

УДК 556.3.01 (571.1)

Т.А. Киреева¹, Д.И. Буданова²

АНАЛИЗ ГЕНЕЗИСА РАССОЛОВ ФУНДАМЕНТА ЗАПАДНО-СИБИРСКОГО АРТЕЗИАНСКОГО БАССЕЙНА НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГЕНЕТИЧЕСКИХ КОЭФФИЦИЕНТОВ³

Рассмотрены возможные механизмы формирования химического состава вод кристаллического фундамента в ряде юго-восточных районов Западной Сибири. На основе анализа соотношений основных компонентов растворов (генетические коэффициенты) сделан вывод о невозможности объяснить некоторые особенности рассолов фундамента с точки зрения их седиментогенно-инфильтрационного происхождения. Вероятно, часть хлоридно-кальциевых растворов, а также гидрокарбонатно-натриевые воды сформировались в результате поступления в кристаллические породы фундамента эндогенных флюидов, содержащих растворенные HCl и CO₂.

Ключевые слова: воды, нефтяные месторождения, хлоридно-кальциевые рассолы, гидрокарбонатно-натриевые воды, эндогенный флюид.

In work possible mechanisms of formation of a chemical compound of waters of the crystal base of some southeast areas of Western Siberia are considered. On the basis of the analysis of parities of the basic components of solutions (genetic factors), the conclusion about impossibility of an explanation of some features of brines of the base from the point of view of them sedimentogenno-infiltratsionnogo origins becomes. Possibly, a part hloridno-calcium solutions, and also gidrokarbonatno-natrievye waters were generated as a result of receipt in crystal breeds of the base endogenous the fluids containing dissolved HCl and CO₂.

Key words: waters of oil deposits, hloridno-calcium brines, gidrokarbonatno-natrievye waters, endogenous a fluid.

Введение. На большей части территории Западной Сибири подземные воды кроме зоны активного водообмена представлены солеными водами и слабыми рассолами хлор-кальциевого типа с минерализацией, не превышающей 20–30 г/л. Увеличение минерализации по падению пластов (от окраинных зон к центру плиты) и с глубиной, соответствующее нормальной гидрохимической зональности, наблюдается во внешней и окраинных зонах [Матусевич, 1976]. В центральной области, на большей части территории Западной Сибири, на глубине около 3 км при переходе к нижнемеловым неокотским отложениям отмечается уменьшение минерализации до 10–15 г/л, увеличение абсолютного и относительного содержания гидрокарбонат-иона и соответственно изменение типа подземных вод на гидрокарбонатно-натриевый (по классификации В.А. Сулина), что является проявлением инверсионного гидрохимического разреза [Матусевич, 1976]. Кроме того, в ряде районов Западно-Сибирского бассейна, преимущественно в Томской области, в низах осадочного чехла и в кристаллическом фундаменте отмечены рассолы с минерализацией до 50–60 г/л [Розин, 1977].

Происхождение маломинерализованных гидрокарбонатно-натриевых вод, а также глубинных рассолов до сих пор остается дискуссионным. Так, если происхождение последних большинство исследователей [Матусевич, 1976; Кругликов и др., 1982; Карцев и др., 1992] связывают с захоронением и метаморфизмом седиментогенных вод, а происхождение маломинерализованных гидрокарбонатно-натриевых вод объясняют поступлением вод в результате дегидратации глинистых минералов, то другие авторы связывают формирование глубинных рассолов [Розин, 1977] и инверсионных вод [Всеволожский, Киреева, 2009] с поступлением разных типов эндогенных флюидов.

Вместе с тем генезис глубинных вод имеет не только теоретическое, но и важное практическое значение, так как с ними связана миграция углеводородов, а также формирование и сохранение нефтегазовых месторождений.

Постановка задачи. Существуют общепринятые критерии диагностики генезиса рассолов, основанные на анализе так называемых генетических коэффициентов, отражающих соотношения некоторых ионов и их изменение в процессе метаморфизма подземных вод.

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра гидрогеологии, ст. науч. с., канд. геол.-минер. н., e-mail: TA_Kireeva@mail.ru

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра гидрогеологии, магистрант, e-mail: budanova_daha@mail.ru

³ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 10-05-00521а).

По существующим представлениям, глубинные рассолы делятся на два генетических типа — метаморфогенные и инфильтрогенные. Метаморфогенные рассолы образуются при подземном концентрировании первичных морских растворов, захороненных в породах в бассейне седиментации. В результате катагенных преобразований в седиментогенных рассолах происходит уменьшение доли магния и увеличение относительного содержания кальция и брома при одновременном повышении минерализации. Так, если в исходных морских водах отношение Cl/Br равно приблизительно 300, а $r_{Na/rCl} \sim 0,85$, то в седиментогенных рассолах при увеличении минерализации до 200–300 г/л и более значения первого отношения уменьшаются до 80–100, а второго — до 0,6–0,5. Эти изменения отражают концентрирование растворов и накопление в них более растворимых соединений ($NaBr$ и $CaCl_2$) по сравнению с $NaCl$. Второй тип рассолов образуется за счет растворения галогенных отложений инфильтрационными водами. Эти рассолы

даже с минерализацией около 300 г/л имеют значительные отношения Cl/Br более 300 (до 1000) и $r_{Na/rCl}$ около 1. Последнее соответствует стехиометрическому отношению Na и Cl в галите, а высокое значение отношения Cl/Br отражает практическое отсутствие соосаждения бромидов при кристаллизации галита. Инфильтрогенные рассолы не могут встречаться на территории Западной Сибири, так как здесь отсутствовал галогенез.

Большинство авторов даже в последних публикациях, например [Новиков, 2007], делают вывод о генетической принадлежности рассолов глубоких горизонтов Западно-Сибирского бассейна, основываясь только на величине общей минерализации и значениях указанных коэффициентов, не сопоставляя их между собой, т.е. не прослеживая связь между взаимным изменением этих параметров. Не учитывают они и изменение относительного содержания кальция, хотя наиболее важным критерием отнесения рассолов к метаморфогенно измененным (седимен-

Химический состав и значения генетических коэффициентов рассолов фундамента ряда структур юго-восточных районов Западной Сибири

Структура	Компоненты (мг/л) и показатели химического состава												
	М, г/л	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻²	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Na ⁺ +K ⁺	HBO ₂	Br ⁻	$r_{Na/rCl}$	Cl/Br	B/Br	Ca, %-экв.
Арчинская	33,1	20 215	409	106	4048	218	8570	8,8	21,8	0,64	927,29	0,40	35,00
Верхне-Комбарская	50,60	30 240	582	116	2201	234	17 025	43,4	91,7	0,86	329,77	0,47	12,74
Верхне-Салатская	69,20	41 318	1238	32	2341	315	23 889	73,6	159,7	0,90	258,72	0,46	9,88
Герасимовская	52,80	31 595	568	94	1934	245	17 861	36,3	161,8	0,86	195,27	0,22	10,73
Горело-Ярская	54,70	33 090	525	118	2498	220	18 609	57,5	84,4	0,86	392,06	0,68	13,24
Еланская	34,30	20 738	628	50	1393	242	11 836	20	80,5	0,87	257,61	0,25	11,70
Елей-Иганская	19,60	11 103	605	121	731	84	6916	36	34,2	0,91	324,65	1,05	11,24
Западно-Елейская	45,20	27 374	641	42	1723	389	15 643	5,1	97,3	0,87	281,34	0,05	11,01
Западно-Лугинцевская	48,60	29 452	576	66	1722	288	17 096	13,9	99,6	0,88	259,70	0,14	10,24
Калганакская	66,40	40 420	500	62	2325	413	23 602	33,8	127,1	0,88	318,02	0,27	10,13
Калиновская	51,40	31 071	662	62	1314	209	18 810	28,6	148,5	0,92	209,23	0,19	7,40
Калчанская	39,20	22 875	613	80	1400	350	13 540	11,1	54,7	0,88	418,19	0,20	10,67
Киндальская	42,00	25 709	336	38	1948	146	14 309	11,3	63,7	0,86	403,59	0,18	13,33
Лугинцевская	23,30	12 807	576	88	497	80	8568	28,8	58,7	1,02	218,18	0,49	6,68
Мурасовская	60,00	36 785	854	42	2344	462	20 330	9,2	98,8	0,86	372,32	0,09	11,15
Мыльджинская	33,90	19 726	875	40	554	78	12 361	41,2	65	0,97	303,48	0,63	4,85
Нижне-Табаганская	39,70	22 480	648	115	847	224	14 668	64,1	87,7	1,0	256,33	0,73	6,55
Останинская	48,10	26 312	1116	42	1576	160	17 437	43,5	92,3	1,01	285,07	0,47	10,36
Северо-Калиновая	36,20	21 655	915	42	980	216	13 028	66,2	75,3	0,91	287,58	0,88	7,83
Северо-Останинская	46,60	26 373	640	27	1338	626	16 143	48,8	82,9	0,86	318,13	0,59	8,87
Селимхановская	57,10	32 617	915	56	2004	98	18 702	—	—	0,90	0,00	0,00	10,72
Сельвейкинская	53,00	31 942	643	128	2017	248	18 201	129,5	98,1	0,88	325,61	1,32	11,05
Солоновская	37,20	20 600	353	124	969	212	13 561	4,7	94,2	0,91	218,68	0,05	8,23
Тамбаевская	47,60	26 697	650	116	1691	150	17 165	89	141,1	0,99	189,21	0,63	11,05
Толпаровская	64,20	38 839	293	104	1857	182	24 227	30	139,4	0,92	278,62	0,22	8,43
Урманская	39,60	23 636	720	137	1561	505	12 086	71,7	88,6	0,83	266,77	0,81	11,47
Чавгинская	21,40	12 621	546	28	1202	25	7214	24,6	33,9	0,86	372,30	0,73	16,46
Чкаловская	57,40	34 645	629	83	2838	309	18 464	50,4	100,6	0,84	344,38	0,50	14,36
Широтная	24,60	14 555	482	39	664	138	8707	3,2	57	0,82	255,35	0,06	7,93
Южно-Тамбаевская	59,70	36 210	140	20	1680	279	21 235	8	186	0,90	194,68	0,04	8,21

Примечание. Содержание компонентов по [Новиков, 2007]; прочерк — данные отсутствуют.

тогенным) — практически прямая зависимость увеличения содержания Са (в %-экв.) при повышении минерализации. В частности, именно этот критерий выбран в работе [Крайнов и др., 2004] для доказательства седиментогенного происхождения рассолов кристаллических пород Канадского щита.

Методы и результаты исследований. Для уточнения генезиса глубинных вод фундамента Западно-Сибирского бассейна проанализировано взаимное изменение характерных коэффициентов рассолов, полученных из кристаллических пород палеозойского фундамента ряда структур в юго-восточных районах Западно-Сибирского бассейна (таблица). Были рассчитаны коэффициенты Cl/Br, rNa/rCl и B/Br, а также значения содержания Са (в %-экв.), которые сравнили со значениями общей минерализации.

В результате установлено, что большую часть растворов можно отнести к слабопреобразованным седиментогенным рассолам, на что указывает изменение коэффициента Cl/Br в пределах 194,7–329,8 и отношения rNa/rCl в пределах 0,73–0,88 (таблица). Однозначную (обратную) зависимость коэффициента Cl/Br и общей минерализации, которая должна быть свойственна седиментогенным рассолам, установить не удалось (рис. 1), что связано с небольшим интервалом значений минерализации, так как значительное уменьшение коэффициента Cl/Br отмечается у рассолов с минерализацией более 200 г/л [Самарина, 1977].

Более информативным оказалось отношение общей минерализации и содержания Са (в %-экв.), оно показало прямую зависимость между этими показателями (рис. 2), которая отражает проявление процессов метаморфизма седиментогенных рассолов. Исключение составили воды структуры Арчинская, для которых при значениях минерализации 33,10 г/л коэффициент rNa/rCl равен 0,64, содержание Са (в %-экв.) составляет 35,0, а отношение Cl/Br — 927 (таблица). По соотношению этих показателей

подземные воды Арчинской структуры нельзя отнести ни к седиментогенным рассолам, ни к рассолам растворения соленосных отложений. Действительно, при достаточно низком значении коэффициента rNa/rCl и высоком содержании Са, что обычно характеризует глубоко преобразованные рассолы с минерализацией более 200 г/л [Крайнов и др., 2004], эти воды имеют минерализацию даже менее «морского» значения. Кроме того, отношение Cl/Br этих вод очень высокое, значительно выше, чем для морской воды, что обычно отмечается для рассолов инфильтрационного происхождения, которые на территории Западной Сибири присутствовать не могут.

Вместе с тем эти «аномальные» рассолы обнаруживают определенное сходство с техногенными рассолами выщелачивания, которые образуются на нефтяных месторождениях при закачке в пласты растворов HCl для растворения карбонатного цемента песчаников или расширения каналов фильтрации в карбонатных коллекторах с целью интенсификации нефтедобычи. Отличительные признаки этих техногенных вод — крайне низкие значения rNa/rCl (до 0,2 и ниже), что соответствует присутствию Ca⁺² в количестве более 50%-экв., и одновременно высокие значения Cl/Br (до 2000) [Муляк и др., 2007]. Такие особенности объясняются тем, что эти рассолы образуются в основном при растворении CaCO₃ соляной кислотой, поэтому результирующий раствор обогащен Ca⁺² и Cl⁻ при обеднении Br⁻ (высокое значение отношения Cl/Br), так как карбонатный материал содержит незначительное количество бромных соединений. Таким образом, правомерно предположить, что наблюдаемые «аномальные» рассолы в кристаллическом фундаменте Западной Сибири, для которых отмечено снижение коэффициента rNa/rCl при одновременном увеличении отношения Cl/Br, образуются при природных процессах, сходных с техногенными, т.е. при выщелачивании карбонатного материала пород флюидами, насыщенными HCl. По-

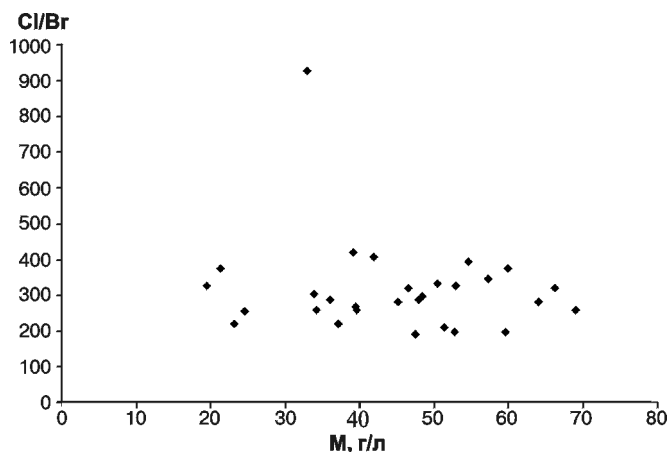


Рис. 1. Соотношение значений отношения Cl/Br и общей минерализации рассолов фундамента юго-восточных районов Западной Сибири

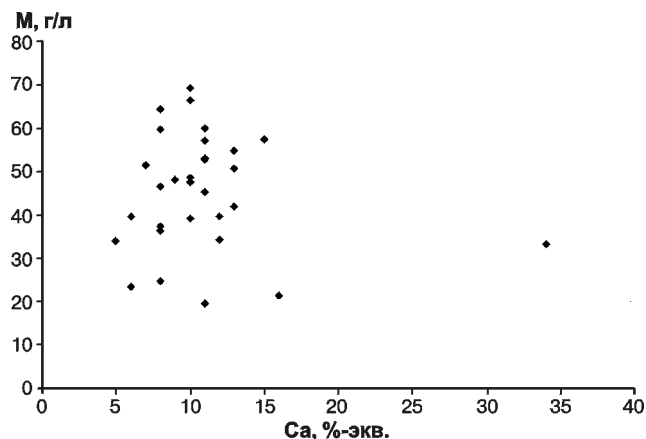


Рис. 2. Соотношение значений общей минерализации и содержания Са (%-экв.) в рассолах фундамента юго-восточных районов Западной Сибири. Треугольники — величины, которые не соответствуют общей закономерности (структуры Арчинская и Чагинская)

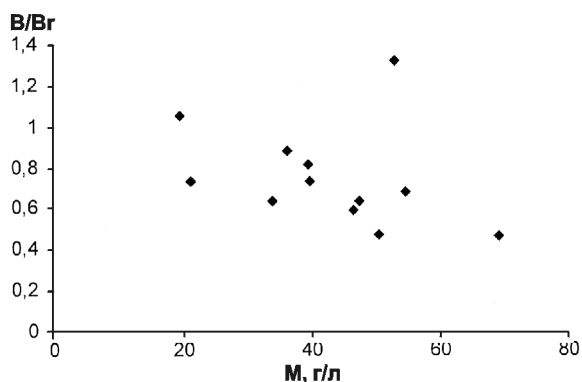


Рис. 3. Соотношение значений коэффициента V/Br и общей минерализации рассолов фундамента юго-восточных районов Западной Сибири. Зависимость построена для значений отношения $V/Br > 0,4$

добные растворы существуют в областях активного вулканизма и образуются в результате растворения в поверхностных водах высокотемпературных (более 400 °С) вулканических газопаровых эсгалаций, содержащих до 15–20% хлороводорода [Набоко, 1974]. Существование подобных глубинных вод вполне вероятно и в приразломных зонах кристаллического фундамента. В рассматриваемом случае Арчинская структура как раз расположена в непосредственной близости от разлома [Новиков, 2007].

Другая особенность исследуемых вод — увеличение в большинстве случаев отношения V/Br до значений 0,6–0,8 и даже до 1,05 и 1,32 (для площадей Елей-Иганская и Сольвейкинская соответственно). Под отношением V/Br понимается отношение содержания бора в виде иона HBO_2 к содержанию брома в виде бромид-иона, так как именно в таком виде эти элементы определяются в большинстве химических анализов. Пересчет на «чистый» бор не производился для упрощения расчетов и как не имеющий принципиального значения. Ранее отмечалось [Киреева, 2009], что для глубоких седиментогенных вод характерны значения этого отношения, равные или менее соответствующего значения для морских вод (т.е. не более 0,08–0,20), значительное же увеличение отношения V/Br свидетельствует о поступлении в зону седиментогенных рассолов высокотемпературных эндогенных флюидов, насыщенных CO_2 . Подобное увеличение отношения V/Br отмечено в инверсионных водах низов осадочного чехла ряда областей Западной Сибири, что позволило предположить формирование инверсионных вод в результате поступления высокотемпературных глубинных флюидов [Всеволожский, Киреева, 2009].

Протекание подобных процессов, т.е. поступление эндогенных маломинерализованных газопаровых флюидов, вполне возможно и при формировании рассолов в кристаллическом фундаменте. Вероятно,

именно с этим процессом связано отмеченное для ряда структур (Тамбаевская, Нижне-Тамбаевская, Останинская, Мыльджинская, Лугинецкая) увеличение коэффициента rNa/rCl до значений, равных 1 и более, что соответствует переходу вод к гидрокарбонатно-натриевому типу (по классификации В.А. Сулина). Подобную смену типа вод, как уже указывалось, большинство исследователей трактуют как разбавление пластовых вод «возрожденными» водами катагенеза (что невозможно в случае локализации вод в кристаллических породах) или разбавление инфильтрационными водами. В исследуемых же водах выявлена тенденция к увеличению отношения V/Br при снижении минерализации (рис. 3), что невозможно при разбавлении инфильтрационными водами и характерно для высокотемпературных гидротерм.

Заключение. На большинстве изученных территорий воды палеозойского фундамента в юго-восточных районах Западной Сибири имеют седиментогенное происхождение, на что указывают значения общей минерализации, составляющие 21–69 г/л, величины отношения Cl/Br и rNa/rCl , изменяющиеся в пределах 250–370 и 0,83–0,88 соответственно.

На одной из структур, расположенных в приразломной зоне, зафиксированы «аномальные» воды, которые нельзя отнести к седиментогенным рассолам, так как при минерализации 33,1 г/л они имеют значение отношения Cl/Br , равное 927,3, а $rNa/rCl = 0,64$, что соответствует содержанию 35%-экв. Са.

Предположительно, эти «аномальные» воды образовались в результате выщелачивания карбонатных минералов вмещающих пород высокотемпературными эндогенными водами, содержащими растворенный хлороводород, что объясняет их обогащенность кальцием при низком значении общей минерализации и содержании брома значительно меньшем, чем в морской воде (21,8 мг/л).

Примерно на половине исследованных площадей (53%) отмечены воды, в которых значение отношения V/Br больше 0,5 (в некоторых случаях до 1,0–1,32), что значительно превышает значения, характерные для вод седиментогенного происхождения (0,1–0,2), это может свидетельствовать о поступлении глубинных маломинерализованных гидрокарбонатно-натриевых флюидов.

Отмеченные особенности рассолов фундамента на ряде структур в юго-восточных районах Западной Сибири, вероятно, свидетельствуют о том, что они формировались в результате смешения седиментогенных растворов с глубинными эндогенными газопаровыми флюидами как хлороводородного, так и гидрокарбонатного типа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Всеволожский В.А., Киреева Т.А.* К проблеме формирования инверсий гидрогеохимической зональности // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2009. № 5. С. 19–25.
- Карцев А.А., Вагин С.Б., Шугрин В.П.* Нефтегазовая гидрогеология. М.: Недра, 1992. 207 с.
- Киреева Т.А.* К методике оценки эндогенной составляющей глубоких подземных вод // Там же. 2009. № 1. С. 54–57.
- Крайнов С.Р., Рыженко Б.Н., Швец В.М.* Геохимия подземных вод. М.: Наука, 2004. 677 с.
- Кругликов Н.М., Нелюбин В.В., Яковлев О.Н.* Гидрогеология Западно-Сибирского нефтегазоносного мегабассейна и особенности формирования залежей углеводородов. Л.: Недра, 1985. 279 с.
- Матусевич В.М.* Геохимия подземных вод Западно-Сибирского нефтегазоносного бассейна. М.: Недра, 1976. 156 с.
- Муляк В.В., Порошин В.Д., Гаттенбергер Ю.П.* и др. Гидрохимические методы анализа и контроля разработки нефтяных и газовых месторождений. М.: ГЕОС, 2007. 244 с.
- Набоко С.И.* Химические типы вулканических вод // Состав и генезис минералообразующих гидротермальных растворов областей активного вулканизма. Новосибирск: Наука, 1974. С. 8–14.
- Новиков А.Д.* Равновесие палеозойских рассолов юго-востока Западной Сибири с углеводородными залежами // Нефтегазовая гидрогеология на современном этапе. М.: ГЕОС, 2007. С. 92–109.
- Розин А.А.* Подземные воды Западно-Сибирского артезианского бассейна и их формирование. Новосибирск: Наука, 1977. 103 с.
- Самарина В.С.* Гидрогеохимия. Л.: Изд-во ЛГУ, 1977. 359 с.

Поступила в редакцию
26.10.2010