

ПРИРОДА ВЕРТИКАЛЬНОЙ ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКОЙ ЗОНАЛЬНОСТИ
НЕФТЕГАЗОНОСНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ

(на примере *Надым-Тазовского междуречья, Западная Сибирь*)

С.Л. Шварцев, Д.А. Новиков

Томский филиал Института геологии нефти и газа СО РАН, 634021, Томск, просп. Академический, 3, Россия

Приводятся результаты исследования геохимии подземных вод нефтегазоносных ступенчатой обширного региона с различными типами вертикальной гидрогеохимической зональности. Показано, что природа последней определяется двумя основными факторами: генетическим типом подземных вод и характером взаимодействия воды с горными породами и органическим веществом, которые, в свою очередь, являются продуктом геологической истории региона. Подземные воды по генезису разделены на четыре типа: 1) седиментогенные (юрские); 2) седиментогенные (из палеозойского фундамента); 3) древние инфильтрационные и 4) конденсационные. Химический состав каждого из этих типов вод в значительной мере изменен за счет взаимодействия с горными породами, газами и органическим веществом, а также за счет смешения с водами других генетических типов. Различная последовательность смены с глубиной генетических типов вод разной степени метаморфизации и смешения определяет характер прямой, обратной или более сложной гидрогеохимической зональности в регионе.

Подземные воды, химический состав, нефтяная гидрогеология, вертикальная гидрогеохимическая зональность, генезис воды, формирование состава, гидрогеохимия.

THE NATURE OF VERTICAL HYDROGEOCHEMICAL ZONING OF PETROLEUM DEPOSITS

(*exemplified by the Nadym-Taz interfluvium, West Siberia*)

S.L. Shvartsev and D.A. Novikov

Geochemistry of underground waters of petroliferous deposits was studied in a vast region with different types of vertical hydrogeochemical zoning. It has been shown that the zoning nature is governed by two main factors: the genetic type of underground waters and character of water interaction with rocks and organic matter, which are, in turn, the products of the geological history of the region. According to genesis, the groundwaters are divided into four types: (1) sedimentogenetic Jurassic, (2) sedimentogenetic from the Paleozoic basement, (3) ancient infiltrated, and (4) condensated. The chemical composition of each of these types of water is considerably altered by water interaction with rocks, gases, and organic matter, as well as by mixing with waters of other genetic types. Different successions of genetic types of waters subjected to different grade metamorphism and mixing at depth are responsible for the character of direct, inverse, or more complicated hydrogeochemical zoning in the region.

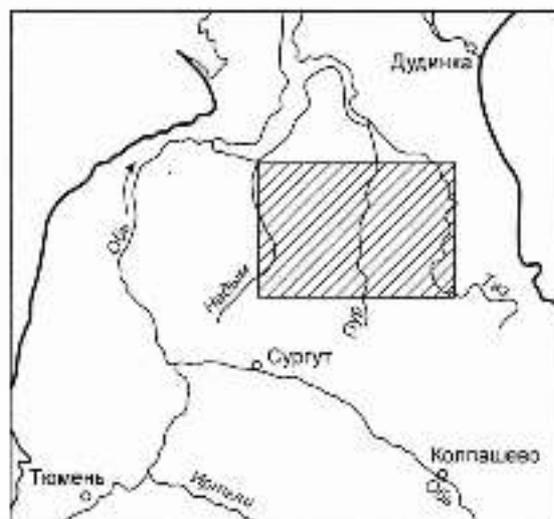
Underground waters, chemical composition, oil hydrogeology, vertical hydrogeochemical zoning, water genesis, composition formation, hydrogeochemistry

ВВЕДЕНИЕ

Природа вертикальной гидрогеохимической зональности нефтегазоносных бассейнов в последние годы вызывает повышенный интерес исследователей. Применительно к Западно-Сибирскому артезианскому бассейну это связано с тем, что на севере этого региона установлено значительное количество геологических структур с инверсионной гидрогеохимической зональностью, что, по мнению ряда специалистов, не укладывается в рамки классической гидрогеологии, согласно теоретическим положениям которой в артезианских бассейнах солёность вод с глубиной должна расти, поскольку в этом направлении уменьшается водообмен.

Одним из первых, кто обратил внимание на сложное поведение солёности вод с глубиной в разных геологических структурах, был А.Э. Конторович со своими сотрудниками [1–4]. Так, обобщая данные по гидрогеологии неокома Широкого Приобья (Нижневартовский и Сургутский своды, Александровский мегавал, Салымское куполовидное поднятие), А.Э. Конторович еще в середине пятидесятых годов прошлого столетия показал „отсутствие в подавляющем большинстве случаев зависимости состава вод

Рис. 1. Схема расположения региона исследований.



от глубины залегания водоносных пластов" [4, с. 383]. Исключение составляет HCO_3 , количество которого возрастает вниз по разрезу с коэффициентом корреляции 0,40–0,65. В то же время содержания Na, например на Салымском поднятии, с глубиной уменьшаются. По всем этим структурам общая минерализация вод с глубиной существенно не меняется (коэффициент корреляции 0,1–0,4), а опять же на Салымском поднятии уменьшается.

Для подземных вод юрского водоносного комплекса в центральной части Западно-Сибирской плиты им выделено три субмеридиональные зоны с разным поведением солености и содержанием отдельных элементов. Первая распространяется от Колтогорского мегапрогиба на западе до Усть-Тымской впадины на востоке. Вторая зона занимает территорию Нижнеартмовского, Каймысовского, восточной части Сургутского сводов, Верхнедемьянского мегавала и Юганской впадины. Третья зона располагается в пределах Ханты-Мансийской и Надымской мегавпадин и прилегающих к ним склонов крутых пологих структур [4, с. 379]. В первой зоне развиты воды с минерализацией 50–80, во второй — 20–30, а в третьей — 10–20 г/л. А.Э. Конторович одним из первых также обратил внимание на снижение солености вод на севере плиты. Опираясь на данные Г.Д. Гинсбурга и Г.А. Ивановой, он констатировал наличие на этой территории инверсионной гидрогеохимической зональности.

Позже проблемами гидрогеохимической зональности Западно-Сибирского мегабассейна занимались А.А. Карпов, Н.М. Кругликов, В.М. Матусевич, В.В. Нелюбин, А.А. Розня, С.И. Сергиенко, Б.П. Ставицкий, О.В. Шиганова, О.Н. Яковлев и др. [5–10]. Так, Н.М. Кругликов с соавторами пришел к следующему выводу: в южных и юго-восточных районах Западно-Сибирской плиты «распространен прямой тип гидрогеохимической зональности, в пределах Ханты-Мансийской, Надымской впадин и на крайнем севере территории — инверсионный, который на отдельных участках осложняется увеличением минерализации в низах осадочного чехла вплоть до слабых рассолов» [7, с. 103]. Природу наблюдаемой зональности эти авторы объясняют влиянием двух факторов: подтока рассолов из палеозойского фундамента в мезозойский чехол и разбавлением седиментационных рассолов пресными конденсационными водами, «образующимися при конденсации паров воды из мигрирующей водоуглеродной смеси. В результате возникают локальные гидрогеохимические инверсии...» [7, с. 107–108].

Взгляды, близкие работам А.Э. Конторовича, развил В.М. Матусевич с соавторами [8, 9]. В пределах внутренней гидрогеологической зоны Западно-Сибирского артезианского бассейна ими выделено три основных типа водоносных систем: 1) инфильтрационная (восточная и юго-западная); 2) элизионная литостатическая (западная и северная); 3) элизионная геодинамическая. Первая из зон, по мнению этих авторов, имеет черты классического артезианского бассейна с нормальной вертикальной зональностью. Вторая зона «представляет собой реликтовую эксфильтрационную геогидродинамическую систему, не оформившуюся в водоносную систему классического (инфильтрационного) типа» [8, с. 119]. Третья зона приурочена к Омско-Гыданской рифтовой структуре и характеризуется неустойчивостью состава вод, гидродинамического режима и гидрогеохимической зональности.

Чтобы разобраться в непростом вопросе вертикальной зональности, рассмотрим более подробно гидрогеохимические особенности Надым-Тазовского междуречья (рис. 1), которое охватывает одновременно все три типа ранее выделенных водоносных систем [8].

ГЕОЛОГО-ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РЕГИОНА

Геологический разрез Надым-Тазовского междуречья представлен песчано-глинистыми отложениями мезозойско-кайнозойского осадочного чехла общей мощностью 3–5 км, которые на севере подстилаются вулканогенно-осадочным комплексом триаса, а на юге в разной степени метаморфизированными породами палеозойского фундамента, преимущественно карбонатного и терригенно-карбонатного составов [4, 10, 16, 17]. Фундамент рассматриваемого региона делят на два блока, условно названных В.С. Сурковым Восточным и Западным, которые разделены относительно узким (30 км) и неглубоким (0,4 км) Среднепурским мегапрогибом, пространственно совпадающим с зоной Колтогорско-Уренгойского грабен-рифта [10, 16, 17].

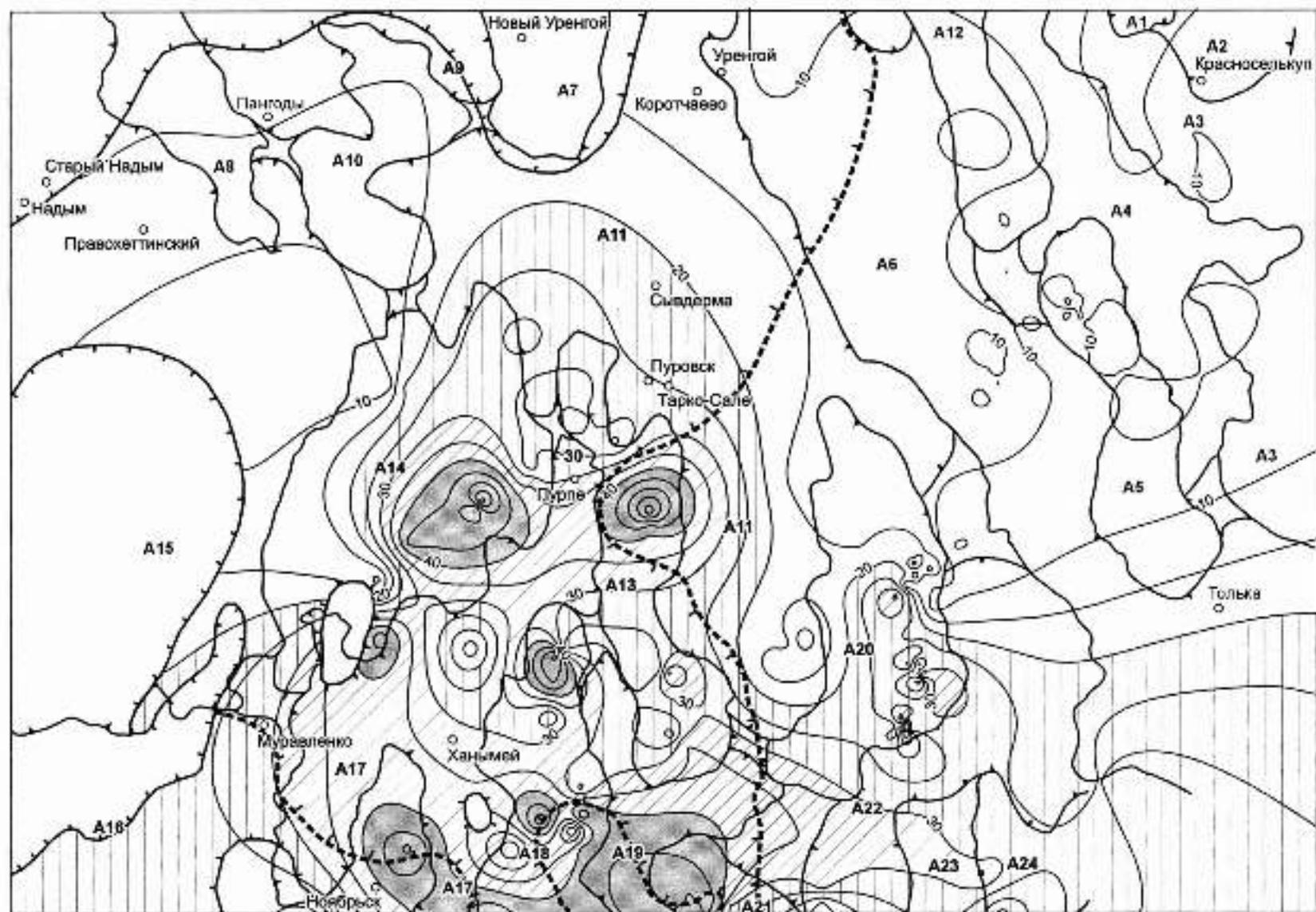


Рис. 2. Гидрогеологическая схема окфюрского регионального резервуара (пласт Ю).

1 — изоплеchia минерализации пластовых вод; участки с различной общей минерализацией (табл. 2) — менее 20, 3 — 20, 4 — 30, 5 — 40, 6 — более 40; а — литкальные структуры I порядка; А1 — Нижнетагильская мегапластина, А2 — Соловьевско-Сургутская козолища, А3 — Крипосельгитский выступ, А4 — Среднегайский метаволк, А5 — Тюменский метаволк, А6 — Халмыжская козолища, А7 — Нижнепурский метаволк, А8 — Мелководный метаволк, А9 — Пертуринская мегапластина, А10 — Тюменский кол. анал., А11 — Среднепурский метаволк, А12 — Часельский метаволк, А13 — Етыпуровский метаволк, А14 — Северный свод, А15 — Подольская мегапластина, А16 — Северо-Сургутская козолища, А17 — Покуровско-Амугутинский метаволк, А18 — Нижнепуровский метаволк, А19 — Ярайнерско-Етыпуровский метаволк, А20 — Харамурский метаволк, А21 — Тазовский метаволк, А22 — Верхнегайский метаволк, А23 — Верхнекозыльинская козолища, А24 — Верхнегайский метаволк; 7 — контур выделенных в промывном комплексе окфюрского резервуара (пласт Ю); 8 — зона аномально высоких пластовых давлений.

Согласно „Тектонической карте осадочного чехла части Западно-Сибирской плиты“ (ИИГ СО РАН, ред. А.Э. Конторович, 1997 г.), в пределах Надым-Тазовского междуречья выявлено 24 структуры I порядка, 11 структур связи и 44 структуры II порядка (рис. 2) [11, 12]. Наиболее крупным структурным элементом является Надымская мегапластина общей площадью около 23 тыс. км² [11].

В соответствии с принятой гидрогеологической стратификацией [7, 18] в разрезе нижнего гидрогеологического этажа Надым-Тазовского междуречья выделяются четыре основных гидрогеологических комплекса: апт-альб-сеноманский, неокомский, верхнеюрский и нижнесреднеюрский, геология и нефтегазоносность которых подробно описана в работах [4, 10, 16, 17], а подземные воды — в [4, 5, 7, 18, 19]. Поэтому здесь лишь подчеркнем, что геологический разрез платформенного чехла сложен чередованием континентальных и морских отложений. Преимущественно континентальными являются отложения покурской, тюменской, хотутинской, ягельной и береговой свит, морскими — баженовской, георгиевской, васюганской и сиговской свит и их возрастных аналогов, переходными — все остальные. При этом нижнесреднеюрские отложения в соответствии с фашиальным районированием приурочены к Обь-Газовской переходной области, осадки которой принадлежат к прибрежно-морским с участием континентальных, сформировавшиеся в мелководной части шельфа, на дельтовых платформах и их склонах, в лагунах, на прибрежно-морских равнинах, занятых озерами, болотами и низовьями речных долин [10].

В нефтегазоносных отложениях Надым-Тазовского междуречья развиты соленоватые, соленые воды и редко слабые рассолы с общей минерализацией до 64 г/л хлоридно-натриевого и хлоридно-гидрокарбонатно-натриевого состава (табл. 1). Наиболее соленые их разности приурочены к верхнеюрским отложениям, а вниз и вверх по разрезу соленость вод уменьшается. Все воды содержат газы метанового состава с содержанием CH₄ > 80 об.%. Газонасыщенность вод растет с глубиной от 0,3—3,0 л/л в апт-альб-сеноманском до 0,9—5,7 л/л в нижнесреднеюрском комплексах.

Основной гидродинамической особенностью этой части Западно-Сибирского мегабассейна является широкое развитие аномально высоких пластовых давлений (АВПД) как в юрских, так и в вышележащих, вплоть до неокомских горизонтах (см. рис. 2). Случаи повышенных и аномально высоких давлений следует трактовать как признак высокой степени закрытости недр, характерной для гидрогеологической системы элизионного типа. Особенно широко АВПД развиты в юрских водоносных комплексах. Они доминируют в западных и центральных районах в верхнеюрских отложениях, в центральных и северных районах в нижнесреднеюрских.

В целом комплексы гидродинамически изолированы друг от друга мощными флюидоупорами. Их изолированность нарушается лишь на локальных участках, где развиты многочисленные разломы и тектонические нарушения или литологические окна. При этом даже в пределах отдельных комплексов гидродинамические условия довольно изменчивы и позволяют выделять гидродинамически обособленные друг от друга блоки и участки [19].

ГЕОХИМИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

В пределах каждого водоносного комплекса распределение солености подземных вод носит сложный, но достаточно закономерный характер. В верхнеюрских отложениях наиболее соленые воды развиты на юге региона и приурочены к структурам Вынгапуровского, Тагринского мегавалов, Северо-Сургутской моноклинали и Ярайнерско-Етыпуровского мегапрогиба. На запад, восток и особенно на север общая минерализация вод уменьшается, хотя и с разной интенсивностью (см. рис. 2). Важно обратить внимание, что снижение солености вод происходит не столько в меридиональном направлении, сколько в широтном. Все структуры южной части региона содержат воды с соленостью значительно выше 20 г/л, часто выше 30 г/л и реже выше 40 г/л. Максимально установленная соленость составляет 64 г/л (Северный свод). В то же время в структурах северной части (Медвежий мегавал, Нижнепурский мегавал, Часельский мегавал, Средне-

Таблица 1.

Гидрогеологическая характеристика водоносных комплексов

Показатель	Водоносные комплексы			
	аит-альб-сеноманский	неокомский	верхнеюрский	нижнесреднеюрский
	Покурская свита	Таштауовская, сарытская свиты и их возрастные аналоги	Явостанская, пастганская свиты и их возрастные аналоги	Тюменская, погужанская, ягельная, бергская свиты
	ПК ₁₋₂₄	АП ₁₋₁₁ , БП ₁₋₂₄ , БТ ₂₋₁₆ , БУ ₈₋₁₈ , БВ ₀₋₁₂ , БС ₇₋₁₀ , АЧ ₁₋₄ и др.	Ю ₁	Ю ₂₋₂₃
Мощность, м	800—1350	1000—1450	50—500	700—1600
Температура, °С	15—75	50—107	70—114	81—146
Пластовые давления, МПа	4—23	10—42	24—46	19—94
$P_{пл}/P_{гидр}$	0,72—1,18	0,85—1,41	0,89—1,47	0,95—1,72
Солевой состав вод (по С.А. Цуцареву)	Хлоридный натриевый, хлоридно-гидрокарбонатный натриевый			
Минерализация, г/л	2—26 (13,9)	2—44 (11,7)	3—64 (22,8)	2—53 (15,5)
nNa/Cl (среднее)	0,72—1,21 (0,99)	0,56—1,75 (1,06)	0,81—2,05 (1,05)	0,91—1,42 (1,15)
Cl/Br (среднее)	150—420 (243)	143—798 (234)	110—682 (287)	76—2076 (289)
Газонасыщенность, г/л	0,3—3,0	0,3—5,4	0,5—3,6	0,9—5,7
Водорастворенные газы	Метановые			
Число залежей	433	1969	322	186

пурский мегапрогиб, Надымская метавпадина) развиты воды с соленостью преимущественно 8—12 г/л, т.е. значительно ниже 20 г/л.

Такая же картина характерна и для нижнесреднеюрских отложений, хотя в целом соленость вод здесь ниже, и площади, занятые водами с общей минерализацией 20 г/л, значительно меньше. Широтная зональность выражена четко. При этом границы падения солености с юга на север в верхнеюрских и нижнесреднеюрских отложениях в значительной степени совпадают. В нижнесреднеюрском водоносном комплексе также выделяется ряд аномалий с величиной общей минерализации >30 и 40 г/л при фоне 15 г/л. Всего выявлено четыре аномалии с минерализацией >30 г/л. Они приурочены к структурам Северного свода, Етышуровского и Вынгапуровского мегавалов и Ярайнерско-Етышуровского мегапрогиба. В пределах Вынгапуровского мегавала выявлены также две аномалии с величиной общей минерализации >40 г/л.

В аит-альб-сеноманском водоносном комплексе широтная граница изменения солености вод выражена значительно слабее, так как здесь происходит выравнивание значений общей минерализации на уровне несколько ниже 20 г/л, за исключением территории Медвежьего мегавала. В неокомском комплексе картина сложнее, что объясняется влиянием значительных по запасам скоплений нефти и газа. При фоновой солености 12 г/л четко выделяются аномалии двух уровней: 20—30 и >30 г/л. Всего установлено восемь таких аномалий — шесть с минерализацией 20—30 г/л, приуроченных к восточному борту Верхнетолькинского мегавала, южной оконечности Хадарьяхинской моноклинали, центральной части Вынгапуровского мегавала, Северо-Сургутской моноклинали, Харампурскому мегавалу и Северному своду, и две аномалии с величиной общей минерализации >30 г/л — Тыринский мегавал и Перутинская метавпадина.

Выявленная разная картина распределения солености вод на севере и юге региона подтверждается и результатами анализа ее зависимостей от глубины залегания водоносных горизонтов (рис. 3). Так, если на севере региона уменьшение солености вод с глубиной выражено достаточно четко (см. рис. 3, б), то на юге картина значительно сложнее (см. рис. 3, а): в пределах глубин 1000—2500 м соленость вод с глубиной растет незначительно, затем в верхнеюрских отложениях этот рост выражен ярко, особенно на глубинах 2800—3200 м, а ниже (нижнесреднеюрские отложения) он становится инверсионным, хотя и не во всех геологических структурах [19].

Выявленные закономерности более четко прослеживаются на примере отдельных геологических структур. Так, южные структуры (Харампурский и Тыринский мегавалы) характеризуются прямой гидрогеохимической зональностью в пределах меловых и верхнеюрских отложений (рис. 4), которая ниже переходит в инверсионную (см. рис. 4, а) [20]. В то же время практически все северные структуры

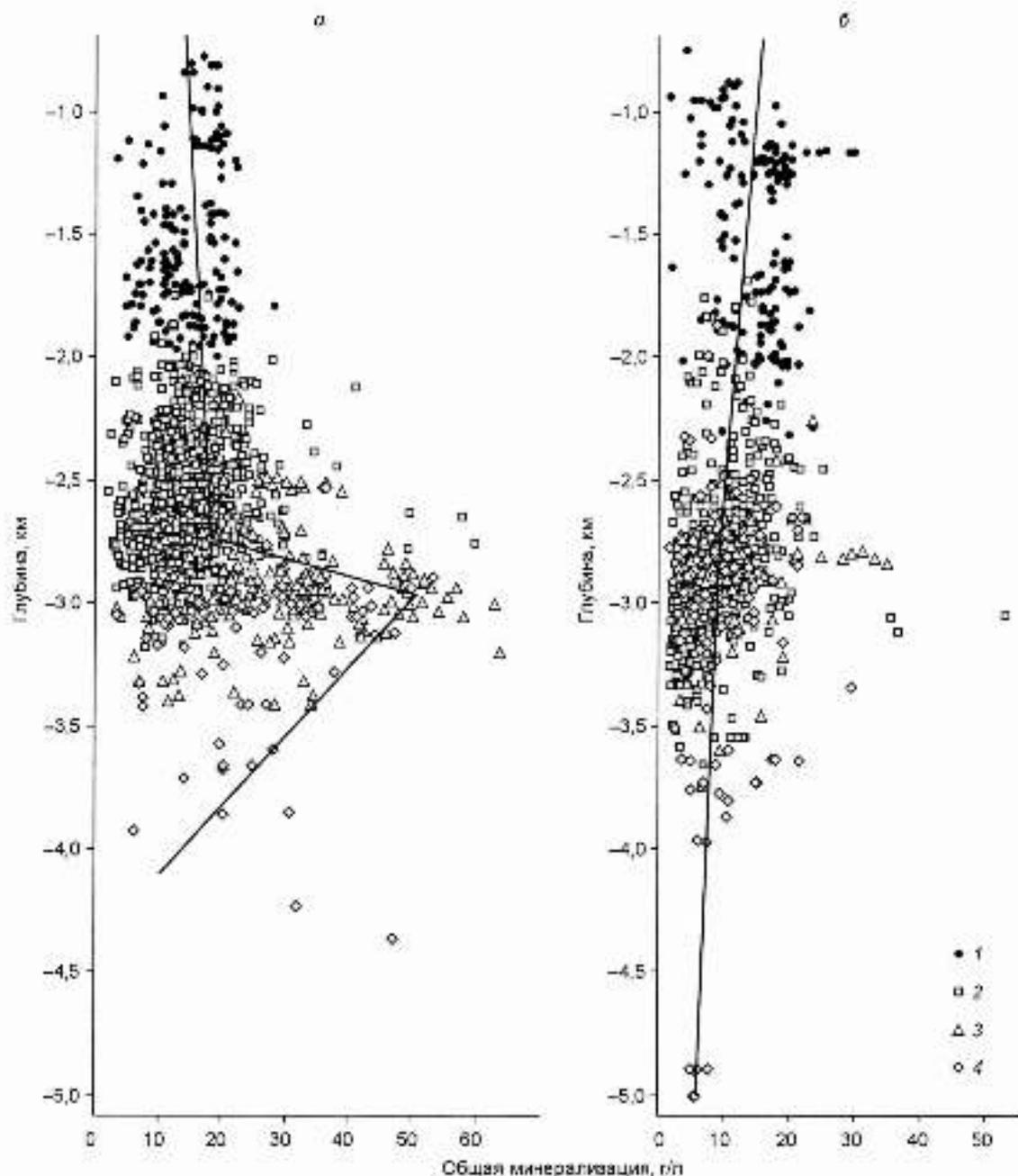


Рис. 3. Зависимость общей минерализации подземных вод от глубины залегания водоносных горизонтов в пределах южных (а) и северных (б) частей региона.

Водоносные комплексы: 1 — плт-альб-сезонавский, 2 — неокомский, 3 — верхнеюрский, 4 — нижнесреднеюрский.

отличаются наличием инверсионной гидрогеохимической зональности по всему нефтегазоносному разрезу (рис. 5).

Итак, вертикальная гидрогеохимическая зональность на севере и юге рассматриваемого региона различна. И это не связано с влиянием рифтовых зон, так как распределение солености не подчиняется меридиональной зональности. Чтобы разобраться с природой этого явления рассмотрим внимательнее состав солоноватых и слабосоленых вод, развитых в нижнесреднеюрских отложениях.

Проведенный анализ показал, что развитые в этих отложениях воды неоднородны по составу, при близкой солености (4—12 г/л) они значительно различаются Cl/Vg коэффициентом, значения которого изменяются от 76 до 2074. В этой связи все воды были разделены по этому показателю на четыре группы: 1) < 150; 2) 150—300; 3) 300—1000 и 4) >1000 (табл. 2).

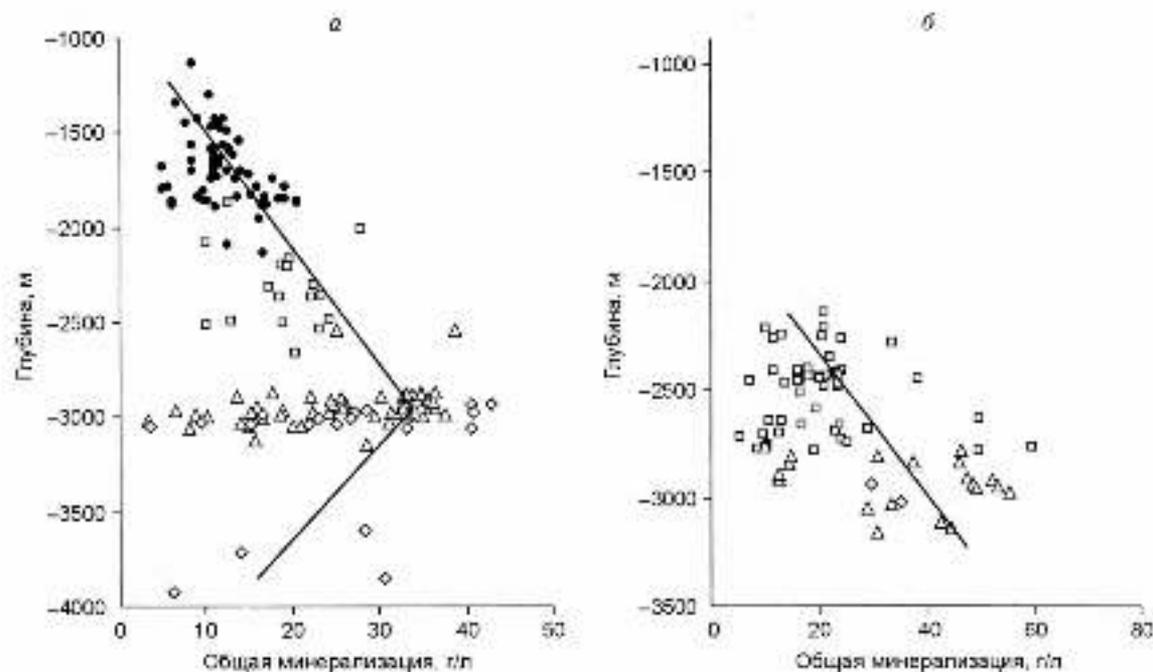


Рис. 4. Зависимость общей минерализации подземных вод от глубины залегания водоносных горизонтов в пределах Харампурского (а) и Тагринского мегавала (б).

Усл. обозн. см. на рис. 3.

Анализ данных этой таблицы показывает, что с ростом значений Cl/Br коэффициента соленость вод меняется незначительно, но ряд компонентов состава ведут себя довольно интересно*. Так, в отмеченном направлении закономерно растут значения pH и содержания Ca , K , NH_4 , F и SiO_2 , но уменьшаются PCO_2 , Mg , Br , J и B . Это говорит о значительном разнообразии состава слабосоленых вод нижнесреднеюрских отложений.

В то же время в рассматриваемых отложениях, как уже было показано, имеют место и соленые воды с общей минерализацией > 30 г/л. Анализ таких вод также показывает их различие по значению Cl/Br коэффициента, который меняется хотя и в меньших, но довольно значимых пределах (от 286 до 675). Важно также отметить, что соленые воды нижнесреднеюрских отложений по макрокомпонентам практически не отличаются от соленых вод близкой минерализации верхнеюрских отложений, но по своему микрокомпонентному составу (Br , J , B , F , NH_4) отличия значительны (табл. 3), что говорит о различных путях их формирования.

Таким образом, в юрских отложениях рассматриваемого региона развиты разные по химическому составу типы вод, которые отражают их разный генетический облик. В верхнеюрских отложениях развиты в основном седиментогенные воды, метаморфизованные в прямом направлении. Доказательством этого служат не только значения Cl/Br коэффициента и их высокая соленость, но и аномально высокие пластовые давления, формирование которых возможно только в условиях эллизионного гидродинамического режима [15].

Солоноватые воды нижнесреднеюрских отложений представляют остатки древних инфильтрационных вод, сохранившихся с момента формирования самих континентальных и прибрежно-морских образований, но значительно измененных в результате взаимодействия с горными породами и органическим веществом. Соленые воды этих отложений сформированы в результате смешения древнеинфильтрационных вод с рассолами, поступающими предположительно из палеозойского фундамента. При этом, чем ниже значения Cl/Br коэффициента, тем выше степень смешения этих двух типов вод. Лучшим доказательством справедливости этого вывода служит связь распространения соленых вод с наличием карбонатных и терригенно-карбонатных отложений палеозойского фундамента: там, где эти отложения развиты (юг региона) встречаются и соленые воды, там, где они смешиваются вулканогенными (север региона), эти

* Это не касается ионов Cl и Na^+ , которые составляют основу общей минерализации.

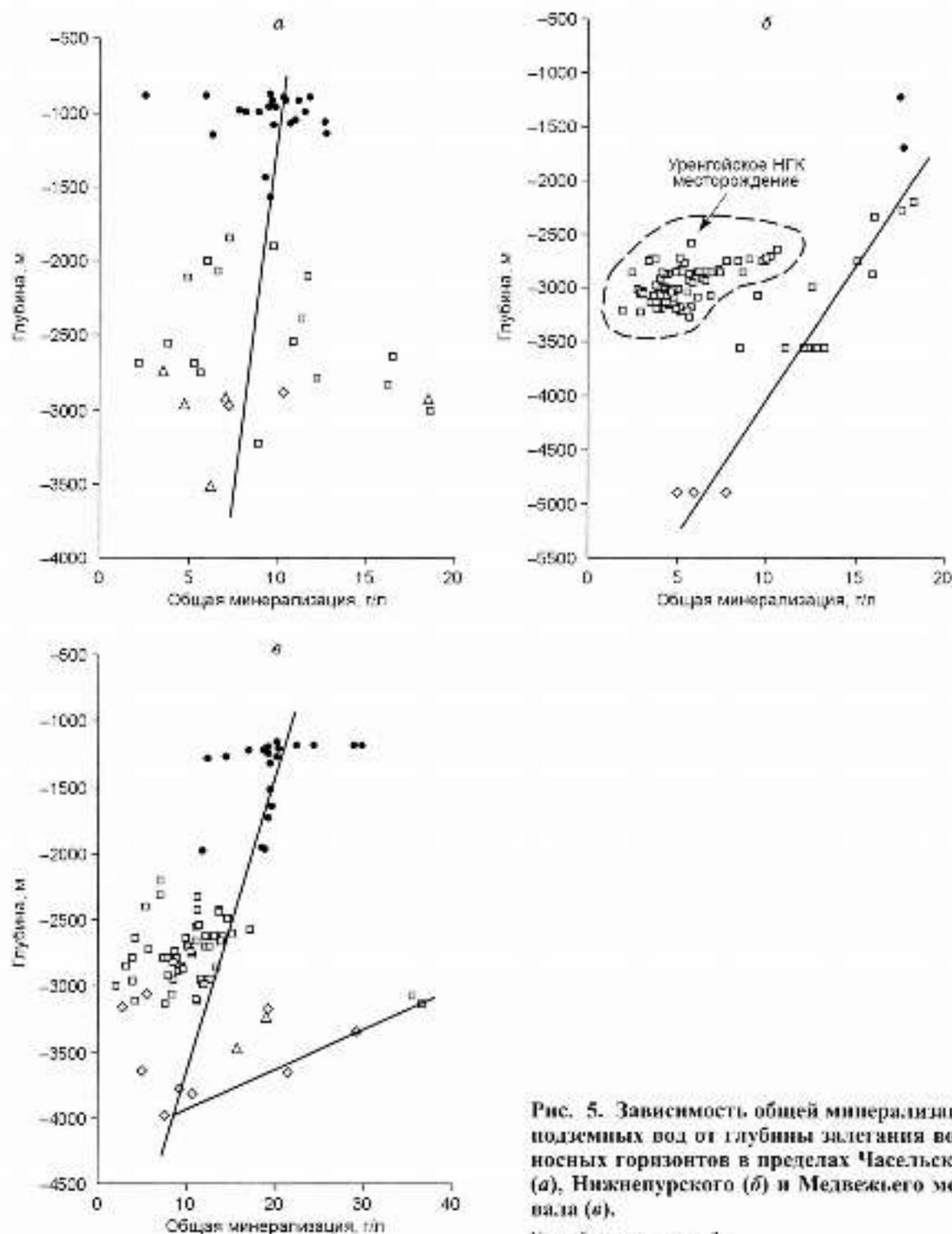


Рис. 5. Зависимость общей минерализации подземных вод от глубины залегания водоносных горизонтов в пределах Часельского (а), Нижнепурзхского (б) и Медвежьего мегабазиса (в).

Усл. обозн. см. на рис. 3.

воды отсутствуют. Естественно, что вследствие подвижности вод полного совпадения границ распространения соленых вод в низах разреза с наличием различного типа отложений палеозойского фундамента быть не может.

Кроме отмеченных генетических типов вод, в меловых отложениях на локальных участках, близ водонефтяных (ВНК) и газоводяных (ГВК) контактов имеют место и воды конденсационного генезиса, образование которых шло одновременно с формированием углеводородных залежей [7, 19]. Основные различия выделенных генетических типов вод суммированы в табл. 4.

Таблица 2. Средний химический состав разных типов солоноватых вод нижнесреднеюрских отложений Надым-Тазовского междуречья

Компонент	Пределы Cl/Br отношения				Среднее по выборке
	< 150	150—300	300—1000	> 1000	
pH	7,5	7,7	8,1	8,8	7,6
HCO ₃ ⁻ , мг/л	1643	1255	1101	1050	1214
SO ₄ ²⁻ , «	20	43	47	71	41
Cl ⁻ , «	3650	3485	3316	3761	3493
Br ⁻ , «	38,5	14,2	8,9	2,3	13,7
Γ ⁻ , «	13,5	2,5	1,9	0,7	3,0
Na ⁺ , «	2760	2581	2618	2682	2662
Ca ²⁺ , «	80	83	90	7	87
Mg ²⁺ , «	16	15	10	6	13
K ⁺ , «	52	65	75	314	80
NH ₄ ⁺ , «	10,2	13,2	14,5	50,1	14,2
SiO ₂ , «	20,5	28,2	33,3	44,6	33,4
Сумма, г/л	8,4	7,5	7,2	8,2	7,6
B ⁺ , мг/л	3,6	7,5	7,2	3,0	7,0
F ⁻ , «	1,6	1,7	1,9	3,2	1,8
rNa/rCl	1,34	1,25	1,26	1,25	1,26
Cl/Br	114	250	423	1553	356
Количество анализов	5	30	16	3	51

Как видно из этой таблицы, наиболее сильно различаются седиментогенные и конденсационные воды. Исключительно низкая общая минерализация последних (1,6—7,5 г/л) резко выделяет их на фоне остальных, но эти воды широко развиты только в районах локализации крупных месторождений газа. Седиментогенные воды наоборот отличаются высокой минерализацией и пониженным значением Cl/Br коэффициента. Древние инфильтрационные воды на фоне остальных выделяются не только относительно

Таблица 3. Средний химический состав соленых вод юрских отложений с общей минерализацией 40 г/л

Компонент	Ед. измерения	Отложения	
		верхнеюрские (32)	нижнесреднеюрские (12)
pH	—	7,0	7,2
HCO ₃ ⁻	мг/л	544	580
SO ₄ ²⁻	«	9,0	17,3
Cl	г/л	29,1	36,5
Br ⁻	мг/л	112	86
Γ ⁻	«	6,5	3,7
Na ⁺	г/л	16,0	15,8
K ⁺	мг/л	143	118
Ca ²⁺	г/л	1,81	1,24
Mg ²⁺	мг/л	166	101
NH ₄ ⁺	«	104	44
SiO ₂	«	25,0	25,6
Сумма	г/л	49,0	44,4
B ⁺	мг/л	7,7	3,9
F ⁻	«	1,7	1,0
rNa/rCl	—	0,84	0,91
Cl/Br	—	266	283
		32	12

Примечание. В скобках — количество анализов.

Таблица 4.

Химическая характеристика генетических типов вод

Генетический тип вод	Коэффициент						
	pH	M, г/л	$\frac{\Sigma\text{Na}}{\Sigma\text{Ca} + \Sigma\text{Mg}}$	$\frac{\text{SO}_4 - 100}{\text{Cl}}$	$\frac{\text{HCO}_3 - 100}{\text{Cl}}$	(Na/Cl)	Cl/Br
Седиментогенные (пресные)	6,0—7,8	25—67	2—25	0,02—0,3	2—7	0,64—0,87	218—276
Седиментогенные из палеозойского фундамента	6,3—8,2	12—53	5—388	0,6—43	1—99	0,76—1,51	180—675
Древние инфильтрационные	7,2—11,8	4—11	3—454	2—106	2—322	0,63—2,95	76—2074
Конденсатозаные	8,6—11,7	2—8	20—543	5—198	6—710	1,05—10,5	196—1115

невысокой минерализацией, но и более высокой щелочностью, повышенным содержанием HCO_3 и некоторых микрокомпонентов. Минерализующие из палеозойского фундамента рассолы в чистом виде не встречены, поэтому они занимают промежуточное положение между рассолами верхнеюрских отложений и соленоватыми водами нижнесреднеюрского комплекса.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Переходя к обсуждению природы вертикальной зональности в регионе, прежде всего отметим, что два фундаментальных фактора определяют ее характер: 1) генетический тип вод и 2) время взаимодействия воды с горными породами и органическим веществом [14, 15, 21]. Естественно, что в каждом конкретном бассейне имеются свои особенности, определяющие эту зональность, но они играют локальную или подчиненную роль.

Генетический тип вод в артезианских бассейнах, как правило, с глубиной меняется от инфильтрационного до седиментогенного. Отсюда и главная причина роста солености. Но эта общая закономерность может быть нарушена в том случае, когда в швах разреза развиты не седиментогенные, а древнеинфильтрационные воды. Именно с таким случаем мы и сталкиваемся в Западной Сибири и, в частности, в Надым-Газовском междуречье.

Как было показано выше, большую часть севера региона занимает вулканогенно-осадочный плитный комплекс триаса [16], который, судя по сейсмическим данным и результатам глубокого бурения (Тюменская сверхглубокая скважина), может достигать мощности 1,5—2,0 км [22, 23]. После формирования этого комплекса на большей части Западной Сибири в раннесреднеюрское время существовал длительный этап преимущественно континентального осадконакопления, за исключением Ямало-Гыданской фашиальной области с преобладанием морского седиментогенеза, которая располагается значительно севернее исследуемого региона [10, 16]. Последний, как уже отмечалось, приурочен к Обь-Тазовской переходной фашиальной области, где чередовались прибрежно-морские и континентальные условия. Имеющие место отдельные трансгрессии, максимальная из которых пришлась на нижний тоар [10], общей картины континентального характера седиментогенеза не изменили. К тому же необходимо учесть, что длительный континентальный перерыв естественно привел не только к промыванию всех приподнятых структур, но и накоплению пресных древнеинфильтрационных вод в формирующихся в преимущественно континентальных нижнесреднеюрских отложениях.

Наступившее в раннеюрское время море не могло обеспечить вытеснения всего объема пресных вод по гидродинамическим причинам, хотя на отдельных ограниченных участках это имело место. И эти древние инфильтрационные воды сохранились в регионе до настоящего времени, естественно в измененном по составу виде. Отсюда главная причина инверсионной гидрогеохимической зональности в регионе — смена генетического типа вод от седиментогенных (верхнеюрские отложения) до древнеинфильтрационных (нижнесреднеюрские отложения), которые в разной мере в разных геологических структурах смешаны с седиментогенными водами.

Следовательно к началу верхнеюрской трансгрессии исследуемый регион в подавляющей части нижнесреднеюрского разреза был залит пресными инфильтрационными водами. В настоящее же время соленость вод этих отложений, как было показано выше, колеблется в широких пределах. Анализ имеющихся данных показал, что соленость вод этого комплекса является более высокой там (юг региона), где имеет место палеозойский фундамент, сложенный карбонатно-терригенными породами. Там, где этот фундамент перекрыт мощной толщей триасовых отложений (север региона), воды нижнесреднеюрского комплекса остаются слабосолеными. Отсюда вытекает важный вывод о том, что палеозойский фундамент оказал значительное влияние на соленость вод выпележающего комплекса. Поэтому мы считаем, что уплотнение палеозойских карбонатно-терригенных отложений, которое происходило в послемеловое время, сыграло значительную роль в питании нижних горизонтов нижнесреднеюрских отложений соле-

ными метаморфизованными водами фундамента. Тем самым подтверждаются идеи А.А. Розина, Н.М. Кругликова и других [4—6, 24] о влиянии седиментогенных рассолов палеозойского фундамента на состав вод нижней части мезозойско-кайнозойского чехла.

Таким образом, в низах разреза нижнесреднеюрских отложений местами развиты соленые воды и рассолы, поступившие из палеозойских отложений, которые трансформируют обратную гидрогеохимическую зональность в прямую или более сложную, в которой снижение солености вод на некоторой глубине сменяется ее ростом (см. рис. 3,а).

Вторая причина вертикальной зональности обусловлена равновесно-неравновесным состоянием системы вода—порода—газ—органическое вещество, определяющим способность подземных вод непрерывно в течение всего времени взаимодействия растворять одни минералы и органические соединения вмещающих пород и формировать другие (аутигенные) с концентрированием подвижных химических элементов в растворе [15, 21, 25, 26]. Из этого вытекает важный вывод о том, что соленость воды независимо от ее генетического типа и начального состава растет во времени. Поэтому чем глубже залегает вода, тем, как правило, большее время она взаимодействует с горными породами и органикой и поэтому содержит больше солей. Отсюда известный рост солености воды с глубиной не только на шатформах, но и горно-складчатых областях [21, 26].

Сочетание отмеченных двух важнейших факторов контролирует формирование вертикальной зональности разных типов в зависимости от геологической истории региона, которая в конечном итоге определяет распределение генетических типов воды в разрезе, интенсивность водообмена, время взаимодействия воды с разными типами горных пород, возможную степень разбавления седиментогенных вод инфильтрационными, включая древнюю разновидность последних, а также возможность поступления воды в тот или иной водоносный комплекс из более глубоководных.

Применяя эти общие принципы формирования вертикальной зональности к Надым-Тазовскому междуречью, можно заключить, что главным фактором в этом регионе выступает генетический тип воды и его соленость. На протяжении геологической истории здесь неоднократно происходила смена морского и континентального режимов. При этом состав и соленость захороняющихся морских вод менялись в зависимости от глубины бассейна, удаленности береговой линии, интенсивности эрозивной деятельности, тектонического режима и т. д. [27]. Важно учитывать, что в регионе захоронялись в основном морские воды с соленостью ниже океанической, преимущественно 10—20 г/л. Местами уже после захоронения в периоды континентальных перерывов, включая и современный, они смешивались с инфильтрационными, что приводило к уменьшению их солености. В то же время за счет взаимодействия с вмещающими породами, с которыми подземные воды неравновесны [19] и органическим веществом их соленость медленно возрастала. Отсюда мозаичность распределения общей минерализации в нижнесреднеюрских отложениях.

Наиболее соленым был морской бассейн в верхнеюрскую эпоху. Наличие надежных флюидопоров (нижневасюганского и яновстанского) обеспечило здесь формирование элизионного режима и сохранение до настоящего времени метаморфизованных в прямом направлении [26] седиментогенных вод. Отсюда и наибольшая их соленость.

Воды нижнесреднеюрского водоносного комплекса изначально были преимущественно пресными, так как формировались в континентальных и прибрежно-морских отложениях [10], которые, однако, позже были промыты. Современное распределение их солености объясняется длительным взаимодействием с вмещающими горными породами и органическим веществом, а также локальным поступлением соленых вод и рассолов из нижележащего палеозойского фундамента, в котором сохранились древние седиментогенные воды разной степени метаморфизации. Масштабы каждого из этих явлений остаются неизученными, поэтому об их соотношении пока трудно что-либо сказать. Это задача дальнейших исследований.

ВЫВОДЫ

В нефтегазоносных отложениях Надым-Тазовского междуречья развиты солоноватые, соленые воды и реже слабые рассолы с общей минерализацией до 64 г/л, которые формируют прямую, обратную и более сложную вертикальную гидрогеохимическую зональность. При этом прямая зональность доминирует в южных структурах региона, а инверсионная — в северных. Первый тип зональности развит на участках распространения палеозойского фундамента, преимущественно карбонатного и терригенно-карбонатного состава и, вероятно, связан с поступлением отжимающихся при уплотнении седиментогенных, но метаморфизованных палеозойских рассолов в нижне-среднеюрские отложения. Второй тип зональности — инверсионный приурочен к обширным территориям развития вулканогенно-осадочного комплекса триаса, который в исследуемом регионе достигает мощности 1,5—2,0 км.

На исследуемой территории преобладает эвизионный тип режима над инфильтрационным, что говорит о гидродинамической изолированности водоносных комплексов друг от друга, которая нарушается лишь на локальных участках.

Развитые в регионе подземные воды по генезису подразделяются на четыре типа: 1) седиментогенные (юрские); 2) седиментогенные (из палеозойского фундамента); 3) древние инфильтрационные и 4) конденсационные. Каждый из этих типов в той или иной мере изменен за счет взаимодействия с горными породами, газами и органическим веществом, а также степенью смешения с другими генетическими типами вод.

Главные факторы вертикальной гидрогеохимической зональности в регионе: 1) генетический тип подземных вод; 2) степень взаимодействия воды с горными породами и органическим веществом; 3) поступление отжимающихся при уплотнении пород фундамента седиментогенных палеозойских рассолов разной степени метаморфизации в нижне-среднесюрские отложения. Все перечисленные факторы являются следствием геологической истории региона. Они определяют различную последовательность смены с глубиной вод разной солености, степени метаморфизации и смешения, что привело к формированию прямой, обратной и более сложной гидрогеохимической зональности.

Авторы выражают искреннюю благодарность академику А.Э. Конторовичу за ценные замечания, высказанные в процессе подготовки рукописи.

Работа выполнена при поддержке Минпромнауки РФ (проект НИИ-1566.2003.05), РФФИ (проект № 03-05-65417), Фонда содействия отечественной науке, ОИГТМ СО РАН (проект ВМТК „Равновесие“ № 1778) и гранта Лаврентьевского конкурса молодежных проектов СО РАН (проект ВМТК „Неоком“).

ЛИТЕРАТУРА

1. Конторович А.Э. Редкие и рассеянные элементы в пластовых водах нефтегазоносных отложений Западно-Сибирской низменности // Литология и полезные ископаемые, 1963, № 2, с. 282—287.
2. Конторович А.Э., Зимин Ю.Г. Об условиях формирования химического состава подземных вод Западно-Сибирской низменности // Труды СНИИГТимСа, 1968, вып. 46, с. 83—95.
3. Зимин Ю.Г., Конторович А.Э. Некоторые особенности температурного поля в отложениях осадочного чехла Западно-Сибирской плиты // Труды СНИИГТимСа, 1969, вып. 89, с. 64—74.
4. Конторович А.Э., Нестеров И.И., Салманов Ф.К. и др. Геология нефти и газа Западной Сибири. М., Недра, 1975, 680 с.
5. Розин А.А. Подземные воды Западно-Сибирского артезианского бассейна и их формирование. Новосибирск, Наука, 1977, 102 с.
6. Круликов Н.М., Нелюбин В.В., Яковлев О.Н. Особенности формирования химического состава подземных вод Западно-Сибирского мегабассейна // Формирование подземных вод как основа гидрогеологических прогнозов, М., Наука, 1982, с. 299—301.
7. Круликов Н.М., Нелюбин В.В., Яковлев О.Н. Гидрогеология Западно-Сибирского нефтегазоносного бассейна и особенности формирования залежей углеводородов. Л., Недра, 1985, 279 с.
8. Матусевич В.М., Бакуев О.В. Геодинамика водонапорных систем Западно-Сибирского нефтегазоносного мегабассейна // Советская геология, 1986, № 2, с. 117—122.
9. Матусевич В.М., Ушатинский И.Н. Особенности состава и формирования геофлюидальных систем Западно-Сибирского нефтегазоносного мегабассейна // Изв. вузов. Нефть и газ, 1998, № 4, с. 28—35.
10. Геология и полезные ископаемые России. Т. 2. Западная Сибирь / Под ред. А.Э. Конторовича, В.С. Суркова. СПб., ВСЕГЕИ, 2000, 477 с.
11. Беляев С.Ю., Деев Е.В., Ершов С.С., Зиновьев С.В. Структура юрского комплекса севера Широкого Приобья (Западная Сибирь) // Геология и геофизика, 1999, т. 40, № 9, с. 1354—1361.
12. Деев Е.В., Зиновьев С.В. Морфотектоника кровли нижнего структурного яруса чехла Западно-Сибирской плиты в Надым-Газовом междуречье // Геология нефти и газа, 1999, № 7—8, с. 2—9.
13. Карцев А.А. Гидрогеология нефтяных и газовых месторождений. М., Недра, 1972, 280 с.
14. Пипнекер Е.В., Писарский Б.И., Шварцев С.Л. и др. Основы гидрогеологии. Общая гидрогеология. Новосибирск, Наука, 1980, 231 с.
15. Шварцев С.Л. Общая гидрогеология. М., Недра, 1996, 425 с.
16. Мегакомплексы и глубинная структура земной коры Западно-Сибирской плиты / Ред. В.С. Сурков. М., Недра, 1986, 149 с.
17. Кащенко В.А., Левинзон И.Л., Никулин Б.В., Филиппов Ю.Ф. Геологическое строение и перспективы нефтегазоносности докембрийских образований Пур-Газового междуречья (Тюменская область) // Геология и геофизика, 1993, т. 34, № 8, с. 38—45.

18. **Гидрогеология СССР**. Т. XVI. Западно-Сибирская равнина (Тюменская, Омская, Новосибирская и Томская области). М., Недра, 1970, 368 с.
19. **Новиков Д.А.** Геохимия подземных вод нефтегазоносных отложений Надым-Тазовского междуречья: Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. Томск, 2002, 20 с.
20. **Шварцев С.Л., Новиков Д.А.** Гидрогеологические условия Харампурского мегавала // Изв. вузов. Нефть и газ, 1999, № 3, с. 21—29.
21. **Кирюхин В.А., Коротков А.И., Шварцев С.Л.** Гидрогеохимия. М., Недра, 1993, 384 с.
22. **Тюменская сверхглубокая скважина** (интервал 0—7502 м). Результаты бурения и исследования // Научное бурение в России. Вып. 4. Пермь, КамНИИКИГС, 1996, 376 с.
23. **Шиляев Ю.А., Горбачев В.И., Белокопъ Т.В. и др.** Анализ результатов гидрогеологических исследований в глубоких и сверхглубоких скважинах. М., Геонформмарк, 1999, 81 с.
24. **Шварцев С.Л., Силкина Т.И., Жуковская Е.А., Трушкин В.В.** Подземные воды нефтегазоносных отложений Нюрольского осадочного бассейна (Томская область) // Геология и геофизика, 2003, т. 44, № 5, с. 451—464.
25. **Шварцев С.Л.** Взаимодействие воды с алюмосиликатными горными породами. Обзор // Геология и геофизика, 1991, № 12, с. 16—50.
26. **Шварцев С.Л., Пиннекер Е.В., Перельман А.И. и др.** Основы гидрогеологии. Гидрогеохимия. Новосибирск, Наука, 1982, 287 с.
27. **Конторович А.Э., Сурков В.С., Трофимук А.А. и др.** Нефтегазоносные бассейны и регионы Сибири. Вып. 2: Западно-Сибирский бассейн. Новосибирск, ОИГТМ СО РАН, 1994, 201 с.

*Рекомендована к печати 22 августа 2003 г.
А.Э. Конторовичем*

*Поступила в редакцию
11 августа 2003 г.*