

УДК 551.314.2

DOI 10.17513/use.38249

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ГИПСА НА СОСТАВ ПРИРОДНЫХ ВОД

Наход В.А., Малов А.И., Дружинин С.В.

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

**Аннотация.** Данная работа посвящена определению возможного воздействия горно-добычных работ на карьере гипсового камня вблизи Светлозерского поселения Архангельской области на водные объекты, расположенные в непосредственной близости от места добычи. Основные данные представлены на основе исследований проб воды, полученных в ходе экспедиции в августе 2023 г. Цель работы – сравнение полученных данных с концентрациями химических элементов, установленными законодательством Российской Федерации как предельно допустимые концентрации для поверхностных водотоков и водоемов. Результатом научно-исследовательской работы стало установление повышенных концентраций макро- и микроэлементов для водных ресурсов рыбохозяйственного значения по Ca, Fe, Mn, Zn, Sr, Pb, Cu и  $\text{SO}_4^{2-}$ . Для поверхностных вод хозяйственно-питьевого назначения зафиксированы превышения предельно допустимых концентраций по Mn, Pb, Fe и  $\text{SO}_4^{2-}$ . Полученные данные сравнены с результатами ранее проведенных работ по изучению снежного покрова на содержание тяжелых металлов. Превышение предельно допустимых концентраций по содержанию Cu, Pb и Zn отмечено как в снежном покрове, так и в поверхностных водах, что можно квалифицировать как результат антропогенного воздействия. Повышенное содержание Sr, Ca и  $\text{SO}_4^{2-}$  связано с природными процессами растворения гипсов, интенсифицированными в процессе техногенного воздействия на массивы скальных пород.

**Ключевые слова:** экология, химические элементы, гипсовый карьер, ареал, водотоки

*Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (проект № 122011300333-1;  
тема FUUW-2022-0043).*

## STUDY OF THE IMPACT OF GYPSUM DEPOSIT DEVELOPMENT ON THE COMPOSITION OF NATURAL WATERS

Nakhod V.A., Malov A.I., Druzhinin S.V.

*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*

**Annotation.** This work is devoted to determining the possible impact of mining operations at the gypsum stone quarry near Svetlozersky settlement of Arkhangelsk region on water bodies located in the immediate vicinity of the mining site. The main data are presented on the basis of studies of water samples obtained during the expedition in August 2023. The purpose of the work is to compare the obtained data with the concentrations of chemical elements established by the legislation of the Russian Federation (MPC) for surface watercourses and water bodies. The result of the research work was the establishment of increased concentrations of macro- and microelements for water resources of fishery importance for Ca, Fe, Mn, Zn, Sr, Pb Cu, and  $\text{SO}_4^{2-}$ . For surface waters of economic and drinking purpose exceedances of MPC were recorded for Mn, Pb, Fe and  $\text{SO}_4^{2-}$ . The obtained data were compared with the results of earlier studies of snow cover for heavy metal content. Exceedances of MPC for copper, lead and zinc were observed both in snow cover and in surface water, therefore they can be qualified as a result of anthropogenic impact. Elevated contents of Sr, Ca and  $\text{SO}_4^{2-}$  are associated with natural processes of gypsum dissolution intensified in the process of anthropogenic impact on rock massifs.

**Keywords:** ecology, chemical elements, gypsum quarry, habitat, watercourses

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

Деятельность любого горнодобывающего предприятия связана с негативным техногенным воздействием на биогеоценоз участка разработки месторождения. Поэтому для контроля воздействия на природные оболочки функционирует горно-экологический мониторинг, в рамках которого контролируется состояние водных ресурсов, атмосферного воздуха, фауны и флоры. Горно-экологический мониторинг предприятия

по добыче гипсового камня в Архангельской области ограничен выполнением контроля содержания нефтепродуктов и растворенных и взвешенных веществ в сточных водах. Результаты замеров показывают отсутствие превышений предельно допустимых концентраций по данным показателям на протяжении всех лет деятельности предприятия, при этом детальное исследование химического состава природных вод вокруг

карьера не входит в рамки контроля, установленные государственными органами.

Данная работа посвящена более глубокому исследованию техногенного воздействия деятельности горнодобывающей компании на объекты окружающей среды, качественному и количественному переносу, распределению, а также аккумуляции химических элементов в природных и искусственных водотоках на территории вблизи участка недр Чугская площадь. Выбросы вредных веществ от деятельности горнотранспортного и горнодобывающего оборудования усиливают негативную нагрузку на атмосферу, накопление тяжелых металлов в природных водоемах вследствие миграции элементов и сброса карьерных вод, а также накопление металлов в донных отложениях. Все это обуславливает актуальность исследовательской работы.

#### Материалы и методы исследования

В рамках экспедиции в августе 2023 г. были отобраны 14 проб воды. На рис. 1, 2 показан участок изучения и места отбора проб, данный объект исследования имеет развитую сеть поверхностных водотоков.

Пробы были отобраны на площади 1322 га на крупных водотоках района, таких как оз. Сенное и Карасиное, р. Чуга и Позера, их притоки; также опробовались карьерные воды. Непосредственно в точках отбора проб воды измерялись ее температура, содержание кислорода, общая минерализация, электропроводность, водородный показатель и окислительно-восстановительный

потенциал. Для дальнейшего исследования были отобраны следующие пробы:

- 1,5 л – на общий химический анализ в 1,5 л полиэтиленовые емкости без фильтрации и подкисления;
- 10 мл – на катионы и микроэлементы с фильтрацией и подкислением;
- 50 мл – на анионы с фильтрацией без подкисления.

Анализы проб выполнялись в лаборатории ЦЛАТИ по Архангельской области в соответствии с нормативными документами.

#### Результаты исследования и их обсуждение

Изучение водных объектов осуществлялось на содержание макрокомпонентов ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ) и микроэлементов ( $\text{Fe}$ ,  $\text{Mn}$ ,  $\text{Cu}$ ,  $\text{Ni}$ ,  $\text{Pb}$ ,  $\text{Zn}$ ,  $\text{Cr}$ ,  $\text{Sr}$ ,  $\text{As}$ ). Содержание химических элементов в водотоках района сопоставлялось с предельно допустимой концентрацией веществ для объектов рыбохозяйственного значения [1] и для поверхностных вод [2] (табл. 1).

В результате сравнения показателей отмечаются повышенные концентрации для следующих химических элементов:  $\text{Mn}$ ,  $\text{Cu}$ ,  $\text{Zn}$ ,  $\text{Sr}$ ,  $\text{Pb}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Fe}$  и  $\text{SO}_4^{2-}$  для рыбохозяйственных водных ресурсов, а также наличие компонентов в размере 50% и выше от предельной концентрации по  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cr}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ . Концентрация с превышением допустимых значений отмечена для  $\text{Mn}$ ,  $\text{Pb}$ ,  $\text{Fe}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  для поверхностных вод, 50% и выше от предельной концентрации выявлено по  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Sr}$ .

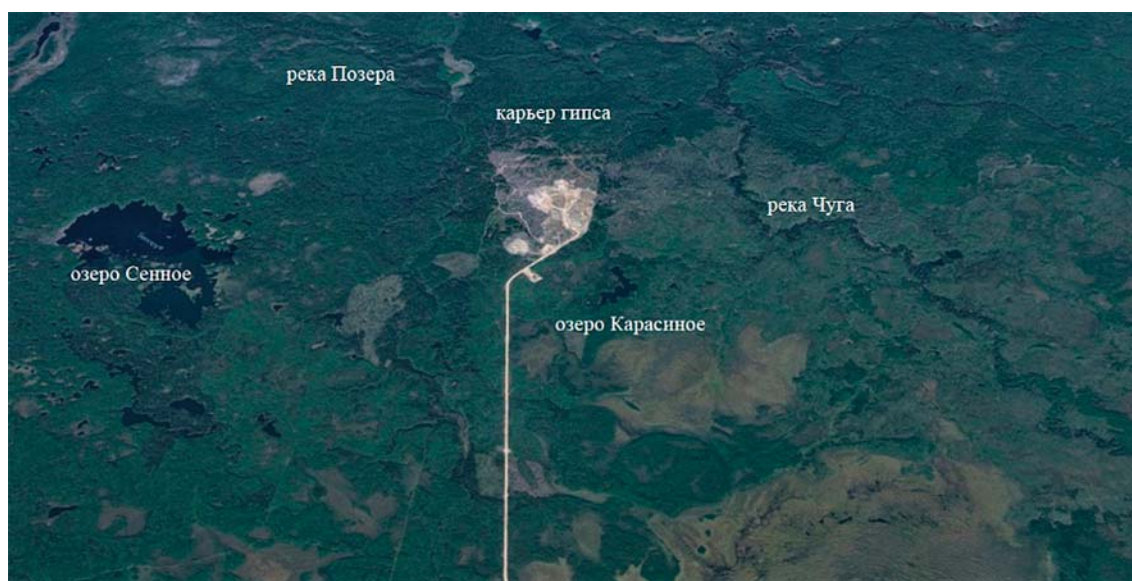


Рис. 1. Участок экспедиции 2023 г.

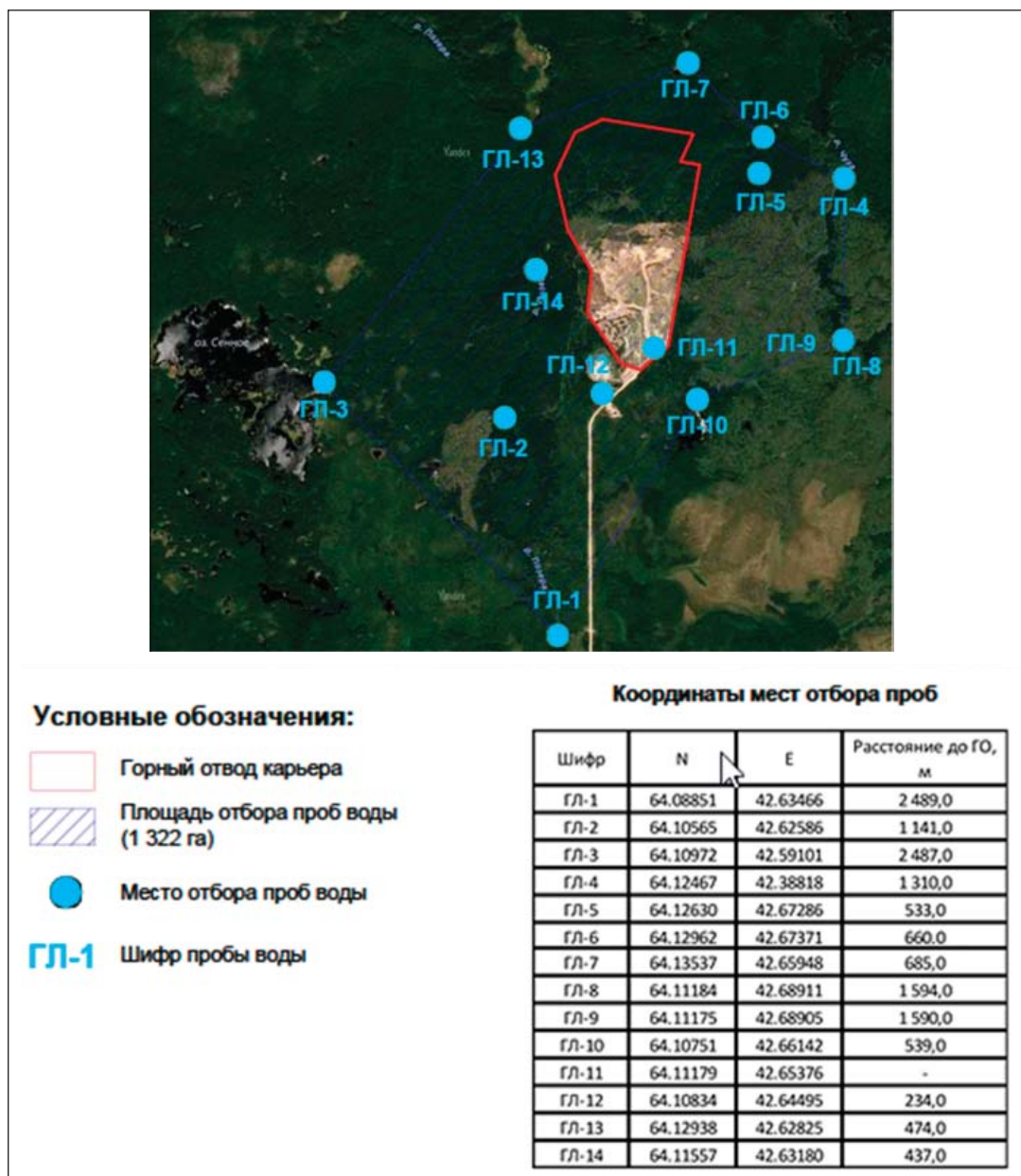


Рис. 2. Схема расположения точек для отбора проб воды (ГЛ) на карьере гипса

Таблица 1

Предельно допустимые концентрации микро- (мкг/л) и макрокомпонентов (мг/л) химического состава в поверхностных водотоках, целью которых является рыбохозяйственная деятельность и водоснабжение населенных пунктов

Проба	Cr	Mn	Sr	Fe	Pb	Ni	Cu	Zn	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>
	мкг/л									мг/л				
ПДК в воде для рыбохозяйственных объектов	20	10	400	100	6	10	1	10	50	180	120	40	100	300
ПДК поверхностных вод	50	100	7000	300	10	20	1000	1000	-	-	200	50	500	350
Класс опасности	2	3	2	3	2	2	2	3	2	2	3	3	3	3

Таблица 2

Валовое содержание макро- и микроэлементов в пробах вод

№ п/п	Шифр пробы	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Сульфат-ион	Хлорид-ион	МКГ/Л								Σ микро-элемент.	Σ
								Mn	Cu	Pb	Zn	Cr	Sr	Fe			
1	ГЛ-1	2,40	0,76	127,00	12,00	253,00	н.о.	200	н.о.	н.о.	9	12	1500	740	2 461,00	397 621,00	
2	ГЛ-2	5,20	2,01	420,00	18,50	780,00	н.о.	66	1,2	н.о.	7,5	н.о.	4200	230	4 504,70	1 230 214,70	
3	ГЛ-3	0,75	0,00	22,40	1,80	29,60	н.о.	4,4	2,3	н.о.	3	н.о.	н.о.	43	61,70	54 611,70	
4	ГЛ-4	3,80	0,00	680,00	17,00	1350,00	н.о.	16	1,6	н.о.	4	8	410	44	483,60	2 051 283,60	
5	ГЛ-5	1,20	0,51	215,00	7,30	470,00	н.о.	2,3	1,1	н.о.	11	8	1430	16	1 468,40	695 478,40	
6	ГЛ-6	0,79	0,58	530,00	12,00	1100,00	н.о.	14	2,9	н.о.	5,5	9	3000	87	3 123,70	1 646 493,70	
7	ГЛ-7	0,75	0,00	340,00	6,70	800,00	н.о.	2,9	н.о.	н.о.	2	н.о.	2200	51	2 255,90	1 149 705,90	
8	ГЛ-8	3,90	0,00	690,00	18,00	1430,00	н.о.	16	1,2	н.о.	3,5	н.о.	6100	85	6 213,70	2 148 113,70	
9	ГЛ-9	4,80	0,00	690,00	11,00	1390,00	н.о.	41	2,6	н.о.	5	н.о.	3300	144	3 492,60	2 099 292,60	
10	ГЛ-10	1,12	0,59	25,10	5,90	5,40	1,18	13	1,6	28	18	12	0	170	242,60	39 532,60	
11	ГЛ-11	88,00	0,00	730,00	39,00	1540,00	67,00	5	2,6	н.о.	3	н.о.	6400	26	6 436,60	2 470 436,60	
12	ГЛ-12	28,30	1,34	670,00	25,00	1430,00	20,80	27	1	н.о.	2	н.о.	5000	63	5 093,00	2 180 533,00	
13	ГЛ-13	9,10	1,80	530,00	21,00	1080,00	н.о.	26	1,7	7	2	н.о.	4000	140	4 176,70	1 646 076,70	
14	ГЛ-14	4,80	2,06	410,00	18,00	890,00	н.о.	87	1,9	н.о.	3	5,6	3400	270	3 767,50	1 328 627,50	
15	Сумма	154,91	9,65	6079,50	213,20	12548,00	88,98	520,60	21,70	57,30	78,50	54,60	40 940,00	2 109,00	43 781,70	19 138 021,70	
16	Среднее	11,07	0,69	434,25	15,23	896,29	29,66	37,19	1,55	4,09	5,61	3,90	2 924,29	150,64	3 127,26	1 367 001,55	
17	Min	0,75	0,00	22,40	1,80	5,40	1,18	2,30	-	-	2,00	-	-	16,00	61,70	39 532,60	
18	Max	88,00	2,06	730,00	39,00	1540,00	67,00	200,00	2,90	28,00	18,00	12,00	6 400,00	740,00	6 436,60	2 470 436,60	

Примечание: н.о. – не определено.



Таблица 3

## Физико-химические показатели поверхностных вод

Шифр пробы	pH	Eh, мВ	t, °	Минерализация, мг/л	Электропроводимость, мкСМ/см
ГЛ-1	6,59	-40,00	16,90	300,40	620,60
ГЛ-2	7,14	-3,00	12,70	800,40	1605,00
ГЛ-3	7,15	49,00	23,20	65,07	136,50
ГЛ-4	7,37	-3,00	12,30	1143,00	2265,00
ГЛ-5	7,01	-52,00	18,50	441,80	903,20
ГЛ-6	7,10	-29,00	20,20	887,50	1771,00
ГЛ-7	7,56	-41,00	23,10	634,80	1283,00
ГЛ-8	7,18	-33,00	12,60	1154,00	2284,00
ГЛ-9	7,42	-24,00	5,80	1123,00	2228,00
ГЛ-10	7,40	1,00	22,10	22,82	48,51
ГЛ-11	7,38	-2,00	20,40	1422,00	2797,00
ГЛ-12	7,12	5,00	21,50	1136,00	2253,00
ГЛ-13	7,49	-3,00	12,30	910,40	1817,00
ГЛ-14	7,45	-2,00	14,80	749,90	1508,00
Среднее	7,24	-12,64	16,89	770,79	1537,13
Min	6,59	-52,00	5,80	22,82	48,51
Max	7,56	49,00	23,20	1422,00	2797,00

Значения суммарной концентрации микроэлементов составляли от 61,70 мкг/л в точке ГЛ-3 до 6436,6 мкг/л в точке ГЛ-11. Относительно высокие значения также отмечены в точках ГЛ-8 6213,7 мкг/л и ГЛ-12 5093,00 мкг/л (табл. 2). Кроме этого проведены исследования физико-химических показателей водотоков (табл. 3).

Полученные в рамках исследовательской работы данные показали присутствие нормируемых химических элементов и соединений как в поверхностных водах в непосредственной близости к объекту разработки, так и в водных объектах, расположенных на большом удалении от источника антропогенного воздействия. Следовательно, природа возникновения загрязнения имеет как природный, так и естественный фактор. К тому же хочется отметить, что в процессе добычи горных пород образуется мелкодисперсная пыль, которая абсорбирует тяжелые металлы и переносит их.

Следующий этап исследования – обработка данных с помощью программы Surfer 8.0, необходимой для создания моделей распределения химических элементов в пространстве изучаемой территории (рис. 3). Полученные данные по рассеива-

нию  $\text{Na}^+$ , Cr, Mn, Pb, Fe,  $\text{Mg}^{2+}$ , Cu, Sr,  $\text{Ca}^{2+}$ , Zn, и сульфат-иона демонстрируют отсутствие строгой зависимости по распределению элементов в пространстве.

Мелким рекам Северо-Западного региона, в том числе Архангельской области, свойственна концентрации марганца в пределах 10–15 мкг/л, главной причиной этого является питание данных рек болотными системами региона [3, с. 1118–1130]. Марганец, как и железо, относится к ряду элементов, окисленные формы которых менее растворимы, чем восстановленные. При этом процесс окисления марганца происходит при наличии большего значения окислительно-восстановительного потенциала. Одним из главных условий получения окисленных форм марганца в околонейтральных водах является значение показателя Eh > +600 мВ [4, с. 672]. Окислительно-восстановительный потенциал в отобранных пробах вод изменялся от -52 до 49 мВ (табл. 3). Уровень pH колебался в незначительном интервале и составлял от 6,59 до 7,65 (табл. 3). Минерализация поверхностных вод имеет достаточно большой разброс и составляет от 22,82 до 1422 мкг/л (табл. 3), максимальная минерализация отмечается в пробах карьерных вод.

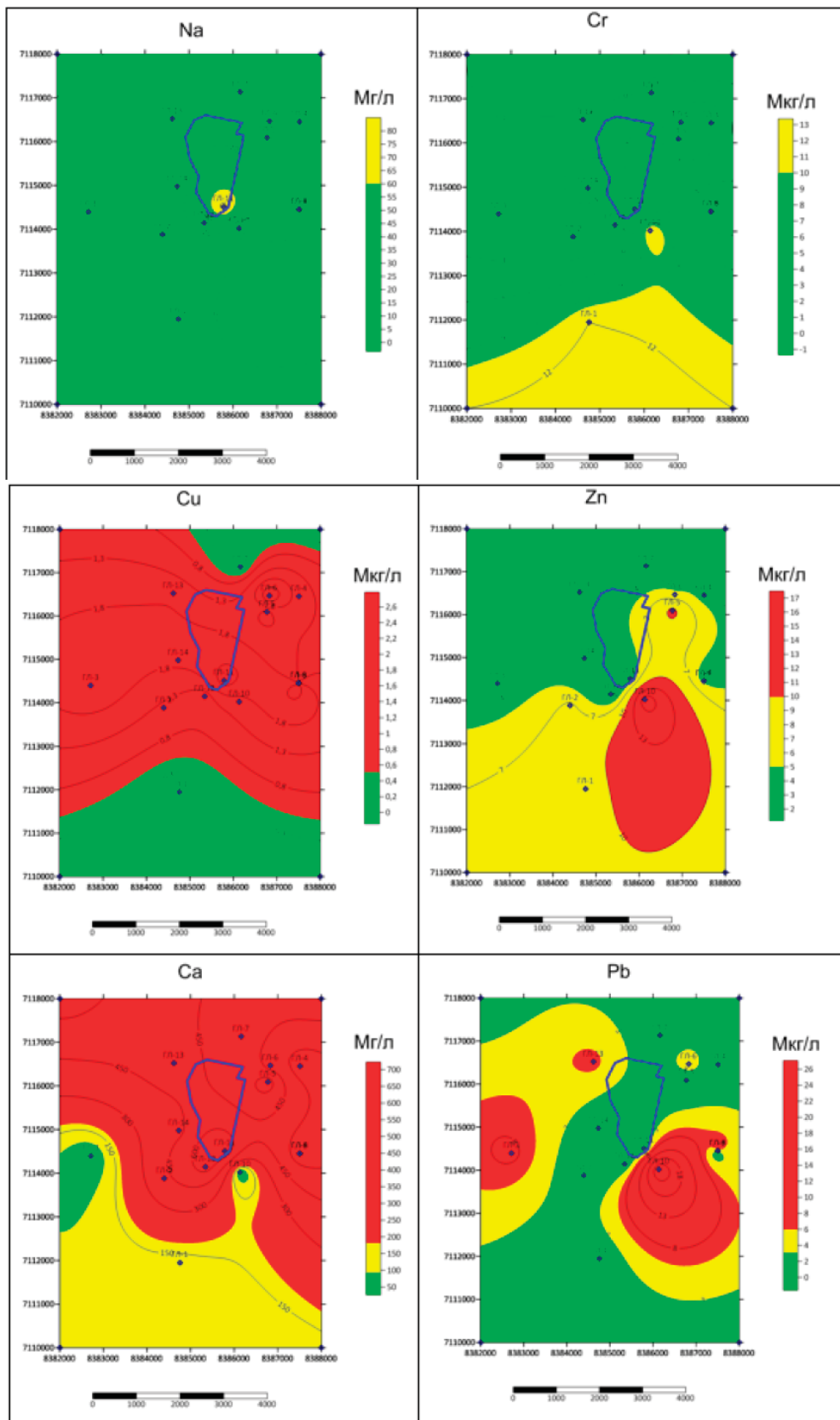


Рис. 3. Распределение макро- и микроэлементов в поверхностных водотоках. Красный цвет символизирует превышение ПДК, желтый – 0,5–1 ПДК, зеленый – менее 0,5 ПДК для водоемов рыбохозяйственного назначения

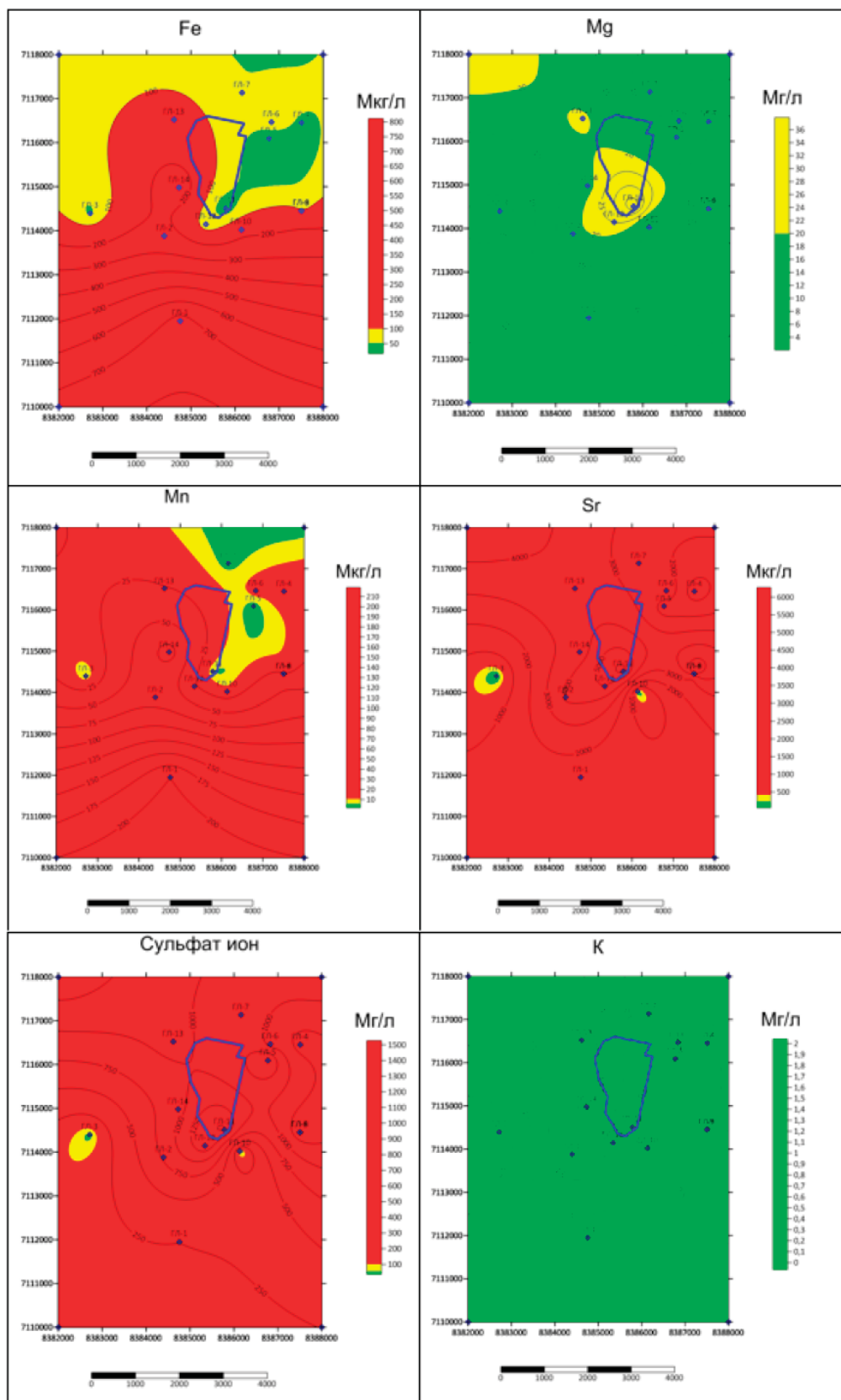


Рис. 3 (продолжение). Распределение макро- и микроэлементов в поверхностных водотоках. Красный цвет символизирует превышение ПДК, желтый – 0,5–1 ПДК, зеленый – менее 0,5 ПДК для водоемов рыбохозяйственного назначения

Соседствующее расположение региона исследования с Кольским полуостровом является причиной повышенного содержания меди в пробах вод, так как Мурманская область располагает крупнейшими горнодобывающими и металлургическими предприятиями, такими как Кольская ГМК [5, с. 318]. Деятельность медно-никелевых комбинатов является причиной поступления металлов в атмосферу.

Превышение ПДК по содержанию меди, свинца и цинка отмечено как в снежном покрове [6, с. 71–80], так и в поверхностных водах, что можно квалифицировать как результат антропогенного воздействия, но превышение ПДК по данным металлам носит точечный характер. Повышенные содержания Sr, Ca<sup>2+</sup> и SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> связаны с природными процессами растворения гипсов, интенсифицированными в процессе техногенного воздействия на массивы скальных пород.

### Заключение

Исследовательская работа подтверждает, что содержание химических элементов в естественных и искусственных водотоках района изучения вблизи функционирующего горного предприятия по добыче строительных горных пород не имеет строгой привязанности к объекту. Результатом работы явилась фиксация превышений ПДК поверхностных вод в объектах рыбохозяйственного значения по Mn, Cu, Zn, Sr, Pb, Ca<sup>2+</sup>, Fe и SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>. Превышение ПДК для поверхностных вод, используемых для хозяйственно-питьевых целей, зафиксировано по Mn, Pb, Fe и SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>.

Проделанная работа позволяет составить следующую последовательность распределения микроэлементов по концентрациям: Sr (2924,29 мкг/л) > Fe (150,64 мкг/л) > Mn (37,19 мкг/л) > Zn (5,61 мкг/л) >

Pb (4,09 мкг/л) > Cr (3,90 мкг/л) > Cu (1,55 мкг/л), Ni и As не обнаружены. При сопоставлении полученных данных с ранее проводимым исследованием снежного покрова в пределах карьера строительных горных пород можно отметить закономерность в превышении ПДК по меди, что является влиянием деятельности металлургических предприятий Мурманской области (атмосферный перенос). Превышение ПДК по свинцу и цинку носит точечный характер и отмечается в 28,6% проб по свинцу и 14,3% проб по цинку.

### Список литературы

1. Приказ Министерства сельского хозяйства Российской Федерации от 13 декабря 2016 г. № 552 «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения (Список изменяющих документов (в ред. Приказов Минсельхоза России от 12.10.2018 № 454, от 10.03.2020 № 118, от 22.08.2023 № 687)» [Электронный ресурс]. URL: <https://base.garant.ru/71586774/> (дата обращения: 22.02.2024).
2. Постановление Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека от 28 января 2021 г. № 2 об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» (Список изменяющих документов (в ред. Постановления Главного государственного санитарного врача РФ от 30.12.2022 № 24)) [Электронный ресурс]. URL: <https://base.garant.ru/71586774/> (дата обращения: 22.02.2024).
3. 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.
4. Крайнов С.Р., Рыженко Б.Н., Швец В.М. Геохимия подземных вод. М.: Наука, 2012. С. 672.
5. Яковенчук В.З., Иванюк Г.Ю., Пахомовский Я.А., Меньшиков Ю.П. Минералы Хибинского массива. М.: Земля, 1999. 318 с.
6. Наход В.А., Малов А.И., Зыкова Е.Н. Загрязнение снежного покрова при разработке месторождения гипса в Архангельской области // *Успехи современного естествознания.* 2023. № 10. С. 71–80.