

К методике оценки эндогенной составляющей глубоких подземных вод**Введение**

Проблема генезиса и формирования химического состава подземных вод нижних горизонтов осадочного разреза до сих пор остается дискуссионной, несмотря на многочисленные работы, посвященные этому вопросу,

В большинстве случаев применительно к этим водам рассматриваются элизионно-дегидратационная или инфильтрогенная гипотезы их формирования. При этом в формировании баланса и химического состава этих вод практически не учитывается возможная роль поступления глубинных термальных флюидов из пород фундамента.

Огромное научное и практическое значение этого вопроса не вызывает сомнений, т.к. с глубинными термальными водами генетически связаны месторождения многих рудных ископаемых, а по представлениям ряда авторов также месторождения нефти и газа. Кроме того, сами термальные воды являются ценным сырьем для химической промышленности. Вместе с тем, несмотря на почти вековую дискуссию, ученые далеки от выработки единой точки зрения на происхождение глубинных высокотемпературных вод, а также на величину «вклада» глубинных флюидов в формирование нижних горизонтов осадочного чехла. Нефтегазоносных бассейнов. До сих пор сохраняются крайние точки зрения на эту проблему. Так, Кропоткин П.П. (1986), Войтов Г.И. (1979), Летников Ф.А.(2001) и др. считают, что от верхней мантии идет непрерывный поток водо – водородно – углекислых флюидов, который во многих случаях играет определяющую роль в формировании баланса и химического состава подземных вод нижних горизонтов осадочного чехла. В то же время Овчинников А.М. (1965), Матусевич В.М (1976), Карцев А.А. (1996) и др. считают, что эндогенные воды, под которыми понимают магматические

и метаморфогенные флюиды, составляют ничтожную долю в балансе нижних зон артезианских бассейнов.

Постановка проблемы.

Такая полярность взглядов, вероятно, связана со сложностью выделения критериев, по которым глубокие подземные воды можно было бы разделить на седиментогенно-инфильтрационные и эндогенные. Кроме того, как указывал еще Вернадский В.И. (1960), в природе нет чисто эндогенных вод, т.к. эти воды при своем движении вверх по разрезу неизбежно смешиваются с пластовыми. Поэтому большинство исследователей (Набоко С.А., Карпов Г.А., Трухин Ю.А. и др.) используют термин «гидротермы» для обозначения вод, в составе которых преобладает глубинная, эндогенная составляющая.

Смешение вод, а также концентрирование растворов с глубиной и увеличение их температуры, приводит к тому, что в составе как гидротерм областей современного вулканизма, так и в глубоких пластовых водах нефтегазоносных бассейнов присутствуют значительные количества таких элементов, как бор, бром, редкие, и благородные металлы, а также относительно повышенные содержания аммония, гелия, углекислоты и некоторых других компонентов. Поэтому абсолютные значения компонентов химического состава не могут быть приняты в качестве критерия при определении генезиса подземных вод. Содержание же хлора, фтора, бора, редких металлов, что в своё время Э. Зюссом рассматривалось как признак поступления магматогенных вод, не может считаться таковым, т.к. значительные количества этих элементов накапливаются в седиментогенных водах вследствие концентрирования растворов и взаимодействия с вмещающими породами.

Вместе с тем, ещё в 30 – 40 – х годах XX века Сулин В.А. (1946), а также Виноградов А.П. (1948) обратили внимание на важное генетическое значение некоторых соотношений геохимически сходных компонентов подземных вод. Теоретическим обоснованием этого является то, что в процессе литогенеза первичное соотношение

многих компонентов, накапливающихся в море, т.е. имеющих седиментогенный генезис, в дальнейшем нарушается. Это позволило им предложить несколько коэффициентов (Na/Cl, Cl/Br и др.) в качестве критерия метаморфизма природных вод, которые успешно применяются до настоящего времени.

Попытка использовать соотношения различных компонентов природных вод для определения в их составе эндогенной компоненты, была предпринята Капченко Л.Н. [Капченко Л.Н., 1966]. Им были рассчитаны Na/Cl, Cl/Br, B/Cl, F/Cl и некоторые другие коэффициенты для глубинных рассолов, гидротерм, а также жидких включений в минералах. Однако, полученные результаты были весьма неопределенными и не позволяли сделать однозначные выводы. По нашему представлению, это связано с тем, что Капченко Л.Н. рассматривал отношения основных микрокомпонентов (Br, B, I, As) к хлору, что представляется не совсем верным с методической точки зрения. Дело в том, что хлор является не только основным «седиментогенным» элементом, но также и одним из «эндогенных» компонентов. Так, уже давно доказано [Арсанова Г.И., 1974], что так называемые «перегретые хлоридно – натриевые термы» областей активного вулканизма, представляющие собой почти 100% раствор NaCl, на 90% являются эндогенным флюидом, отделяющимся при остывании и кристаллизации магматических расплавов в глубинных частях земной коры. Таким образом, Cl в значительных количествах может поступать в пластовые воды с эндогенными флюидами, что неизбежно будет «размывать» коэффициенты, в которых используется отношение «элемент/хлор».

Методика исследования.

Представляется, что для определения генезиса глубинных вод можно воспользоваться соотношением элементов, постоянно присутствующих в заметных количествах в большинстве типов подземных вод, но геохимические условия накопления которых достаточно различны. Этим требованиям наиболее соответствуют такие компоненты как бор и бром.

Оба эти элемента присутствуют в океанических водах, в достаточно постоянных количествах: среднее содержание брома составляет около 65 мг/л, среднее содержание бора колеблется в пределах 2-12 мг/л. Однако, условия накопления этих элементов в подземных водах существенно различаются.

Так, содержание брома непрерывно возрастает по мере концентрирования седиментогенно-инфильтрационных растворов, что связано с большей растворимостью бромидов, чем хлоридов. Поэтому, как было показано ещё Валяшко М.Г., содержание брома в природных водах является функцией их минерализации. При этом бром в незначительных количествах переносится высокотемпературными ($> 100^{\circ}\text{C}$) водами, на что указывает его крайне низкое содержание в современных высокотемпературных гидротермах. В последних содержание брома изменяется в пределах 0,2 – 0,5 мг/л, редко достигая 4 – 5 мг/л, [Карпов Г.А., 2005], что более чем на порядок меньше его среднего содержания в океанических водах.

В отличие от брома, растворимость соединений бора резко увеличивается с ростом температуры, поэтому его содержание постоянно велико в высокотемпературных гидротермах, достигая иногда 600 – 800 мг/л, при среднем содержании в хлоридно – натриевых термах 150 – 200 мг/л [Пилипенко Г.Ф., 1974]. Установлено также, что бор в значительных количествах переносится в газо – паровых смесях, в которых коэффициент распределения между жидкостью и паром доходит до 0,25 [Шувалов Р.А., 1974]. Состав пород, из которых может извлекаться бор, имеет, по-видимому, подчиненное значение, по отношению к температурному фактору, т.к. постоянно высокое содержание бора обнаруживается в гидротермах различных областей, локализующихся в породах кислого, среднего и основного составов (табл.1). Хотя, как указывается в работе [Крайнов С.Р., 2004, стр. 480] максимальное количество бора выносятся из глинистых пород. Однако, как установила В.В. Красивцева (1968), вынос бора из пород прежде всего контролируется температурным фактором. По её данным, при температуре 200°C с

водяным паром в присутствии CO_2 отгоняется до 80% бора, содержащегося в осадочной породе, при этом с увеличением температуры увеличивается и выход бора из пород.

Таким образом, если принять среднее значение отношения В/Вг для океанической воды равное 0,08 – 18, то резкое увеличение этого отношения будет свидетельствовать о поступлении бора с высокотемпературными глубинными флюидами. Как допущение принимается, что в процессе метаморфизма седиментогенно-инфильтрогенных вод, «первичное», морское отношение В/Вг должно примерно сохраняться.

Обсуждение результатов.

Анализ рассчитанных значений В/Вг коэффициента для природных вод различного состава, возраста и структурной принадлежности дал следующие результаты.

По значениям В/Вг коэффициента исследованные воды можно разделить на две группы.

Одна группа представляет собой рассолы древних платформ, для которых значения В/Вг коэффициента практически соответствуют таковому для океанической воды и составляют 0,13 – 0,36 (табл. 1). При этом общая минерализация рассолов может достигать 300 – 460 г/л, что свидетельствует о том, что В/Вг отношение незначительно изменяется в процессе метаморфизма подземных вод.

Другую группу составляют термальные воды тектонически активных областей альпийской складчатости и гидротермы областей современного вулканизма. В этих водах В/Вг отношение возрастает до 9,4 – 45,4 (табл. 2) при значениях общей минерализации вод не превышающей 35 г/л. Столь резкое возрастание В/Вг отношения (на два и более порядков) в гидротермах, характеризующихся максимальным содержанием эндогенной компоненты (Уайракей, Паужетское месторождение, - табл. 2), по сравнению с рассолами древних платформ, позволяет уверенно диагностировать поступление эндогенных флюидов в пластовые воды, а также определять генезис вод, неясного происхождения.

Так, например, на нефтяном месторождении Белый Тигр (Вьетнам) , в

гранитоидном фундаменте на глубине около 4300 м были вскрыты воды, имеющие следующую формулу химического состава: $M_{5,1} \frac{Cl_{196} SO_4 2 HCO_3 1,6}{(Na+K)83 Ca16 Mg1}$

Содержание бора и брома в них составляет 147,2 мг/л и 7,2 соответственно. В/Вг отношение равно 20,4. По этому показателю данные воды можно уверенно отнести к глубинным гидротермам, в то время как вьетнамскими геологами [Тьен Х.Д, 1998], они трактовались как воды инфильтрационного генезиса.

Сопоставление значений В/Вг и В/Сl коэффициентов, последний из которых используется при изучении современных гидротерм, показал, что при переходе от глубинных рассолов к современным гидротермам, В/Сl показатель также резко увеличивается, но в меньшей степени, чем В/Вг коэффициент. Так, если В/Сl отношение увеличивается почти ровно на порядок, то В/Вг коэффициент возрастает более, чем в 30 раз. Кроме того, воды тектонически активных областей, достаточно резко различающиеся по В/Вг коэффициенту, имеют в некоторых случаях практически аналогичные значения В/Сl отношения (табл. 1). Наиболее характерны в этом отношении воды Паужетского месторождения, Камчатки (В/Вг отношение равно 45,4) и Сахалина (В/Вг отношение равно 17,8) для которых значения В/Сl коэффициента равны 0,08 и 0,09 соответственно. Таким образом, подтверждается высказанное выше предположение, что изменения соотношения В/Сl будет «отставать» от изменения В/Вг коэффициента, что связано со значительным привнесением хлора эндогенными водами. Вместе с тем, сравнение указанных отношений для различных глубинных природных вод может дать новую интересную информацию об условиях формирования последних.

Выводы.

Таким образом, анализ полученных данных позволяет сделать следующие выводы:

1. В/Вг отношение, характерное для океанической воды, незначительно изменяется в процессах захоронения и метаморфизма седиментогенных и инфильтрационных вод.

2. Глубокие подземные воды древних платформ имеют В/Вг отношение, не превышающее 0,5, что свидетельствует об их седиментогенно-инфильтрационном генезисе. В то же время наличие в нижних частях эпипалеозойских и более молодых артезианских бассейнах маломинерализованных подземных вод со значениями В/Вг коэффициента до 0,9–1,4 и более свидетельствует о том, что в их формировании определенное участие принимают глубинные термальные флюиды.

3. В водах тектонически активных областей альпийской складчатости и в гидротермах областей современного вулканизма значения В/Вг коэффициента увеличиваются до 10 – 45, что свидетельствует о поступлении бора с высокотемпературными эндогенными водами.

4. Значительная (в 30 – 150 раз) разница В/Вг отношения для седиментогенно-инфильтрационных и гидротермальных вод позволяет уверенно диагностировать присутствие эндогенной компоненты в подземных водах.

5. Таким образом В/Вг отношение может использоваться в качестве надежного критерия определения наличия эндогенной составляющей подземных вод.

Литература

Арсанова Г.И. К вопросу о происхождении перегретых хлоридно-натриевых вод молодых вулканических областей – Гидротермальные минералообразующие растворы областей активного вулканизма, Новосибирск, Наука, 1974

Пилипенко Г.Ф. Гидротермы кальдеры Узон – Гидротермальные минералообразующие растворы областей активного вулканизма, Новосибирск, Наука, 1974

Капченко Л.Н. Современное состояние ювенильности глубинных подземных вод, - Литология и полезные ископаемые, 1966, №4

Карнов Г.А. Онтогенез гидротермального процесса, Владивосток, Дальнаука, 2005

Крайнов С.Р., Рыженко Б.Н., Швец В.М. Геохимия подземных вод., М, Наука, 2004

Тьен Х.Д. Гидрогеологические условия м/р Белый Тигр. – Тез. докл.2-ой конференции НИПИ морнефтегаз, г.Вунгтау, 1998.

Шувалов Р.А. Распределение борной кислоты между водой и паром при сепарации пароводяной смеси Паужетского месторождения. -Гидротермальные минералообразующие растворы областей активного вулканизма, Новосибирск, Наука, 1974

Табл. 1 Показатели химического состава подземных вод древних платформ

Компоненты и показатели химического состава	* Оренбургская обл., Р ₁ kg, Гл.4663-4706 м	* Мичиганский бассейн (США), Гл. 1700 м	Тимано-Печорская провинция		Средний состав океанической воды
			Р _{1а-с} Гл.2181-2218	С ₂₊₃ Гл.2345-2368	
К	7502	29070	316	710	387,5
Na	9150	11783	25956	32647,6	10764
Mg	79825	12868	3040	2492,8	1297
Ca	2380	97541	6550	5750	408
Cl	254785	268736	60847	68586	19353
Br	3820	3760	235	281	66
I	24	52	28,6	19,7	0,05
SO ₄	1098	52	42,8	164,6	2701
HCO ₃	2616	-	201,3	183	143
B	1384	491	22	49	2-12
Минерализация, мг/л	362743	428850	97030	110700	35500
Формула ионного состава	$\frac{Cl_{198}}{M_{363} Mg_{90} Na_5}$	$\frac{Cl_{199,4}}{M_{429} Ca_{68} Mg_{15} K_{10} Na_7}$	$\frac{Cl_{199,8}}{M_{97} (Na+K)_{66} Ca_{19} Mg_{15}}$	$\frac{Cl_{199,6}}{M_{110,7} Na_{74} Ca_{15} Mg_{11}}$	$\frac{Cl_{190} SO_4_{9}}{M_{35,5} (Na+K)_{79} Mg_{17} Ca_4}$
B/Br	0,36	0,13	0,09	0,17	0,08-0,18
Cl/Br	66	71	259	244	293
B/Cl	0,005	0,002	0,0004	0,0007	0,0009

* Данные химического состава по [Крайнов С.Р., 2004]

Таблица 2. Показатели химического состава термальных вод районов современного вулканизма и тектонической активности.

Компоненты и параметры химического состава	Уайракей, Новая Зеландия, гл.695 м, T=260 ⁰ C	** Паужетское месторождение, Камчатка, гл.350 м, T=190 ⁰ C	*** Алехинские источники, о. Кунашир, T=54 ⁰ C	**** Сахалин, Синегорский район	**** Малый Кавказ, Атазан
Na	1320	940	190	6566,3	11470
K	225	120	15	124,8	200
Mg	0,03	7	6,7	208	89
Ca	17	119	190	260	738
Cl	2260	1470	170,2	6195,1	18000
Br	6,0	2,8	0,8	31,9	60,4
I	0,3	0	0,02	12,8	13,4
SO ₄	36	164	636,2	36,0	491
HBO ₂	117	127	8,8	572,5	576
HCO ₃	19	61	56,8	8944	2140
M, мг/л	4000,3	2507,8	1344	22951,4	33777,8
Формула химического состава	M _{4,0} <u>Cl</u> 198,8 <u>SO₄</u> 1,2 Na89,5 K9 Ca1,5	M _{2,5} <u>Cl</u> 190,4 <u>SO₄</u> 7,4 <u>HCO₃</u> 2,2 Na82 K6 Ca12	M _{1,3} <u>SO₄</u> 70 <u>Cl</u> 25 <u>HCO₃</u> 5 (Na+K)46 Ca51 Mg3	M ₂₃ <u>Cl</u> 54 <u>HCO₃</u> 46 (Na+K)91 Mg5 Ca4	M _{33,8} <u>Cl</u> 92 <u>HCO₃</u> 6 (Na+K)92 Ca7 Mg1
B/Br	19,5	45,4	11,0	17,8	9,6
Cl/Br	376	490	212	193	298
B/Cl	0,05	0,08	0,05	0,09	0,03

Примечание: данные химического состава по: *[Ellis,1964], ** [Аверьев В.В.,1961], ***[Зотов А.В.,1974], **** [Крайнов Р.С., 2004]

Опубликовано: Вестник МГУ, сер.4, Геология. №1. 2009. С.54-57.