

УДК 691.73 691.73:502.521:556.3(470.56)

## Формирование состава микроэлементов в окружающей среде на месторождении Левобережное в Домбаровском рудном районе (восточное Оренбуржье)

*Гамм Т. А., Гривко Е. В.*

*Оренбургский государственный университет  
Оренбург, Россия  
grivko-ev@mail.ru; hammtam@mail.ru*

В работе авторами показана взаимосвязь содержания и состава микроэлементов в породах, почве и грунтовых водах месторождения медноколчеданных руд Левобережное в Домбаровском рудном районе на востоке Оренбуржья. Скальные породы вскрыши находятся в контакте с рудой, поэтому содержание меди и железа в рыхлых вскрышных породах, которые служат почвообразующими породами, не превышает значения их кларков. Уточнено, что острая токсичность пород для биоты отсутствует. Прослеживается тенденция более высокого содержания в почве цинка, никеля, чем в грунтах. Показано, что почвы и почвообразующие породы высоко обеспечены на уровне микроэлементов и не требуется дополнительного внесения микроудобрений в сельскохозяйственном производстве. Общая минерализация вод во всех скважинах на месторождении более 1000 мг/л, что характерно для восточного Оренбуржья и ограничивает хозяйственное использование подземных вод, но содержание микроэлементов не превышает допустимых нормативов, за исключением свинца, поэтому по комплексу показателей подземные воды на месторождении не могут быть использованы для хозяйственно-питьевых нужд. Микроэлементарный состав почв, сформированный на территории медноколчеданного месторождения, позволяет использовать почвы для сельскохозяйственного производства и для рекультивации нарушенных земель на месторождении.

*Ключевые слова.* Миграция и аккумуляция меди, окружающая среда, породы, почвы, подземные воды, биотестирование отходов.

### ВВЕДЕНИЕ

Исследования микроэлементов в геоэкологии проводятся в связи с тем, что как дефицит, так и избыток микроэлементов, является проблемой для человека, животного и растительного мира. Поэтому известны научные работы, в которых рассматривается как биогеохимия почвенного покрова для нужд сельскохозяйственного производства (Ковда, 1985), так и техногенно загрязненных почв (Виноградов и др., 1993; Орлов и др., 2005; Водяницкий, 2009). В работах ученых была дана оценка поведения тяжелых металлов в окружающей среде (Пинский, Орешкина, 1991).

Проводились площадные эколого-геохимические исследования ландшафтов Южного Урала (Бодров, 1997; Чибилев, 2000). На территории Оренбуржья, в южной части Уральских гор, констатировали повышенный геохимический фон, сформировавшийся в природных условиях. При этом было установлено, что наблюдается высокое антропогенное воздействие на качество подземных вод территории, которое выражается в умеренно-опасном уровне содержания нитратов, достигающих до 240 мг/л. Кроме того, воды загрязнены тяжелыми металлами. Изучали тяжелые металлы и железо, как элемент, влияющий на качество питьевых вод и качество подземных вод (Гаев, 2007).

В восточной зоне Оренбуржья были открыты месторождения медно-цинковых руд, поэтому изучали влияние месторождений медно-цинковых руд на качество вод территории. В частности, исследовали содержание цинка в питьевых водах. С учетом характера воздействия результаты исследований показали, что влияние существенно, в водах концентрации цинка находятся на уровне предельно допустимых концентраций (Сальникова и др., 2012). Кроме того, проведена оценка содержания меди и цинка в техногенно загрязненных почвах Оренбургской области (Макарова и др., 2020). Для оценки изученности

вопроса о содержании цинка в компонентах окружающей среды были проведены теоретические исследования по литературным источникам о содержании цинка в окружающей среде и о влиянии концентрации цинка в почве на продукцию животноводства и растениеводства, выращенную на этих почвах. Были изучены закономерности распределения цинка на территории Оренбургской области в зависимости от природных и техногенных факторов и в разных природных средах (Сальникова и др., 2012; Сальникова, 2012; Сальникова, Осипова, 2015).

Химические основы загрязнения окружающей среды и влияние природных условий на подвижность мышьяка в окружающей среде изучались также зарубежными авторами (Xu et al., 1991; Alloway, Ayres, 1999). Все рассмотренные выше вопросы в настоящее время имеют практическое значение, находятся в стадии исследования и поэтому актуальны.

Цель исследований – выявить взаимосвязи между содержанием микроэлементов в породах, грунтах и почвах месторождения Левобережное в восточном Оренбуржье.

## **МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ**

Отбор проб проводился на территории месторождения Левобережное Домбаровского района в восточном Оренбуржье по «Требованиям к мониторингу месторождений твердых полезных ископаемых», утв. МПР 4.08.2000 г. Отбор проб для литогеохимического анализа проводился по СанПиН 2.1.7.1287-03, СП 11-102-97 и ГОСТ 17.4.3.01-83, ГОСТ 17.4.4.02-84, ГОСТ 28168-89. Пробы почв и грунтов отбирались из инженерно-геологических скважин с глубин 0.0–0.5 м и 1.0–2.0 м. Отбор почв для химического анализа - в соответствии с требованиями ГОСТ 17.4.3.01-83, ГОСТ 17.4.4.02-84, ГОСТ 28168-89 и Методических указаний по проведению комплексного мониторинга плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения, 01.01.2021г. Исследования проводили по РД 52.18.595-96 «Федеральный перечень методик выполнения измерений, допущенных к применению при выполнении работ в области мониторинга загрязнения окружающей природной среды». Отбор воды осуществлялся в соответствии с ГОСТ Р 51593-2000 и методическим письмом ВСЕГИНГЕО «По отбору, консервации и хранению гидрохимических проб» (1983). Подземные воды изучались по трем наблюдательным скважинам, отбор 12 проб воды проводился в 2019 и 2020 году. Фактические данные по породам и почве получены по результатам анализа 26 проб в ходе инженерно-экологических изысканий.

## **РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ**

Месторождение Левобережное расположено на стыке Орской равнины и Урало-Тобольского плато. Оно относится к Домбаровскому рудному району и исследовано на площади примерно 110 га. По морфологическому описанию территория представлена слабосхолмленной равниной, на которой встречаются элементы мелкосопочника. Территория разрезана элементами стока, представленными речными долинами и балками. Климат можно характеризовать как резко континентальный. Грунты и почвы в основном глинистые и суглинистые с нормативной глубиной промерзания 183 см.

Гидрология территории месторождения Левобережное представлена рекой Камсак с водоохраной зоной 200 м. Река находится в 1000 м северо-восточнее месторождения, поэтому месторождение на затрагивает ее водоохранную зону. Домбаровский район области относится к числу безводных. Здесь не развита речная сеть и наблюдается дефицит атмосферных осадков.

По геоботаническому районированию территория восточного Оренбуржья относится к степям, где доминируют в составе растительности разнотравье и ковыли. В степных природно-климатических условиях сложились темно-каштановые почвы. Встречаются отдельные участки, к которым приурочены выходы засоленных пород и сформировались засоленные почвы.

Левобережное месторождение находится в Домбаровском рудном районе, в котором разрабатывается целый ряд медно-колчеданных месторождений. Геологическое строение территории связано с отрогами разрушенных Уральских гор. Каждое месторождение имеет своеобразные экологические проблемы.

На месторождении подземные вод безнапорные, залегают в легких четвертичных отложениях глины, песка, гравия. Они могут залегать в трещинных коренных породах. Мощность зоны аэрации составляет от 4 до 6 м. Зоной разгрузки подземных вод служат пониженные элементы рельефа в виде балок, оврагов. Ближайшей балкой является балка Курмансай. Минерализация подземных вод не превышает характерные значения для восточного Оренбуржья. Минерализация превышает допустимые пределы для питьевых вод на 20%. Воды слабо минерализованы. Значение водородного показателя менее семи. В составе ионов доминируют сульфаты, гидрокарбонаты, кальций и натрия.

На Левобережном медно-колчеданном месторождении химические элементы пород, слагающих геологическую среду месторождения, идентифицируем по составу рыхлых и скальных пород в отвалах. Содержание диоксида кремния в скальных породах вскрыши составляет 75,2 %, в рыхлых породах вскрыши – 87,2 %. Породы месторождения характеризуются низким содержанием тяжелых металлов (мышьяк, сурьма, кадмий). Породы Левобережного месторождения имеют пониженное содержание вредных примесей и токсичных элементов.

В таблице 1 представлен химический состав пород. Кларки (Виноградов, 1993; Водяницкий и др., 2011), мы использовали для выявления возможных особенностей химического состава пород месторождения.

Таблица 1  
Химический состав пород на Левобережном медно-колчеданном месторождении

Показатель	Наименование пород вскрыши		Кларки*
	Скальные породы	Рыхлые породы	
Кремний в пересчете на диоксид, %	74,3	86,1	-
Железо, мг/кг	48621	42772	46500
Медь, мг/кг	60,5	46,4	47
Никель, мг/кг	138	101	58
Сера, мг/кг	128	199	470
pH	8,35	9,95	-

Примечание к таблице. \*по Б. В. Виноградову (1993).

В скальных породах вскрыши содержание меди и железа выше значения их кларков, а рыхлые породы вскрыши не имеют непосредственного контакта с рудой, поэтому превышение значения кларков в них не наблюдается. Никель на территории содержится в породах никелевых и медно-никелевых месторождений, имеет большую подвижность, чем медь и железо, поэтому его содержание, как в скальных, так и рыхлых породах вскрыши, выше значения кларка. Породы характеризуются щелочной реакцией среды и не загрязнены тяжелыми металлами. Содержание серы в породах высокое.

Вскрышные породы находятся в отвалах, которые могут быть источником загрязнения окружающей среды токсичными элементами. Опасность пород для биологических компонентов окружающей среды оценивали стандартным методом биотестирования (табл. 2).

Исследование биотоксичности пород показало отсутствие острой токсичности, вскрышные породы относятся к 5 классу опасности.

Таблица 2

Оценка опасности рыхлых и скальных пород вскрыши для биологических компонентов окружающей среды методом биологического тестирования

Породы вскрыши	Без разбавления		По более чувствительному тест-объекту		Отнесение к классу опасности
	Смертность дафний в опыте, в % к контролю	Изменение оптической плотности водорослей, в % к контролю	Отношение к разбавлению	Оценка опасности	
Скальные породы	4	+16	Без разбавления	Не оказывает острого токсического действия	5
Рыхлые породы	11	+18	Без разбавления	Не оказывает острого токсического действия	5

Породы вскрыши являются нарушенными, имеют рыхлый состав, и, несмотря на то, что токсичные химические элементы в породах находятся в валовой форме, они могут поступать в окружающую среду в подвижной форме при выщелачивании атмосферными осадками.

Атмосферные осадки, выпадающие на поверхность отвалов, не являются активными водами по отношению к породам, но, при взаимодействии с продуктами окисления сульфидных руд, приобретают свойства, достаточные для выноса химических элементов с подотвальными водами.

Для оценки воздействия, (при раздувании ветром пыли с отвалов и выноса атмосферными осадками, на почвы и грунты прилегающей к отвалам территории отбирали пробы почв и грунтов с глубины 0,0–0,5 и 1,0–2,0 м (табл. 3). Почвы и грунты имели суглинистый гранулометрический состав.

Таблица 3

Коэффициенты концентрации микроэлементов в почвах и грунтах

Показатель	Глубина		ПДК
	0,0–0,5 м	1,0–2,0 м	
Кадмий	0,05	0,065	2,0
Цинк	0,31	0,29	220,0
Никель	0,55	0,53	80,0
Свинец	0,15	0,18	130
Ртуть	Менее 0,002	Менее 0,01	2,1
Медь	0,33	0,35	132
pH	7,58	7,81	Не нормируется

Особенностью химического состава суглинистых грунтов является то, что превышение содержания в почве мышьяка составляет 2 ПДК на глубине 1,0–2,0.

При расчете коэффициентов концентрации установлено, что в почве и в грунтах не превышены ПДК ни по одному из исследуемых тяжелых металлов. Содержание данных

элементов в почве находится на уровне микроэлементов. Почвы и грунты являются слабощелочными.

Сезонная миграция микроэлементов происходит в почвах и грунтах до глубины 2м. В более глубокие горизонты миграция микроэлементов ограничена дефицитом атмосферных осадков. В рыхлых породах вскрыши также не установлено повышенного содержания микроэлементов. Прослеживается тенденция более высокого содержания в почве цинка, никеля, чем в грунтах. Эти микроэлементы обладают большей подвижностью. Загрязнения почв территории тяжелыми металлами не выявлено. Это связано с тем, что водоотведение карьерных, а также атмосферных и подотвальных вод с отвалов рыхлых и скальных пород вскрыши осуществляется в установленном порядке на месторождении Левобережное, сточные воды отправляется на очистные сооружения, поэтому источники загрязнения почв, грунтов и подземных вод локализованы. В породах содержится также малое количество тяжелых металлов, при рассеивании ветром пыли они не аккумулируются в почве в большом количестве.

По К. В. Веригиной, Ю. И. Добрицкой, Е. Г. Журавлёвой и др. (Горбылева, 2002) содержание меди в почве зависит от гранулометрического состава почвообразующих пород, приводится среднее содержание меди в почвообразующих породах суглинистых почв равное 20,4 мг/кг.

Суглинистые почвы территории по агрохимическим показателям имеют высокое содержание цинка и меди.

Подвижные формы меди, никеля, кадмия и цинка в почве находятся в виде их солей, оксидов металлов, в сорбированном состоянии на поверхности почвенных частиц, в ионной форме в почвенном растворе. Подвижные формы микроэлементов могут мигрировать вниз по почвенному профилю и поступать в подземные воды.

Глубина залегания подземных вод на месторождении Левобережном составляет около десяти метров. Для изучения динамики и химического состава подземных вод при воздействии карьера и отвалов были предусмотрены гидронаблюдательные скважины в непосредственной близости к карьере. Для изучения понижения уровня подземных вод, при фильтрации в карьер из водоносных горизонтов, предусмотрены скважины на границе депрессионной воронки. Для сравнительной характеристики изменения подземных вод одна скважина расположена выше по направлению грунтового потока и вне зоны влияния объектов месторождения.

Анализ химического состава подземных вод показал, что в подземных водах фоновой скважины наблюдается реакция среды близкая к нейтральной, а в водах скважин на месторождении – реакция среды слабокислая, что связано с химическим составом пород месторождения (табл. 4).

Воды относятся к солоноватым по показателю общей минерализации во всех скважинах, включая фоновую скважину. По данным показателям воды не могут использоваться для питьевого водоснабжения.

Кроме того, в фоновой скважине содержание свинца в 5 раз превышает допустимые нормативы, в скважинах на месторождении – в 6 раз. Содержание прочих исследуемых тяжелых металлов находится на уровне допустимых нормативов.

Зоной разгрузки подземных вод служит балка Курмансай и река Камсак. Отток подземных вод трещинного водоносного горизонта незначителен, так как подземные воды залегают ниже зоны разгрузки.

На месторождении Левобережном отмечается низкое содержание химических элементов в породах. Особенностью химического состава суглинистых грунтов является то, что превышено содержания в почве мышьяка. Почвы и почвообразующие породы не взаимодействуют со скальными породами. Содержание микроэлементов в почве высокое, но не превышает ПДК, поэтому нет ограничений для сельскохозяйственного производства.

В подземных водах содержание всех исследованных микроэлементов невысокое. В водах всех скважин на месторождении концентрации микроэлементов существенно не

Концентрация примесей в подземных водах, мг/дм<sup>3</sup>

Определяемые показатели	Возле карьера	Граница депрессионной воронки	За пределами влияния месторождения	Величина допустимого уровня
Водородный показатель (рН)	6,25	6,50	7,3	Не нормируется
Общая минерализация (сухой остаток)	1183,56	1177,52	108719	Не нормируется
Медь	0,103	0,146	0,092	1
Цинк	0,131	0,175	0,0803	1
Кадмий	0,0003	0,0003	0,0003	0,001
Ртуть	Менее 0,0002	Менее 0,0002	Менее 0,0002	0,0005
Сульфаты	605,3	615,8	582,0	500
Никель	0,006	0,006	0,005	0,02
Свинец	0,046	0,049	0,049	0,01

отличаются от контрольной скважины за пределами месторождения. Наиболее высокая концентрация никеля, по сравнению с другими микроэлементами, в подземных водах связана с его большей подвижностью при вымывании из пород водой. Повышено содержание свинца в водах, воды слабосолоноватые, что ограничивает их использование.

В результате проведенных исследований установлено, что не наблюдается существенного загрязнения почв и грунтовых вод территории месторождения тяжелыми металлами при его разработке. Породы вскрыши также не загрязнены тяжелыми металлами.

Проведенная аналогия между содержанием микроэлементов в породах, подземных водах, грунтах и почвах месторождения, позволила установить, взаимосвязь в содержании микроэлементов в геосистеме на территории месторождения. Содержание меди и железа в рыхлых вскрышных породах, которые служат почвообразующими породами, не превышает значения их кларков. Породы не являются токсичными для биоты.

Содержание тяжелых металлов находится на уровне микроэлементов, почвы высоко обеспечены и не требуется дополнительное внесение микроудобрений в сельскохозяйственном производстве.

Общая минерализация вод во всех скважинах на месторождении более 1000 мг/л, что характерно для восточного Оренбуржья, но содержание микроэлементов не превышает допустимых нормативов, за исключением свинца. На территории Левобережного месторождения, при проведении мероприятий по оптимизации воздействия на окружающую среду, складывается относительно удовлетворительная экологическая ситуация, в основном, с допустимым содержанием микроэлементов в породах, почвах, подземных водах.

Таким образом, почвы, с учетом их микроэлементарного состава, сформированного на территории медноколчеданного месторождения, могут использоваться для сельскохозяйственного производства и для рекультивации нарушенных земель на месторождении. Подземные воды не рекомендуются для питьевого водопользования без предварительной водоподготовки.

## ВЫВОДЫ

1. В геосистеме карьера месторождения медноколчеданных руд Левобережное в Домбаровском рудном районе на востоке Оренбуржья наблюдается заметная взаимосвязь в содержании и распределении микроэлементов в породах, почвах и подземных водах.

2. Каждый микроэлемент характеризуется персональными особенностями содержания и перераспределения в природных средах в зависимости от глубины залегания, содержания

соединений серы, гранулометрического состава элементов пород и почвы, взаимосвязи с поверхностью территории.

3. Вскрышные породы находятся в отвалах, которые могут быть источником загрязнения окружающей среды токсичными элементами.

4. Содержание микроэлементов в почве высокое, но не превышает ПДК, поэтому нет ограничений для сельскохозяйственного производства.

### Список литературы

Бодров С. С. Эколого-геохимические исследования ландшафтов Южного Урала (Район г. Медногорска). Изменение природной среды: глобальный и региональный аспекты / [Под ред. А. Н. Геннадиева и Е. В. Милановой]. – М.: Изд-во Московского университета, 1997. – 200 с.

Водяницкий Ю. Н. Хром и мышьяк в загрязненных почвах. Обзор литературы // Почвоведение. – 2009. – № 5. – С. 551–559.

Виноградов Б.В., Снакин В.В., Орлов В.А. Биотические критерии выделения зон экологического бедствия России // Известия Российской академии наук. Серия географическая. – 1993. – № 5. – С. 77–89.

Гаев А. Я. Экологические основы водохозяйственной деятельности: (на примере Оренбургской области и сопредельных районов) / [Под ред. А. Я. Гаева]. – Пермь, Оренбург: Редакционно-издательский отдел Пермского университета. – 2007. – 327 с.

Почвоведение с основами геологии: Учеб. пособие / [Под ред. А. И. Горбылевой]. – Мн.: Новое знание, 2002. – 480 с.

Ковда В. А. Биогеохимия почвенного покрова. – М. Наука, 1985. – 263 с.

Орлов Д. С., Садовникова Л. К., Суханова Н. И. Химия почв. – М.: Высшая школа, 2005. – 558 с.

Водяницкий Ю. Н., Плеханова И. О., Прокопович Е. В., Савичев А. Т. Загрязнение почв выбросами предприятий цветной металлургии // Почвоведение. – 2011. – № 2. – С. 240–249.

Пинский Д. Л., Орешкина В. Н. Тяжелые металлы в окружающей среде // Экспериментальная экология. – 1991. – С. 201–212.

Сальникова Е. В. Цинк – эссенциальный микроэлемент (обзор) [Электронный ресурс] // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2012. – № 10 (146). – С. 170–172. Режим доступа: <http://vestnik.osu.ru/doc/1033/article/6626/lang/0> (просмотрено 15.04.2022)

Сальникова Е. В. Экологическая оценка распределения цинка на территории Оренбургской области [Электронный ресурс] // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2015. – № 10. – С. 312–315. Режим доступа: <http://vestnik.osu.ru/doc/1033/article/8610/lang/0> (просмотрено 15.04.2022)

Сальникова Е. В., Бурцева Т. И., Кудрявцева Е. А., Кустова А. С. Экологическая оценка содержания цинка в экосистеме (почва, вода, продукты питания) на территории Оренбургской области [Электронный ресурс] // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2012. – № 6 (142). – С. 184–187. Режим доступа: <http://vestnik.osu.ru/doc/1033/article/6482/lang/0> (просмотрено 15.04.2022)

Чибилев А. А. Энциклопедия «Оренбуржье». Т. 1. Природа. – Оренбург: Золотая аллея, 2000. – 160 с.

Alloway B. J., Ayres D. C. Chemiczne podstawy zanieczyszczenia środowiska. / PWN Warszawa. – 1999. – 423 p.

Xu H., Allard B., Grimvall A. Effects of acidification and natural organic materials on the mobility of arsenic in the environment // Water, Air, Soil Pollution. – 1999. – N 57/58. – P. 269–278.

**Gamm T. A., Grivko E. V. Formation of trace-element composition in the environment in the Levoberezhnoye deposit of the Dombarovsky ore district (eastern Orenburg region) // Ekosistemy. 2022. Iss. 30. P. 151–157.**

The authors analyze the interrelation of trace elements content and composition in rocks, soil and ground waters of a copper-pyrite deposit in the east of Orenburg oblast. Overburden rocks contact ore and, therefore, the content of copper and iron in loose overburden, serving as parent rock, does not exceed the value of their clarkes. It is clarified that there is no acute toxicity of rocks for biota. Moreover, it is registered that zinc and nickel level is higher in soil than in ground. The research proves that soil and parent rocks have enough trace elements and no additional micronutrient fertilizers are required for agriculture use. The total degree of mineralization of water in all wells in the deposit is more than 1000 mg/l, resulting in setting limits to economic use of groundwater which is typical for the east of Orenburg oblast. It was found out that each trace element is characterized by its own peculiarities of content and redistribution in environment, depending on the depth or location of rocks, the content of sulfur compounds, the granulometric composition of rock and soil elements, and the relationship with the surface of the territory. The trace element composition of soil, formed on the territory of the copper-pyrite deposit, makes it possible to use the soil for agriculture and for the reclamation of disturbed land at the deposit.

*Key words:* migration and accumulation of copper, environment, rocks, soil, groundwater, biotesting of waste.

*Поступила в редакцию 18.01.22*

*Принята к печати 30.06.22*