

**ОТЗЫВ официального оппонента  
о диссертации В.Ю. Абрамова «Формирование химического состава  
подземных вод в экстремальных термодинамических условиях»,  
представленной на соискание ученой степени доктора  
геолого-минералогических наук  
по специальности 25.00.07 – гидрогеология**

Рецензируемая диссертация В.Ю.Абрамова объемом 196 м.п. страниц, состоящая из введения, трех глав, заключения, списка литературы 133 наименований, 42 рисунков и 22 таблиц, посвящена рассмотрению экстремальных термодинамических условий формирования химического состава подземных вод, под которыми в ней принимаются РТ-параметры, контролирующие фазовые переходы воды и других газов, образующих с водой газо-водяную смесь сверхкритических флюидов  $H_2O$ ,  $CO_2$ ,  $H_2S$ ,  $HCl$ ,  $N_2As$ .

В основу диссертации В.Ю. Абрамова положен большой фактический материал, собранный автором во время работы на кафедре гидрогеологии и инженерной геологии СПбГУ и в ЗАО «ГИДЭК», начиная с 1979 г.

По своей структуре диссертация подразделяется на три связанные общей идеей самостоятельные части – главы, в каждой из которых обосновывается одно из трех защищаемых положений.

В первой главе диссертации рассматривается роль сверхкритических флюидов воды и углекислого газа в формировании газохимического состава и органических веществ минеральных углекислых вод на примере Эссентукского и Нагутского месторождений Кавказских минеральных вод .

Оценено современное состояние изученности сверхкритических флюидов воды и углекислого газа, а также показаны термодинамические параметры и условия их существования в верхних частях Земной коры.

Показано, что сверхкритические условия – это физическое состояние вещества выше критической точки, где исчезает различие между газом и жидкостью. По сравнению с обычным растворителем сверхкритический

флюид характеризуется более низкой (на 1-2 порядка) вязкостью, меньшей плотностью. и на 2-3 порядка большим коэффициентом диффузии

В диссертационной работе дан развернутый критический анализ исследований посвященных газо-водяным флюидам и их роли в формировании химического состава подземных вод.

Детально рассмотрены особенности формирования газового и химического состава углекислых минеральных вод Ессентукского и Нагутского месторождений, который, по мнению автора, определяется потоком сверхкритических флюидов  $\text{CO}_2$  термометаморфического генезиса, поступающих из кристаллического фундамента и биогенной углекислоты, образующейся в результате биodeградации легких углеводородов нефтяного ряда, взаимодействующих с вмещающими терригенными и карбонатными горными породами верхнего и нижнего мела, растворением гипса и ангидрита верхний юры, органическими веществами нефтяного ряда, диффузионно-конвективным переносом компонентов поровых седиментационных вод морского генезиса.

В итоге автором сформулированы основные принципы формирования химического состава углекислых минеральных вод находящихся в сверхкритическом состоянии, который происходит благодаря потоку из магматических очагов по разломам к поверхности Земли сверхкритических флюидов  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{H}_3\text{As}$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{CH}_4$  и его гомологов с экстрагированными из горных пород органическими веществами в том числе нефтяного ряда. Выше критических параметров индивидуальных флюидов газов и при переходе их через критические точки образуется водный раствор, взаимодействующий с вмещающими горными породами, приводя к образованию компонентного состава минеральных углекислых вод.

В качестве подтверждения своих выводов автор приводит субкритические воды из магматического очага, вскрытые в Исландии скважиной IDDP-1.

В связи с этим необходимо отметить, что Кавказ и соответственно КМВ находятся в зоне коллизии Африкано-Аравийской, а начиная с олигоцена,

собственно Аравийской и Евразийской плит. Исландия же расположена на гребне Северо-Атлантического глобального тектонического шва – рифтовой зоны, вдоль которой происходит расхождение Северо-Американской и Евразийской литосферных плит. Зона коллизии характеризуется развитием процессов гранитизации, а рифтов – излиянием базальтов, и соответственно разными условиями формирования химического состава подземных вод. По-видимому, сравнение их недостаточно корректно.

Необходимо также подчеркнуть, что на северных склонах Большого Кавказа магматические очаги существуют только под Эльбрусом и Казбеком, где гравитационные аномалии интерпретированы как водонасыщенные магматические камеры, залегающие на глубинах около 2 км. В районе КМВ развиты лишь небольшие гипабиссальные граносиенит-порфировые интрузивные тела.

Исследования изотопов дейтерия и кислорода в углекислых водах КМВ [Ляшенко, Потапов, 1984] и гелия в газах, отобранных из скважин Эссентукского и Нагутского месторождений [Лаврушин, 2012], показали, что формирование минеральных вод в предгорьях Северного Кавказа происходит в результате смешения атмосферных и седиментационных вод.

Во второй главе рассмотрены закономерности криогенной метаморфизации – формирования химического состава подземных вод при отрицательных температурах (менее 0<sup>0</sup>С) и криогенной гидрогеохимической зональности деградированной криолитозоны, установленные автором по результатам его многолетних экспериментальных и полевых исследований.

Особенности формирования криогенной гидрогеохимической зональности рассмотрено на примерах Далдыно-Алакитского района, включая кимберлитовую трубку Удачная Западной Якутии, деградированной криолитозоны бывших крио-артезианских бассейнов, золото-сульфидсодержащего месторождения Дегдекан. Рассмотрены также ультрапресные, деминерализованные, обессоленные подземные воды Среднего Приамурья района строящегося космодрома «Восточный» и

особенности криогенного рассеяния и обогащения жидкой и твердой фазы воды отвалов сульфидных концентратов при их длительном (более 30 лет) в различных окислительно - восстановительных условиях.

Автором установлено, что при криогенных процессах происходят не только фазовые переходы молекул  $H_2O$  подземных вод, но и сложные физико-химические преобразования водных растворов. При понижении температуры количество незамерзшей воды уменьшается, а концентрация солей в ней возрастает в соответствии с кривой ликвидуса. По мере достижения раствором эвтектических температурных точек начинается совместная кристаллизация льда и кристаллогидратов солей.

Промерзание водонасыщенных горных пород приводит к изменению первичной гидрохимической зональности подземных вод. Реализуется криогенная метаморфизация химического состава подземных вод, заключающаяся в последовательной смене вниз по разрезу гидрохимических типов воды: от гидрокарбонатного к сульфатному, далее к хлоридному и, возможно, бромидному. При промерзании гидрогеологических структур с глубиной растет плотность и минерализация подземных вод, регулируемая гравитационным фактором. Катионный макро и микрокомпонентный состав, также испытывает глубокие преобразования, направление которого следующее:  $K \rightarrow Na \rightarrow Mg \rightarrow Ca \rightarrow Li$ .

При деградации многолетней мерзлоты гидрохимическая зональность не меняется. В верхней части, за счет оттаивания льдистых пород образуется зона пресных подземных вод, далее – зона солоноватых сульфатных и завершается гидрогеохимический разрез зоной соленых хлоридных вод и рассолов вымораживания.

При изучении химического состава соленых вод и рассолов было бы значительно убедительнее рассмотреть реальные формы нахождения химических элементов в подземных водах, что бы позволило автору говорить о содержании в них отдельных нейтральных ионных пар – солей, как, например,  $CuSO_4$ ,  $FeSO_4$ ,  $ZnSO_4$ ,  $CaCl_2$ ,  $NaCl$ ,  $LiCl$ ,  $BaCl_2$  и других.

Было бы также интересно показать, как соответствуют расчетные эвтектические твердые фазы реальным образованиям в конкретных природных условиях.

В третьей главе диссертации на основании анализа большого фактического материала автором систематизированы закономерности формирования химического состава подземных вод в условиях совместного присутствия в подземных водах окислителей и анионов – лигандов комплексных соединений, приводящих к миграции и отложению в зоне гипергенеза золота и элементов группы платины (Pt, Os, Ir). Исследования выполнены для различных ландшафтно-гидрогеохимических условий на примере районов золоторудно-россыпных полей Дальнего Востока РФ.

Общая схема рассмотренного процесса следующая. На первой стадии металлы, в том числе золото и платиноиды (Pt, Os, Ir) рудного тела, переходят в воднорастворенное состояние, образуя комплексы, мигрирующие в подземных водах с образованием ореолов рассеяния. При разгрузке подземных вод на геохимических барьерах в руслах поверхностных водотоков происходит образование мелких самородных форм Au, Pt, Os, Ir и формирование их гидрогенных россыпей.

К сожалению, из текста диссертации непонятно, какие анионы природных растворов, объединяемые автором общим понятием лиганды, образуют комплексные соединения с золотом и платиноидами. Сказано лишь, что при окислении сульфидов образуется ряд соединений содержащих серу в промежуточных степенях окисления. Было бы целесообразно рассмотреть все реакции их образования. Следует также отметить, что из диаграмм в координатах Eh-pH, используемых без ссылки на их авторство, не могут служить для оценки содержания золота в водном растворе. Вызывает сомнение, что восстановительным геохимическим барьером является область разгрузки подземных вод в поверхностные водотоки.

Подводя итог вышесказанному, можно сказать, что автором сформулированы теоретические представления об особенностях формирования химического состава подземных вод в экстремальных термодинамических условиях: сверх ( $T$  более  $374^{\circ}\text{C}$ ) и субкритических ( $T$  –  $100 - 374^{\circ}\text{C}$ ) температурах, криогенных ( $T$  – менее  $0^{\circ}\text{C}$ ) и при совместном присутствии в подземных водах окислителей и анионов, образующих лиганды комплексных соединений, обуславливающих миграцию и накопление в зоне гипергенеза золота и элементов группы платины (Pt, Os, Ir).

Из общих замечаний следует отметить очень неудачное разделение использованной литературы по тематике основных глав на три части, тем более что в каждой из них своя нумерация. Не вполне этично, что ссылки в тексте диссертации на литературные источники идентифицируются только номером. Фамилии и инициалы их авторов были бы весьма уместны.

Оценивая работу в целом, можно заключить, что, несмотря на сделанные замечания, рецензируемая диссертационная работа удовлетворяет квалификационным требованиям, предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор – В.Ю. Абрамов – достоин присуждения ему ученой степени доктора геолого-минералогических наук по специальности 25.00.07–гидрогеология.

Автореферат диссертации и опубликованные работы отражают содержание диссертации.

Главный научный сотрудник ИГЭ РАН,  
доктор геол.-мин. наук

Зверев Валентин Петрович

26 октября 2015 г.

Федеральное государственное  
бюджетное учреждение науки  
Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева  
Российской академии наук  
101000 г. Москва, Уланский пер., д.13, стр.2



ПОДПИСЬ  
ЗАВЕРЯЮ.

УЧЁНЫЙ СЕКРЕТАРЬ ИГЭ РАН  
Торговль

Н. А. РУМЯНЦЕВА

26.10.2015