

## ОБ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ КОЛЧЕДАНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

В статье рассмотрены экологические последствия разработки и обогащения колчеданных и окисленных золотосодержащих руд на территории Башкирского Зауралья. Показано, что элементы с наибольшими значениями показателей потенциальной токсичности (ППТ) являются основными индикаторами токсичности отходов и стоков предприятий, ведущих добычу и обогащение, и поэтому в первую очередь должны быть учтены при организации сети наблюдений экологического мониторинга и планировании природоохранных и медико-профилактических мероприятий.

Рудные месторождения представляют собой потенциальный источник загрязнения окружающей среды химическими элементами, спектр которых обусловлен геохимической специализацией рудной формации. Промышленное освоение месторождений приводит к вовлечению химических элементов в активную геохимическую миграцию и накоплению их в депонирующих средах, зачастую в токсичных концентрациях. Изученность влияния техногенных потоков рассеяния элементов на организм человека до сих пор остается весьма слабой и во многих аспектах требует целенаправленного исследования.

Для оценки экологической опасности последствий разработки рудных месторождений необходимы научно обоснованные фактические данные о видах токсикантов в рудах и особенностях их перераспределения в зоне гипергенеза [4, 5]. В данной работе рассматриваются последствия разработки колчеданных месторождений Башкирского Зауралья – представителей классического колчеданного оруденения Урала с длительной историей промышленного освоения. По ним имеется обширная информация, собранная в результате планомерных геологоразведочных, научно-исследовательских, технологических, эксплуатационных и специальных экологических работ.

Основными источниками загрязняющих веществ в горнорудных районах являются руды и рудовмещающие породы, причем в состав первичных ореолов входят как главные рудные компоненты, определяющие промышленный тип месторождения, так и ряд сопутствующих химических элементов. Исследования Э.Н. Баранова (1987) показали, что в рудах колчеданных месторождений, помимо основных рудообразующих элементов (Fe, S, Si, Zn, Pb, Ba), постоянно присутствуют в повышенных концентрациях многочисленные элементы-примеси (Au, Ag, As, Sb, Cd, Hg, Bi, Sn, Se, Te, Ge, Ga, Tl, In, Mo, Co). В увеличенных количествах в околорудных измененных породах могут находиться и породообразующие элементы (K, Na,

Ca, Mg, P). В формировании элементного состава эндогенных геохимических ореолов колчеданных месторождений участвует по меньшей мере 47 химических элементов [1].

Известно, что скорость мобилизации токсичного элемента зависит от его формы нахождения в рудах. Для основных ассоциаций химических элементов в колчеданных ореолах Южного Урала, по В.С. Карпухиной и Э.Н. Баранову (1983), характерны следующие формы нахождения: а) сульфидная – преобладающая форма для Cu, Pb, Mo, Ag, As, Hg, частично для Zn, Co, Ni; б) силикатная – характерна для V, в значительной части для Zn, Co, Ni, Ba; в) сульфатная – для основного количества Ba и частично Pb; г) карбонатная – играет заметную роль для Cu, Zn, Pb, Ba.

Характеристика колчеданных руд наиболее крупных месторождений Башкирского Зауралья приведена ниже по материалам И.Р. Фаткуллина (2002ф.) Колчеданное оруденение месторождений Учалинской группы представлено сплошными и прожилково-вкрапленными медно-цинковыми, цинковыми, серно-колчеданными и медными рудами. Главные рудные минералы – пирит, сфалерит, халькопирит, второстепенные – блеклая руда, галенит, магнетит, гематит, борнит, ковеллин. Химический состав руд характеризуется следующими показателями: медь – 0,4-3,5%, цинк – 0,4-5,0%, сера – 15-45%, мышьяк – 0,1-0,3%, сурьма – 0,01-0,6%, барий – 0,2-7,0%, свинец – 0,1-0,3%, селен – 60-120 г/т, теллур – 40-70 г/т, индий – 0,7-12 г/т, кадмий – 60-120 г/т, таллий – 0,7-50 г/т. Руды Сибайского месторождения представлены медно-цинковыми, медными, медно-пирротиновыми и серноколчеданными рудами. Основные рудные минералы: пирит, сфалерит, халькопирит, пирротин, ковеллин, борнит, халькозин. Среднее содержание химических элементов в рудах составляет: медь – 1,14%, цинк – 2,8%, сера – 41,1%, кадмий – 9 г/т, индий – 4,5 г/т, кобальт – 67 г/т, селен 83 г/т, теллур – 47 г/т, германий – 3 г/т, галлий – 6 г/т. Руды месторождений Балта-Тау, Бакр-Тау и Таш-Тау – золото-медно-цинковые с содержанием

меди 1,18-7,43%, цинка – 1,58-6,94%, серы – 10,2-31,1%. Руды Октябрьского месторождения медно-цинковые с содержанием меди – 3,81%, цинка – 1,97%, серы – 39,4%. Кроме названных элементов в них присутствуют кадмий, селен, теллур, индий, платиноиды.

Подвижность химических элементов резко возрастает при техногенезе. При окислении сульфидов образуется единственная доступная живым организмам форма халькофилов – сульфатная (Э.Ф. Емлин, 1991). Именно в сульфатной форме халькофильные элементы становятся доступны растениям и могут вовлекаться в трофические цепи животных и человека.

Согласно минералого-экогеохимической систематике (В.В. Иванов, 1996), для вулканогенного типа оруденения со сфалерит-халькопирит-пиритовым составом руд, куда относятся все медноколчеданные месторождения Южного Урала, наиболее опасными токсикантами являются следующие элементы – медь, свинец, кадмий, селен, никель, кобальт, ртуть.

Предварительной оценочной характеристикой токсичности элементов, входящих в состав колчеданных руд, может служить показатель потенциальной токсичности (ППТ), определяющийся как отношение содержания эле-

мента в рудах к величине предельно допустимой концентрации (ПДК) [5]. Потенциальная токсичность колчеданных руд Учалинского месторождения приведена в таблице 1.

Существенная часть элементов, присутствующая в рудах, концентрируется в хвостохранилищах обогатительных фабрик, причем концентрация элементов-примесей в них может превышать содержание в рудах. Складированные в хвосты вещества подвергаются интенсивному гипергенезу с переходом в растворимые формы, что приводит к их миграции и загрязнению гидросферы. С поверхностей хвостохранилищ, которые находятся преимущественно в сухом состоянии, выдувается обогащенная пыль. Так, хвосты Семеновской золотоизвлекательной фабрики (СЗИФ) являются источником загрязнения поверхностных и подземных вод бассейна р. Таналык и почвенного покрова прилегающих территорий. Снеговая съемка промзоны СЗИФ и земельных угодий пос. Семеновский, проведенная в 1999 году Научно-исследовательским институтом безопасности жизнедеятельности (НИИБЖД, г. Уфа), установила следующие значения средних содержаний валовых и подвижных форм токсичных компонентов, поступивших с атмос-

Таблица 1. Токсичность колчеданных руд Учалинского месторождения (по данным Олина Э.О., 1993)

Химический элемент	Среднее содержание в рудах, %	Предельно допустимые концентрации (ПДК)			Показатели потенциальной токсичности (ППТ) (средн. сод./ПДК)		
		вода (мг/л)	почва (мг/кг)	воздух (мг/м <sup>3</sup> )	вода	почва	воздух
Сера	44.37	–	–	0,03	–	–	14790000
Цинк	3.74	0,01	23	0,5	3740000	1626	74800
Медь	1.08	0,01	3	0,1	1080000	3600	108000
Свинец	0.15	0,1	32	0,0007	15000	47	2142857
Мышьяк	0.17	0,05	2	0,03	34000	850	56667
Кобальт	0.0048	0,01	5	0,5	4800	9,6	96
Сурьма	0.068	0,05	4,5	0,2	13600	150	3400
Кадмий	0.0076	0,005	3	0,1	15200	25	760
Теллур	0.0055	0,01	–	0,01	5500	–	5500
Серебро	0.00178	0,01	–	–	1780	–	–
Висмут	–	0,1	–	0,01	–	–	–
Селен	0.0045	0,001	10	0,1	45000	4,5	450
Молибден	0.0105	0,5	–	2,0	210	–	52
Галлий	0.00056	3,5	10	–	1,6	0,6	–
Индий	0,00111	0,1	–	–	111	–	–
Таллий	0.0005	–	–	0,01	–	–	500
Германий	0.00027	–	–	–	–	–	–
Ртуть	0.0037	0,005	2,1	0,0003	7400	17,6	123333

ферными осадками (снегом) на 1 м<sup>2</sup> земной поверхности: медь – 9,848 мг и 1,355 мг, свинец – 7,806 мг и 1,159 мг, цинк – 12,179 мг и 4,256 мг, ртуть – 0,566 мг и 0,0239 мг соответственно.

Материал хвостохранилищ представлен преимущественно мелкими и тонкими гранулометрическими фракциями, что и определяет его повышенную миграционную способность. Здесь активно идут процессы минералообразования, приводящие к появлению вторичных минералов (сульфатов, карбонатов и гидроксидов), как правило, менее устойчивых в условиях окружающей среды. Кроме того, наряду с химическим окислением сульфидов в хвостохранилищах важную роль играет микробиологический фактор при участии бактерий *Thiobacillus thiooxidans* (сероокисляющие) и *Thiobacillus ferrooxidans* (железоокисляющие) [6,8]. По данным И.Н. Антипова-Каратаева с соавторами (1966), бактерии способны окислять сульфиды железа, меди, сурьмы и других металлов и значительно ускорять их окисление.

Специальные исследования соотношения первичных и окисленных рудных минералов в породных отвалах и старогодних хвостах обогащения, проведенные ГУП УКГЭ «Уралзолоторазведка» (И.Р. Фаткуллин, 2002ф), показали следующее. Согласно результатам рентгенографического фазового анализа в хвостах обогащения Баймакского ГОКа, цинк на 80-85% представлен сульфатом (цинковый купорос), на 10-12% – сульфидом (сфалерит), на 5-10% – гидрочинкитом. Медь в окисленном виде на 60-70% представлена сульфатами, на 20-25% – малахитом, на 5-10% – теноритом и на 5-7% – купритом. Вторичные сульфидные минералы меди представлены на 50% борнитом, на 20-25% – халькозином и на 25-30% – ковеллином.

В хвосты обогатительных фабрик часто складываются отходы переработки руд из нескольких месторождений. Так, Баймакский медеплавильный завод, действовавший в 1913-1956 гг., перерабатывал медноколчеданные руды месторождений Уваряж, Таналыкское, Троицкое, Бакр-Узяк, Юлалы, Тубинской группы, Сибайское и других. Семеновская золотоизвлекательная фабрика (СЗИФ) Тубинского рудника, введенная в эксплуатацию в 1943 году, до 1997 года перерабатывала золотосодержащие окисленные руды месторождений Семеновского, Сибайского, им. XIX партсъезда, Гайс-

кого, Санкым, Горной Байкары, Балта-Тау, Карабутака, Долгого Мыса. Исходя из этого, материал хвостохранилищ может быть представлен более широкой геохимической ассоциацией элементов-примесей, чем руды отдельно взятых месторождений.

Химические элементы в хвостохранилищах присутствуют в геохимически подвижной форме, следовательно, отходы обогатительных фабрик, наряду с промышленными стоками предприятий, представляют наибольшую экологическую опасность.

В первом приближении оценка потенциальной токсичности хвостохранилищ различных обогатительных фабрик Башкирского Зауралья приведена в таблице 2. Большинство элементов присутствуют в хвостохранилищах в концентрациях, соизмеримых с содержанием их в рудах.

Просачиваясь сквозь дамбы и ложе сооружений, фильтрационные воды хвостохранилищ способствуют поступлению поллютантов в поверхностные и подземные воды. По данным УГАК в пробах подземных вод из наблюдательных скважин, расположенных по периметру хвостохранилища СЗИФ, установлены содержания тяжелых металлов, превышающие соответствующие значения ПДК: для марганца – до 21 раза, железа – до 500 раз, ртути – до 59 раз. Фильтрационные воды хвостохранилища содержат медь – 12,2 мг/л, цинк – 14,83 мг/л, свинец – 0,91 мг/л, марганец – 0,2 мг/л, никель – 0,1 мг/л, ртуть – 0,612 мг/л. В водах р. Карагайлы ниже хвостохранилища Башкирского медно-серного комбината (БМСК) увеличивается содержание сульфат-иона (от 2227 до 10441 мг/л). Кислотность вод изменяется от pH 4,25-8 до pH 6,6-7,9.

Согласно минералого-экогеохимической систематике для вулканогенного типа оруденения со сфалерит-халькопирит-пиритовым составом руд наряду с медью, свинцом, кадмием, селеном наиболее опасным токсикантом является ртуть. Ртуть в повышенных концентрациях присутствует в рудах колчеданных месторождений Южного Урала и образует ореолы рассеяния около их залежей. Содержания Hg в рудах варьируют от 1 до 250 г/т. Самородная ртуть, киноварь, колорадоит, ртутьсодержащая блеклая руда, ртутьсодержащий сфалерит установлены в гипергенных рудах Учалинского месторождения (Пшеничный, 1979). Содержание ртути в рудах Учалинского месторождения достигает величины 0,08%, Новоучалинского – 0,0088%, Узельгинского

месторождения – 0,056%. В сплошных рудах Сибайского месторождения среднее содержание ртути 11,2 г/т. Характерно высокое накопление Hg (до 80 г/т) в зоне окисления колчеданных месторождений, где она находится в металлическом виде [1].

Высокие содержания ртути в рудах обуславливают ее значительные концентрации в продуктах переработки руд. В цинковом концентрате обогатительных фабрик Южного Урала содержания ртути столь высоки, что рассматривалась возможность ее рентабельного получения в процессе металлургического передела в качестве сопутствующего цинку полезного компонента. В медном концентрате Учалинской ОФ ртуть присутствует в количестве 28-41 г/т, цинковом – 76-123 г/т, пиритном – 5-15 г/т, хвостах флотационного

обогащения – 1-9 г/т. Концентрат Учалинской ОФ содержит 0,0053% ртути, Сибайской ОФ – 0,0093% (Пирожок, 2001). Распределение ртути в рудах и продуктах переработки показано на примере Учалинского ГОКа (таблица 3).

Часть ртути попадает в хвосты и складировается в хвостохранилищах ГОКов, которые являются потенциальными источниками ртутного загрязнения. Содержание ртути в дренажных водах УГОКа составляет 2,5 мкг/л, что в 2,4 раза превышает ПДК для вод санитарно-бытового назначения [2].

Экологические последствия разработки и обогащения колчеданных и окисленных золотосодержащих руд на территории Башкирского Зауралья схематически отражены на рис. 1. Геохимический спектр приоритетных элемен-

Таблица 2. Токсичность хвостохранилищ обогатительных фабрик

Химический элемент	Среднее содержание, %			Среднее содержание, %			Среднее содержание, %			Среднее содержание, %			Среднее содержание, %		
	ППТ вода	ППТ воздух	ППТ вода	ППТ воздух	ППТ вода	ППТ воздух	ППТ вода	ППТ воздух	ППТ вода	ППТ воздух	ППТ вода	ППТ воздух	ППТ вода	ППТ воздух	
	Сибайская ОФ			Учалинская ОФ			Бурибаевская ОФ			Семеновская ОФ			Миндякская ОФ		
Сера	36,1	–	12030000	32,23	–	10743000	26,95	–	8983000	2,20	–	730000	0,65	–	216700
Цинк	0,49	490000	9800	0,61	610000	12200	0,23	230000	4600	0,08	80000	1600	0,02	20000	400
Медь	0,2	200000	20000	0,3	300000	30000	0,47	470000	47000	0,08	80000	80000	0,01	10000	10000
Свинец	–	–	–	0,11	11000	1571428	–	–	–	0,1	10000	142857	0,01	1000	14286
Мышьяк	–	–	–	0,15	30000	50000	–	–	–	0,08	16000	26600	0,06	12000	20000
Кобальт	0,0079	790	158	0,006	6000	120	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Сурьма	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0,009	1800	18	–	–	–
Кадмий	0,0088	17600	880	0,0028	5600	280	0,0045	9000	450	–	–	–	–	–	–
Теллур	0,0027	2700	2700	0,0054	5400	5400	0,0028	2800	2800	–	–	–	–	–	–
Висмут	–	–	–	–	–	–	0,0045	450	4500	–	–	–	–	–	–
Селен	0,0029	29000	290	0,0047	47000	470	0,0041	41000	410	0,005	50000	500	–	–	–
Галлий	0,012	3,34	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Индий	0,00036	36	–	0,00045	45	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Таллий	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0,0002	–	200	–	–	–
Германий	0,00018	–	–	–	–	–	0,00016	–	–	–	–	–	–	–	–
Ртуть	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0,002	4000	66000	–	–	–

Составлено по данным И.Р. Фаткуллина (2002ф).

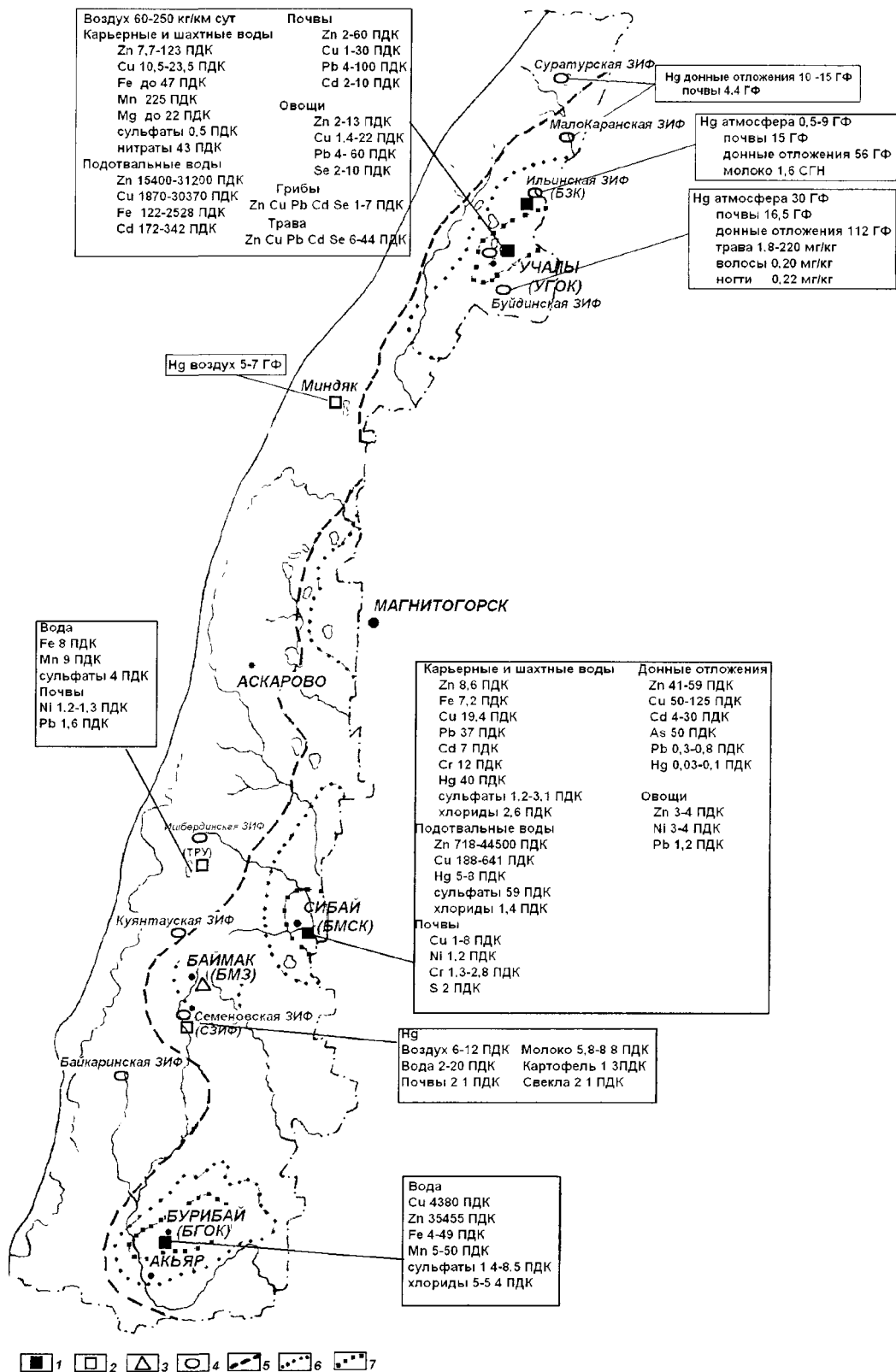


Рисунок 1. Техногенное воздействие горнорудного комплекса Башкортостана на окружающую среду.

Составлено Белан Л.Н. с учетом данных [2, 3, 7]. Условные обозначения: 1 – ГОК действующий, 2 - ГОК недействующий, 3 - металлургический завод, 4 – золотоизвлекательная фабрика, 5 - степень загрязнения почвы средняя, 6 – высокая, 7-очень высокая.

Таблица 3. Распределение ртути в рудах и продукции Учалинского ГОКа (по данным Гапонцева Г.Г. и др., 1995)

Фракция	Среднее содержание, г/л	Относительное количество, %
Руда	10-25	100
Медный концентрат	28-41	10-14
Хвосты	1-9	2-5
Цинковый концентрат	76-123	35-48
Пиритный концентрат	5-15	36-50

тов-загрязнителей вокруг ГОКов преимущественно представлен парагенетической ассоциацией элементов колчеданных руд.

Таким образом, в результате длительной техногенной нагрузки в окружающую природную среду горнорудных районов Башкирского Зауралья поступает сложный экогеохимический спектр элементов, включающий супертоксичные (Hg, Cd, Tl), токсичные элементы 1 класса (Pb, Se, Te, As, Sb) и 2 и 3 класса опасности – (Cu, Zn, S, Ba).

Наибольшую экологическую опасность представляют хвостохранилища, концентрирующие большое количество высокотоксичных отходов в подвижной форме.

По показателю потенциальной токсичности в материалах хвостохранилищ эти элементы располагаются в следующие ряды: ППТ

(вода) Zn (20000-610000), Cu (80000-470000), Se (29000-50000), As (12000-41000), Cd (5000-17600), Pb (10000-110000), Co (700-6000), Hg (4000), Tl (2700-5400), Sb (1800); ППТ (воздух) S (216700-12030000), Pb (14286-1571428), Cu (20000-80000), Zn (9800-1600), Hg (66000), As (20000-50000), Tl (2700-5400), Cd (280-880), Se(290-500), Co (120-158), Sb (18).

Элементы с наибольшими значениями ППТ (S, Zn, Cu, Se, As, Cd, Pb, Co, Hg, Tl, Sb) являются основными индикаторами токсичности отходов и стоков предприятий, ведущих добычу и обогащение колчеданных руд Башкирского Зауралья и поэтому в первую очередь должны быть учтены при организации сети наблюдений экологического мониторинга, а также в ходе планирования природоохранных и медико-профилактических мероприятий.

**Список использованной литературы:**

1. Баранов Э.Н. Эндогенные геохимические ореолы колчеданных месторождений – М.: Наука, 1987. – 296 с.
2. Белан Л.Н. Геоэкология горнорудных районов Башкортостана – Уфа: БашГУ, 2003. 178 с.
3. Бойков Г.В., Фаткуллин И.Р., Меньшиков В.Г. Техногенное воздействие горно-рудного комплекса Республики Башкортостан на окружающую среду // Геоэкологические исследования и охрана недр. Науч.-техн. информ. сб./ООО «Геоинформцентр». - М., 2003. – Вып. 1.- С. 25-34.
4. Геохимия окружающей среды / Ю.Е. Сагет, Б.А. Ревич, Е.П. Янин и др. – М.:Недра, 1990. – 335 с.
5. Голева Р.В., Иванов В.В., Куприянова И.И., Маринов Б.Н., Новикова М.И., Шпанов Е.П., Шурига Т.Н. Экологическая оценка потенциальной токсичности рудных месторождений / ВИМС. – М., 2001. 53 с.
6. Емлин Э.Ф. Техногенез колчеданных месторождений Урала. – Свердловск.: Изд-во Уральского университета, 1991. – 256 с.
7. Клысов У.И. Геоэкологическая оценка природно-антропогенных комплексов Башкирского Зауралья / Автореф. канд. дисс. – Оренбург, 2005. 19 с.
8. Янин Е.П. Источники и особенности загрязнения речных систем в горнорудных районах // Научные и технические аспекты охраны окружающей среды. Вып. 1. – Москва, 2005. – С. 1-33.