Доклады Академии наук СССР
1976. Том 229, № 2

УДК 551.444

ГИДРОГЕОЛОГИЯ

Ю. Г. БОГОМОЛОВ, А. В. КУДЕЛЬСКИЙ, Н. Н. ЛАПШИН

ГИДРОГЕОЛОГИЯ КРУПНЫХ СЕДИМЕНТАЦИОННЫХ БАССЕЙНОВ

(Представлено академиком В. И. Смирновым 23 I 1976)

Первые представления об «артезианских водах» и «артезианских бассейнах» сложились в начале XII в. во Франции, где впервые в Европе были вскрыты самоизливающиеся воды в провинции Артезия (современное название Артуа). К этому периоду относятся работы французских ученых, в которых движение подземных вод рассматривалось подобно движению жидкости в сообщающихся сосудах, т. е. участки выхода водоносных пластов на дневную поверхность относились к области питания артезианского бассейна, а пониженные участки — к области транзита или разгрузки вод этого бассейна. Позднее появилось представление ([9]) о трех гидрогеодинамических зонах — «интенсивного водообмена», «затрудненного водообмена» и «застойного водного режима», которые в той или иной степени признаются исследователями до настоящего времени.

По современным взглядам ([8]) на гидрогеодинамическую зональность крупных водонапорных (артезианских) бассейнов — субаэральных и субаквальных — в пределах всей толщи подземной гидросферы (нижней границей следует принять линию предела насыщения для воды) условно выделяется два гидрогеодинамических этажа, различных по динамике и происхождению подземных вод. Верхний этаж включает гидрогеодинамические зоны свободного и затрудненного подземного стока, нижний этаж — зону весьма затрудненного подземного стока. Соответственно, исходя из этих представлений, выходы кристаллических пород к земной поверхности (кристаллические массивы) и непосредственно на нее (кристаллические щиты) необходимо рассматривать в качестве самостоятельных бассейнов подземных вод ([7]), а не только как области питания водонапорных (артезианских) бассейнов, как это представлялось ранее, а нередко ошибочно — и сейчас.

В гидрогеологическом разрезе земной коры выделяются безнапорные или под гидростатическим давлением бассейны грунтовых вод и водонапорные артезианские, элизионные и термобарические бассейны (см. табл. 1). Принципиальное различие между ними определяется характером и природой создания напоров подземных вод, пространственным положением областей питания и разгрузки водоносных комплексов. Однако гидрогеологические бассейны, соответствующие названным в их чистом виде, в природе не встречаются. Каждому гидрогеологическому бассейну свойственно многообразие гидрогеодинамики, причем в вертикальном разрезе бассейна имеет место ряд закономерных качественных превращений, укладывающихся в следующую схему (сверху вниз): гидрогеодинамические грунтовые системы, артезианские, элизионные, термобарические.

Гидрогеодинамические грунтовые системы распространены в верхних частях разреза всех без исключения гидрогеологических бассейнов. Питание водоносных горизонтов осуществляется за счет инфильтрации атмосферных осадков и в ряде случаев восходящими водами более глубоких напорных горизонтов. Движение направлено в сторону низких отметок зеркала грунтовых вод и в первом приближении подчиняется закону Дарси. При неглубоком залегании уровня подземных вод их температура обычно

Таблица 1

Схема вертикальной гидрогеологической зональности

Гидрогеодинамическая система	Особенность гидрогеодинамической системы (гидрогеологического бассейна)	Стадия формирования пород $\left[\frac{T,\ ^\circ C}{P,\ кбар}\right]$
Грунтовая	Безнапорная или под местным гидростатическим давлением. Свободный и затрудненный подземный сток, преимущественно инфильтрационный с элементами элизионного стока	Диагенез, начальный катагенез $\left[\frac{<350}{<25}\right]$
Артезианская Элизионная	Водонапорная. Свободный, затрудненный и весьма затрудненный подземный сток, элизионный, инфильтрационный и обусловленный десорбцией связанных вод и внедрением ретроградных растворов	Поздний катагенез, начальный метагенез $\left[\frac{\sim 350}{\sim 25}(\pm 15\%)\right]$
Термобарическая	Безнапорная или под местным парциальным давлением. Затрудненный и весьма затрудненный подземный сток, обусловленный десорбцией связанных вод и внедрением ретроградных растворов (приближаются к флюидам) с элементами элизионного стока	Поздний метагенез, региональный метаморфизм $\left[\frac{>350}{>25}\right]$

Примечание. В основу схемы положены разработки авторов и работы А. М. Блоха, Г. В. Богомолова, Ю. Г. Богомолова, Н. Б. Вассоевича, В. Н. Духаниной, И. К. Зайцева, Н. К. Игнатовича, А. А. Карцева, В. В. Колодия, В. И. Кононова, Б. И. Куделина, А. В. Кудельского, А. В. Лебедева, Ф. А. Макаренко, Ю. В. Мухина, А. М. Овчинникова, А. И. Силина-Бекчурина, Н. И. Толстихина, Е. У. Франка (E. U. Franck), А. Е. Ходькова, А. В. Щербакова, В. Энгельгардта и др.

соответствует среднегодовой температуре воздуха. Гидрогеодинамические грунтовые системы в вертикальном разрезе могут переходить в артезианские, при отсутствии же последних постепенно сменяются элизионными. Известны гидрогеологические бассейны, в пределах которых гидрогеодинамические грунтовые системы характеризуются значительными мощностями и связаны постепенными переходами непосредственно с термобарическими системами (кристаллические массивы или щиты, например Белорусский, Украинский, Воронежский, Африканский, Южно-Американский, Австралийский и др.).

Переход гидрогеодинамических грунтовых систем в системы артезианские известен во многих регионах (Парижский, Северо-Африканский гидрогеологические бассейны, некоторые внутригорные синклинали Копет-Дага, Кавказа и др.). Представления о природе и положении гидрогеодинамических артезианских систем в разрезе земной коры возникли и развивались на основе изучения неглубоко залегающих грунтовых и слабонапорных вод, для которых применим закон Дебая, базирующийся на допущении физической индифферентности водовмещающих пород и представлении о них как о матрице, в которой форма и размеры отверстий (пор) могут изменяться только под влиянием растворяющего действия движущихся вод. Гидрогеологические бассейны, укладывающиеся в гидрогеодинамическую артезианскую систему, в природе сравнительно редки и в чистом виде проявляются в областях несопоставимо малых влияний геостатических нагрузок и температур на матрицу пород по сравнению с расклинивающим действием движущихся под гидростатическим напором подземных вод ([11]).

С увеличением глубин залегания водовмещающих песчано-глинистых образований относительно индифферентная матричная система горных по-

род под воздействием возросших геостатических нагрузок и температур подвергается необратимым физико-химическим изменениям (сокращение объема пор и отжатие поровых растворов, пьезоэлектрические эффекты на контактах кристаллов с выходом элементов-примесей, термобарическая деструкция рассеянного органического вещества и т. д.) и превращается в активную геохимическую систему, инъецирующему влиянию которой во многом обязаны своим происхождением и динамикой подземные воды, пароводяные смеси и газы глубоких частей разреза осадочных толщ. Такие гидрогеодинамические системы, в которых динамика подземных вод определяется преимущественно сокращением объема порового пространства глинистых пород и отжатием поровых вод в пластовые резервуары под воздействием геостатических нагрузок, принято называть элизионными ([6], [10], [3], [4]). Отличие элизионных гидрогеодинамических систем от артезианских и термобарических состоит в том, что и создание напоров, и восполнение подземных вод связано здесь с геостатическим уплотнением глинистых образований и отжатием поровых вод в пластовые резервуары, в то время как в артезианских и термобарических системах формирование ресурсов, пластовых давлений и перемещение подземных вод происходит соответственно под воздействием инфильтрационного питания водоносных комплексов, термической дегидратации и фазовых переходов в системе порода — вода — газ — РОВ. В элизионной гидрогеодинамической системе возможно отсутствие пленочной воды. Результаты эксперимента по изучению зависимости теплофизических свойств влагонасыщенных горных пород от температуры ([1]), а также данные по изменению электрического потенциала при миграции влаги в песчано-глинистых породах подтверждают указанное предположение.

Наличие минерализованных вод в кристаллических породах под мощной толщей осадочных отложений общеизвестно и не вызывает сомнений в его природе. Факт нахождения минерализованных вод и рассолов в кристаллических щитах и массивах весьма неожидан и трудно объясним с позиции классической теории вертикальной гидрохимической зональности. Большинство исследователей склоняются к реликтовой природе таких вод. Представляется, однако, что их образование связано с прогибанием земной коры и, как следствие, с выжиманием соленых вод из преимущественно глинистых разностей в тело кристаллических массивов и щитов. Поэтому вполне объяснимо, что в ряде пунктов Балтийского, Украинского и Канадского щитов, а также Воронежского и Белорусского кристаллических массивов встречены соленые воды и рассолы ([5]).

На глубинах, превышающих первые тысячи метров, уплотнение глинистых пород под воздействием геостатических нагрузок практически завершается и отжим поровых растворов постепенно сменяется другими видами формирования напоров, важнейшими из которых являются процессы термобарического метаморфизма и дегидратации горных пород. Такие гидрогеодинамические системы удобнее называть термобарическими. Наиболее интенсивно процессы дегидратации минералов в этой гидрогеодинамической системе протекают при температурах свыше 200—300°. Перегретые воды и надкритические гомогенные флюиды, характеризуясь очень высокой текучестью ([2], [12]) и расклинивающей способностью по отношению к породе, пронизывают все микротрещины, тонкие капилляры и межкристальные полости, способствуя выносу и перераспределению продуктов дегидратации минералов, возгонке многих соединений металлов (гидроксиды и пр.) и деструкции РОВ, в результате которой высвобождается огромное количество воды, углеводородных соединений, азота, углекислого газа, водорода и др. Растворяющая способность надкритических флюидов в связи с уменьшением степени ассоциированности молекул воды снижается, однако благодаря матричным инъекциям концентрация вещества в них постоянно растет, причем даже при температурах свыше 400° и давлении в несколько килобар возможно сосуществование плотных

гомогенных смесей воды и углеводородов ([12]). Вместе с тем, растворенные в водах вещества, в частности углеводородные газы, оказывают заметное влияние на процессы разложения воды.

В свете проблемы гидрогеологической зональности важнейшей закономерностью является положение гидрогеологического раздела пресных и минерализованных вод, устанавливаемого формально по содержанию в подземной воде хлора 40 мг/л и по общей минерализации 1 г/л. Зеркальное отражение поверхности раздела пресных и минерализованных вод рельефом складчатого основания позволяет уверенно прогнозировать глубину его залегания. Приведенная закономерность может быть универсальной, по-видимому, в пределах эпикарельских — эпикаледонских участков стабилизации земной коры, развитие которых связано с наиболее глубоким уровнем неустойчивости тектоносферы. Амплитуда и период колебания такого гидрогеологического раздела зависит от частных причин, но должна сохраняться для одновозрастных структур ([5]).

В связи с вышеизложенным представляется, что на современном этапе развития гидрогеологической области знаний целесообразен статистический анализ гидрогеологических и геолого-тектонических параметров в пределах ряда крупных водонапорных бассейнов с целью выявления фактической генетической связи гидрогеологического и геолого-тектонического содержания (районирования).

Государственный производственный и научно-исследовательский институт проектирования водного хозяйства
Москва

Институт геохимии и геофизики
Академии наук БССР
Минск

Министерство мелиорации и водного хозяйства СССР
Москва

Поступило
9 I 1976

ЛИТЕРАТУРА

[1] *П. П. Атрощенко, Ю. Г. Богомолов, М. А. Пархомов*, Докл. АН БССР, № 3 (1976). [2] *А. М. Блох*, Структура воды и геологические процессы, М., 1969. [3] *Г. В. Богомолов, А. А. Карцев и др.*, В сб.: Гидрогеология и инженерная геология, Международн. геол. конгр., XXIV сессия, докл. сов. геол., 1972. [4] *Г. В. Богомолов, А. В. Кудельский, В. В. Колодий*, ДАН, т. 212, № 4 (1973). [5] *Ю. Г. Богомолов*, В кн.: Г. В. Богомолов и др., Гидрогеология, гидрохимия. геотермия геологических структур, Минск, 1971, стр. 39. [6] *Н. Б. Вассоевич*, В кн.: Вопросы образования нефти, М., Гостоптехиздат, 1958. [7] *И. К. Зайцев*, В кн.: Основные типы гидрогеологических структур СССР, Л., 1974, стр. 5. [8] *И. К. Зайцев, В. М. Тарасов*, Сов. геол., № 11 (1972). [9] *Н. К. Игнатович*, Гидрогеология русской платформы, М., Госгеолтехиздат, 1945. [10] *А. А. Карцев, С. Б. Вагин*, Изв. АН СССР, сер. геол., № 11 (1966). [11] *В. В. Колодий, А. В. Кудельский*, Гидрогеология горных стран, смежных прогибов и впадин, Киев, «Наукова думка», 1972. [12] *E. U. Franck*, Endeavour, v. 27, 101, 55 (1968).