

Изменение химического состава подземных вод в ограниченных карбонатных структурах при окислении пирита покровных отложений (на примере Полдневского месторождения Егоршинско-Каменской синклинали Восточно-Уральского прогиба)

Вишняк Александр Ильич

Введение

Актуальность проблемы. На многих водозаборах Среднего Урала наблюдается тревожная тенденция в изменении химического состава подземных вод. В процессе длительной эксплуатации водозаборов (более 30 лет) происходит постепенное увеличение концентрации сульфатов (с 10-20 до 100-300 мг/л), минерализации (с 0,2-0,3 до 0,7-0,9 г/л) и жесткости (с 4-7 ммоль/л до 8-15 ммоль/л). Такое изменение химического состава подземных вод отмечается на водозаборах, каптирующих пресные подземные воды меридионально вытянутых ограниченных карбонатных структур, которые протянулись на многие сотни километров по границе Горноскладчатого Урала и Западно-Сибирской низменности. Значительные ресурсы подземных вод, формирующиеся в данных карбонатных структурах, многие годы активно используются для водоснабжения городов Урала. Дальнейшая трансформация химического состава может привести к невозможности использования водозаборов по назначению. Причиной описанного выше ухудшения качества подземных вод является активизация в результате водоотбора процессов окисления пирита и сернокислотного выщелачивания. Наиболее изучены эти процессы на сульфидных (Смирнов, 1955; Щербина, 1955; Табаксблат, Сахарова, 1994) и угольных (Амосов, 1965) месторождениях. Однако такие явления наблюдаются на месторождениях почти всех видов полезных ископаемых, добываемых на Среднем Урале (Ковальчук и др., 1963): колчеданных, полиметаллических и золотополиметаллических, железорудных, угольных, огнеупорных глин, бокситов, известняков. Большое количество материалов по развитию процессов окисления сульфидов в различных горных породах обобщено А. И. Перельманом (Перельман, 1968). Изменение химического состава подземных вод на водозаборах Среднего Урала, связанное с окислением пирита, рассмотрено в ряде работ (Лехов, Шваров, 1997, 2002; Фельдман, Вишняк, Рыбникова, 2001, 2002; Лехов, Вишняк 2005). К настоящему времени сложились следующие представления об этом процессе. Полосы карбонатных пород разбиты на отдельные

разобщенные в гидродинамическом плане блоки. Площадь блоков составляет первые десятки квадратных километров. Плановая ограниченность данных гидрогеологических структур приводит к образованию в результате водоотбора глубокой депрессии. В сформировавшейся таким образом зоне аэрации оказываются мезокайнозойские осадочные породы, слагающие верхний этаж месторождений, которые изначально содержат рассеянный пирит, образовавшийся в результате деятельности сульфатредуцирующих бактерий. Смена восстановительных условий на окислительные приводит к окислению сульфидных минералов. В результате образуются кислые сульфатные воды. При взаимодействии их с карбонатами кальция и магния происходит нейтрализация кислотности, а за счет поступления в раствор ионов кальция и магния наблюдается рост жесткости и минерализации. Цель и задачи исследования. Несмотря на то, что причина ухудшения качества подземных вод на рассматриваемых водозаборах известна, удовлетворительная количественная гидрогеохимическая модель данного процесса до сих пор не разработана. В результате без ответа остаются ряд важных практических вопросов:

1) Когда прекратится трансформация химического состава воды на действующих водозаборах и будет ли вода пригодна для питьевого водоснабжения;

2) Возможно ли улучшение или стабилизация качества воды на давно эксплуатируемых водозаборах путем изменения схемы или интенсивности водоотбора;

3) Как надо проектировать и эксплуатировать водозаборы в данных гидрогеологических структурах, и какие дополнительные исследования необходимы на этапе разведки.

Цель данной работы - разработка теоретических и методических основ для количественного моделирования процессов изменения качества воды на водозаборах, связанного с окислением пирита. Это позволит дать ответы на поставленные выше вопросы. В задачи исследования входили:

1) Обобщение фактических и литературных данных по вопросам окисления пирита;

2) Натурные исследования, включая бурение скважин, опробование и химикоаналитические исследования;

3) Сравнительный анализ изменения химического состава подземных вод на серии водозаборов;

4) Формулировка математической модели с учетом миграции кислорода, нейтрализации серной кислоты, миграции продуктов;

5) Расчеты скорости изменения химического состава отбираемой воды за счет фактической изменчивости мощности покровных отложений.

Объект исследования. Месторождения подземных вод в ограниченных карбонатных структурах Среднего Урала характеризуются сходством геолого-гидрогеологических и геохимических условий. Рассмотреть в рамках одной работы все месторождения, где наблюдается ухудшение качества подземных вод вследствие окисления пирита, невозможно. Необходимо использовать принцип аналогии, изучив развитие процесса на одном месторождении и распространяя полученные выводы на остальные. Базисным объектом исследования стало Полдневское месторождение подземных вод, используемое для хозяйственно-питьевого водоснабжения города Богданович Свердловской области. По данному месторождению в последнее время получено наибольшее количество данных. Там проводится мониторинг подземных вод, связанный с совместной эксплуатацией месторождения огнеупорных глин и водозабора. На этом объекте развитие процесса окисления пирита и сернокислотного выщелачивания может быть исследовано не только в условиях естественного сложения горных пород, но и в техногенных образованиях, связанных с горными работами (отвалы, рекультивированные и действующие карьеры).

Фактический материал. Геологическое строение Полдневского месторождения охарактеризовано 98 разведочными скважинами. Регулярные режимные наблюдения за химическим составом, уровнем подземных вод и величиной водоотбора на объекте проводятся с начала 60-х годов. В разные годы на объекте действовало от 7 до 22 наблюдательных скважин вскрывающих породы палеозойского фундамента (основной водоносные горизонт, сложенный карбонатными породами, и ограничивающие его терригенные породы) с рядами наблюдений более 30-40 лет. Для детального изучения зоны окисления в рамках данной работы были пробурены две скважины на покровные отложения естественного сложения (глубиной 19 и 50 м) и одна скважина на породы внутреннего отвала (глубиной 35 м) в теле рекультивированного карьера. Монолиты, отобранные в процессе бурения через 1–5 м (всего 31), использовались для определения водно-физических свойств, гранулометрического состава, химического состава пород, минералогического анализа, химического состава поровых растворов и растворимых компонентов. Кроме того, из данных скважин отобраны пробы воды для определения состава грунтовых вод на участке зоны окисления. Методы исследования. Работа заключалась в обобщении и анализе многолетних наблюдений за режимом подземных вод на Полдневском

месторождения, а также в изучении результатов опробования скважин, вскрывающих непосредственно зону окисления. Методами математического моделирования на основе непосредственно измеренных параметров, либо данных, заимствованных из литературных источников, строилась гидрогеохимическая модель зоны окисления и области миграции продуктов окисления. Корректность построения моделей и принятых параметров определялась сравнением с данными, полученными при опробовании реальной зоны окисления. По результатам моделирования выполнялись прогнозы дальнейшего развития ситуации, которые необходимы для выработки рекомендаций по дальнейшей эксплуатации месторождений подземных вод данного типа и освоению новых участков, перспективных для водоснабжения. Состав и структура работы. Работа состоит из пяти частей:

1. Описание гидрогеологических особенностей Полдневского месторождения. 2. Характеристика покровных отложений, структуры их порового пространства и закономерностей распределения пирита.

3. Математическая модель окисления пирита, преобразования и миграции продуктов окисления в покровных отложениях Полдневского месторождения. 4. Оценка интенсивности окисления пирита и выноса продуктов окисления на различных типовых разрезах в реальном диапазоне параметров методами численного моделирования. Определение лимитирующей стадии процесса.

5. Прогноз изменения химического состава воды на действующих водозаборах (на примере Полдневского и Северо-Мазулинского водозаборов).

Научная новизна. Создана комплексная модель окисления пирита в покровных отложениях с учетом преобразования и миграции продуктов реакции. В ходе проведенного исследования и в результате моделирования получено несколько новых выводов, касающихся месторождений подземных вод, на которых в зоне аэрации могут оказаться пиритсодержащие песчано-глинистые отложения с обычными концентрациями пирита (от 0,05 до 10 кларков или 0,025-5 весовых процентов): Установлено, что интенсивность окисления пирита лимитируется диффузионным переносом кислорода вглубь толщи покровных отложений, поэтому на ухудшение качества подземных вод концентрация пирита практически не влияет (достаточно даже 0,05 кларка или 0,025 % пирита). Выявлено, что после длительной эксплуатации качество воды на водозаборах не может быть восстановлено за разумный период времени, даже если прекратить окисление пирита путем повышения уровня подземных вод. Этому препятствует значительный период водообмена, характерный для рассматриваемого типа месторождений (50-200 лет). Время миграции

загрязнения до водозаборных скважин от разных участков зоны окисления колеблется от первых лет до сотни лет, что связано с резкой изменчивостью мощности покровных отложений. Оценена роль процесса гипсообразования в зоне окисления – как буфера, препятствующего катастрофическому ухудшению качества воды на питьевых водозаборах. Установлено, что при складировании пиритсодержащих глинистых пород на поверхности земли за несколько месяцев может окислиться до 20% пирита, а для полного вымывания образовавшегося гипса инфильтрационным потоком потребуется несколько сотен лет. Практическая значимость. В работе дан прогноз времени стабилизации и конечного химического состава подземных вод на Полдневском и Северо-Мазулинском водозаборах, которые используются для хозяйственно-питьевого водоснабжения городов Богданович и КаменскУральский. Разработана гидрогеохимическая модель окисления пирита и миграции продуктов окисления в водоносный горизонт. Показано, что допустимое понижение уровня подземных вод на месторождениях данного типа должно учитывать верхнюю границу распространения пород, содержащих пирит. Рекомендовано применение барражных скважин, для защиты водозаборов от загрязнения со стороны карьеров и отвалов. Результаты исследований использовались при переоценке эксплуатационных запасов Полдневского, Богдановичского и Северо-Мазулинского месторождений подземных вод и проведении мониторинга на ТроицкоБайновском месторождении огнеупорных глин. На основе авторских рекомендаций в 2002 году была изменена схема Полдневского водозабора с использованием барражной скважины между карьером и водозабором. Это позволило существенно улучшить качество отбираемой воды и довести его до питьевых кондиций по жесткости (по крайней мере, на ближайшие 10 - 20 лет).

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы были изложены в 6 публикациях и 2 отчетах по оценке эксплуатационных запасов подземных вод для водоснабжения г. Богданович, утвержденных ТКЗ ДПР по Уральскому региону (2002, 2003), доложены на международном конгрессе ЭКВАТЭК 2002, на конференции (С.-Петербург, 2002), на Сергеевских чтениях (Москва, 2002, 2005), на Ломоносовских чтениях Геологического факультета МГУ (Москва, 2005).

Диссертационная работа выполнена под научным руководством д.г.-м.н., профессора А. В. Лехова, которому автор выражает глубокую благодарность за советы и всестороннюю помощь. Автор также благодарен директору НПФ к.г. - м.н. А. Л. Фельдману за организацию полевых работ по изучению зоны окисления Полдневского месторождения и директору ТЦ

Уралгеомониторинг к.г - м.н. Л. С. Рыбниковой за консультации и помощь в сборе фактического материала, а также д.г.-м.н., профессору Р. С. Штенгелову за ряд ценных критических замечаний. Большую помощь в изучении истории совместной эксплуатации карьера глин и водозабора оказал главный геолог Богдановичского ОАО Г. И. Вольхин, которому автор очень благодарен. Автор также благодарен ведущему гидрогеологу НПФ Ю. А. Аристову за помощь в проведении опробования зоны окисления.