

УДК 574(470.57)+553.4

ТЕХНОГЕННОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ ГОРНОРУДНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ (НА ПРИМЕРЕ БАШКИРСКОГО МЕДНО-СЕРНОГО КОМБИНАТА)

Л.Н. Белан

Башкирский государственный университет

В статье рассмотрено эколого-геохимическое состояние территории, находящейся под воздействием длительной техногенной нагрузки Башкирского медно-серного комбината. Отмечено, что состояние окружающей среды горнорудных районов характеризуется его эколого-геохимическими особенностями.

Техногенные геохимические аномалии в почвах, донных осадках, поверхностных и подземных водах формируются в непосредственной близости от горно-обогатительного предприятия. Концентрация химических элементов в таких аномалиях в десятки и сотни раз превышает фоновые содержания и предельно допустимые нормы.

Горнорудная промышленность является одним из наиболее мощных факторов загрязнения окружающей среды. Специфика добычи и обогащения руд заключается в извлечении и переработке огромных масс горных пород, из которых используется лишь небольшая часть. Накапливаемые отходы рассеиваются природными миграционными процессами и служат источниками загрязнения окружающей среды химическими элементами. В техногенные миграционные потоки включаются основные цепи распространения загрязняющих веществ: воздушная (дробление, обогащение, хранение отходов) и водная (водоотведение, сток с хвостохранилищ, технологические стоки при обогащении).

Комплексные геохимические исследования по оценке состояния окружающей среды на ряде полиметаллических, медноколчеданных, редкометалльных и других месторождений показывают, что наиболее интенсивное загрязнение окружающей среды связано со следующими миграционными цепями:

1. Пылевые выбросы при открытых горных разработках, загрязняющие атмосферный воздух и образующие контрастные и значительные по площади геохимические аномалии в почвах.
2. Дефляция и размывание хвостохранилищ обогатительных фабрик, образующие интенсивные потоки рассеяния в водных системах и сравнительно локальные ореолы рассеяния в почвах.
3. Стоки водоотлива из подземных горных выработок, карьеров, образующие интенсивные и протяженные потоки рассеяния в водных системах.
4. Стоки обогатительных фабрик после очистных сооружений, загрязняющие водные системы.
5. Рассеяние рудного материала при транспортировке, загрязняющее почвы.
6. Организованные и неорганизованные выбросы в атмосферу при процессах обогащения.
7. Природные геохимические аномалии – вторичные ореолы рассеяния в почвах, потоки рассеяния в поверхностных водотоках, гидрогеохимические аномалии в подземных водах [1-5].

ОАО «Башкирский медно-серный комбинат» (БМСК) – в прошлом одно из крупнейших в России и

второе по объему продукции в Республике Башкортостан предприятие по производству медного, цинкового и пиритного концентратов. Минерально-сырьевая база БМСК – разрабатываемые открытым способом месторождения Сибайское, Балта-Тау, Таш-Тау.

Сибайское месторождение в 1937-1947 гг. разрабатывалось открытым способом Баймакским медеплавильным заводом, с 1948 года – БМСК. Производственная мощность карьера по руде составляла до 3000 тыс. т в год. В настоящее время дорабатываются запасы руды в контуре карьера (глубина 500 м) и ведется строительство подземного рудника проектной мощностью по добыче руды 1500 тыс. т в год. Окисленные золотосодержащие руды в 1944-1956 гг. перерабатывались на Сибайском перколяционном заводе [6].

Месторождения Бакр-Тау и Таш-Тау отработаны карьерами глубиной более 100 м, из них добыто 1200 и 620 тыс. т руды соответственно. Месторождение Балта-Тау эксплуатируется с 1992 года. На 01.01.2001 г. здесь добыто 950 тыс. т руды. За время производственной деятельности БМСК добыто 103,07 млн т руды [6].

Сибайская обогатительная фабрика (СОФ) введена в эксплуатацию в 1959 году производительностью 2500 тыс. т руды в год.

Карьер Сибайского месторождения и отвалы вскрышных пород, площадью 335 га, расположены в черте г. Сибая. Отвалы сложены спилитами, риолитами, кварцевыми риолитами, туфами и туфобрекчиями спилитов и кварцевых риолитов, хлорит-серицит-кварцевыми, серицит-кварцевыми и хлорит-кварцевыми метасоматитами, глинами. Породы содержат примеси сульфидных минералов: пирита, сфалерита, халькопирита и др. Отвал представляет собой сложный геохимический фильтр, включающий в себя последовательно действующий испарительный, криогенный, окислительно-восстановительный, кислотно-щелочной, температурный геохимические барьеры [4].

В отвалах происходит фильтрация атмосферных осадков, накопление конденсационных вод, формируется состав приотвальных и подотвальных вод за счет сопряженных явлений окисления, растворения

продуктов окисления и осаждения гидросульфатов. Сульфидные минералы окисляются в толще отвала под воздействием бактерий, влаги и свободного кислорода. Скорость растворения и окисления сульфидов убывает в следующем ряду: сфалерит ZnS – халькозин CuS – пирротин FeS – халькопирит $CuFeS_2$ – пирит FeS_2 – галенит PbS [4].

Легкорастворимые сульфаты железа, меди, цинка, кадмия обогащают приотвальные водоемы, где выпадают в осадок за счет гидролиза. Серная кислота обуславливает кислую реакцию среды ($pH=3-5$) и высокую растворяющую способность вод.

Отвалы практически не изолированы от водных систем, что определяет поступление химических элементов в водотоки. Подотвальные воды северных отвалов Сибайского рудника поступают в карьер и вместе с шахтными водами откачиваются на поверхность и далее по коллектору сбрасываются в р. Карагайлы. В нее же без очистки направляются стоки южных отвалов. Подотвальные воды высокоминерализованы – до 515 г/л, pH – 2,1-2,6, концентрации сульфат-иона достигают 29500 мг/л, содержание меди – от 330 до 645 мг/л, цинка – 718-890 мг/л, железа – 188-731 мг/л, магния – 190 мг/л, повышены концентрации марганца, никеля, кобальта, кадмия, ртути и др. Объем подотвальных вод Сибайского рудника составляет 650 тыс. м³ в год. Суммарный расход шахтных и карьерных вод колеблется в пределах от 200 до 800 м³/час. Объем откачиваемых дренажных вод составляет 3,2-3,5 млн м³ в год.

За год с подотвальными и шахтными стоками в поверхностные водоемы сбрасывается до 10 тыс. т химических веществ, включая сотни тонн тяжелых металлов в ионной форме.

В первом приближении подвижность халькофилов в поверхностных водах Э.Ф. Емлин [4], предлагает оценивать с помощью коэффициента водной миграции (K_v), который показывает, какая доля элемента, фиксированная в породе или руде, мобилизована гидрогеохимически. K_v рудных элементов изменяется в пределах от 12 до 10^{-4} .

Ряд подвижности халькофильных элементов в кислых сульфатных рассолах подотвальных вод БМСК изменяется в следующем ряду [4]:

Cd (2,546), Zn (2,463), Cu (1,582), Se (0,012), Fe (0,194), As (0,0027).

Накопление химических элементов в форме рассолов и растворимых сульфатов определяет их высокую подвижность. Именно в сульфатной форме халькофильные элементы становятся доступны растениям, что способствует попаданию их в трофические цепи.

Таким образом, отвалы вскрышных пород БМСК являются источником образования агрессивных кислых приотвальных вод, высокие концентрации халькофильных элементов в которых определяют их высокую токсичность. Низкая летучесть и низкие температуры замерзания обеспечивают их высокую подвижность в течение всех сезонов года.

В почвах, погребенных под отвалами, происходит сильное подкисление всей толщи профиля, разруша-

ются почвенные коллоиды, нарушается почвенный поглощающий комплекс, активизируется миграционная способность органического вещества, происходит вынос кальция и магния из гумусового горизонта. Почвы обогащаются рудными компонентами [5].

В толще отвала резко усиливаются процессы гипергенеза. Ежегодно аэрогенным путем из отвалов БМСК и площади хвостохранилища выносятся около 1000 т минеральной пыли, содержащей тяжелые металлы, что ведет к загрязнению почв, атмосферы и снежного покрова.

Известно, что в донных отложениях горнорудных районов формируются интенсивные, комплексные по составу и протяженные по руслу техногенные геохимические аномалии. В донных отложениях рек Худолаз, Карагайлы и Камышюзья содержание тяжелых металлов в десятки и сотни раз превышает фоновые концентрации: Cu 20-125 ПДК (75-500 фонов), Zn – 30-59 ПДК (100-200 фонов), As – 50-90 ПДК (18-60 фонов), Cd – 4-30 ПДК (40-300 фонов), Sb – 4 ПДК (20 фонов), Hg – 2-18 фонов, Pb – 1-3 ПДК (3-10 фонов), Co – 2-7 фонов, Mo – 2-4 фонов. Наибольшее загрязнение установлено в р. Карагайлы и р. Худолаз ниже впадения в нее р. Карагайлы (рис.).

Мощным источником поступления токсикантов в окружающую среду служат хвостохранилища. Это связано с высокой проницаемостью агентов выветривания в них и хорошими условиями для удаления растворимых продуктов.

Хвостохранилище БМСК расположено на правом склоне долины р. Карагайлы и вытянуто вдоль берега на 3 км. В геоморфологическом отношении рельеф местности на этом участке представляет собой равнину с общим уклоном к р. Карагайлы. В нижнем течении реки расположено село Калинино (см. рис.).

Хвосты флотации складированы в двух хвостохранилищах: старом (0,5-1,0 км юго-западнее фабрики), площадью 23,5 га, эксплуатировавшемся в 1959-1965 гг., и новом, площадью 146,2 га, введенном в эксплуатацию в 2002 году.

Минеральный состав отходов обогащения представлен пиритом (69,8 %), сфалеритом (0,72 %), халькопиритом (0,55 %), нерудными минералами (кварц, кальцит, полевой шпат, серицит, хлорит) – 28,9 %. Химический состав хвостов обогащения: SiO_2 – 18-27 %, Al_2O_3 – 4,0-5,8 %, CaO – 0,6-0,86 %, MgO – 1,1-1,3 %, $S_{общ.}$ – 26-38%, $Fe_{общ.}$ – 26,7-35% [6]. Материал хвостохранилищ представлен мелкими и тонкими гранулометрическими фракциями, что определяет его повышенную миграционную способность.

До начала крупномасштабных горных работ (1956-1958 гг.) химический состав подземных вод из родников и колодцев в радиусе 7 км от месторождения, согласно архивным данным БМСК, изменялся от гидрокарбонатно-кальциевых с минерализацией 0,22 г/л до хлоридно-натриевых с минерализацией 1,3 г/л. Содержание сульфатов в воде составляло 10-101 мг/л. Наблюдения, выполненные в период с 1961 по 1990 гг. (Малов В.Н., 1990), показали, что вода значительно

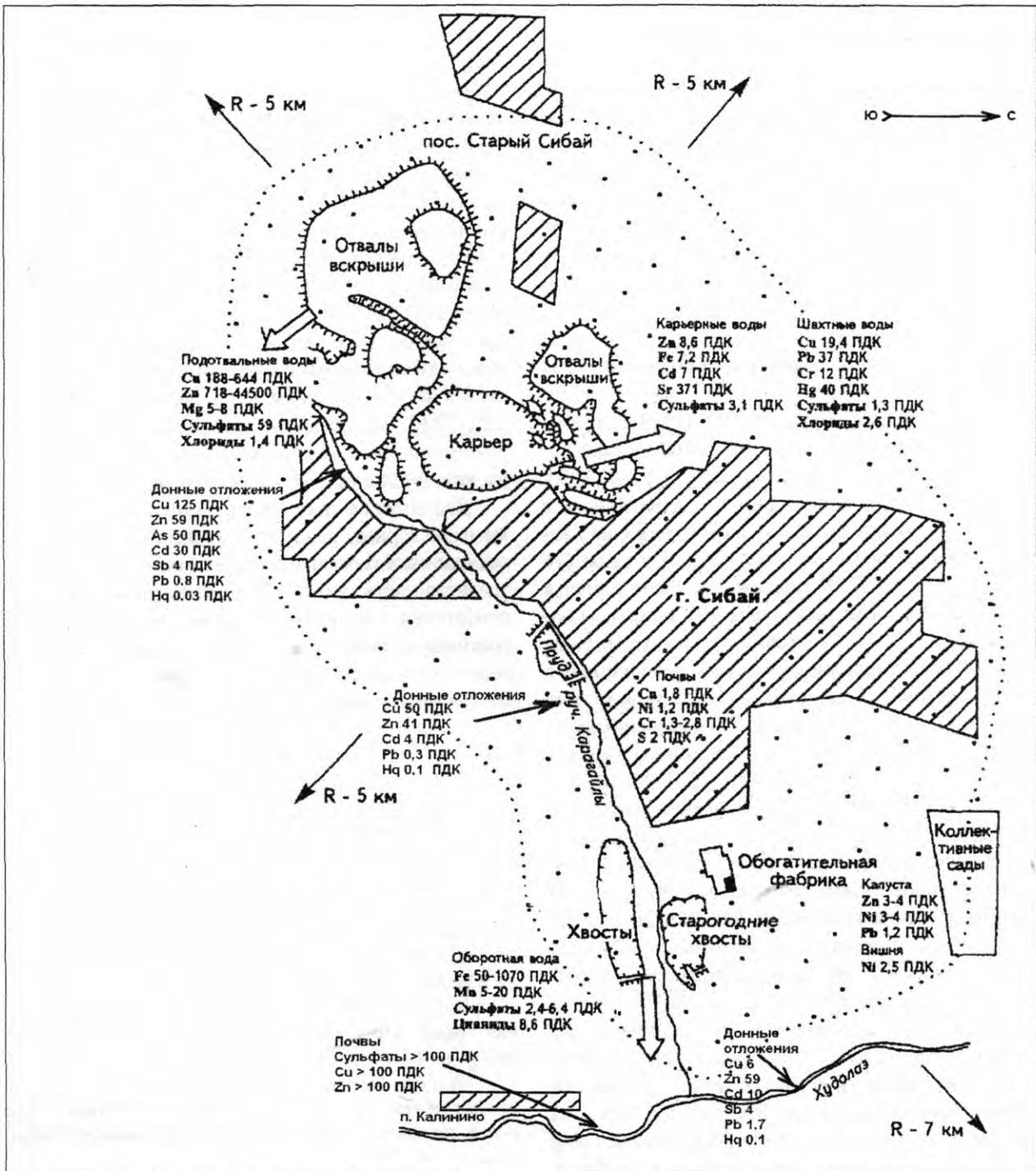


Схема техногенного воздействия Башкирского медно-серного комбината на окружающую среду

(Составлено Фаткулиным И.Р. с дополнениями автора по материалам Решетникова В.П., 1998 и Госдокладов МПР РБ за 2003-2004 гг.). Точками на схеме обозначен ореол загрязнения почвы

минерализована, имеет сульфатный состав и обогащена микрокомпонентами, концентрация которых в 2-4 раза превышает таковые до начала разработок.

С 1991 года лабораторией комбината ведется мониторинг за изучением влияния хвостохранилища на состояние поверхностных и подземных вод. Существует система наблюдательных скважин, которые дают информацию о состоянии грунтовых вод выше и ниже по потоку от хвостохранилища. Результаты анализов вод из наблюдательных скважин за период с 1995 по

2002 гг. показали несоответствие нормам ПДК питьевой воды: сухой остаток от 1,4 до 4,9 г/л (до 5 ПДК), общая жесткость от 11 до 61 мг-экв/л (1-6 ПДК), сульфаты от 646 до 3638 мг/л (1,5-7 ПДК), железо (общее) от 57,7 до 177 мг/л (до 550 ПДК), марганец от 3 до 29 мг/л (до 250 ПДК). В водах р. Карагайлы ниже хвостохранилища увеличивается содержание сульфат-иона (от 2227 до 10441 мг/л). Кислотность вод изменяется от pH 4,25 до pH 6,6-7,9.

Результаты анализа почвенного покрова, проведенного лабораторией БМСК в с. Калинино и прилегающей к нему территории, показали, что почвы всех приусадебных участков, расположенных в 0,5 км к западу от хвостохранилища, характеризуются повышенным относительно фона содержанием сульфатов, меди, цинка и других тяжелых металлов. Наиболее загрязнены почвы огородов в западной части села, где наблюдается превышение ПДК по подвижным формам цинка (3,3 ПДК) и сульфатам (1,6 ПДК). Очень высокий уровень загрязнения сульфатами и тяжелыми металлами установлен для почвы прибрежных участков северной окраины села. Максимальное содержание сульфатов, подвижных меди и цинка соответствует 15; 51 и 125 ПДК.

Согласно данным Опекуновой М.Г. (1999 г.), в районе хвостохранилища СОФ почвы загрязнены сульфатами на уровне 1,5-10,8 ПДК, мышьяком (1,1-1,8 ОДК), медью (1,2-2,4 ОДК), цинком (1,6-2,6 ОДК). Почвы в 100 м к востоку от хвостохранилища загрязнены подвижными соединениями меди (1,3 ПДК) и серы (16 ПДК). Превышение ПДК подвижных форм цинка в 1,4 раза фиксируется на расстоянии 100 м по всем направлениям и в 500 м к востоку от хвостохранилища (см. рис). Валовое содержание в почвах меди и цинка в 6-6,5 раза превышает ОДК, свинца – в 2,5 раза, кадмия и никеля – в 1,2 раза, рН почв – 3,80. Загрязнение валовыми формами меди и цинка в пос. Калинино на уровне 2 ОДК, подвижными формами меди – 2 ПДК, цинка – 3,4 ПДК, серы – 6,8 ПДК [6]. Загрязнение фиксируется в верхнем (0,5 см) слое почвенного профиля, что свидетельствует о формировании геохимических аномалий аэрогенным путем. Центральная часть ореола загрязнения приурочена к карьере БМСК и СОФ. Морфология ореола определяется местными ландшафтно-климатическими условиями и направлением господствующих ветров (см. рис.).

Химический состав поверхностных и подземных вод территории формируется под действием отвалов, хвостохранилища и подотвальных и шахтных вод. Основными источниками загрязнения поверхностных вод являются сульфидные минералы, оказавшиеся в зоне окисления, в отвалах, хвостах обогащения, пыли горных работ. Воды, фильтрующиеся в окислительной обстановке через породы, содержащие сульфидные минералы, накапливают токсичные элементы в опасных концентрациях.

Сульфиды в отвалах могут окисляться в течение десятков лет, определяя состав приотвальных, подот-

вальных, поверхностных и, возможно, подземных вод. При истощении карбонатных и адсорбционных буферных свойств подстилающих пород элементы-загрязнители могут поступать в подземные воды, в том числе и водозаборы населенных пунктов. При полной остановке рудника и прекращении водоотлива загрязнение подземных вод, возможно, будет более обширным.

По размерам, комплексности состава и концентрации химических элементов техногенные аномалии, фиксируемые в водах, взвесах и донных отложениях водотоков превосходят их природные аналоги. Качественный состав подотвальных и шахтных вод соответствует природным, но количественные соотношения между химическими элементами в техногенных водоемах в несколько раз выше природных. Подотвальные воды БМСК представляют собой готовое попутное поликомпонентное минеральное сырье, в котором металлы находятся в технологически оптимальной форме.

Дефляция пыли с отвалов и хвостохранилищ, а также пыль горных работ обуславливают формирование техногенных геохимических аномалий в почвах. Центральная часть ореолов рассеяния элементов в почве приурочена к источнику загрязнения – БМСК, уровни содержания элементов в почвах и донных отложениях водотоков в десятки и сотни раз превышают фоновые содержания и предельно допустимые нормы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Белан, Л.Н. Геоэкология горнорудных районов Башкортостана / Л.Н. Белан. – Уфа : БашГУ, 2003. – 178 с.
2. Гаев, А.Я. Техногенез и формирование геологической среды на примере объектов Гайского горно-обогатительного комбината / А.Я. Гаев, Т.И. Якшина. – Пермь : Изд-во Пермского гос. ун-та, 1996. – 200 с.
3. Сает, Ю.Е. Геохимия окружающей среды / Ю.Е. Сает, Б.А. Ревич, Е.П. Янин и др. – М. : Недра, 1990. – 335 с.
4. Емлин, Э.Ф. Техногенез колчеданных месторождений Урала / Э.Ф. Емлин. – Свердловск : Изд-во Уральского гос. ун-та, 1991. – 256 с.
5. Янин, Е.П. Источники и особенности загрязнения речных систем в горнорудных районах / Е.П. Янин // Научные и технические аспекты охраны окружающей среды. – Вып. 1. – М., 2005. – С. 1-33.
6. Бойков, Г.В. Техногенное воздействие горнорудного комплекса Республики Башкортостан на окружающую среду / Г.В. Бойков, И.Р. Фаткуллин, В.Г. Меньшиков // Геоэкологические исследования и охрана недр: науч.-техн. информ. сб. ; ООО «Геоинформцентр». – М., 2003. – Вып. 1. – С. 25-34.