет выщелачивания из алюмосиликатных пород (Na-монтмориллонита, альбита) [6]. В Мурманской области установлено широкое распространение молибдена в рудах Хибинского горного массива [12]. Повышенные его концентрации характерны и для поверхностных вод [13]. Общеизвестно, что в последний ледниковый период продукты выветривания пород Балтийского щита были перенесены на территорию Архангельской области и отложены в виде сплошного покрова моренных суглинков с галькой и валунами кислых и основных пород. Нужно также отметить, что критерии качества воды для молибдена для защиты пресноводных организмов находятся в диапазоне от 73 мкг/л в Канаде до 19 мкг/л в Неваде, США [6].

Влияние Мурманской области отмечается и в отношении меди, где она в большом количестве поступает в атмосферу в результате деятельности медно-никелевых комбинатов в городах Мончегорск и Никель [14].

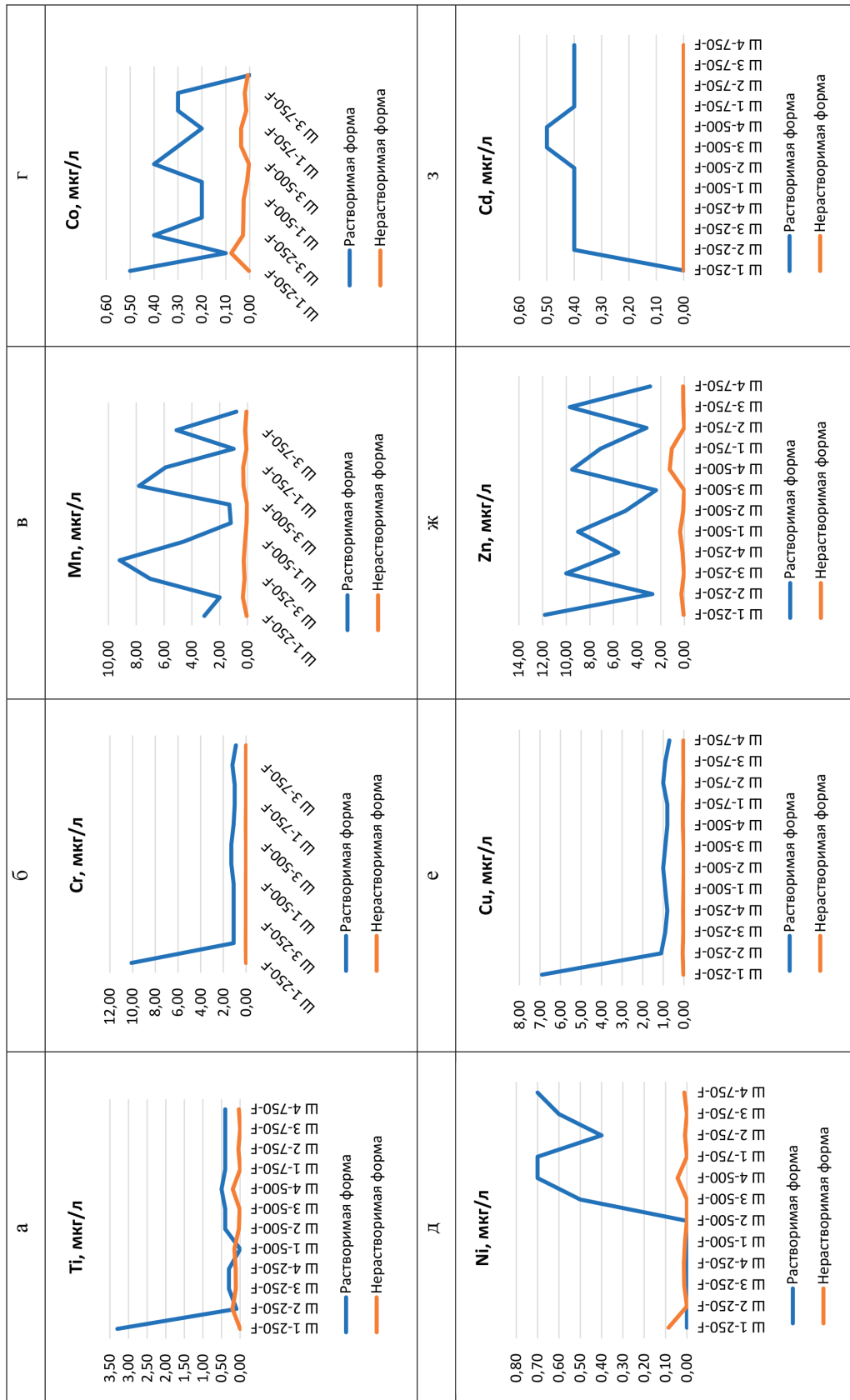
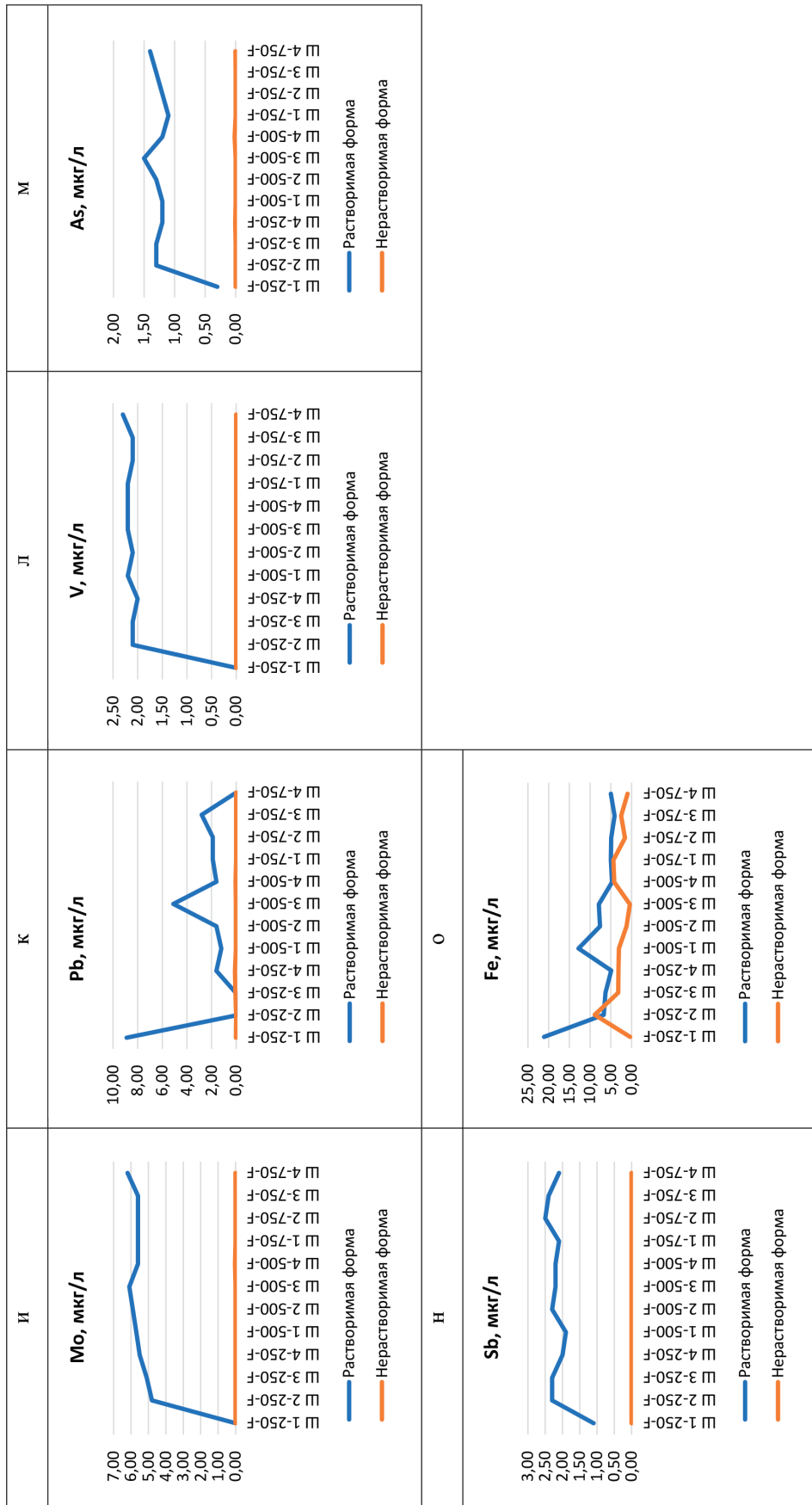


Рис. 3. Графики зависимости содержания тяжелых металлов между растворимой и нерастворимой формами в точках отбора проб снега вокруг месторождения гипса в Холмогорском районе Архангельской области, мкг/л



Продолжение рис. 3. Графики зависимости содержания тяжелых металлов между растворимой и нерастворимой формами в точках отбора проб снега вокруг месторождения гитса в Холмогорском районе Архангельской области, мкг/л

Таблица 3

Валовое содержание растворимой и нерастворимой форм тяжелых металлов в пробах снега на карьере гипса, мкг/л

Пробы	Ti	Cr	Mn	Co	Ni	Cu	Zn	Cd	Mo	Pb	V	As	Sb	Fe	Σ (без Ti, Fe)	Σ
Ш 1-250-F	3,30	10,11	3,16	0,50	0,09	6,92	11,86	0,00	0,00	8,92	0,00	0,30	1,10	21,46	42,95	67,71
Ш 2-250-F	0,31	1,12	2,33	0,18	0,00	1,15	2,95	0,40	4,80	0,00	2,10	1,30	2,30	15,59	18,64	34,53
Ш 3-250-F	0,42	1,12	7,22	0,43	0,01	0,92	10,03	0,40	5,10	0,05	2,10	1,30	2,30	9,52	30,98	40,92
Ш 4-250-F	0,42	1,11	9,47	0,23	0,01	0,83	5,74	0,40	5,50	1,70	2,00	1,21	2,00	8,07	30,21	38,69
Ш 1-500-F	0,15	1,11	4,77	0,23	0,01	0,92	9,36	0,40	5,70	1,22	2,20	1,20	1,90	15,86	29,02	45,03
Ш 2-500-F	0,44	1,31	1,26	0,21	0,00	1,01	5,10	0,40	5,90	1,62	2,10	1,30	2,30	8,83	22,50	31,76
Ш 3-500-F	0,41	1,30	1,33	0,40	0,50	0,90	2,41	0,50	6,10	5,12	2,20	1,50	2,20	8,31	24,47	33,18
Ш 4-500-F	0,70	1,13	8,09	0,34	0,74	0,84	10,74	0,50	5,63	1,65	2,20	1,22	2,20	8,88	35,27	44,86
Ш 1-750-F	0,40	1,00	6,20	0,24	0,70	0,84	8,16	0,40	5,60	1,90	2,20	1,10	2,10	9,37	30,44	40,21
Ш 2-750-F	0,45	1,01	1,07	0,31	0,41	1,01	3,21	0,40	5,60	1,90	2,10	1,20	2,50	6,50	20,73	27,67
Ш 3-750-F	0,40	1,20	5,27	0,32	0,60	0,92	9,78	0,40	5,60	2,80	2,10	1,30	2,40	6,61	32,70	39,70
Ш 4-750-F	0,44	0,91	0,87	0,01	0,71	0,72	3,00	0,40	6,21	0,00	2,30	1,40	2,10	5,98	18,63	25,05
Сумма	7,83	22,42	51,04	3,39	3,79	16,99	82,34	4,60	61,74	26,87	23,60	14,33	25,40	124,98	336,55	469,32

Таблица 4

Предельно допустимые концентрации тяжелых металлов в поверхностных водах, используемых для рыбохозяйственных целей и для хозяйственно-питьевого водоснабжения, мкг/л

Проба	Ti	Cr	Mn	Co	Ni	Cu	Zn	Cd	Mo	Pb	V	As	Sb	Fe
ПДК в воде для объектов рыбохозяйственного значения, мкг/л	60	20	10	10	10	1	10	5	1	6	1	50	-	100
ПДК в воде для поверхностных вод, мкг/л	100	500	10	10	20	1000	1000	1	250	10	100	10	50	300
Класс опасности	3	2	3	2	2	2	3	2	2	2	3	1	2	3

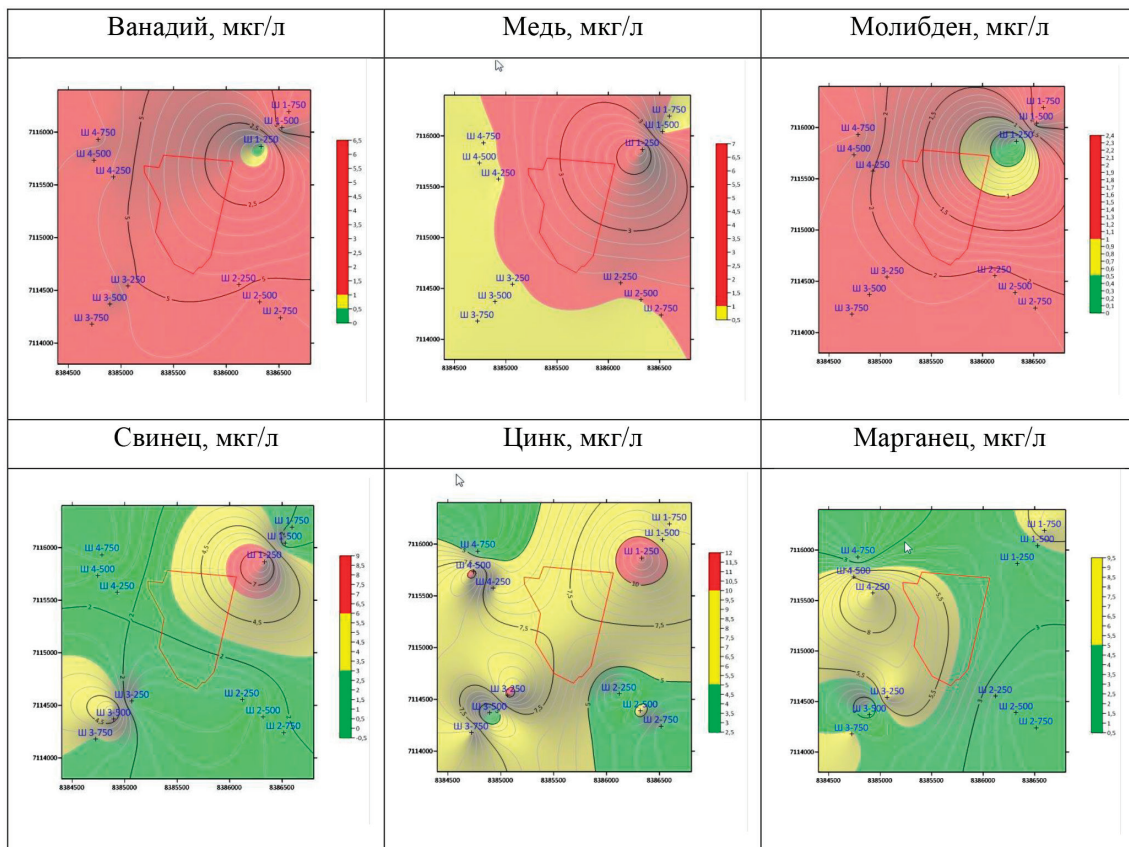


Рис. 4. Пространственные распределения тяжелых металлов в точках отбора проб снега вокруг месторождения гипса в Холмогорском районе Архангельской области, мкг/л. Красным цветом показаны превышения ПДК для рыбохозяйственных водоемов

Таблица 5

Физико-химические показатели состава талой воды

Шифр	TDS, мг/л	ЕС, мкСм	pH	Eh, мВ
Ш 1-250-F	6,23	13,36	7,58	270,00
Ш 2-250-F	4,28	9,27	4,04	331,00
Ш 3-250-F	3,76	8,22	4,57	306,00
Ш 4-250-F	4,83	10,88	3,72	345,00
Ш 1-500-F	4,70	10,19	5,83	257,00
Ш 2-500-F	3,42	7,40	4,55	308,00
Ш 3-500-F	5,97	12,96	8,35	203,00
Ш 4-500-F	4,11	8,91	5,49	255,00
Ш 1-750-F	5,22	11,29	3,71	335,00
Ш 2-750-F	3,33	7,22	4,23	320,00
Ш 3-750-F	3,59	8,13	4,24	320,00
Ш 4-750-F	3,13	6,75	5,12	293,00
Среднее	4,38	9,55	5,12	295,25
Min	3,13	6,75	3,71	203,00
Max	6,23	13,36	8,35	345,00

Техногенная природа повышенных концентраций свинца, ванадия и цинка наиболее предпочтительна в исследованном районе [15].

Заключение

Выполненные исследования показали, что концентрации тяжелых металлов в пробах снега вокруг разрабатываемого карьера гипсов убывают в следующей последовательности: Fe > Zn > Mo > Mn > Pb > Sb > V > Cr > Cu > As > Ti > Ni > Co. В растворимой форме концентрации практически всех элементов были значительно выше, чем в нерастворимой. Концентрации меди, цинка, молибдена, свинца и ванадия в растворимой форме превышали ПДК для объектов рыбохозяйственного значения. В одной из проб содержание свинца было около ПДК для водоемов, используемых для хозяйственно-бытовых нужд.

Предварительный анализ показал, что марганец может иметь природное происхождение, а молибден и медь связаны с разработкой месторождений полезных ископаемых Кольского полуострова (атмосферный перенос). Техногенная природа повышенных концентраций свинца, ванадия и цинка наиболее предпочтительна за счет их источников непосредственно в исследованном районе.

В дальнейшем планируются исследования в летний период распределения концентраций тяжелых металлов в поверхностных водах, донных отложениях и почве вокруг разрабатываемого карьера.

Список литературы

- Ahmadi S., Jahanshahi R., Moeini V. et al. Assessment of hydrochemistry and heavy metals pollution in the groundwater of Ardestan mineral exploration area, Iran // *Environ. Earth. Sci.* 2018. Vol. 77. P. 212. DOI: 10.1007/s12665-018-7393-7.
- Çimen O., Öztüfekçi Önal A., Akyol E.A. Assessment of pollution potential of the Hasangazi chromite pit (Tunceli, Turkey): implications for the natural environment // *Environ. Earth. Sci.* 2018. Vol. 77. P. 199. DOI: 10.1007/s12665-018-7391-9.
- De Carvalho Filho C.A., Moreira R.M., Branco O.E. et al. Combined hydrochemical, isotopic, and multivariate statistics techniques to assess the effects of discharges from a uranium mine on water quality in neighboring streams // *Environ. Earth. Sci.* 2017. Vol. 76. P. 830. DOI: 10.1007/s12665-017-7165-9.
- Vijayan A., Osterlund H., Marsalek J., Viklander M. Laboratory Melting of Late-Winter Urban Snow Samples: The Magnitude and Dynamics of Releases of Heavy Metals and PAHs // *Water, Air, & Soil Pollution*. 2019. P. 182–202. DOI: 10.1007/s11270-019-4201-2.
- Siudek P., Frankowski M., Siepak J. Trace element distribution in the snow cover from an urban area in central Poland // *Environmental Monitoring and Assessment*. 2015. Vol. 187, Is. 5. P. 225–235. DOI: 10.1007/s10661-015-4446-1.
- Malov A.I. Transformation of the chemical composition of surface waters in the area of the exploited Lomonosov diamond deposit (NW Russia) // *Environ. Sci. Pollut. Res.* 2018. Vol. 25. P. 33620–33636. DOI: 10.1007/s11356-018-3308-0.
- Yakovlev E.Yu., Malov A.I., Druzhinin S.V., Zыkov S.B., Malkov A.V., Bedrina D.D. Heavy metals distribution and environmental risk assessment in river sediments in the area of the Lomonosov diamond deposit (NW Russia) // *Environ. Sci. Pollut. Res.* 2020. Vol. 27. P. 35392–35415. DOI: 10.1007/s11356-020-09809-7.
- ГН 2.1.5.1315-03. Гигиенические нормативы. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. Минздрав России. М., 2003.
- Приказ Федерального агентства по рыболовству от 18 января 2010 г. № 20 «Об утверждении нормативов качества воды для объектов водного рыболовства, в том числе норм предельно допустимых концентраций (ПДК) вредных веществ в водах объектов водного рыболовства».
- Malov A.I., Sidkina E.S., Ryzhenko B.N. Model of the Lomonosov Diamond Deposit as a Water–Rock System: Migration Species, Groundwater Saturation with Rock-Forming and Ore Minerals, and Ecological Assessment of Water Quality. *Geochem. Int.* 2017. Vol. 55–12. P. 1118–1130. DOI: 10.1134/S0016702917090038.
- Крайнов С.Р., Рыженко Б.Н., Швеиц В.М. Геохимия подземных вод. М.: Наука, 2012.
- Яковенчук В.З., Иванюк Г.Ю., Пахомовский Я.А., Меньшиков Ю.П. Минералы Хибинского массива. М.: Земля, 1999.
- Котова Е.И., Коробов В.Б., Шевченко В.П., Иглин С.М. Экологическая ситуация в устьевой области реки Северной Двины (Белое море) // *Успехи современного естествознания*. 2020. № 5. С. 121–129.
- Малов А.И. Оценка фонового состояния и антропогенного загрязнения тяжелыми металлами почв и донных отложений Юго-Восточного Беломорья // *Геозология. Инженерная геология, гидрогеология, геоэкология*. 2000. № 2. С. 144–149.
- Котова Е.И., Коробов В.Б., Шевченко В.П., Иглин С.М. Экологическая ситуация в устьевой области реки Северной Двины (Белое море). *Успехи современного естествознания*. 2020. № 5. С. 121–129.
- Малов А.И. Оценка фонового состояния и антропогенного загрязнения тяжелыми металлами почв и донных отложений Юго-Восточного Беломорья // *Геозология. Инженерная геология, гидрогеология, геоэкология*. 2000. № 2. С. 144–149.