

## ПРОГНОЗ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД В ЗОНАХ ВЛИЯНИЯ ШЛАМОХРАНИЛИЩ МЕДЕПЛАВИЛЬНЫХ КОМБИНАТОВ СРЕДНЕГО УРАЛА

Одной из основных причин неблагоприятного состояния окружающей среды на Среднем Урале в настоящее время является огромная масса отходов, накопленных здесь более чем за двухвековой период. Основная масса отходов связана с горнодобывающим и металлургическим производствами. Среди разнообразных форм складирования особо опасны накопители жидких отходов – шламо- и хвостохранилища. На Среднем Урале таковых более 200, причем у двух десятков из них площади водной поверхности составляют сотни гектар, а объемы накопленных жидких отходов – миллионы кубометров. Все накопители выработали свой проектный ресурс, т.е. сроки их эксплуатации превышают проектные. Специфичным для них является отсутствие специальных противофильтрационных экранов. Эти обстоятельства наряду с предельно высокими содержаниями в жидких отходах таких ингредиентов-загрязнителей, как железо, медь, мышьяк и др., требуют детального изучения влияния накопителей на качество подземных и поверхностных вод. В качестве объектов изучения выбраны крупнейшие на Среднем Урале Малосернистое (МШ) и Сорьинское (СШ) шламоохранилища.

При решении задач, связанных с охраной подземных вод, создание системы локального гидрогеохимического гидродинамического мониторинга имеет определяющее значение. Под гидрогеохимическим мониторингом будем понимать систему повторяющихся, заранее запланированных гидрогеохимических наблюдений за динамикой образования и развития техногенных гидрогеохимических обстановок в пределах гидрогеологических структур или их элементов и направленного управления ими. Таким образом, основная цель гидрогеохимического мониторинга – сохранение, стабилизация и улучшение качества подземных вод для обеспечения оптимальных условий функционирования экосистем и повышения эффективности и безопасности работы природно-хозяйственных комплексов разных уровней. Важнейшим звеном управления ресурсами и качеством подземных вод являются режимные наблюдения.

Общие принципы размещения режимной сети скважин, а также гидрогеологическое обоснование охраны подземных вод от загрязнения, в том числе особенности инженерно-геоэкологических изысканий для прогноза изменения качества подземных вод при строительстве и эксплуатации накопителей жидких стоков, освещены в работах Ф.М. Бочевера, В.М. Гольдберга, И.Л. Пантелеева, В.М. Шестакова, В.А. Мироненко.

Загрязнение подземных вод определяется природными и техногенными условиями, сложившимися на территории изучаемого источника загрязнения (Гольдберг, 1984). Описание и анализ этих условий на первом этапе сбора и обобщения материалов позволяют провести первичную гидрогеологическую схематизацию исследуемой территории на качественном уровне. Наглядная реализация этого этапа схематизации осуществляется с помощью геолого-гидрогеологических карт и разрезов, а также данных о количественных параметрах основных режимобразующих факторов (величины инфильтрации, глубины естественного уровня подземных вод, модуля минимального подземного стока 95 %-ной обеспеченности и т. д.).

МШ входит в технологический цикл Среднеуральского медеплавильного завода, расположено на территории административного образования г. Ревды. В геологическом строении территории принимают участие эффузивные образования верхнего протерозоя – нижнего девона, представленные порфиритами, диабазами, их туфами, зелеными сланцами, а также образования верхнего протерозоя – нижнего силура, представленные сланцами кремнистыми, глинисто-кремнистыми с прослоями эффузивов. Чаша шламоохранилища размещена на литологическом контакте этих образований, имеющем субмеридиональное простирание. Верхняя часть геологического разреза здесь представлена рыхлыми отложениями делювиального и элювиального генезиса, глинисто-суглинистого состава с включениями дресвы и щебня коренных пород до 10 %. Мощность этих образований меняется по площади от 0,5 до 22 м. Гидрогеологическое строение территории в общем типично для всей Уральской системы бассейнов грунтовых вод зон трещиноватости коренных пород, для которой характерна низкая фоновая водообильность и высокая степень фильтрационной

неоднородности водовмещающих пород. Так, средние значения коэффициента водопроницаемости, по данным одиночных откачек скважин, не превышают 10 кв.м/сут., увеличиваясь до 150 кв.м/сут. в приконтактных зонах. Средняя глубина зоны интенсивной трещиноватости не более 50 м. Основной источник питания подземных вод - инфильтрация атмосферных осадков, средняя величина которой составляет  $4,4 \times 10^{-4}$  м/сут (160 мм/год). Глубина залегания уровня подземных вод, по данным изысканий, до начала строительства шламохранилища составляла 10-12 м, а в настоящее время - менее 5 м. Подъем уровня обеспечен за счет фильтрационных потерь через дно МШ в течение всего срока его эксплуатации (более 25 лет). Общее направление потока подземных вод в сторону р. Чусовой и ее левого притока р. Ельчевки. Химический состав подземных вод выше МШ гидрокарбонатный магниевый-кальциевый. Величина сухого остатка 0,2 - 0,4 г/куб. дм. Содержание железа, меди, мышьяка и некоторых других потенциальных загрязнителей не превышает ПДК, соответствующих ГОСТ 2874-82.

СШ расположено на промплощадке ОАО "Святогор" (ранее Красноуральский медеплавильный комбинат). В геологическом строении площади СШ участвуют эффузивные образования нижнего силура - нижнего девона, представленные порфиритами андезит-базальтового состава, альбитофирами и их туфами, а также известняками мраморизованными среднедевонского возраста. Покровные отложения в основном делювиального и элювиального генезиса, представлены глинами и суглинками с включением дресвы и щебня коренных пород до 10-15 %. Мощность этих отложений неравномерна и меняется по площади СШ от 0,1 до 15 м. В гидрогеологическом строении территории СШ принимают участие водоносный горизонт среднедевонских карбонатных отложений, отличающийся повышенной обводненностью на глубину до 80 м, высокими значениями коэффициента водопроницаемости до 200 кв.м/сут. и модуля минимального подземного стока 1,5 л/с с кв.км. Химический состав подземных вод горизонта гидрокарбонатный кальциевый с повышенным содержанием железа (до 15 мг/куб.дм), меди и цинка в пределах требований ГОСТ 2874-82. Водоносный комплекс эффузивных образований нижнесилурийско-нижнедевонского возраста характеризуется резкой изменчивостью глубины зоны активной трещиноватости от 20 до 100 м, возрастая в приконтактных участках. Средняя водообильность комплекса низкая, что подтверждается малой величиной водопритоков в шахтные выработки и дебитами одиночных скважин (0,01-0,03 л/с). Химический состав подземных вод комплекса сульфатно-гидрокарбонатный. Повышенное содержание сульфатов на фоне низкой общей минерализации (не более 0,5 г/куб.дм) объясняется в целом высокой степенью обогащения водовмещающих пород сульфидными минералами, в основном пиритом. Генеральное направление движения подземных вод на территории СШ к долинам рек Сорьи и Ключевки.

Промышленные объекты, сформировавшие техногенные условия на изучаемых территориях, - это крупнейшие на Урале медеплавильные комбинаты, являющиеся также градообразующими. В их технологических циклах сочетаются рудоподготовка (обогащение) и металлургическое производство, традиционно относимые к наиболее водоемким. Шламохранилища необходимы для поддержания стабильной работы системы промышленного водоснабжения. Сооружения имеют следующие параметры: площадь МШ-300 га, СШ-700 га; высота дамб обвалования МШ - 25,5 м. СШ - 15,5 м; проектная мощность у МШ - 7200 тыс. куб. м., у СШ - 8750 тыс. куб. м. Оба шламохранилища наливного типа, круглогодичного действия, относятся ко второй категории особо ответственных сооружений. Емкости предназначены для складирования преимущественно двух типов стоков: отходов производства суперфосфата и отходов обогатительной фабрики. По физико-химическим свойствам эти стоки весьма различны. В чаше шламохранилища они постоянно смешиваются, частично отстаиваются и поступают для вторичного использования в цикле "оборотного" водоснабжения. Позволительно считать за исходный химический состав оборотной воды. Оборотная вода МШ и СШ имеет следующие среднегодовые характеристики состава (в мг/куб.дм): сульфаты 1740/1800, фосфаты 49/58, фториды 18,1/21,0, взвеси 38/829, сухой остаток 1700/5046, медь 0,5/5,0, железо 1,6/17, мышьяк 0,9/18, общая жесткость в мг-экв./куб. дм. 23\20, рН 5,5-6,5/4,5-5,5. Формирование жидкой фазы суспензированных шламов подобного химического состава объясняется, с одной стороны, "химизмом" производства фосфогипса и обогащенного медного концентрата, с другой, - смешением и физико-химическим взаимодействием в системе твердых и жидких фаз суспензированных стоков. Основной процесс такого рода взаимодействий, характерный для данных условий, - это процесс осаждения - соосаждения. Исследования осаждения оксигидрата железа и



соосаждения с ним соединений цинка, меди, мышьяка проводились в натуральных условиях СШ. Результаты показали, что происходит первоочередное выпадение в осадок того вещества, концентрация которого является максимальной. Кинетика процесса такова: начальный этап длится первые часы, заключительный - в течение первых суток. Исходная концентрация железа в оборотной воде СШ составляет 20-25 мг/куб. дм, а среднее значение величины соосаждения при этом, выраженные в мг/мг, для меди 0,95; для цинка 0,15; для мышьяка 0,005. Поэтому шламохранилища, в чашах которых происходят такие сложные взаимодействия, представляют собой особый вид источников загрязнения подземных вод.

Эффективное прогнозирование процессов загрязнения подземных вод во времени и в пространстве от постоянно действующего источника, какими являются шламохранилища, требует детального анализа гидродинамических и гидрохимических особенностей, сложившихся на изучаемых территориях. Выбор основных элементов-загрязнителей, определяющих уровень опасности самого источника, а также качественный состав подземных вод, сформировавшихся под его воздействием, размеры и скорость продвижения фронта загрязнения и, в конечном итоге, выбор адекватной прогностической модели - решение этих задач возможно при условии наличия необходимой информации на всех стадиях изучения и работы объекта. Чрезвычайно ценными представляются данные по объекту, находящемуся в длительной эксплуатации, превышающей сроки длительных прогнозов (обычно 25 лет и более). Они позволяют оценить уровень достоверности теоретических предположений эмпирически (опытно-эксплуатационный метод прогноза).

Шламохранилища относят к постоянно действующим источникам загрязнения поверхностного типа. Для оценки их гидродинамической активности или пассивности относительно подземных вод необходимо оценить величину фильтрационных потерь, сравнив ее с расходом латерального потока. Принято считать, что накопители поверхностного типа постоянного действия, не оборудованные специальными противофильтрационными экранами, при условии их быстрого заполнения образуют тесную гидравлическую связь с подземными водами. При этом фильтрационный поток под дном хранилища формирует "бугор растекания" и смыкается с уровнем подземных вод. Процесс смыкания происходит очень быстро (максимум за 1-2 года) и хранилище работает по схеме "инфильтрационного бассейна", а величина фильтрационных потерь превышает как минимум на порядок условный расчетный расход естественного фильтрационного потока (Боचेвер, 1985). Согласно работе [1], принято принимать величину фильтрационных потерь из хранилища равной 20 % от общего объема накопленных жидких стоков.

Анализ результатов наблюдений за динамикой положения уровня жидких шламов в изучаемых хранилищах за последние 15 лет их эксплуатации и последующее их сопоставление с водобалансовыми схемами показывают, что при практически постоянном соответствии в режиме забор - сброс, поддержании примерно постоянной скорости заполнения уровень жидких шламов в них неуклонно повышается. При этом постоянно, из года в год, увеличивается вне зависимости от водности года объем дебалансовых вод, что в конечном итоге приводит к досрочному заполнению свободного объема хранилищ. Это может означать только то, что заложенные в проекты расчетные фильтрационные потери оказываются весьма завышенными по сравнению с фактическими. Потери на фильтрацию снижаются с увеличением срока эксплуатации шламохранилищ [2].

Прежде всего следует отметить, что в расчет фильтрационных потерь в проектах заложены коэффициенты фильтрации покровных отложений, слагающих естественный покровный слой. В случае с МШ и СШ покровные отложения представлены глинами и суглинками, отнесенными к грунтам с низкими фильтрационными свойствами. Фильтрационные характеристики отложений, используемых в качестве оснований хранилищ, оценивались как по данным ОФР, выполненных на стадии изысканий (как для МШ, проект "Уралводоканалпроект", изыскания выполнены "УралТИСИЗ"), так и принимались по литологической принадлежности (как для СШ, проект "Казмеханобр"). Порядок определенных и принятых значений коэффициентов фильтрации отложений оснований составляет  $(1-5) \times 10^{-2}$  м/сут. (в том и другом случае).

Для более убедительного подтверждения выше названных предположений о неточности оценки фильтрационных потерь были подвергнуты детальному изучению фильтрационные свойства твердых шламов, накопленных в донной части шламохранилищ к настоящему времени. Определения проводились по трем направлениям: расчетным путем по результатам развернутого гранулометрического анализа (ГОСТ12536-79); в приборах по определению фильтрационных свойств

слабопроницаемых грунтов ПФ-1 (ГОСТ 25584-90) и, наконец, методом “высоких колонн”. Результаты показали высокую сходимость полученных значений (см. таблицу).

Данные оценки фильтрационных свойств шламов, полученные в результате опытов, проведенных по разным методикам

Наименование объекта	Расчетные значения	Опытные (ПФ-1)	Опытные в “высоких колоннах”
Шламы МШ	7 10 <sup>-5</sup>	5 10 <sup>-4</sup>	5,5 10 <sup>-4</sup>
	5 10 <sup>-6</sup>	5 10 <sup>-5</sup>	2,5 10 <sup>-5</sup>
Шламы СШ	4 10 <sup>-5</sup>	3 10 <sup>-4</sup>	2,5 10 <sup>-4</sup>
	2 10 <sup>-6</sup>	3 10 <sup>-5</sup>	2,1 10 <sup>-5</sup>

Примечание. Значения коэффициентов фильтрации даны в м/сут, сверху наибольшее из значений, внизу - наименьшее.

Полученные результаты низких значений фильтрационных свойств донных шламов с учетом их средней мощности позволяют утверждать, что в процессе эксплуатации потери на фильтрацию через дно шламохранилища снижаются за счет создания дополнительного намытого слоя тонкодисперсных шламов.

Загрязняющие вещества в подземной гидросфере перемещаются преимущественно фильтрационными потоками, гидродинамические поля которых определяют траектории миграции и формирование пространственной структуры ореолов загрязнения. Миграция - движение растворенных веществ в зоне аэрации и водонасыщенной среде, осложненное физико-химическим взаимодействием в системе: инфильтрат - подземные воды - водовмещающие породы. При схематизации пространственной структуры фильтрационного потока в границах шламохранилища можно пренебречь предпосылкой Дюпюи в силу крайне низких значений фильтрационных свойств слоя накопленных донных шламов. Целесообразность такого подхода не исключается и при описании миграционных процессов. Плановая фильтрационная модель шламохранилища позволяет в первом приближении заменить двухмерную модель одномерной и оконтурить в плане зону нарушения естественного гидродинамического и (или) гидрохимического режима подземных вод за счет конвекции (без учета дисперсионных эффектов). Эта зона ограничена нейтральными линиями тока. Рисунок гидродинамической сетки потока подземных вод, создание растянутого во времени подпертого режима фильтрации свидетельствуют о том, что такой источник загрязнения гидродинамически пассивен, и на фоне параллельных изменений в гидродинамическом режиме формируются ореолы рассеяния загрязнителей. Учитывая, что процессы переноса вещества развиваются гораздо медленнее фильтрационных возмущений, допустимо рассматривать миграцию загрязнителей на фоне квазистационарного фильтрационного поля (достаточно длительный во времени процесс). Применение одномерных расчетных моделей корректно при незначительных мощностях водоносных горизонтов, измеряемых единицами метров. В других случаях возможно использование профильно-двухмерных моделей. Для приближенных оценок приемлемы аналитические расчеты по выделенным лентам тока, в пределах которых возможен дополнительный анализ профильных моделей. В качестве исходной информации необходимы карты гидроизогипс. Однако для большинства исследуемых объектов детальность таких карт недостаточная и не позволяет верно оценить траектории движения фронта загрязнения, указывая только общее направление. Трещинно-поровый и трещинно-жильный типы коллекторов, сложное структурно-блоковое строение водовмещающих сред, близость речных долин, а также сложные и протяженные плановые границы самих шламохранилищ обуславливают специфическую гидродинамическую картину, а также пространственную ориентацию сформировавшихся ореолов загрязнения подземных вод. Условия существенного различия геометрических и фильтрационных характеристик отдельных блоков, пространственная изменчивость и анизотропия фильтрационных свойств внутри водоносных пластов, описание процессов переноса на основе статистически осредненных расчетных схем ограничены, и использование в прогнозных расчетах детерминированных моделей малоэффективно. Более надежная информация для прогнозных оценок может быть получена по материалам опытно-эксплуатационных наблюдений или крупномасштабных экспериментов области, превышающей

размер элементов неоднородности. Отличным примером тому являются наблюдения, проводимые на шламохранилищах в течение всего срока их эксплуатации. Это прежде всего графики многолетних ежесуточных замеров уровня жидких шламов, а также данные изменений положения депрессионных кривых в теле дамб обвалования на разных участках, полученных в результате ведения режимных наблюдений по сети скважин-пьезометров.

Таким образом, успешное решение задач прогнозирования качества подземных вод на участках шламохранилищ не может быть выполнено без учета гидродинамических условий, сложившихся здесь в результате их длительной эксплуатации. Именно опытно-эксплуатационный метод на подобных объектах является наиболее приемлемым и информативным в сочетании с гидрогеохимическим и гидродинамическим мониторингом.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Парфенова Л.П.** Прогноз качества подземных вод в зонах влияния шламохранилищ медеплавильных комбинатов Среднего Урала: Автореф. дис... канд. геол.-мин. наук. - Екатеринбург, 1997. - 22 с.

2. **Тютюнова Ф.И., Пантелеева И.Я., Пантелеева Т.И., Огильви А.Н.** Прогноз качества подземных вод в связи с их охраной от загрязнения. - М.: Наука, 1978. - 204 с.

УДК 624.131 + 556.3

С.Н. Тагильцев

### РАЗВИТИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ О СТРУКТУРЕ И ГЕНЕЗИСЕ ЗОНЫ ПРИПОВЕРХНОСТНОЙ ТРЕЩИНОВАТОСТИ В СКАЛЬНЫХ МАССИВАХ

Фильтрационная структура скальных массивов определяется развитием зон трещиноватости и состоит из двух компонентов. Вблизи поверхности земли практически повсеместно фиксируется зона региональной приповерхностной трещиноватости. Кроме того, значительную, но не однозначную роль в формировании фильтрационной структуры скальных массивов играют тектонические нарушения.

Мощность зоны региональной трещиноватости увеличивается в речных долинах и уменьшается на водоразделах. На фоне относительно равномерной региональной приповерхностной трещиноватости выделяются локальные водоносные зоны, как правило, связанные с тектоническими нарушениями. Сочетание региональной зоны приповерхностной трещиноватости и локальных водоносных зон привело к формированию представлений о корово-блоковой структуре скальных массивов [4].

Со времени (1939 г.) опубликования работы Д.К. Щеголева и Н.И. Толстихина [15] в отечественной гидрогеологической литературе утвердилось представление о том, что водоносный горизонт региональной приповерхностной трещиноватости приурочен к зоне выветривания скальных массивов (зоне экзогенной трещиноватости), а распространение гипергенных трещин ограничивается глубиной 60÷120 м.

По мере накопления новых фактических данных глубину развития зоны водоносных трещин различные исследователи стали указывать до 150÷200 м и более. Вместе с тем представления о развитии региональной трещиноватости на глубину не более 100 м до сегодняшнего времени определяют основные методические установки при проведении гидрогеологических работ в скальных массивах. Указанные представления не мешали решению задач водоснабжения, но очень часто не соответствовали данным рудничных гидрогеологов [7,9]. Следует отметить, что противоречивые сведения о глубине развития приповерхностной трещиноватости и разные мнения о генезисе трещин достаточно отчётливо проявились ещё в упомянутой работе Д.К. Щеголева и Н.И. Толстихина и прослеживаются в ряде работ, опубликованных в последующие годы.