

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу И.А. Тарасенко «ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СОСТАВА И ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД В ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННЫХ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ СТРУКТУРАХ РАЙОНОВ ЛИКВИДИРОВАННЫХ УГОЛЬНЫХ ШАХТ», представленную на соискание учёной степени доктора геолого-минералогических наук по специальностям

25.00.09 – геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых

25.00.36 – геоэкология.

Диссертация И.А. Тарасенко посвящена исключительно актуальной проблеме – исследованию гидрогеологических процессов, происходящих в законсервированных угольных шахтах, изменению гидродинамического режима, формированию геохимических аномалий в подземных водах. Целью работы являлось установление геохимических особенностей состава и закономерностей формирования подземных вод в районах ликвидированных угольных шахт с прогнозной оценкой изменения состава подземных вод в природно-техногенных структурах. Для достижения цели автором были решены задачи, направленные на определение геологических и гидродинамических условий формирования подземных вод в районах ликвидированных угольных шахт, особенностей их гидрогеохимического состава, разработку прогнозной оценки масштабов влияния затопленных шахт на источники водоснабжения регионов. Основными районами исследования были угольные бассейны Приморского края и Сахалинской области в с привлечением гидрогеохимические данных по Донецкому, Кизеловскому, Кузнецкому, Печорскому и Челябинскому угольным бассейнам.

Научная новизна представленной работы состоит в следующем.

1. Исследована нарушенная горными работами 200–800-метровая толща обводненных пород как самостоятельная природно-техногенная гидрогеологическая структура. Показано, что подземные водоносные горизонты при затоплении угольных шахт не восстанавливаются в прежних параметрах и координатах, а формируют гидравлически связанный техногенный водоносный комплекс со значительными отклонениями (от природного комплекса) в скоростном (фильтрационном) и напорном (уровневом) аспектах.

2. Для подземных вод районов ликвидированных угольных шахт впервые установлены формы миграции макро-, микроэлементов и изменчивость их соотношений при эволюции системы «вода–порода». С помощью физико-химического моделирования определены закономерности гидрогеохимических процессов, ряды изменения состава подземных вод в условиях природно-техногенных структур и ассоциации равновесных вторичных минералов, стабильные в условиях той или иной гидрогеохимической среды.

3. Впервые выполнена геохимическая систематизация подземных вод, формирующихся в районах ликвидированных шахт, на основе классификации Алекина–Никольской–Посохова, базирующейся на генетических принципах. С позиции межрегионального распространения рассмотрены типы (классы) подземных вод, формирующиеся в природно-техногенных структурах Донецкого, Кизеловского, Кузнецкого, Печорского, Челябинского, Партизанского, Раздольненского, Угловского и Сахалинского угольных бассейнов. Установлена коррелируемость состава вод техногенных комплексов с особенностями геологического строения осадочных бассейнов

и, прежде всего, с наличием в угольных и надугольных толщах морских, соленосных и пресноводных групп геологических формаций.

4. Разработаны методологические основы гидрохимического прогноза при затоплении угольных шахт в зависимости от формационной принадлежности пород надугольной толщи. Выделены типы вод (I $\text{HCO}_3\text{-Ca}$; I $\text{HCO}_3\text{-Mg}$; IIa $\text{HCO}_3\text{-Ca}$; IIa $\text{HCO}_3\text{-Mg}$; IIa $\text{SO}_4\text{-Mg}$; IIa $\text{SO}_4\text{-Na}$; IIб $\text{HCO}_3\text{-Na}$; IIб $\text{SO}_4\text{-Na}$; IIб $\text{SO}_4\text{-Ca}$; IIб $\text{SO}_4\text{-Mg}$; IIIa $\text{SO}_4\text{-Ca}$; I, IIa, IIб и IIIa Cl-Na) характеризующие условия и процессы их формирования в природно-техногенных структурах, являющиеся региональными маркерами формационной принадлежности водовмещающих пород.

5. Впервые созданы визуализированные цифровые модели гидрохимических полей районов ликвидированных угольных шахт, основанные на интерполяции значений минерализации подземных вод. Показаны масштабы влияния техногенного водоносного комплекса на безопасность бассейна подземных вод и, как следствие, на основные источники водоснабжения регионов, а также на поверхностные водотоки, имеющие рыбохозяйственное значение.

В прикладном плане полученные результаты важны при разработке гидрохимических прогнозов, мероприятий по управлению качеством подземных вод и борьбе с загрязнением окружающей среды в районах проектируемых, действующих и ликвидируемых угольных шахт и разрезов. Они полезны проектным и производственным организациям, службам экологического мониторинга и научно-исследовательским институтам, проводящим планирование и реализацию работ по обеспечению экологической безопасности бассейна подземных вод, источников водоснабжения, а также поверхностных водотоков.

Диссертация предваряется аналитическим обзором литературы по проблеме формирования и изменения состава подземных вод. Не совсем можно согласиться с утверждением Ирины Андреевны о том, что геохимия шахтных вод в должной мере не рассматривалась. Эта проблема очень активно обсуждается в литературе, например, широко цитируемые статьи прошлых лет: Wood et al., 1999; Tiwary, 2001; Demchak et al., 2004, из последних – Quaranta et al., 2014; Adams, 2014; Wu et al., 2014 и др., в которых рассматриваются различные аспекты влияния угольных шахт на состав поверхностных и подземных вод. В целом, обзор даёт некоторое представление о состоянии изученности проблемы.

На защиту выносятся четыре положения.

***Первое защищаемое положение.** Подземные водоносные горизонты при затоплении угольных шахт не восстанавливаются в прежних параметрах и координатах, а формируют гидравлически связанный техногенный водоносный комплекс. Его формирование определяется особенностями современной гидрогеологической стратификации надугольной и угольной толщ, масштабами зоны водопроводящих трещин, величиной водопитока и емкостными характеристиками сдренированного массива.*

Обоснование и доказательство этому выводу приведено в обширной подробной Главе 3 «Геолого-гидрологические условия районов ликвидированных угольных шахт». На основе анализа геолого-тектонического строения районов и гидрогеологических условий в природных и техногенно нарушенных массивах показано, что при «мокрой» ликвидации угольных шахт формируются структуры, способствующие увеличению проницаемости надугольных толщ. Естественный режим подземных вод нарушается, а

масштаб этого процесса определяется гидравлическими особенностями природно-техногенных структур.

Основная часть главы, включая карты и разрезы, составлена по литературным источникам. Вклад автора заключается в составлении схемы основных условий формирования подземных вод изучаемых угольных месторождений (рис. 3.27). Переходя к водопритокам, сразу же встаём в тупик на рис. 3.29 и 3.30. Ссылки на литературные (или фондовые) источники отсутствуют, понять из графиков, что есть что, невозможно, т.к. условных обозначений также нет. Поэтому вывод, сделанный на основе приведённых графиков, не оказывается доказанным. На основе схем природно-техногенных структур И.А. Тарасенко показывает динамику затопления шахт, что и позволяет сформулировать защищаемое положение № 1. В целом, оно вполне доказано имеющимся материалом.

Второе защищаемое положение. *Геохимическая специфика подземных вод техногенного комплекса природно-техногенных структур Приморья и Сахалина закладывается в области питания и трансформируется в направлении фильтрационного потока по схеме: $\text{HCO}_3\text{-Ca} \rightarrow \text{HCO}_3\text{-Na(Mg)} \rightarrow \text{HCO}_3\text{-SO}_4\text{-Na(Mg)} \rightarrow \text{SO}_4\text{-Na(Mg)}$. Она определяется соотношением взаимодействующих масс породы и воды, контролируется парциальным давлением CO_2 и O_2 в системе «вода–порода» и процессами вторичного минералообразования.*

Доказательству этого положения посвящена Глава 4 «Состав и особенности формирования подземных вод в районах ликвидированных шахт угольных месторождений Приморья и Сахалина», в которой рассмотрены геохимические особенности подземных вод районов угольных бассейнов и месторождений Приморья и Сахалина, преобразование их химического состава в условиях сформировавшихся природно-техногенных структур. Показано, что питание подземных водоносных горизонтов рассматриваемых районов осуществляется за счет поверхностных вод. Эта часть работы основана на обширном фактическом материале – результатах анализа подземных вод. Показан тренд трансформации составов подземных вод от природных до техногенных для всех рассматриваемых шахт. Основной вывод заключается в количественной оценке направлений трансформации состава природных вод при их циркуляции в трещинных массивах разного состава. Убедительно доказано метеорное происхождение всех типов вод на основе изотопных соотношений кислорода и водорода. Результирующая таблица 4.17 содержит обобщённую характеристику всех типов вод и, в общем, может служить справочной информацией при последующих исследованиях подземных шахтных вод. Защищаемое положение обосновано имеющимся фактическим материалом и выполненным физико-химическим моделированием.

Некоторые замечания к этому разделу. Может быть, в каких-то классификациях и существует, но мне не известно названия типов вод «весьма пресные», «весьма слабосолоноватые». По кислотности, в диапазоне значений рН 7.5 – 8.5 находятся воды относимые к слабощелочным, а не к нейтральным. Не совсем понятны рисунки 4.3 и 4.7, Что объединяют линии кластеров?

Вообще говоря, схемы наблюдательной сети гидрохимического мониторинга (рис. 4.1, 4.2, 4.8 ÷ 4.11) и описание мест пробоотбора должны быть расположены в методической главе. Очень затрудняет восприятие смысловой части работы постоянные «вкрапления» указаний мест пробоотбора, скважин и т.д.

В целом же, эта часть диссертации больше похожа на отчёт, чем на научную работу: унифицированное описание типов вод и изменений их состава в результате

взаимодействия с вмещающими породами с однотипными диаграммами не похоже на действительно научную интерпретацию. Например, многочисленные графики изменения концентраций основных катионов в зависимости от значений pH (рис. 4.6, 4.25, 4.26, 4.31, 4.32, 5.5, 5.18, 5.24). На самом деле никаких зависимостей на них не просматривается. Если автор их увидела, следовало бы написать об этом в тексте, потому что в том варианте, в котором они находятся, они не содержат ничего, кроме полей точек. Многочисленные таблицы, характеризующие типы подземных вод, также составлены не без огрехов. В геохимической работе, если приводятся средние значения, **обязательно** должны быть показаны статистические параметры: количество данных в выборке, максимальные и минимальные значения, стандартное отклонение. Без этого невозможно оценить надежность результатов. В некоторых случаях количество анализов и разброс содержаний элементов можно приблизительно оценить из диаграмм Пайпера, но не во всех – на некоторых из них поля расположения точек просто очерчены разными линиями. И почему в некоторых таблицах щелочные металлы (Na и K) показаны в сумме (табл. 5.2, 5.4, 5.5)? Видимо, потому, что они таким образом приведены в источнике: В.И. Демкин и др., 2010. В таких случаях как можно посчитать мг-экв.% и составить формулы Курлова? А соответственно, выделить типы и подтипы вод? Более того, в работе не удалось найти количественную характеристику фактического материала: сколько проб всего взято по каждому району и шахте, сколько проанализировано на те или иные компоненты, т.е. то, что обеспечивает достоверность выводов.

Отдельно необходимо отметить вопросы, связанные с физико-химическим моделированием. Автор вначале раздела приводит библиографические ссылки, как на программные комплексы, так и на подходы, разработанные вовсе другими людьми. В тексте раздела путаются определения – одновременно ведется разговор о соотношении Т/Ж (очевидно твердое/жидкость, хотя в тексте пояснений нет) и о взаимодействии «вода-порода». По мнению оппонента, эти определения не могут дополнять друг друга и лишь путают смысл. Структура модели не описана вовсе. Как менялось соотношение «Т/Ж» (по выражению автора) – последовательное добавление? Или рассматривались совершенно отдельные равновесия? Нет таблицы или приложения с перечислением комплексов и фаз, учтенных при построении модели, не обоснован выбор довольно специфических термодинамических БД. Такая информация необходима для оценки корректности модели. Тем не менее, для специалистов хорошо знакомых с ПК Селектор не составит труда понять суть разработанных моделей и оценить научную значимость таких разработок.

Вопросы к таблице 4.19, в которой показаны химические формы нахождения элементов в водах по результатам физико-химических расчётов. В ней появляются результаты расчёта по микрокомпонентам (Fe, Mn, As, В, Ва, Cd и др.), однако ранее никакого обсуждения этих элементов в водах не было. Какие данные заложены в расчёт? Как появился As(III)? Видимо, в восстановительных условиях? Те же вопросы по формам Cr и табл. 4.21. Аналогичные вопросы возникают ко всем таблицам, демонстрирующим результаты расчёта химических форм элементов и индексов насыщения (№№ 5.6, 5.7, 5.10, 5.11, 5.15, 5.16, 5.17 и т.д.). Ничего об этом в диссертации не сказано. В таком варианте таблицы просто «повисает в воздухе», они не показывают и не доказывают ничего. А вместе с тем, результаты анализов вод на микроэлементы и обсуждение их поведения в подземных водах необходимы в современной докторской диссертации и служило бы сильным аргументом в пользу соответствия работы специальности «геохимия».

К терминологическим ошибкам относится название хлоридов в водах «хлором» - это совершенно разные компоненты, для геохимической работы недопустимы такие вольности. Воды не могут быть насыщены карбонатами кальция или другими какими-либо минералами и соединениями. Воды могут быть насыщены или не насыщены *по отношению* к чему-либо. Как относиться к фразе: «натрий очень тяжело создаёт комплексы»? По-отдельности, эти ошибки можно было бы отнести к опечаткам или неточностям, но в совокупности они приводят к неприятному вопросу о геохимической неграмотности автора.

Третье защищаемое положение. Формирование геохимических типов подземных вод в природнотехногенных структурах зависит от состава пород осадочных бассейнов и, в первую очередь, от наличия в угольных и надугольных толщах морских, соленосных и пресноводных групп геологических формаций, которые определяют направленность процессов растворения в системе «вода–порода».

Этот вывод обосновывается материалом Главы 5 «Региональные особенности формирования состава подземных вод в природно-техногенных структурах угольных месторождения», по своей структуре полностью соответствующей Главе 4. Различием являются объекты: шахты Донбасса, Кузбасса, Печорского и др. бассейнов. В целом, защищаемое положение доказано, нельзя спорить с утверждением о том, что состав подземных вод определяется составом вмещающих пород. И к этому разделу есть серьёзные замечания.

Глава составлена очень неудачно. В ней вообще всё смешано. Подглава 5.1 «Геохимия подземных вод ...» начинается и продолжается описанием Донецкого угольного бассейна: его геологии, гидрогеологии, истории разработки, состава пластовых газов. Затем идёт изложение состава подземных вод по литературным данным. В чем здесь вклад автора? В выделении типов и подтипов вод? То же – к геохимии подземных вод бассейнов пермского возраста: описание геологии, гидрогеологии, состава вод по литературным данным.

Рис. 5.1 и табл. 5.1 – составлены автором? Если нет, то требуется ссылка. Хлориды – не галогениды? Кстати, слово галогениды пишется через букву «о», а не «а» (у автора – «галагениды»).

Можно согласиться с тем, что автором систематизирован состав подземных вод, используя известные классификации. В результирующей таблице 5.21 сведены и обобщены данные по исследуемым водам. Применяя классификацию О.А. Алёкина с дополнениями Ю.П. Никольской и Е.В. Посохова, автор изрядно запутывает систематизацию вод, относя к гидрокарбонатному классу сульфатно - натриевые и хлоридно-натриевые воды (по типам) и, наоборот, к сульфатному классу – гидрокарбонатно-магниевые и гидрокарбонатно-кальциевые. Наверное, это всё же излишняя формализация, запутывающая читателя. То же – к таблице 5.22. Невозможно понять, как в сульфатный класс кальциевой группы попадает хлоридно-натриевый тип. Может быть, кто-то и применяет подобную классификацию, но оппонент в первый раз (и надеюсь, последний) столкнулась со словосочетаниями: «сульфатные натриевые воды гидрокарбонатного класса» или «хлоридные натриевые воды гидрокарбонатного класса».

Невозможно согласиться с выводом о природе кислых вод. Подкисление вод, взаимодействующих с вмещающими угольные толщи породами идет не только в зависимости от соотношения $\text{CO}_2/\text{HCO}_3^-$, а главным образом, вследствие окисления пирита и появления серной кислоты в растворе.

Четвертое защищаемое положение. Влияние техногенного водоносного комплекса на бассейн подземных вод и поверхностные водотоки в районах ликвидированных угольных шахт носит локальный в пространстве характер. Особенности сформировавшейся гидрогеологической структуры определяют размеры гидрогеохимических полей техногенно-трансформированных вод и масштабы их воздействия на окружающую природную среду.

На примере затопленных угольных шахт Дальневосточного региона выполнена оценка влияния вод техногенного комплекса на безопасность бассейна подземных вод и, как следствие, на основные источники водоснабжения, а также на поверхностные водотоки, имеющие важное рыбохозяйственное значение. Построены цифровые модели гидрохимических полей для районов ликвидированных угольных шахт. Показано, что в природно-техногенных структурах формируются воды, которые своим химическим составом инициируют очаги загрязнения. В целом, защищаемое положение доказано и обосновано, но и к этому разделу есть замечания. Обсуждая геохимический состав вод и приводя превышения над ПДК, следовало бы показать тот фактический материал, на основе которого построены модели и сделаны выводы. По сути, загрязняющие компоненты приведены только в долях ПДК, и на цифровых моделях рассмотреть эти цифры практически невозможно.

Суммируя в целом, необходимо отметить несколько важных вопросов, на которые не удалось найти ответов в тексте, но они необходимы.

1. Вклад автора. Что же сделано лично Ириной Андреевной при получении фактического материала? И в каких разделах отражены именно результаты автора диссертации? Оказалось очень трудно, практически невозможно разделить литературные данные и данные автора.
2. Как сам автор оценивает соотношение в диссертации литературные данные/собственные результаты?

Наиболее серьёзные замечания сводятся к следующему.

1. Недостаточная полнота анализа изученности проблемы. Отсутствие ссылок на работы последних лет и именно по проблеме гидрогеохимии угольных шахт. Перечисление исследователей, занимающихся тем или иным вопросом, через запятую на полстраницы, нельзя назвать кондиционным литературным обзором.

2. Неграмотное оформление табличных данных. В работе по геохимии нельзя приводить «среднее» без остальных статистических параметров, тем более, что эти таблицы – доказательная база защищаемых положений.

3. Плохое структурирование работы. При этом два защищаемых положения (второе и третье) доказываются однотипным материалом, без потери смысла могли бы быть объединены, поскольку по сути утверждений (геохимия подземных вод определяется составом водовмещающих пород) они очень похожи.

4. Очень краткая Глава 2. Методика исследований, по мнению рецензента, в диссертации по геохимии должна содержать гораздо больше сведений о методиках пробоотбора, пробоподготовке, аналитическим методам. При описании опробования недостаточно просто сослаться на ГОСТ, следует указать, каким образом отбирались пробы, фильтровались на месте или нет, как консервировались, в каких ёмкостях транспортировались и т.д. При указании методов анализа необходимо приводить метрологические характеристики: пределы обнаружения, стандартные ошибки и т.д. В каждой, даже сертифицированной, лаборатории есть свои особенности проведения

анализов, для геохимической работы методическая глава – пожалуй, самая основная, убеждающая читателя в правильности полученных результатов, а значит, и выводов. Подробное описание методик исследований заставляет вникать в суть проводимых работ и обычно очень помогает в дальнейшем. В данном случае, если бы Ирина Андреевна как следует описала бы основу и особенности применяемых методов, она бы, скорее всего, избежала бы грубых ошибок при перечислении анализируемых компонентов: As^{3-} каким образом может появиться в водах? То же – Se^{2-} ?

Остальные замечания приведены в тексте отзыва.

Всё же, несмотря на сделанные замечания, считаю, что диссертационная работа И.А. Тарасенко «ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СОСТАВА И ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД В ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННЫХ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ СТРУКТУРАХ РАЙОНОВ ЛИКВИДИРОВАННЫХ УГОЛЬНЫХ ШАХТ» может быть квалифицирована как крупное научное обобщение, она характеризуется как очевидной научной новизной, так большой практической значимостью. Работа соответствует требованиям ВАК, предъявляемым к докторским диссертациям, а автор заслуживает присуждения степени доктора геолого-минералогических наук по специальностям 25.00.09 геохимия, геохимические методы поисков полезных ископаемых и 25.00.36 – геоэкология.

Заведующая лабораторией геоэлектрохимии
Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН
д.г.-м.н., профессор *Светлана* Бортникова Светлана Борисовна

630090, г. Новосибирск, пр. академика Коптюга, 3
ИНГГ СО РАН,

Тел.: (383) 330 95 36

e-mail: bortnikovasb@ipgg.sbras.ru

