

УДК 556.31(234.853)

**ФОРМИРОВАНИЕ ГЛУБИННЫХ ВОД ЮЖНОГО УРАЛА**

© Р.Ф. Абдрахманов, В.Г. Попов

Выполнен анализ и обобщение химического и газового состава подземных вод глубоких частей недр главных тектонических структур Южного Урала. Показано, что распределение подземных вод по величине минерализации и вещественному составу подчинено нормальной вертикальной гидрогеохимической зональности. В осадочных, метаморфических и вулканогенно-осадочных комплексах палеозоя и позднего протерозоя на глубине 3–5 км установлены рассолы хлоркальциевого типа, происхождение которых связывается с процессами седиментогенеза в талассогенных бассейнах различной солености и последующей метаморфизации в породах за счет эпигенетических процессов.

Ключевые слова: происхождение подземных вод, геохимия, хлоркальциевые рассолы, седиментогенез, метаморфизация, эпигенетические процессы.

Вертикальная геохимическая зональность и формирование глубинных вод горных стран является одной из актуальных, но малоизученных теоретических проблем современной гидрогеохимии. Издавна утвердились представления об орогенных областях в целом и об Урале в частности как о гидрогеологически открытых структурах, в которых доминирующее развитие получили кислородно-азотные пресные гидрокарбонатные воды, формирующиеся под воздействием гипергенных факторов. Глубже зоны региональной экзогенной трещиноватости монолитные образования считались флюидоупорными за исключением локальных зон разломов, по которым осуществляется разгрузка напорных вод различного газового состава (азотного, углекислого, редко – сероводородного), обычно с невысокой минерализацией. И только в последние десятилетия в результате бурения глубоких скважин (параметрических, рудо-, нефтепоисковых и др.) получены некоторые данные, указывающие на то, что горноскладчатые области, в том числе древнейшие до-рифейские (Украинская, Балтийская и др.) и древние позднепротерозойские и палеозойские (Казахская, Уральская, Донецкая и др.), не являются гидрогеохимически однозональ-

ными структурами. Заключенные в их недрах газово-жидкие флюиды имеют не только широтную и высотную геохимическую поясность, но и вертикальную (глубинную) зональность. Основанием для этого послужило обнаружение под зоной пресных вод, мощность которой в условиях глубокого эрозионного расчленения горного рельефа достигает 500 м и более, соленых и рассольных вод, связанных с различными литолого-генетическими комплексами протерозоя и палеозоя. По поводу природы этих вод были высказаны различные точки зрения: выщелачивание солевого комплекса горных пород, захоронение в них седиментогенных и метаморфогенных вод, внедрение по зонам тектонических нарушений минерализованных вод из смежных платформенных структур, поступление талассогенных растворов древних и современных бассейнов и др. [1–4].

Настоящая статья посвящена исследованию геохимии и генезиса газово-жидких флюидов глубоких частей недр главных тектонических элементов (мегазон по [5]) Южного Урала: Западно-Уральской внешней зоны складчатости, Центрально-Уральского поднятия и Магнитогорского мегасинклинория. В основу ее положены собственные разработ-

ки авторов, базирующиеся на натуральных исследованиях минеральных источников и гидроминеральных месторождений региона, а также результаты изучения ионно-солевого и газового состава подземных вод глубоких скважин, пробуренных различными геологическими организациями в основном на Южном Урале. Непосредственно на водоисточниках определялись концентрации  $H_2S$  и  $O_2$  (колориметрированием),  $CO_2$  (объемным способом), а также  $Bг$ ,  $I$ , величины  $pH$  и  $Eh$  (ионоселективным методом с помощью иономера «И-102»). Определение содержания  $He$  в подземных водах выполнено на магниторазрядном индикаторе «ИНГЕМ-1».

Анализ и обобщение этих данных позволяет рассмотреть вопрос о геохимических особенностях газовой флюидной среды глубоких частей разреза, их природе, характере гидрогеохимической зональности региона.

### Западно-Уральская зона складчатости

Мощность зоны холодных ( $T 4-6^{\circ}C$ ) кислородно-азотных пресных гидрокарбонатных кальциевых ( $HCO_3-Ca$ ) вод в передовых складках Южного Урала, сложенных толщами (до 3000 м и более) преимущественно карбонатных осадков каменноугольного и девонского возраста, составляет 300–400 м. Ниже до глубины 600–800 м распространены азотные соленые  $Cl-Na$  воды. Дериватами их являются Тереклинские, Ташастинские и Аскынский минеральные источники (рис. 1) с минерализацией ( $M$ ) 1,8–3,0 г/л,  $pH$  7,0–7,6,  $Eh +35...+165$  мВ, приуроченные к Ковардинскому надвигу, по которому происходит восходящая разгрузка соленых вод с глубины 400–500 м ниже речных долин из каменноугольных пород. Наличие глубинной составляющей подтверждается повышенной  $T$  воды (до  $10,5^{\circ}C$ ) и высокими концентра-

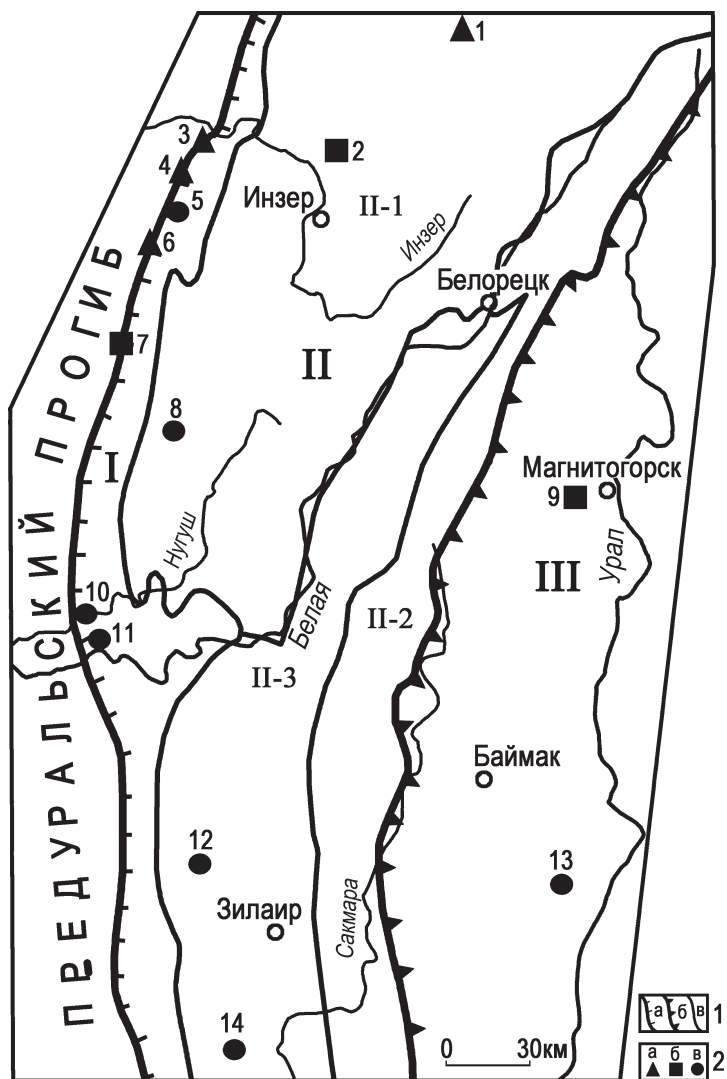


Рис. 1. Схема тектонического районирования Южного Урала (по [5]) и расположения пунктов гидрогеохимического опробования: 1 – границы: а – Предуральского прогиба и Западно-Уральской внешней зоны складчатости (I), б – Центрально-Уральского поднятия (II) и Магнитогорского мегасинклинория (III), в – структур Центрально-Уральского поднятия (II-1 – Башкирский мегантиклинорий, II-2 – Уралтауский мегантиклинорий, II-3 – Зилаирский сингклиорий); 2 – пункты гидрогеохимического опробования: а – минеральные источники (1 – Катав-Ивановские, 3 – Тереклинские, 4 – Ташастинские, 6 – Аскынский); б – гидроминеральные месторождения (2 – Ассинское, 7 – Красноустьинское, 9 – Мулдаккульское); в – скважины нефтеразведочных площадей (5 – Архлатгышская, 10 – Мурадывовская, 11 – Иштугановская, 12 – Асташская, 13 – Уральская, 14 – Сакмарская), 8 – Кулгунинская параметрическая скважина

циями корового (радиогенного)  $He$  ( $2,6 \cdot 10^{-4} - 1,1 \cdot 10^{-3}$  мл/л – одного из наиболее информативных показателей глубинных процессов [6] – на один-два порядка превышающими его атмосферный фон  $(3-5) \cdot 10^{-5}$  мл/л). Аномалии

Не сопровождаются аномалиями генетически связанного с ним Rn ( $Ra^{226} \rightarrow Rn^{222} + He^4$ ), содержание которого достигает 25 нСи/л.

Еще глубже, до 1000–1200 м, залегают сероводородно-азотные Cl-Na рассолы. Представителями их являются воды Красноусольского месторождения с М до 78 г/л, содержанием биохимического  $H_2S$  до 70–80 мг/л, рН 6,9–7,4, Eh +160...–340 мВ, Т 9–13°C, которое также связано с надвигом, контролирующим границу Урала и Предуральского прогиба. Они образовались в результате смешения метеогенных вод с рассолами нижнего карбона, поступающих с глубины >500–600 м, что фиксируется аномальными концентрациями He ( $9,3 \cdot 10^{-3}$  мл/л). Судя по величинам отношений rNa/rCl (1,0–1,05) и Cl/Br (> 1000, Br < 10 мг/л), природа сульфидных рассолов Красноусольска – инфильтрационная. Исходными для них являются Cl-Na рассолы с М до 280 г/л, коэффициентами rNa/rCl 1,0, rSO<sub>4</sub>·100/rCl 1,6–2,4, низкими концентрациями Br<sup>-</sup> (< 40 мг/л, Cl/Br 4100), вскрытые на глубине до 2000 м в известняках нижнего карбона и девона на Архлатышской (скв. 1, 5), Саитбабинской (скв. 1, 4) и Таушской (скв. 1) нефтеразведочных площадях.

Вместе с тем скважинами 4 Иштугановской, 18 Мурадымовской, 2 и 4 Архлатышской площадей на таких же и даже меньших глубинах (686–2690 м) в верхнедевонско-турнейских отложениях обнаружены азотно-метановые Cl-Ca-Na рассолы с М до 203 г/л, отношениями rNa/rCl 0,53–0,56, rSO<sub>4</sub>·100/rCl 0,16–0,37, содержанием CaCl<sub>2</sub> 33–41%. Ассоциирующаяся с рассолами нефть, судя по ее невысокой плотности (с 0,864 г/см<sup>3</sup>), не претерпела существенных гипергенных изменений. Эти данные позволяют геохимически и генетически идентифицировать их с рассолами нефтеносных пластов среднего-верхнего девона Волго-Уральской области. Они имеют седиментогенно-эпигенетическое происхождение и образовались в результате процессов метасоматической доломитизации известняков под воздействием Cl-Mg-Na рассолов лагунно-морских палеобассейнов палеозоя [7].

Рассолы близкого геохимического облика были вскрыты нефтеразведочными скважинами в каменноугольных отложениях западного склона Среднего Урала [8]. Им свойственны высокие М (> 200 г/л) и метаморфизация (rNa/rCl 0,56–0,59), низкая сульфатность, наличие NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, Br<sup>-</sup> и исключительно высокие концентрации Γ (211 мг/л), свидетельствующие о гидродинамической закрытости недр и талассогенном происхождении рассолов. Здесь им также сопутствует малосернистая легкая нефть с ρ 0,79 г/см<sup>3</sup>.

### Центрально-Уральское поднятие

Это наиболее крупная структура герцинского Южного Урала, в составе которой обособляются структуры второго порядка – Башкирский и Уралтауский антиклинории, Зилаирский синклиорий, сложенные метаосадочными толщами позднего протерозоя и палеозоя мощностью > 10000 м. Стиль тектоники определяется высокоамплитудными региональными надвигами Уральского простиранья, протягивающимися на десятки и сотни километров, и генетически связанными с ними складчатыми формами, тяготеющими к фронтальным частям дизъюнктивов [5].

С разрывными нарушениями связаны Ассинские и Катав-Ивановские минеральные источники глубинного геохимического облика. Они находятся в западной части Инзерского синклиория, расположенного на севере Башкирского мегантиклинория. Источники под напором в виде грифонов вытекают из кварцевых песчаников и известняков катавской и инзерской свит рифея. Термогеохимическая среда их характеризуется следующими показателями: М 16,8–20,5 г/л, Т 15,0–15,3°C, рН 6,7–7,0, Eh +20...+40 мВ. Источники имеют геохимический тип морской воды (MgCl<sub>2</sub> 6,5–8,0, NaCl 74,6–76,5%) и близкую к ней величину отношения rNa/rCl (0,89–0,91). Среди газов атмосферно-биохимического происхождения преобладает N<sub>2</sub> с примесью O<sub>2</sub> (0,9–2,8 мг/л), CO<sub>2</sub> (10–20 мг/л), иногда H<sub>2</sub>S (0,5–1,7 мг/л). Концентрации микро-компонентов невысокие – Br<sup>-</sup> 4,5–8,5, H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> 4,4–10,1, F<sup>+</sup> 0,1–0,3 мг/л.

Формирование минеральных вод связано с процессами смешения инфильтрационных вод зоны гипергенеза с талассогенными рассолами, выдавливаемыми под влиянием гидростатических сил и геостатического давления из терригенных пород зильмердакской свиты рифея, выполняющей наиболее погруженные части Инзерского синклинория. Глубина формирования питающих источники струй, определенная с использованием геотермических данных, составляет 950–1000 м [9]. На глубинную природу вод указывают и высокие концентрации  $\text{He}$  ( $4,9 \cdot 10^{-2} - 1,1 \cdot 10^{-1}$  мл/л), имеющие тесные корреляционные связи с физико-химическими параметрами водной среды: положительные – с  $\text{Cl}$ -ионом,  $\text{M}$  и  $\text{T}$ , отрицательную – с величиной  $\text{Eh}$ . Это, с одной стороны, свидетельствует о разбавлении термальных глубинных рассолов, формирующихся в восстановительной геохимической обстановке, холодными пресными  $\text{O}_2$ -содержащими водами, а с другой – о совместной миграции с глубины  $\text{He}$  и подземных вод в виде единого газовой-жидкого флюида.

В Зилаирском синклинории на Асташской нефтеразведочной площади скважинами 6 и 2 на глубинах соответственно 2194–2222 и 2600–2700 м в нижнекаменноугольных карбонатных породах обнаружены в разной степени метаморфизованные ( $\text{rNa/rCl}$  0,38–0,81)  $\text{Cl-Na-Ca}$  воды с  $\text{M}$  13,7–42,9 г/л, концентрациями  $\text{Br}^-$  43,8,  $\text{I}^-$  2,5,  $\text{K}^+$  70,4,  $\text{NH}_4^+$  21 мг/л. Они обладают относительно низкой сульфатностью ( $\text{rSO}_4 \cdot 100/\text{rCl}$  0,48–1,8) и залегают в автохтоне под экранирующей поверхностью надвига в зоне контакта с глинистыми породами зилаирской свиты верхнего девона ( $\text{D}_3 \text{fm}$ ). Седиментогенный облик вод, несмотря на разбавление их буровым раствором, вполне очевиден.

Важно указать, что во многих структурно-поисковых скважинах (1, 2, 3, 6 и др.) на глубине 1670–3796 м отмечались проявления газов различной интенсивности (до 3–10 тыс.  $\text{m}^3/\text{сут}$ ). Они связаны как с породами карбона автохтонных частей разреза, так и с терригенными породами зилаирской свиты, слагающими аллохтон. В га-

зовом составе вод преобладает  $\text{CH}_4$  (86–98%), содержание его гомологов ( $\text{C}_2\text{H}_6 + \text{C}_3\text{H}_8$ ) < 2%, а  $\text{N}_2$  < 12%, что свойственно нефтегазовым залежам Предуралья. Такой же состав газов характерен и для расположенной к югу Сакмарской площади, где из зилаирской свиты получен приток газированной воды с пленкой нефти. Это указывает на восстановительный характер геохимической среды и гидрогеологическую закрытость глубоких частей палеозойского разреза, обеспечивающих сохранение седиментогенных рассолов и скоплений углеводородных газов.

Совершенно иные в геохимическом отношении воды были обнаружены параметрической скважиной 1 Кулгунинской площади, вскрывшей сильно метаморфизованные карбонатно-терригенные породы верхнего и среднего рифея до глубины 5145 м. Трещиноватость в них установлена в интервалах 620–1243, 1352–1430 и 3140–4696 м. С глубин 940 и 3215–3218 м получены притоки вод с  $\text{M}$  1,2 и 11,3 г/л  $\text{Cl-HCO}_3\text{-Na}$  и  $\text{Cl-HCO}_3\text{-SO}_4\text{-Na}$  состава. Они относятся к хорошо выраженному содовому типу ( $\text{NaHCO}_3$  до 61%) и отличаются очень высокой щелочностью ( $\text{HCO}_3^-$  680–3200 мг/л), что много больше, чем в инфильтрационных водах зоны гипергенеза ( $\text{HCO}_3^-$  < 200 мг/л), образующихся в результате гидролиза в силикатных породах. Не обнаруживается в них и седиментогенная (талассогенная) составляющая ( $\text{rNa/rCl}$  4,1 и 2,8).

Природа выявленного гидрогеохимического феномена, судя по всему, связана с сохранением в древних толщах Урала реликтов метаморфогенных и возрожденных вод, эмигрировавших из глинистых пород при их дегидратации на стадиях апокатагенеза и метакатагенеза. Количество их достигает 10–20% от массы породы. Это принципиальный вопрос, поскольку присутствие литогенных рассолов в глубоких недрах древних складчатых областей считалось крайне маловероятным [2].

### Магнитогорский мегасинклинорий

Магнитогорская мегазона представляет собой южную часть общеуральской отрицательной

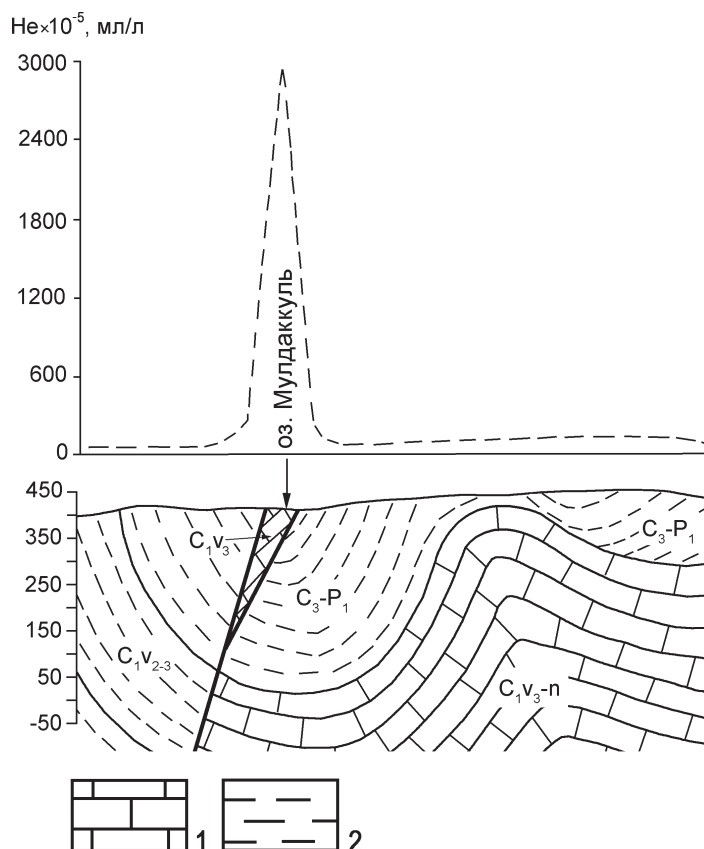


Рис. 2. Содержание гелия в подземных водах в районе оз. Мулдаккуль: **Кизильская свита:**  $C_{1v_{2-3}}$  – кремнистые сланцы, алевролиты, песчаники, туфоконгломераты;  $C_{1v_3}$  – известняки серые, светло-серые;  $C_{1v_{3-n}}$  – известняки розоватые, брекчированные; **янгельская свита:**  $C_{3-P_1}$  – сланцы, алевролиты, песчаники, конгломераты. 1, 2 – породы: 1 – известняки, 2 – сланцы, аргиллиты, алевролиты, песчаники, конгломераты

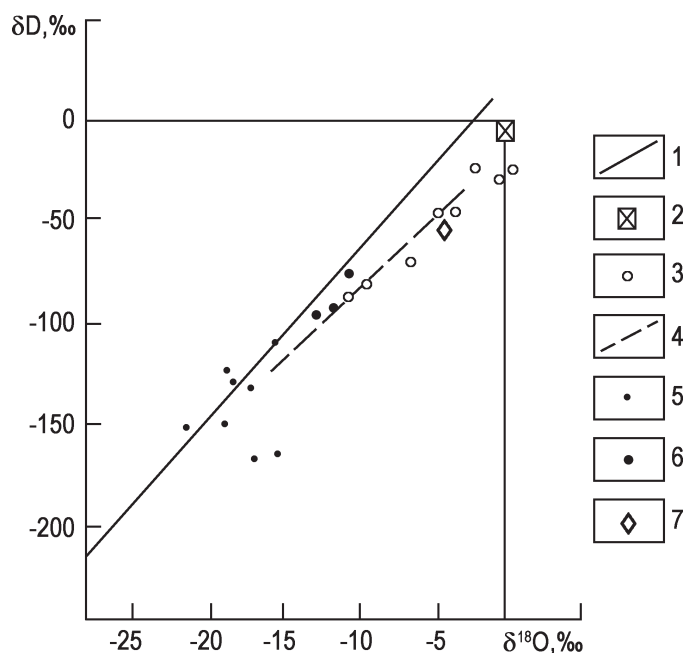


Рис. 3. Мулдаккульские минеральные воды на диаграмме изотопного состава некоторых генетических типов природных вод: 1 – линия Крейга метеогенных и поверхностных вод, 2 – стандарт океанической воды (SMOW), 3 – седиментогенные хлоридные кальциевые рассолы, 4 – линия хлоридных кальциевых рассолов, 5 – инфильтрагенные хлоридные натриевые рассолы, 6 – Мулдаккульские минеральные воды (скв. 10, 11), 7 – вода озера Мулдаккуль

структуры – Тагило-Магнитогорского прогиба, надвинутого по Главному Уральскому разлому на структуры Центрально-Уральского поднятия (см. рис. 1). Специфической особенностью ее служит широкое развитие вулканогенно-осадочных толщ силура, девона и карбона мощностью  $> 5000$  м. Структурно-тектоническая позиция этого сложно построенного комплекса описывается как синформа, осложненная разнообразными складками и высокоамплитудными (тысячи метров) дизъюнктивными дислокациями типа надвигов субмеридионального простирания [5].

О геохимических условиях флюидов глубоких частей недр Магнитогорской синформы можно судить по результатам опробования скважин Уральской нефтеразведочной площади и Мулдаккульского месторождения минеральных вод, находящихся в Кизильской структурно-фациальной зоне, выполненной различными эффузивами и их туфами, туфопесчаниками, сланцами, известняками, терригенным флишем нижнего и среднего карбона.

Уральскими скважинами 1, 4 и 5 на глубине 1152–2051 м в аллохтонной части разреза под зоной пресных вод в уртазымской, кизильской и березовской свитах вскрыты азотные соленые воды  $\text{HCO}_3\text{-Na}$ ,  $\text{HCO}_3\text{-Cl-Na}$  и  $\text{Cl-Na}$  состава с  $M$  1,7–8,6 г/л. Они формируются в затрудненных гидрогеодинамических условиях в результате экстракции из пород морских солей и глубокой переработки алюмосиликатного вещества под влиянием длительных во времени обменно-абсорбционных процессов [7].

В поднадвиговой, гидрогеологически закрытой части разреза состав подземных вод претерпевает кардинальные изменения. Скважиной 2 из интервала 3856–3932 м трещиноватых известняков кизильской свиты визе получен приток высоко метаморфизованных метановых  $\text{Cl-Na-Ca}$  рассолов с  $M$  65,9 г/л, величиной отношения  $r\text{Na}/r\text{Cl}$  0,41. В этой скважине трещиноватость отмечена также в интервале 2910–2940 м и на глубинах 3085 и 4195 м.

Воды  $\text{Cl-Ca-Na}$  состава с  $M$  18,7 г/л установлены и скважиной 4 на глубине 2020–2120 м в известняках и туфоалевролитах бе-

резовской свиты, залегающей под аллохтонной пластиной толщиной 1,1–1,6 км. Заслуживает внимания наличие в водах  $\text{Br}^-$ , содержание которого (51,8 мг/л) близко к таковому в нормальной морской воде ( $M$  36 г/л,  $\text{Br}^-$  65 мг/л,  $\text{Cl}/\text{Br}$  300). Судя по величинам отношений  $r\text{Na}/r\text{Cl}$  (0,59) и  $\text{Cl}/\text{Br}$  (196), исходными для них являются рассолы каменноугольного бассейна, захороненные в породах и претерпевшие метаморфизацию в прямом направлении (с образованием  $\text{CaCl}_2$ ).

На Мулдаккульском гидроминеральном месторождении инъекционного типа в песчаниках янгельской свиты ( $\text{C}_3\text{-P}_1$ ) обнаружены азотные  $\text{Cl-Ca-Na}$  и  $\text{SO}_4\text{-Cl-Mg-Na-Ca}$  воды с  $M$  до 37,2 г/л, содержанием  $\text{CaCl}_2$  до 50–80%. Они залегают на глубине 100–500 м в ядре куполовидной гидрогеохимической аномалии, приуроченной к зоне Смеловского разлома, по которому происходит восходящая разгрузка формационных рассолов  $\text{Cl-Ca}$  типа из нижнекаменноугольных отложений. На это указывают высокие концентрации  $\text{He}$  (до  $3 \cdot 10^{-2}$  мл/л), наличие  $\text{Br}^-$  (до 34 мг/л) и  $\text{I}^-$  (до 2 мг/л), а также изотопный состав  $\text{H}$  и  $\text{O}$  воды ( $\delta\text{D}\text{‰}$  –101...–78,  $\delta^{18}\text{O}\text{‰}$  –11...–13) (рис. 2–3) [10–11].

На железорудных и медноколчеданных месторождениях Тагило-Магнитогорского прогиба (Подольском, Теченском, Естюнинском и др.) на глубине 780–1235 м в эффузивной формации девона установлены соленые  $\text{Cl-Na}$  и  $\text{Cl-Ca-Na}$  воды с  $M$  3–9 г/л, газами углеводородного состава ( $\text{CH}_4 + \text{TU}$  70,1%). Они имеют геохимический облик талассогенных растворов, в разной степени измененных за счет эпигенетических процессов. Невысокая  $M$  объясняется разубоживанием седиментогенных вод, проникших в рудовмещающие эффузивы из окружающих осадочных пород, метеогенными водами в неотектонический этап развития Урала.

Косвенные данные о геохимии глубинных вод получены Уральской сверхглубокой скважиной СГ-4, пробуренной в северной части Тагило-Магнитогорского прогиба и вскрывшей эффузивно-осадочные образования силура на глубину 5780 м. В буровом растворе и в водных вытяжках из образцов вулканогенно-терригенной флишевой толщи, залегающей

в интервале 3057–5337 м, обнаружена соль  $\text{CaCl}_2$  [12], что может быть истолковано как наличие в породах литогенных вод Cl-Ca типа.

Выполненные исследования позволяют сделать вывод, что на Урале распределение газовой-жидких флюидов различного вещественного состава на глубинах до 5000 м подчинено нормальной геохимической зональности, принадлежащей к категории фундаментальных свойств земной коры и являющейся одним из главных законов существования воды в недрах Земли. Кислородно-азотные маломинерализованные  $\text{HCO}_3$ -Ca воды зоны гипергенеза на глубине > 500–1000 м сменяются азотными солеными Cl-Na водами, а > 2000–3000 м – метановыми рассолами Cl-Ca типа, содержащими спектр галофильных и биофильных микроэлементов. Рассолы связаны с осадочными, метаморфическими и вулканогенно-осадочными толщами палеозоя и позднего протерозоя, которые в силу надвигового (аллохтонного) строения оказались тектонически и литологически экранированными от воздействия гипергенных факторов. В своем большинстве рассолы являются продуктом седиментогенеза в талассогенных палеобассейнах различной солености и последующей метаморфизации в породах за счет эпигенетических процессов.

Дальнейшее гидрогеохимическое изучение Уральско-го складчато-надвигового пояса, особенно глубинное бурение, несомненно, даст новую информацию о распространении, формировании и происхождении заключенных в его недрах соленых и рассольных вод.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Колодий В.В., Кудельский А.В. Гидрогеология горных стран, смежных прогибов и впадин. Киев: Наукова думка, 1972. 204 с.
2. Зайцев И.К. Гидрогеохимия СССР. М.: Недра, 1980. 239 с.
3. Кирюхин В.А., Никитина Н.Б., Сударинов С.М. Гидрогеохимия складчатых областей. Л.: Недра, 1989. 253 с.
4. Крайнов С.Р., Рыженко Б.Н., Швец В.М. Геохимия подземных вод. Теоретические, прикладные и экологические аспекты. М.: Наука, 2004. 677 с.
5. Пучков В.Н. Геология Урала и Приуралья (актуальные вопросы стратиграфии, тектоники, геодинамики и металлогении). Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2010. 280 с.
6. Попов В.Г., Егоров Н.Н. Гелиевые исследования в гидрогеологии. М.: Наука, 1990. 168 с.
7. Попов В.Г. Литолого-гидрогеохимические последствия ионообменных процессов в седиментационных бассейнах (на примере Волго-Уральского бассейна) // Литология и полезные ископаемые. 2004. № 1. С. 48–59.
8. Шестов И.Н., Шурубор А.В. Роль Урала как области питания восточной части Волго-Камского артезианского бассейна // Гидрогеология и карстоведение. Вып. 7. 1975. С. 98–103.
9. Попов В.Г., Абдрахманов Р.Ф. // Отечественная геология. 1999. № 5. С. 62–66.
10. Абдрахманов Р.Ф., Попов В.Г. // Отечественная геология. 2012. № 1. С. 70–78.
11. Абдрахманов Р.Ф., Попов В.Г. Геохимия и формирование подземных вод Южного Урала. Уфа: Гилем, 2010. 420 с.
12. Михайлов Ю.В. Гидрогеологические массивы горноскладчатого Урала. Нижний Тагил: НТИ(ф) УГТУ-УПИ, 2007. 292 с.

## THE ORIGIN OF DEEP GROUNDWATERS IN THE SOUTH URALS

© R.F. Abdrakchmanov, V.G. Popov

Institute of geology, USC RAS, Ufa, Russian Federation

This article gives an analysis and generalization of the data on groundwater chemical and gas composition deep in the largest tectonic structures of the South Urals. The distribution of groundwaters by the degree of mineralization and composition is subject to the normal vertical hydrogeochemical zonation. Calcium chloride brines are found in the Paleozoic and Late Proterozoic sedimentary, metamorphic and volcano-sedimentary complexes at a depth of 3–5 km. Their origin is associated with sedimentation processes occurred in talassogenic basins with different salinity gradients and subsequent metamorphism of the surrounding rocks through epigenetic processes.

Key words: origin of groundwaters, geochemistry, calcium chloride brines, sedimentation, metamorphism, epigenetic processes.