

В. Д. БЕЗРОДНОВ

О ПРОИСХОЖДЕНИИ ИНВЕРСИОННОЙ ГИДРОХИМИЧЕСКОЙ
ЗОНАЛЬНОСТИ В ОБЛАСТЯХ ИНТЕНСИВНЫХ
ТЕКТОНИЧЕСКИХ ДВИЖЕНИЙ

(Представлено академиком В. В. Меннером 15 IX 1969)

В некоторых областях мезо-кайнозойской аккумуляции установлено убывание минерализации подземных вод с глубиной. Это явление получило название инверсионной гидрохимической зональности и освещено в работах Ю. В. Доброва, А. А. Карцева, Г. М. Сухарева, А. В. Щербак-кова и многих других. Большинство исследователей связывают эту инверсию с особенностями современного или древнего водообмена, с различной первичной соленостью пород или с опресняющим влиянием глубинных вод. Определенная роль в формировании химического состава подземных вод отводится уплотнению пород и отжатию пороговых растворов (1, 3). Однако эти связи рассматриваются лишь в самом общем виде.

Области мезо-кайнозойской аккумуляции отличаются повышенной тектонической активностью, переменным термодинамическим режимом и энергичным развитием процессов вторичного преобразования пород. Полагая, что гидрохимическая зональность является в конечном итоге функцией геологической истории артезианского бассейна (4), мы сделали попытку проанализировать влияние указанных особенностей на формирование химического состава подземных вод.

Процессы уплотнения пород и отжатия поровой жидкости приводят к перераспределению гидростатических давлений в пластах (5) и растворимых солей в системе порода — подземная вода. Это хорошо иллюстрируется данными об изменении минерализации пластовых вод, концентрации поровых растворов и остаточной солености пород в Западно-Туркестанском артезианском бассейне.

Известно, что минерализация подземных вод (M , г/л) в апшеронских, ачкагыльских и красноцветных отложениях этого региона вне зон текто-

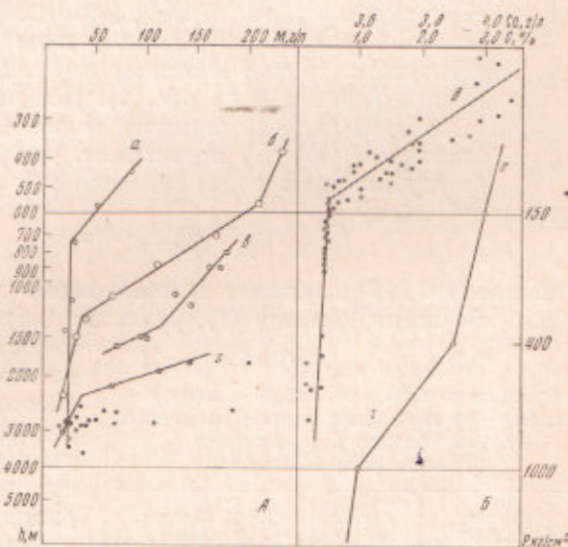


Рис. 1. Изменение минерализации подземных вод (А) и солености пород (Б) с глубиной; а — Небит-Даг, б — Челекен, в — Кум-Даг, г — Котур-Тепе (черные точки — данные по площадям Окарем, Камышджа, Карадаши). Соленость (С, %): д — Изат-Кули; е — экспериментальная кривая отжатия раствора кальция (Са, г/л) из работы (2)

нических нарушений убывает с глубиной (h , м). Анализ этой взаимосвязи показывает, что она не связана с возрастом пород и подчиняется логарифмическому закону:

$$M = M_0 - K \lg h,$$

где M_0 — минерализация на плоскости отсчетов глубин, K — градиент минерализации.

Приблизительно до глубин 400—500 м подземные воды отличаются пестротой химического состава, а градиент минерализации колеблется от плюс 10—20 до минус 10—20 г/л на 100 м. Ниже, в средней гидрохимической зоне, распространены главным образом хлоридно-кальциево-натриевые воды с высоким содержанием брома. Минерализация подземных вод здесь убывает с глубиной от 250—200 до 50—30 г/л. Градиент минерализации имеет отрицательное значение и колеблется от 16 до 23 г/л на 100 м. В нижней зоне развиты хлоридно-натриевые воды с высоким содержанием гидрокарбонат- и сульфат-иона, иода и бора и с коэффициентом метаморфизации, приближающимся к 1. С глубиной минерализация вод уменьшается от 30 до 18 г/л при градиентах от $-0,4$ до $-4,0$ г/л на 100 м.

Границы трех выделенных гидрохимических зон отбиваются по точкам перегиба кривых изменения минерализации (рис. 1, кривые $a - e$). Граница верхней и средней зон (верхняя точка перегиба) располагается на глубинах от 500 до 1400 м (Кум-Даг). Нижняя точка перегиба на глубинах: Небит-Даг 750, Челекен 1300, Котур-Тепе 2400—2600 м. На структурах Камышлджа, Окарем и Карадашли точку перегиба отметить не удается, — по-видимому, она лежит глубже 3000 м.

Совершенно аналогичный характер имеет кривая изменения по глубине концентрации водной вытяжки на площади Изат-Кули в бортовой части впадины (кривая d на рис. 1). Два отрезка кривой соответствуют средней и нижней гидрохимическим зонам. Обработка данных по естественной влажности (W , %) показывает, что уменьшение солености пород (C , %) по глубине происходит согласно с их обезвоживанием по логарифмическому закону:

$$C = e^{0,03(W-18,5)}.$$

Отношение C/W выражает концентрацию порового раствора. Как известно из экспериментов (6), удаление поровой влаги при небольшом

давлении не приводит к изменению ее концентрации. В рассматриваемом же примере обезвоживание пород сопровождается интенсивным уменьшением остаточной солености и концентрации порового раствора. При достижении определенной влажности, независимо от возраста пород, соленость зерна остается более или менее постоянной (табл. 1). Она практически одинакова в отложениях красноцветной толщ (7) и ее западных аналогов в Азербайджане (8), в отложениях миоцена и майкопской

Таблица 1
Среднее содержание солей в водной вытяжке из глинистых пород восточного борта Западно-Туркменского артезианского бассейна

Возраст отложений	Соли, вес. %	Cl, вес. %	Естеств. влажн., %
Антропоген	2,54	1,18	24,0
Ашшерон	1,53	0,36	22,0
Актагыл	1,05	0,48	19,0
Миоцен	0,56	0,19	15,7
Палеоген	0,52	0,15	—
Верхний мел	0,43	0,07	—

толщи Предкавказья (8, 9), а также палеогена и верхнего мела Западной Туркмении (2). В опытах В. В. Красинцевой (3) из пород ашшерона и актагыла бортовой части впадины (глубины 420—820 м), имеющих различную первоначальную влажность и соленость, были отжаты при давлении 800 кг/см² поровые растворы с разной соленостью от 177 до 129 г/л. Концентрация оставшихся в породе солей оказалась практически одинаковой (80—90 г/кг).

Все это позволяет предполагать, что соленость пород, так же как и естественная влажность, зависят от величины перенесенного ими геостатического давления. Однако, если бы давление было единственным фактором изменения запаса солей в системе порода — вода, то несмотря на уменьшение влажности и солености пород, концентрация отжимаемого порового раствора должна была оставаться постоянной. В экспериментальных исследованиях и, как мы видели, в природных условиях начиная с некоторого момента минерализация поровых вод резко снижается.

В экспериментальных исследованиях это явление связывают с отжатием из порового пространства форм воды, различно связанных с частицами породы. При давлениях 100—130 кГ/см² (глубины 500—600 м) интенсивно выделяется свободная вода (¹⁰, ¹¹). При более высоких давлениях в миграцию включаются различные формы ранее связанной воды. Наиболее интенсивный выход связанной воды происходит в интервале давлений 400—1000 кГ/см² (глубины 1800—4000 м). Именно на этом этапе наблюдается резкое разбавление порового раствора (рис. 1, кривая *e*), так как связанная вода не содержит минеральных веществ и обладает повышенной растворяющей способностью. При дальнейшем увеличении давления выделение связанной воды происходит незначительными порциями, минерализация порового раствора остается практически постоянной (², ⁶, ¹²). На этой стадии процессы уплотнения пород, отжатия поровой влаги и выноса минеральных веществ под действием давления можно считать законченными.

Результаты экспериментов хорошо согласуются с характером вертикальной гидрохимической зональности Западно-Туркменского артезианского бассейна. Вместе с тем глубины границ гидрохимических зон в разных его частях различны. Теоретически отжатие связанной воды почти прекращается на глубинах 3800—4000 м. Реальная же глубина залегания нижней точки перегиба кривой минерализации колеблется от 750 до 3000 м и более. При этом разница теоретической и реальной глубин залегания точек перегиба всегда совпадает с амплитудой положительных тектонических движений за плиоцен-четвертичное время (Челекен 2500—2700 и 2700—3000, Котур-Тене 1300—1500 и 1400—1700, Небит-Дар 3000—3200 и 2800—3400, Окарем, Камышджа и другие погруженные структуры 1000 и 1000—1500 м). Это совпадение свидетельствует о прямой связи между гидрохимической зональностью и новейшими тектоническими движениями и позволяет использовать гидрохимические данные в тектоническом анализе.

Представляется, что рассмотренный процесс имеет общий характер и является одним из основных в формировании химического состава подземных вод. Он требует всестороннего изучения, так как «освобождение» связанной воды активизирует миграцию ионов гидрокарбоната, сульфата, магния, натрия, а также органических компонентов — иода и бора и самого органического вещества (¹³). Вместе с тем, высокие температуры и давления активизируют процессы минеральных превращений в глинистых породах (¹⁴, ¹⁵). Замещение, например, монтмориллонита (предел устойчивости: температура 90—120°, давление 800/1000 кГ/см²) диоктаэдрической гидрослюдой сопровождается выделением до 9—15% связанной (кристаллизационной) воды (¹⁶). При наличии монтмориллонита минеральные превращения в глинистых породах могут обусловить значительное разбавление пластовых вод.

Таким образом, уплотнение пород в тектонически активных зонах приводит к формированию инверсионной гидрохимической зональности. Положение границ гидрохимических зон зависит от величин и характера изменения во времени геостатического давления.

Сохранение инверсионной зональности в аридных зонах связано с малой активностью поверхностного и подземного стока. В связи с этим

в гумидных областях (Западная Сибирь) инверсия может иметь менее четкий характер. По-видимому, в истории развития терригенных артезианских бассейнов можно выделить два этапа: этап отжатия седиментационных вод и этап замещения остаточных вод транзитными.

Геологический институт
Академии наук СССР
Москва

Поступило
15 IX 1969

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ А. А. Карцев, Гидрогеология нефтяных и газовых месторождений, 1968.
² М. С. Котова, Зап. Ленингр. горн. инст., 4, 2 (1965). ³ В. В. Красинцева, Г. А. Борщевский и др., Сборн. Геохимия подземных вод некоторых районов Туркмении и Узбекистана, Изд. АН СССР, 1963. ⁴ Ф. А. Макаренко, Сборн. Проблемы гидрогеологии, 1960. ⁵ В. В. Коллодий, Сов. геол., № 2 (1966).
⁶ П. А. Крюков, А. А. Жучкова, ДАН, 144, № 6 (1962). ⁷ А. А. Али-Заде, П. Е. Граждан, Изв. АН ТуркмССР, № 4 (1954). ⁸ Ф. И. Самедов, Л. А. Буряковский, Нефтяная гидрогеология Апшеронского п-ова, Баку, 1966. ⁹ П. С. Славин, М. В. Милоградов, Тр. Туркм. фил. Всесоюз. нефт. и-и. инст., в. 2 (1961). ¹⁰ Н. В. Логвиненко, Постдиагенетические изменения осадочных пород, «Наука», 1968. ¹¹ И. Н. Нестеров, Сов. геол., № 12 (1965). ¹² В. В. Красинцева, Гидрогеохимия хлора и брома, «Наука», 1968. ¹³ Д. В. Жабров, Е. С. Лукина, Геология нефти и газа, № 1 (1964). ¹⁴ Г. В. Карпова, А. Е. Лукин, Литол. и полезн. ископаемые, № 5 (1965). ¹⁵ А. Г. Коссовская, Тр. Геол. инст. АН СССР, 153 (1954).