

УДК 550.42
DOI 10.17513/use.38230

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕГАТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ РАЗРАБОТКИ КАРЬЕРА ПО ДОБЫЧЕ ГИПСА НА СОСТАВ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ И ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА (НА ПРИМЕРЕ ХОЛМОГОРСКОГО РАЙОНА АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ)

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. Общемировая тенденция по развитию горнодобывающей промышленности накладывает свое влияние и на разработку новых месторождений сырья для производства строительных материалов в Российской Федерации. Существенное увеличение предприятий по добыче полезных ископаемых отмечается в последние десятилетия и в Архангельской области. Наряду с растущими темпами добычи полезных ископаемых растет и негативное влияние на окружающую среду. В рамках экспедиции, прошедшей в августе 2023 г., проведены работы по отбору проб донных отложений и почвенного покрова в непосредственной близости от карьера по добыче гипсового камня. Цель работы – определение возможного негативного воздействия разработки месторождения гипса в Холмогорском районе Архангельской области на донные отложения и почвенный покров участков, расположенных в непосредственной близости от места добычи. Итогом исследовательской работы стала фиксация повышенных концентраций тяжелых металлов, таких как Cd, Mo в пробах донных отложений, Cd, Mn, Pb, Zn в пробах почв (органоминеральный горизонт А0 0–5 см). Проведено сопоставление полученных данных с ранее проведенными исследованиями поверхностных водотоков на содержание макро- и микроэлементов, а также снежного покрова. Выявленные превышения показателей по Pb, Zn отмечаются в снежном покрове, водотоках и почвах, что свидетельствует о техногенном воздействии, превышения же по Са в поверхностных водах и донных отложениях определяются естественными процессами растворения гипсов, интенсифицированными в процессе антропогенного влияния на массивы горных пород.

Ключевые слова: экология, химические элементы, гипсовый карьер, донные отложения, почвы

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

STUDY OF THE NEGATIVE IMPACT OF GYPSUM QUARRY DEVELOPMENT ON THE COMPOSITION OF BOTTOM SEDIMENTS AND SOIL COVER (ON THE EXAMPLE OF KHOLMOGORSKY DISTRICT OF ARKHANGELSK REGION)

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. The global trend in the development of the mining industry also affects the development of new deposits of raw materials for the production of construction materials in the Russian Federation. A significant increase of mining enterprises has been observed in recent decades in the Arkhangelsk region. Along with the growing rates of mineral extraction, the negative impact on the environment is also increasing. As part of the expedition, which took place in August 2023, we carried out sampling of bottom sediments and soil cover in the immediate vicinity of the gypsum stone quarry. The purpose of the work was to determine the possible negative impact of gypsum deposit development in Kholmogorsky district of Arkhangelsk region on the bottom sediments and soil cover of the areas located in the immediate vicinity of the mining site. The research work resulted in fixation of increased concentrations of heavy metals such as Cd, Mo in bottom sediment samples, Cd, Mn, Pb, Zn in soil samples (organomineral horizon A0 0-5 cm). The obtained data were compared with earlier studies of surface watercourses for the content of macro- and microelements, as well as snow cover. The revealed excesses of Pb, Zn are observed in snow cover, watercourses and soils, which indicates an anthropogenic impact, while the excesses of Ca in surface water and bottom sediments are determined by natural processes of gypsum dissolution, intensified in the process of anthropogenic impact on rock massifs.

Keywords: ecology, chemical elements, gypsum quarry, bottom sediments, soils

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

Рост строительной отрасли Российской Федерации подталкивает развитие горнодобывающих предприятий, специализирующихся на добыче общераспространен-

ных полезных ископаемых, таких как гипс, мел, известняк и др. Основным вектором развития предприятий является экологичность готовой продукции, а следовательно,

и процессов добычи сырья. В рамках контроля воздействия на окружающую среду на предприятиях организованы службы горно-экологического мониторинга, сфера контроля которых ограничивается горным или земельным отводом предприятия, а в некоторых случаях зонами негативного воздействия горных выработок. Для месторождения гипса в Холмогорском районе Архангельской области опасный радиус установлен в пределах 500 м от границ горного отвода. Для получения более комплексной оценки влияния разработки на район исследования в августе 2023 г. проведена научная экспедиция, целью которой являлся отбор проб поверхностных вод, донных отложений и почвенного покрова. Исследовательская работа была направлена на изучение степени влияния деятельности промышленного предприятия на специфику загрязнения компонентов окружающей среды при функционировании полного комплекса горных работ по извлечению гипса, степени взаимодействия между геосферами в переносе вредных веществ, а также в распределении и накоплении тяжелых металлов и макроэлементов в донных отложениях и почвенном покрове, расположенных в непосредственной близости от месторождения. Актуальность исследования определена тем, что перенос загрязняющих веществ из атмосферного воздуха в результате добычных и вскрышных работ в природные воды приводит к накоплению химических элементов в педосфере и донных отложениях, что может сказываться на состоянии растительности и фауны.

Цель работы – систематизация воздействия разработки месторождения гипсов на специфику загрязнения окружающей среды, в том числе на распределение и аккумуляцию тяжелых металлов в донных отложениях и педосфере. Задачами исследования являлись отбор проб донных отложений и почв на участках в непосредственной близости от крупных водотоков района, установление особенностей распределения тяжелых металлов и макроэлементов, объяснение основных факторов загрязнения, а также сравнение полученных данных с ранее проведенными исследованиями снежного покрова и поверхностных вод.

Материалы и методы исследования

Планом научной экспедиции лета 2023 г. были определены точки отбора 10 проб донных отложений и 14 проб почв. На рис. 1 и 2 показаны районы исследования и точки отбора проб. Площадь участка изучения составила 1 322 га. Отбор проб был привязан к крупным водным объектам региона, к ним можно отнести р. Позера и Чуга с притоками, а также оз. Сенное и Карасиное.

Донные осадки массой примерно 1 кг отбирались с помощью ручного пробоотборника Петерсона (~0,5 м от берега, илистые отложения). После отбора образцы донных осадков высушивались в сушильном шкафу BINDER E28 при температуре 105 °С до воздушно-сухого состояния. Гранулометрический состав донных осадков определялся с помощью вибрационной просеивающей машины AS 200 Control.



Рис. 1. Участок экспедиции 2023 г.

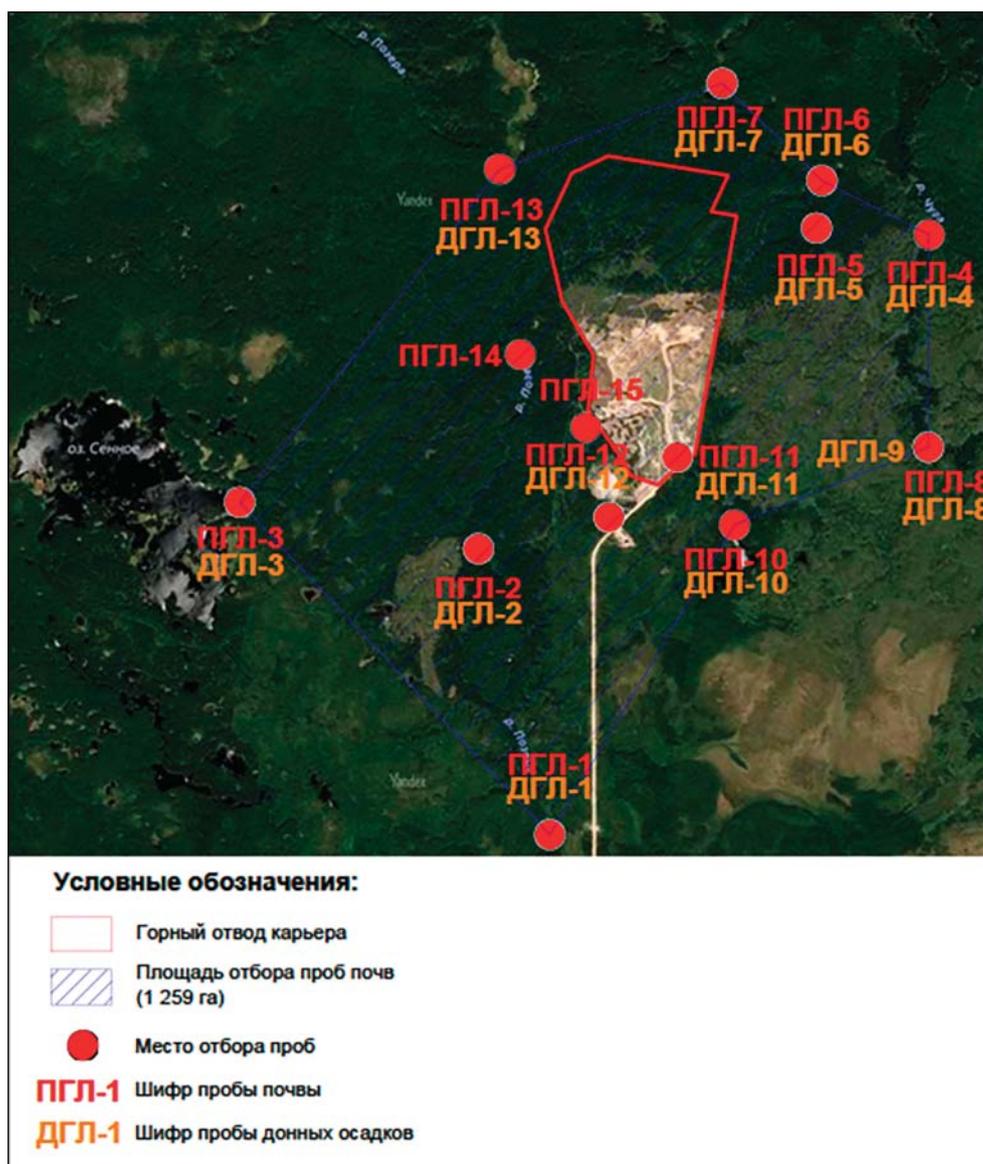


Рис. 2. Схема расположения точек отбора проб донных отложений, почв

Подготовку образцов для анализа осуществляли следующим способом. Навеску предварительно высушенного и измельченного образца массой 0,50 г помещали в тефлоновый автоклав, заливали 5 мл азотной кислоты и 5 мл деионизированной воды. Разложение проводили в микроволновой системе пробоподготовки TOPwave (AnalytikJena, Германия), продолжительность цикла 45 мин, температурный диапазон 200 °С. Полученные растворы отфильтровывали и доводили до объема 50 мл.

Определение содержания элементных примесей в исследуемых образцах проводили на атомно-эмиссионном спектрометре с индуктивно-связанной плазмой ICPE-9000 (Shimadzu, Япония). Градуировка спектро-

метра была проведена по серии растворов с различным содержанием исследуемых элементов, приготовленных с использованием стандартных растворов ICP multi-element standard solution VI и Hg (Merck, Германия). Условия измерения: стандартная горелка, направление обзора плазмы – аксиальное, мощность радиочастотного генератора – 1,2 кВт, поток плазмообразующего газа (аргон) – 14 л/мин, потоки дополнительного газа и газа-носителя (аргон) – 1,2 и 0,7 л/мин соответственно, время регистрации сигнала – 30 с, время промывки растворителем – 25 с, время промывки образцом – 25 с, количество повторностей – 3. Определялись следующие элементы: Ti, Fe, As, Sb, Cd, Co, Cr, Pb, Ni, V, Mn, Mo, Zn, Cu.

Результаты исследования и их обсуждение

Донные отложения. Основой полученных данных по исследованию донных отложений является то, что они в своем роде служат катализирующей средой, способной сохранять поступающие химические элементы, а также передавать знания о состоянии экологии всего поверхностного водотока и водосбора, при этом следы техногенной деятельности будут ярко выражены при анализе показателей качества отложений. Темпы и объемы формирования донных отложений, а также уровень загрязненности их слоев различны на всем протяжении существования водного объекта, что позволяет проследить как воздействие изменяющейся техногенной нагрузки на речные экосистемы во времени, так и изменение тех естественных процессов, которые протекают в ней [1, с. 431–436]. В рамках нашего исследования проведены работы по определению содержания следующих элементов Ca^{2+} , Fe, K, Mg^{2+} , Na^+ , Ti, Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Mo, Ni, Pb, Sr, V, Zn. Показатели валовой концентрации по тяжелым металлам изменяются от 878,66 мг/кг в точке ДГЛ-3 до 10716,1 мкг/л в точке ДГЛ-7. Также высокие значения выявлены в точках ДГЛ-1 (7630,22 мг/кг), ДГЛ-6 (7574,00 мг/кг), при этом точки отбора расположены как рядом с карьером ДГЛ-6, так и на максимальном расстоянии от него ДГЛ-1 (табл. 1). Нужно отметить, что основным тяжелым металлом, выявленным в ходе исследования, является Fe, среднее содержание данного элемента составляет 5268,1 мг/кг, что соответствует 94% от общего количества тяжелых металлов. Концентрации марганца и железа до 200–700 мкг/л – распространенное явление для мелких рек Архангельской области, основу питания которых составляют болотные поля [2, с. 1118–1130]. Железо является переходным элементом и в зависимости от окислительно-восстановительного потенциала вод имеет степень окисления +2 или +3. Большую роль в форме нахождения железа играют pH, Eh и наличие в воде органического вещества. Для Fe^{3+} характерно образование устойчивых комплексных соединений с гумусовыми соединениями – фульво- и гуминовыми кислотами, а также с некоторыми неорганическими лигандами, особенно OH-. Поэтому можно полагать, что наличие в поверхностных водах органического вещества является основным фактором сохранения железа в поверхностных водах района, а следовательно, и нако-

пления его в донных отложениях [3, с. 15–27]. В качестве ПДК для донных отложений использовались параметры кларков глин [4, с. 175–192]. В результате было установлено превышение кларковых содержаний у следующих элементов Ca, Cd, Mo, также высокое содержание, соответствующее пределу 0,5–1 от кларкового, отмечается у Cu, Sr (по одной пробе). Превышения ПДК для Cd и Mo отмечаются в 90% проб, косвенно указывая на участие естественных факторов в накоплении данных металлов. Максимальное содержание Cd отмечается в точке ДГЛ-7 (1,3 мг/кг – превышение в 4,33 раза) и ДГЛ-6 (1,2 мг/кг – превышение в 4,0 раза), минимальное в точке ДГЛ-3 (0,1 мг/кг – 0,33 от кларка) и ДГЛ-4 (0,44 мг/кг – превышение в 1,47 раз). Молибден, как биометалл, участвует в углеводном обмене, а также в синтезе хлорофилла. Связь между повышенным содержанием молибдена и ростом первичной продукции сине-зеленых водорослей – цианобактерий и азотобактерий, фиксирующих азот, установил в 1930-е гг. А.П. Виноградов [5, с. 113–118; 6, с. 84]. Таким образом, молибден не просто мигрирует и накапливается в органическом веществе фитопланктона донных отложений, но и активно стимулирует рост последнего [5, с. 113–118; 6, с. 84]. В результате обработки данных удельных концентраций металлов, в программе Surfer 8.0 созданы двухмерные модели пространства с указанием распределения элементов на изучаемой площади (рис. 3).

Почвенный покров. Загрязнение почв тяжелыми металлами в условиях техногенного воздействия – распространенная практика в современных реалиях. В нашей работе проводится сравнение загрязнения почвенного покрова с кларковыми значениями [4, с. 175–192], а также ПДК для почв в соответствии с СанПиН 1.2.3685-21 [7, с. 34–37; 8]. Валовая концентрация тяжелых металлов варьирует в пределах от 1030,05 мг/кг в точке ПГЛ-10 до 3813,74 мг/кг в точке ДГЛ-15 и 3200,16 мг/кг в точке ДГЛ-11 (табл. 2). Отличительной особенностью накопления металлов в почвах по сравнению с донными отложениями является существенно меньшее количество железа, средний взвешенный показатель составляет 1003,22 мг/кг Fe, что соответствует 56% от общей массы тяжелых металлов. Это обуславливается тем, что основным источником поступления железа являются водные объекты региона, в том числе болотные поля.

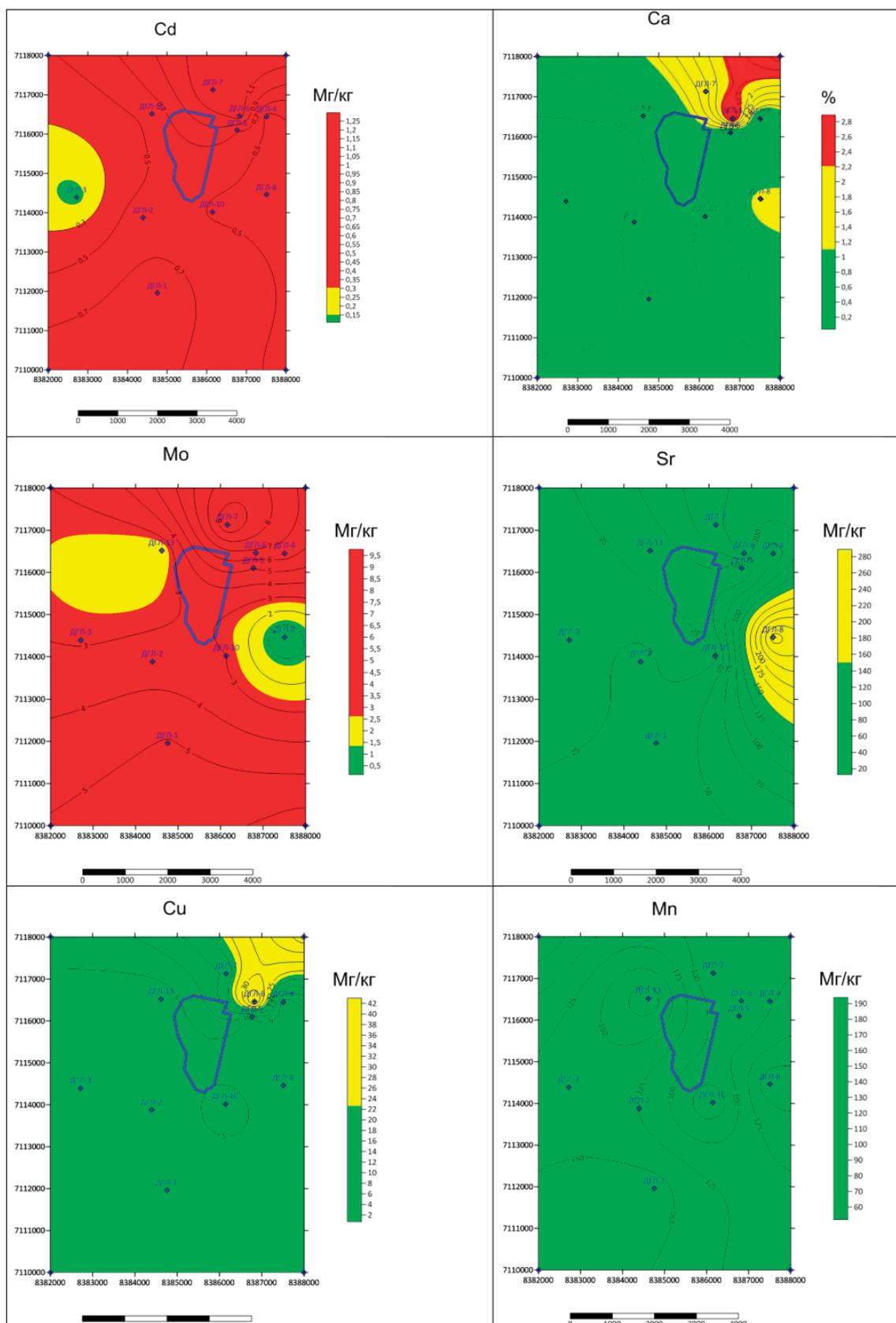


Рис. 3. Двухмерные модели группирования тяжелых металлов в донных отложениях вблизи месторождения гипса, мг/кг, %. Превышения значений кларков показаны красным, предел от 50 до 100% значения кларка – желтым, менее 50% кларка – зеленым цветом

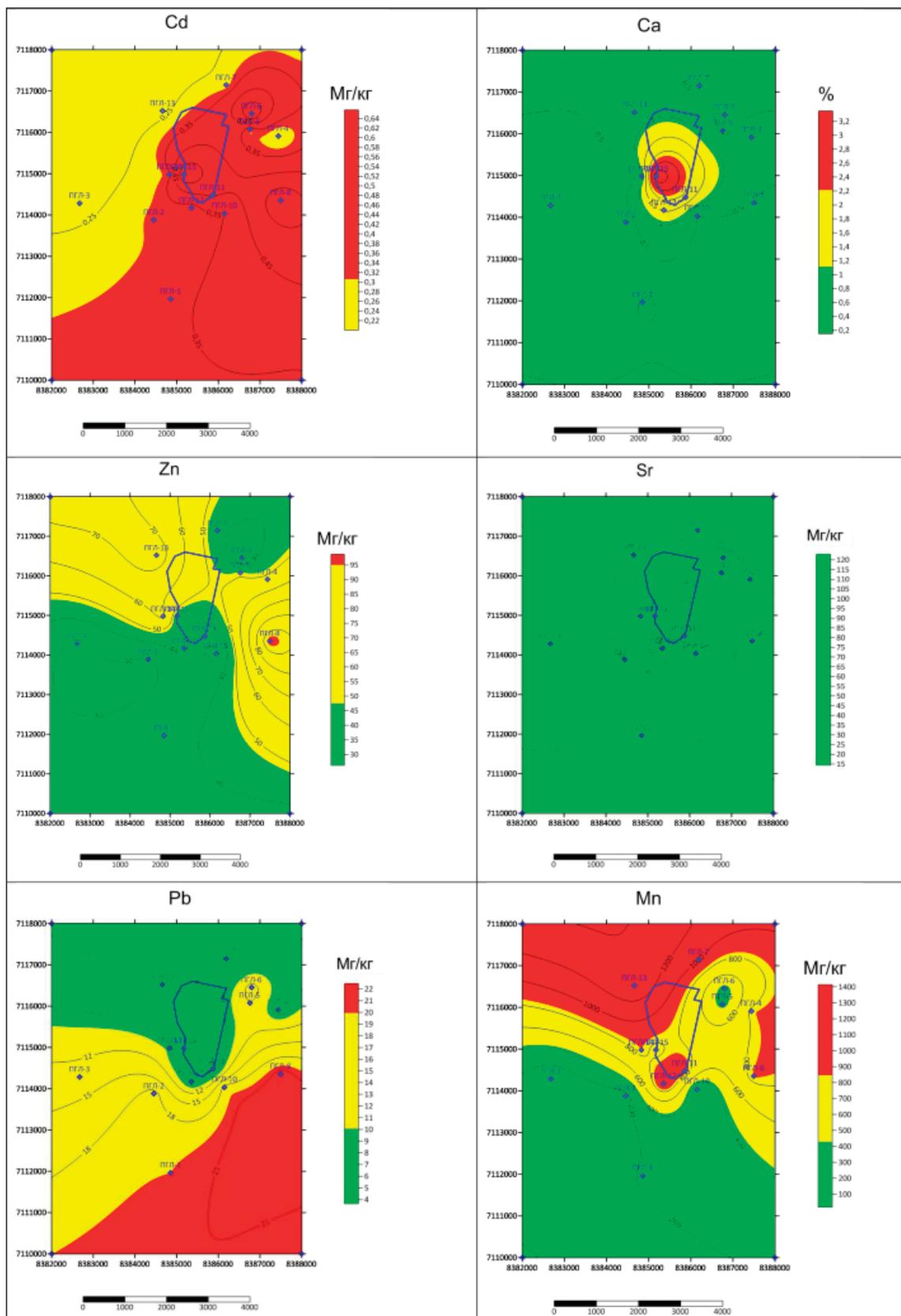


Рис. 4. Двухмерные модели группирования тяжелых металлов в почвах вблизи месторождения гипса, мкг/кг, %. Превышения значений кларков показаны красным, предел от 50% до 100% значения кларка – желтым, менее 50% кларка – зеленым цветом

Таблица 1

Показатели донных отложений

№ пробы	Ca ²⁺	Fe	K ⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	Ti	Cd	Co	Cr	Cu	Mn	Mo	Ni	Pb	Sr	V	Zn	∑ Итого, мг/кг	∑ т.м., мг/кг	% Fe
	%																	мг/кг		
ДГЛ-1	0,29	0,73	0,05	0,17	0,00	0,01	0,82	2,50	9,00	2,30	163,00	5,10	7,20	2,30	32,00	11,00	22,00	12 753,22	7 630,22	96%
ДГЛ-2	0,30	0,60	0,04	0,13	0,00	0,01	0,64	1,10	7,00	1,80	124,00	3,60	5,40	1,40	31,00	8,00	16,00	10 977,94	6 280,94	96%
ДГЛ-3	0,04	0,08	0,01	0,02	0,00	0,01	0,10	0,00	1,40	0,30	8,00	2,90	0,80	0,66	1,70	2,20	1,60	1 612,66	878,66	90%
ДГЛ-4	0,46	0,33	0,03	0,25	0,00	0,00	0,44	0,00	3,50	1,80	98,00	6,50	3,80	0,80	57,00	4,30	8,50	10 940,64	3 555,64	94%
ДГЛ-5	0,33	0,65	0,07	0,21	0,00	0,01	0,71	1,60	9,60	5,30	74,00	5,00	9,40	2,30	23,00	11,00	18,00	12 773,91	6 732,91	97%
ДГЛ-6	2,89	0,71	0,11	0,40	0,01	0,01	1,20	0,90	19,0	43,0	95,00	6,70	15,0	8,20	121,0	22,00	27,00	41 638,00	7 574,00	93%
ДГЛ-7	1,64	1,03	0,12	0,26	0,01	0,01	1,30	1,80	20,0	16,0	74,00	9,90	16,0	5,10	96,00	19,00	36,00	30 895,10	10 716,10	96%
ДГЛ-8	1,27	0,31	0,05	0,40	0,01	0,00	0,48	0,00	4,20	2,30	171,00	0,00	4,40	1,20	290,0	5,30	8,30	20 877,18	3 672,18	86%
ДГЛ-10	0,54	0,27	0,01	0,11	0,00	0,01	0,48	0,00	5,90	7,10	52,00	3,00	5,60	4,80	15,00	7,50	13,00	9 558,38	2 932,38	93%
ДГЛ-13	0,31	0,55	0,02	0,10	0,00	0,01	0,56	1,10	5,20	1,90	196,00	2,00	4,60	1,30	34,00	6,10	15,00	10 178,76	5 807,76	95%
Среднее	0,81	0,53	0,05	0,20	0,01	0,01	0,67	0,90	8,48	8,18	105,50	4,47	7,22	2,81	70,07	9,64	16,54	16 220,58	5 578,08	94%
Глина (Turekian К.К. and Wedepohl К.Н., 1961)	2,21	4,72	2,66	1,5	0,96	9,46	0,3	19	90	45	850	2,6	68	20	300	130	95			
Отношение среднего содержания элемента к кларкам глин	36%	11%	2%	14%	1%	0%	224%	5%	9%	18%	12%	172%	11%	14%	23%	7%	17%			

Таблица 2

Показатели почвенного покрова

№ пробы	Ca ²⁺	Fe	K ⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	Ti	Cd	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Sr	V	Zn	∑ итого, мг/кг	∑ т.м., мг/кг	% Fe в т.м.
	%															мг/кг		
ПГЛ-1	0,515	0,097	0,058	0,057	0,004	0,003	0,340	1,300	4,800	219,000	3,200	20,000	23,000	5,600	38,000	7 648,24	1 317,24	74 %
ПГЛ-2	0,244	0,094	0,090	0,049	0,004	0,003	0,320	1,200	4,000	123,000	4,200	19,000	19,000	3,500	28,000	5 036,22	1 167,22	80 %
ПГЛ-3	0,211	0,115	0,043	0,026	0,008	0,005	0,230	1,300	2,400	39,000	2,700	13,000	17,000	4,400	28,000	4 186,03	1 305,03	88 %
ПГЛ-4	0,715	0,038	0,103	0,077	0,004	0,002	0,240	0,800	6,300	841,000	1,800	8,100	21,000	3,000	52,000	10 325,24	1 334,24	29 %
ПГЛ-5	0,411	0,106	0,109	0,040	0,004	0,004	0,300	1,600	4,100	373,000	2,000	12,000	18,000	4,100	49,000	7 207,10	1 561,10	68 %
ПГЛ-6	0,407	0,081	0,105	0,069	0,004	0,003	0,670	1,200	4,200	362,000	2,100	13,000	24,000	3,300	34,000	7 128,47	1 281,47	63 %
ПГЛ-7	0,414	0,050	0,148	0,080	0,004	0,002	0,280	1,200	4,600	1031,000	2,400	4,900	16,000	2,200	43,000	8 084,58	1 625,58	31 %
ПГЛ-8	0,453	0,086	0,090	0,086	0,004	0,003	0,630	1,500	7,300	864,000	3,500	22,000	20,000	3,300	99,000	8 243,23	1 910,23	45 %
ПГЛ-10	0,492	0,075	0,077	0,049	0,006	0,002	0,350	1,100	4,600	183,000	2,000	19,000	21,000	4,000	26,000	7 265,05	1 030,05	72 %
ПГЛ-11	1,850	0,204	0,097	0,266	0,006	0,006	0,460	3,200	4,100	919,000	4,000	5,300	129,000	6,100	33,000	25 388,16	3 200,16	64 %
ПГЛ-12	1,550	0,082	0,108	0,105	0,005	0,003	0,310	1,500	5,300	1010,000	3,900	7,700	87,000	3,400	42,000	19 689,11	2 011,11	41 %
ПГЛ-13	0,737	0,038	0,227	0,077	0,003	0,001	0,224	0,832	5,417	1380,000	2,538	5,619	21,478	2,495	75,239	12 328,02	1 887,33	20 %
ПГЛ-14	0,584	0,047	0,115	0,081	0,004	0,002	0,323	0,939	5,790	855,443	2,240	9,640	27,706	2,130	61,881	9 286,84	1 453,68	32 %
ПГЛ-15	3,520	0,291	0,168	0,459	0,007	0,004	0,651	4,159	5,991	738,105	5,227	6,246	48,449	6,696	43,938	45 353,03	3 813,74	76 %
Среднее	0,865	0,100	0,110	0,109	0,005	0,003	0,381	1,559	4,921	638,396	2,986	11,822	35,188	3,873	46,647	12 654,95	1 778,44	56 %
Глина (Turekian K.K. and Wederohl K.H., 1961)	2,21	4,72	2,66	1,5	0,96	9,46	0,3	90	45	850	68	20	300	130	95			
Отношение среднего содержания элемента к кларкам глин	39 %	2 %	4 %	7 %	0 %	0 %	127 %	2 %	11 %	75 %	4 %	59 %	12 %	3 %	49 %			

В результате исследований было установлено превышение значений кларков у следующих элементов: Ca, Cd, Mn, Pb, Zn. Превышение кларковых значений для Cd отмечается в 64 % проб, при этом превышение значения ПДК для почв – 0,50 мг/кг отмечено в пробах ПГЛ-6, ПГЛ-15 и ПГЛ-8 [8]. Максимальное содержание Cd отмечается в точке ПГЛ-6 (0,67 мг/кг – превышение в 2,23 раза кларка) и ПГЛ-15 (0,651 мг/кг – превышение в 4,0 раза кларка), минимальное – в точке ДГЛ-3 (0,1 мг/кг – 0,33 значения кларка) и ДГЛ-4 (0,44 мг/кг – превышение в 2,17 раз кларка). Кларк марганца в почвах составляет 850 мг/кг, при этом значение ПДК для почв – 1500 мг/кг [9, с. 142]. Средняя концентрация марганца в почвах составила 638 мг/кг, что не превышает ПДК и кларкового значения. Превышение кларка по марганцу отмечается в 42% проб, максимальные значения отмечены в точках ПГЛ-13, ПГЛ-7 и ПГЛ-12. Точка отбора пробы ПГЛ-8 отмечается превышением кларковых значений по свинцу и цинку. Нужно отметить, что органоминеральный горизонт в данной точке имел меньшую мощность по сравнению с другими точками – 3 см; основной причиной этого являлись лесные пожары, которые, судя по высоте подроста, произошли примерно 30 лет назад. Поэтому повышенное содержание свинца и цинка в точке ПГЛ-8 можно связать с лесным пожаром. При лесных низовых пожарах происходит накопление Pb, Zn, Cd, Hg в слое от 0 до 5 см, в низших слоях содержание указанных металлов уменьшается [10, с. 11–13; 11]. Результатом обработки данных удельных концентраций металлов в программе Surfer 8.0 созданы двухмерные модели пространства с указанием распределения элементов на изучаемой площади (рис. 4).

Заключение

Проведенные исследования подтверждают, что концентрации тяжелых металлов и макроэлементов в верхнем слое педосферы и в донных отложениях вокруг карьера на месторождении Глубокое имеют как природные, так и техногенные источники. Результатом работы явилась фиксация повышенных концентраций Cd и Mo в пробах донных отложений и Cd, Mn, Pb и Zn в пробах почв (органоминеральный горизонт А0 0–5 см). При этом превышение ПДК для почв по свинцу и цинку отмечается только в точке ПГЛ-8 и связано с ранее происшедшими лесными пожарами. Выполненные исследования позволили составить сле-

дующую последовательность распределения микроэлементов по концентрациям для донных отложений: Mn (638,396 мг/кг) > Zn (46,647 мг/кг) > Sr (35,188 мг/кг) > Pb (11,822 мг/кг) > Cu (4,921 мг/кг) > V (3,873 мг/кг) > Ni (2,986 мг/кг) > Cr (1,559 мг/кг) > Cd (0,381 мг/кг), Co и Mo не обнаружены; а также для почвенного покрова: Mn (105,5 мг/кг) > Sr (70,070 мг/кг) > Zn (16,54 мг/кг) > V (9,64 мг/кг) > Cr (8,48 мг/кг) > Cu (8,18 мг/кг) > Ni (7,22 мг/кг) > Mo (4,47 мг/кг) > Pb (2,806 мг/кг) > Co (0,9 мг/кг) > Cd (0,673 мг/кг). При сопоставлении полученных данных с ранее проведенным исследованием снежного покрова и поверхностных вод в пределах карьера гипса можно отметить закономерность в превышении ПДК и кларков по кальцию, что является следствием добычных работ на месторождении гипса. При проведении взрывных работ происходит нарушение целостности массива, и это способствует более быстрому растворению горной породы с последующим накоплением компонентов ее состава в почвах и донных отложениях. Превышение кларковых значений по кадмию, отмеченное как в почвах, так и донных отложениях, частично можно связать с антропогенным воздействием.

Практическая значимость данного исследования заключается в возможности оценки влияния деятельности горнопромышленного предприятия на окружающую среду, в частности на распределение и накопление тяжелых металлов и макроэлементов в донных отложениях и почвах вблизи месторождения гипсов. Результаты исследования позволят добывающему предприятию скорректировать программу работ по мониторингу окружающей среды.

Список литературы

1. Захарова В.И., Гордеева И.В., Балымова Е.С. Изучение влияния сброса очищенных сточных вод на состояние донных илов литоральной зоны // Пищевые технологии и биотехнологии: Материалы XVII Всероссийской конференции молодых ученых, аспирантов и студентов с международным участием / Под ред. А.С. Сироткина. 2021. С. 431–436.
2. 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.
3. Малов А.И. Влияние сброса дренажных вод из кимберлитового карьера на качество речных вод // *Вода: химия и экология.* 2019. № 7–9. С. 15–27.
4. Turekian K.K. and Wedepohl K.H. Distribution of the Elements in some major units of the Earth's crust // *Geological Society of America.* 1961. Vol. 72. P. 175–192.

5. Хорошевская В.О. Распределение ванадия, никеля и молибдена в донных отложениях Таганрогского залива // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. 2015. № 3. С. 113–118. DOI: 10.18522/0321-3005-2015-3-113-118.
6. Хорошевская В.О. Участие биометаллов в жизненном цикле фитопланктона и его деструкции (ванадий, никель и молибден). Германия, 2013. 84 с.
7. Казанцев И.В., Матвеева Т.Б. Содержание тяжелых металлов в почвенном покрове в условиях техногенеза // Самарский научный вестник. 2016. Т. 5, № 1. С. 34–37. DOI: 10.17816/snv20161107
8. СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания IV. Почва населенных мест и сельскохозяйственных угодий [Электронный ресурс]. URL: <https://login.consultant.ru/link/?req=doc&base=LAW&n=441707&dst=100136> (дата обращения: 04.02.2024).
9. Алексеенко В.В. Геохимия ландшафта и окружающая среда. М.: Недра, 1990. 142 с.
10. Журкова И.С. Влияние низового пожара на перераспределение химических элементов. [Электронный ресурс]. URL: http://shakhov.igm.nsc.ru/pdf/Shakhov120-p246_250.pdf (дата обращения: 12.03.2024).
11. Rafael Baieta, Alda M.D. Vieira, Maria Vaňková, Martin Mihaljevič. Effects of forest fires on soil lead elemental contents and isotopic ratios // Geoderma. 2022. Vol. 414. P. 115760. DOI: 10.1016/j.geoderma.2022.115760.