

ВЛИЯНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО УЩЕРБА, НАКОПЛЕННОГО ОТ ГОРНОДОБЫВАЮЩЕЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ, НА СОСТОЯНИЕ ГИДРОСФЕРЫ СРЕДНЕГО УРАЛА*

© 2013 г. Л.С. Рыбникова^{1,2}, П.А. Рыбников²

¹ ФГУП «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов», г. Екатеринбург

² ФГБУН Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук, г. Екатеринбург

Ключевые слова: экологический ущерб, подземные воды, водный объект, добыча, полезные ископаемые, качество.



Л.С. Рыбникова



П.А. Рыбников

Выполнен анализ причин формирования исторического экологического ущерба, накопленного в процессе горнодобывающей деятельности на территории горнопромышленных районов Среднего Урала, дана оценка его влияния на состояние поверхностных и подземных вод после завершения отработки месторождений полезных ископаемых. Показано, что отработка месторождений полезных ископаемых приводит к возникновению ряда гидрогеологических проблем, специфических для горнопромышленной территории. После завершения горнодобывающей деятельности неблагоприятное состояние гидросферы определяется отсутствием действенного механизма ликвидации накопленного экологического ущерба.

* Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 13-05-96038 «Исследование и прогноз динамики техногенной трансформации экосистем в районах функционирования горно-металлургического комплекса Урала» и в рамках проекта 12-М-23457-2041 «Освоение недр Земли: перспективы расширения и комплексного освоения рудной минерально-сырьевой базы горно-металлургического комплекса Урала».

Водное хозяйство России № 6, 2013

Водное хозяйство России

Введение

В течение десятков и сотен лет вокруг перерабатывающих заводов и отработываемых рудных месторождений Урала (железных, медных, никелевых и др.), как и на других горнопромышленных территориях, происходило строительство основных городов и поселков: в частности, комплекс бывших и нынешних заводов-городов трассирует Зеленокаменную полосу – региональную провинцию медноколчеданных месторождений [1].

Состояние гидросферы в зонах техногенного воздействия горнодобывающих предприятий Урала – результат предыдущей хозяйственной деятельности, в т. ч. массового и зачастую неконтролируемого закрытия предприятий горнопромышленного комплекса и других опасных объектов. Несмотря на появление ряда нормативных документов, регулирующих ситуацию в сфере охраны окружающей среды и водных объектов [2, 3], действенные способы выявления и устранения накопленного в прошлом экологического ущерба (исторического загрязнения) отсутствуют. Это негативно сказывается на экологической ситуации в старопромышленном Уральском регионе [4].

Цель работы – выявление и анализ экологического ущерба, накопленного в процессе горнодобывающей деятельности предприятий, которые разрабатывали медноколчеданные месторождения Среднего Урала (Кировградский, Красноуральский, Дегтярско-Полевской рудные районы Тагило-Магнитогорской зоны), оценка его влияния на состояние поверхностных и подземных вод после завершения отработки месторождений полезных ископаемых.

Эколого-гидрогеологические проблемы горнопромышленных территорий

Отработка месторождений полезных ископаемых приводит к возникновению ряда гидрогеологических проблем, специфичных для горнопромышленной территории. Основные из них – формирование техногенного ландшафта; активизация геохимических и геомеханических процессов; деформирование массива горных пород и формирование его новых свойств; изменение условий питания-разгрузки подземных вод; увеличение скорости массо-водообмена; изменение направления потоков энергии и вещества; изменение условий взаимосвязи с поверхностной гидросферой.

В период отработки рудника причинами этого являются дренажный водоотлив; увеличение масштабов естественной дренируемости

(в десятки и сотни раз); образование обширных депрессионных воронок; формирование техногенной зоны аэрации большой мощности; изменение направления движения подземных вод; увеличение скорости и расходов движения подземных вод; увеличение мощности зоны активного водообмена.

После завершения отработки начинается постэксплуатационный этап – этап постмайнинга (обычно это означает прекращение водоотлива и мокрую консервацию рудника), продолжительность которого во много раз больше периода отработки. На этом этапе происходит принципиальное изменение гидродинамической и гидрохимической обстановки в пределах горнопромышленных районов, сложившейся в течение десятилетий отработки, – затопление горных выработок; заполнение депрессионной воронки; подтопление прилегающих территорий; формирование очагов сосредоточенной разгрузки кислых вод; образование техногенных родников и водоемов с токсичными водами; загрязнение подземных вод; скрытое (латентное) загрязнение поверхностных вод; создание угрозы утраты питьевых водозаборов дренажных подземных вод.

Формирование очагов сосредоточенной разгрузки кислых шахтных вод

В районе затопленных медноколчеданных рудников Среднего Урала формируются техногенные водоемы и родники с кислыми водами (рН около 3) специфического состава (характерные данные приведены в таблице). Расход такой разгрузки составляет около половины от расхода дренажного водоотлива при отработке месторождения [5].

Нейтрализация кислых шахтных вод медноколчеданных рудников осуществляется за счет средств областного бюджета по программе «Экология и природные ресурсы Свердловской области» (затраты около 300 тыс. руб. в день).

Таблица. Показатели состава техногенных водоемов и родников затопленных рудников

Объект	Расход, дм ³ /с	Показатели, г/дм ³			
		SO ₄ ²⁺	Fe _{общ}	Zn ²⁺	Cu ²⁺
Фон		2·10 ⁻²	3·10 ⁻⁴	4·10 ⁻⁵	2·10 ⁻⁵
Левихинский рудник	30	16,4	3,2	1,2	0,02
Дегтярский рудник	33	7,4	0,9	0,12	0,01

Скрытое (латентное) загрязнение поверхностных вод

Дренажные воды действующих и затопленных рудников являются одним из основных источников загрязнения подземных и поверхностных вод. Результаты количественной оценки масштабов техногенного массопереноса в гидросфере горнопромышленной территории показали [6], что формирование качества подземных и поверхностных вод в районах горнодобывающих комплексов происходит при ведущей роли скрытого (латентного или диффузного) загрязнения гидросферы. Организованный сброс загрязняющих веществ (сульфатов, железа, цинка, меди, марганца и др.) в пределах водосборной территории горнопромышленного региона сопоставим с диффузным (рассредоточенным) стоком только в районах крупных городов. Скрытое (латентное) загрязнение поверхностных водотоков подземным путем в районе затопленных рудников может быть сопоставимо с общей массой вещества в гидросфере. Например, в районе Левихинского рудника массовый расход, поступающий с подземными водами от техногенного водоема в поверхностные водотоки, составляет по основным загрязняющим веществам (меди и цинку) до 1 и 30 т/год соответственно [6].

Наиболее значительное увеличение массы загрязняющих веществ в гидросфере происходит на участках развития техногенеза горнопромышленного профиля по классификации Н.И. Плотникова [7]. Эти участки характеризуются наличием отработанных и затопленных рудников, содержащих высокотоксичные шахтные воды; загрязнением подземных вод в районе затопленного рудника и их миграцией к местным дренам – в реки, что приводит к существенному ухудшению качества подземных и поверхностных вод.

Увеличение скорости массо-водообмена

На этапе постмайнинга после затопления рудника состав шахтных вод по сравнению с этапом отработки изменяется, кроме того, отмечается существенно нестационарный гидрохимический режим. На рисунке приведены изменения концентрации цинка в техногенном водоеме Левихинского рудника: после существенного роста в первые годы после затопления («first flush» по принятой в англоязычной литературе терминологии [8]) начинается ее постепенное снижение, продолжающееся несколько лет, которое пока не достигло уровня, сформировавшегося в период водоотлива. Резкий рост содержания большинства загрязняющих веществ в шахтных водах обязан растворению «вторичных сульфатов или неосульфатов» [9], которые образовывались в течение десятилетий отработки в техногенной зоне аэрации мощностью десятки и сотни метров. Такие изменения приводят к тому, что суммарный ежегодный вынос загрязняющих веществ на этапе постмайнинга существенно возрастает.

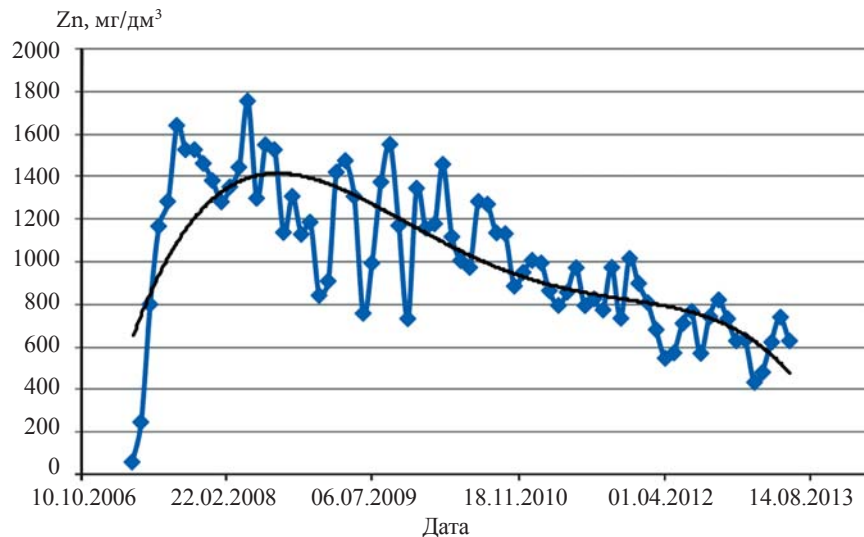


Рисунок. Изменение содержания цинка (мг/дм³) в шахтных водах Левихинского рудника на этапе постмайнинга (при эксплуатации 413 мг/дм³).

Формирование новых свойств массива горных пород

Пространственная структура, граничные условия потока и параметры пласта имеют принципиальные отличия в естественных условиях, на этапе отработки и после ее завершения, что необходимо учитывать при геофильтрационной схематизации условий формирования потока подземных вод в области влияния обрабатываемых и ликвидируемых рудников Среднего Урала.

Закономерности изменения фильтрационных и емкостных свойств массива горных пород, условий питания подземных вод в области влияния обрабатываемых и ликвидируемых рудников горноскладчатого Урала зависят не только от геоморфологических и геологических факторов, но и от способа отработки полезного ископаемого (открытый, подземный или комбинированный; с закладкой выработанного пространства или с обрушением кровли).

Процесс формирования фильтрационной зональности массива горных пород в пределах горнопромышленной территории определяется напряженно-деформированным состоянием массива. В зонах обрушения развивается техногенная трещиноватость, что приводит к росту проницаемости массива горных пород на один-два порядка, увеличению трещинной пористости и площадного питания в несколько раз [10]. Именно это является основной причиной формирования зон подтопления на этапе постмайнинга.

Причины и масштаб подтопления территории после прекращения водоотлива

Формирование гидродинамического режима горнопромышленной территории определяется характером дренажных мероприятий на этапе отработки месторождения полезных ископаемых и степенью нарушенности территории после прекращения водоотлива.

Масштаб и интенсивность подтопления зависят от размеров нарушенной горными работами территории (L_2), интенсивности питания, поступающего в ее пределах после прекращения водоотлива (w_2^*), фильтрационного сопротивления приречного участка (L_3/T_3) [10]

$$H^* - H = \frac{w_2^* - w_2}{T_3} L_2 (L_3 - x_3).$$

Расход потока подземных вод (q_p^*), поступающего от водораздела и шахтного поля к дрене, по сравнению с естественными условиями (q_p) возрастает пропорционально размерам нарушенной зоны

$$q_p^* - q_p = (w_2^* - w_2) L_2.$$

Оценочные аналитические расчеты для условий и параметров, характерных для Среднего Урала, показывают, что подъем уровня подземных вод после прекращения водоотлива может составлять до 1–5 м по сравнению с естественными условиями. Это обусловлено формированием зоны повышенного питания в пределах бывшего горного отвода предприятия.

Угроза утраты питьевых водозаборов подземных вод

Возможность использования дренажных подземных вод для питьевых целей определяется санитарно-эпидемиологическими требованиями, которые предъявляются к источникам водоснабжения питьевого назначения [11–13]. Одним из существенных ограничений является необходимость организации зоны санитарной охраны (ЗСО) водозабора в составе трех поясов, в пределах ЗСО запрещено размещение объектов, обуславливающих опасность микробного и химического загрязнения подземных вод, в т. ч. складирование отходов и разработка недр земли.

Месторождения пресных подземных вод в зоне ведения горных работ постоянно существуют в условиях значительной перестройки балансовой структуры водоотбора как в процессе горнодобычных работ, так и особенно после завершения отработки.

После завершения добычи полезного ископаемого, как правило, осуществляется мокрая консервация горнорудного объекта, что приводит к принципиальному перераспределению источников формирования эксплуатационных запасов месторождения подземных вод (их видов, количественного и качественного состава); изменению границ и площади месторождения; образованию новых объектов загрязнения или вовлечению ранее образованных (например, отвалов и рекультивированных карьеров) в область питания.

Для питьевых целей до настоящего времени на Среднем Урале эксплуатируется несколько месторождений питьевых подземных вод, запасы которых первоначально утверждались в схеме водоотлива горнорудного предприятия как попутное полезное ископаемое. Они используются в настоящее время для водоснабжения городов Североуральск, Богданович, Карпинск, Реж, Уфалей. На водозаборах, расположенных в районе отработанных месторождений, происходит существенное ухудшение качества подземных вод, в т. ч. иногда до значений выше ПДК [14].

После завершения горно-эксплуатационной деятельности возможность использования подземных вод определяется несколькими факторами, в т. ч. типом полезного ископаемого, способом рекультивации нарушенной территории, конструкцией водозабора.

Выводы

Массовое закрытие горнодобывающих предприятий в России в конце 1990-х годов, в т. ч. рудников Среднего Урала, предопределило необходимость решения специфических гидрогеологических проблем постмайнинга и оценки накопленного в прошлом экологического вреда – эколого-гидрогеологических последствий затопления шахт и рудников.

Наиболее опасны с экологической точки зрения действующие и ликвидированные медноколчеданные рудники, причем отрицательные экологические явления могут проявлять себя спустя годы. Причинами этого являются инерционность процессов загрязнения и большое количество источников загрязнения: на этапе постмайнинга появляются новые источники – затопленные шахты и карьеры.

Формирование гидросферы горнопромышленного района происходит под влиянием скрытого (латентного) загрязнения, роль которого возрастает на этапе постмайнинга – после ликвидации (мокрой консервации) рудников, особенно на водосборах малых рек. Основным источником поступления загрязняющих веществ в поверхностную гидросферу является диффузный сток, формирующийся на площади водосбора старопромышленного района как поверхностным, так и подземным путем.

Геомеханические процессы в пределах горнопромышленной территории формируют новые свойства массива горных пород. В зонах обрушения развивается техногенная трещиноватость, что приводит к росту проницаемости, значительному увеличению емкостных свойств массива горных пород, увеличению площадного питания в несколько раз. Масштаб и интенсивность подтопления на стадии постмайнинга определяются видом и интенсивностью горнопромышленной деятельности на этапе отработки месторождения полезных ископаемых и степенью нарушенности территории после прекращения водоотлива.

Хорошее качество дренажных вод в начальный период отработки месторождений полезных ископаемых не может гарантировать возможность их использования для хозяйственно-питьевого водоснабжения на длительную перспективу. После завершения отработки месторождения, отключения карьерных (или шахтных) водоотливов, при наличии в пределах депрессионной воронки отработанных, затопленных и рекультивированных карьеров, питьевые водозаборы могут быть утрачены. На этих объектах происходит неконтролируемое загрязнение подземных вод.

Неблагополучная экологическая ситуация в таком старопромышленном регионе, как Уральский, определяется в значительной мере тем, что отсутствует действенный механизм ликвидации накопленного в прошлом (исторического) экологического ущерба.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Емлин Э.Ф., Конюхова Н.Н., Ипанов В.Ю.* Геохимические процессы урбанизации на Урале. Свердловск: Изд-во НТО горное, 1988. 55 с.
2. ГОСТ Р 54003–2010. Экологический менеджмент. Оценка прошлого накопленного в местах дислокации организаций экологического ущерба. Утв. приказом Росстандарта 30.11.2010, № 594-ст.
3. Методика исчисления размера вреда, причиненного водным объектам вследствие нарушения водного законодательства. Утв. приказом Минприроды России 13.04.2009, № 87, зарег. в Минюсте России 25.05.2009, рег. № 13989.
4. *Антонинова Н.Ю., Рыбникова Л.С., Славиковская Ю.О., Рыбников П.А., Шубина Л.А.* Геоэкологическая оценка земле- и водопользования в районах освоения природного и техногенного сырья Урала // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2012. № 2. С. 194–200.
5. *Рыбникова Л.С., Фельдман А.Л., Рыбников П.А.* Проблемы инженерной защиты гидросферы при отработке и ликвидации рудников Среднего Урала (на примере Левихинского рудника) // Водное хозяйство России. 2011. № 2. С. 58–71.
6. *Рыбникова Л.С.* Техногенное воздействие горнодобывающих предприятий Урала на состояние гидросферы // Водное хозяйство России. 2012. № 1. С. 74–91.
7. *Плотников Н.И.* Техногенные изменения гидрогеологических условий. М.: Недра, 1989. 268 с.
8. *Wolkersdorfer C.* Water management at abandoned flooded underground mines. Fundamentals. Tracer tests. Modelling. Water treatment. Springer. 2008. 465 p.

9. Емлин Э.Ф. Техногенез колчеданных месторождений Урала. Свердловск: Изд-во УрГУ, 1991. 256 с.
10. Рыбникова Л.С., Фельдман А.Л., Рыбников П.А. Последствия затопления медноколчеданных рудников Среднего Урала: формирование гидрогеологических условий // Горный информационно-аналитический бюллетень (отдельный выпуск). Проблемы недропользования. М.: Изд-во «Горная книга», 2011. № 11. С. 459–470.
11. СанПиН 2.1.4.1110–02. Зоны санитарной охраны источников водоснабжения и водопроводов питьевого назначения. Введ. 01.06.2002, зарег. в Минюсте России 24.04.2002, рег. № 4550.
12. СанПиН 2.1.4.1074–01. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. Введ. 01.01.2002, зарег. в Минюсте России 31.10.2001, рег. № 3011.
13. ГН 2.1.5.1315–03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. Введ. 15.06.2003, зарег. в Минюсте России 19.05.2003, рег. № 4550.
14. Фельдман А.Л., Рыбникова Л.С., Рыбников П.А. Защита питьевых водозаборов при осушении и затоплении карьеров горноскладчатого Урала // Мат-лы Междунар. науч.-практ. конф. «Питьевые воды. Изучение, использование и информационные технологии», Московская обл., пос. Зеленый, 18–22 апреля 2011 г. Ч. 4. С. 88–98.

Сведения об авторах:

Рыбникова Людмила Сергеевна, к. г.-м. н., заведующая сектором гидрогеологических исследований, ФГУП «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов», Россия, 620049, г. Екатеринбург, ул. Мира, 23; старший научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук, 620219, г. Екатеринбург, ул. Мамина-Сибиряка, 58; e-mail: luserib@mail.ru

Рыбников Петр Андреевич, к. г.-м. н., старший научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук, 620219, г. Екатеринбург, ул. Мамина-Сибиряка, 58; e-mail: ribnikoff@yandex.ru