

Академик АН БССР Г. В. БОГОМОЛОВ, А. В. КУДЕЛЬСКИЙ,
В. В. КОЛОДИЙ

ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ЗОНАЛЬНОСТЬ ЗЕМНОЙ КОРЫ

В литературе, посвященной региональной гидрогеологии крупных территорий, в качестве основных таксономических единиц широкое применение находят бассейны грунтовых вод, артезианские и элизионные (седиментационные) бассейны. Принципиальное различие между ними определяется характером и природой создания напоров подземных вод, пространственным положением областей питания и разгрузки водоносных комплексов. Однако гидрогеологические структуры, соответствующие названным в их чистом виде, в природе не встречаются (¹). Каждому гидрогеологическому бассейну свойственно многообразие гидродинамических обстановок, причем последние в вертикальном разрезе претерпевают ряд закономерных качественных превращений, укладываемых в следующую схему (сверху вниз): системы грунтовых (безнапорных) вод → артезианские системы → элизионные → термогидродинамические * (см. табл. 1).

Гидродинамические системы грунтовых вод 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 гипсометрических отметок зеркала грунтовых вод и в первом приближении подчиняется закону Дарси. При неглубоком залегании уровня подземных вод их температура обычно соответствует среднегодовой температуре воздуха. Гидродинамические системы грунтовых вод в вертикальном разрезе могут переходить (скачкообразно) в артезианские, при отсутствии их — постепенно сменяются элизионными. Известны гидрогеологические бассейны, в пределах которых гидродинамические системы грунтовых (грунтово-трещинных) вод характеризуются значительными мощностями и связаны постепенными переходами непосредственно с термогидродинамическими (кристаллические щиты, например Белорусский, Украинский, Воронежский и др.).

Переход гидродинамических систем грунтовых вод в системы артезианские известен во многих регионах (Парижский гидрогеологический бассейн, Северо-Африканский, некоторые внутригорные синклинали Копет-Дага, Кавказа и др.). Характеристика артезианских водонапорных систем приводится в (^{2, 3}) и в др. Здесь же необходимо подчеркнуть, что представления о природе и положении артезианских систем в разрезе земной коры возникли и развивались на основе изучения неглубоко залегающих грунтовых и слабонапорных вод, для которых применим закон Дарси, базирующийся на допущении физической индифферентности водовмещающих пород и представлении о них как матрице, форма и размеры отверстий (пор) в которой могут изменяться только под влиянием растворяющего действия движущихся вод. Как показано в (¹), гидрогеологические структуры, укладываемые в схему артезианского бассейна (^{2, 3}), в природе сравнительно редки и в чистом виде наблюдаются только в самых верхних частях разреза земной коры, где влияние геостатических на-

* Выделяется впервые. Термин наш.

Схема гидрогеологической зональности земной коры *

Структура		Гидродинамические системы (зоны)	Стадия формирования пород	Особенности гидродинамики		Температура, °С
Гидрогеологический бассейн	Бассейн грунтовых вод	Грунтовые воды	Диagenез. Гидрогеологические системы могут быть связаны также с древними сильно метаморфизованными и кристаллическими трещиноватыми породами	Безнапорные	Интенсивность движения подземных вод. Питание водоносных горизонтов преимущественно инфильтрационное	до 50—60
		Артезианские		Под гидростатическим давлением		
	Водонапорный бассейн	Элизионные	Поздний диagenез. Начальный и поздний катагенез	Замедленного и весьма замедленного движения подземных вод. Преимущественно элизионный водообмен с элементами десорбции связанных вод и внедрения ретроградных растворов. На последних стадиях катагенеза последние преобладают		50—200
		Термогидродинамические	Начальный и поздний метagenез. Региональный метаморфизм	Обусловлены наличием перегретых вод и ретроградных растворов, приближающихся по своим свойствам к флюидам		200—450
				Обусловлены преимущественным развитием надкритических флюидов		450—700

* В основу предложенной зональности положены разработки авторов, а также материалы А. М. Блоха, В. И. Кононова, Ф. А. Макаренко, Н. И. Толстихина, Е. У. Франка, А. Е. Ходьнова, А. В. Щербакова и др.

грузок и температур на матрицу пород несопоставимо мало по сравнению с расклинивающим влиянием движущихся под гидростатическим напором подземных вод.

С увеличением глубин залегания водовмещающих песчано-глинистых образований относительно индифферентная матричная система горных пород 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 рецепторную геохимическую систему, инъецирующему влиянию которой во многом обязаны своим происхождением и динамикой подземные воды, пароводяные смеси и газы глубоких частей разреза осадочных толщ.

Гидрогеологические системы, в которых динамика подземных вод определяется преимущественно процессами сокращения объема порового пространства глинистых пород и отжатия поровых вод в пластовые резервуары под воздействием геостатических нагрузок, принято называть элизионными. Их характеристика приводится в (4, 1) и в др. Здесь же следует отметить, что в связи с физико-химической нестабильностью матрицы осадочных образований, гранулярной гетерогенностью и фациально-литологической невыдержанностью песчаных и глинистых слоев представляется неправомерным применение закона Дарси или его эмпирических модификаций (Силина-Бекчурина, Зерчанинова, Качалова-Якобсона и др.) для оценки гидродинамических условий в разрезе элизионных систем. По

этим же причинам процессы отжатия поровых растворов и даже наличие перепадов пластовых давлений — хотя и необходимое, однако далеко недостаточное условие для дальнейшего латерального перемещения подземных вод. Справедливость вышеизложенного подтверждается новейшими исследованиями ((⁵, ⁶) и др.), из которых следует, что пластовые перемещения подземных вод в разрезе элизионных систем не имеют столь широких масштабов, которые предполагались а priori и возможны, по-видимому, только в пределах отдельных тектонических блоков, характеризующихся сравнительно однородными литолого-фациальными условиями (⁶).

На глубинах, превышающих первые тысячи метров, уплотнение глинистых пород под воздействием геостатических нагрузок практически завершается, и отжим поровых растворов как источник пластовых энергий постепенно сменяется другими видами формирования напоров, важнейшими из которых являются процессы термобарического метаморфизма и дегидратации горных пород ((⁹⁻¹²) и др.). Гидрогеологические системы, энергетика которых определяется преимущественно термическими процессами, названы нами термогидродинамическими.

Наиболее интенсивно процессы дегидратации минералов протекают при температурах свыше 200—300°. Перегретые воды и надкритические гомогенные флюиды, характеризуясь очень высокой текучестью (⁷, ⁸) и расклинивающей способностью по отношению к породе, пронизывают все микротрещины, тонкие капилляры и межкристалльные полости, способствуя выносу и перераспределению продуктов дегидратации минералов, возникновению многих соединений металлов (гидроксиды и др.) 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 (⁸), 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 (⁷).

Имея в виду физические свойства перегретых вод и надкритических флюидов (⁷, ⁸), следует полагать, что характер их динамики определяется, прежде всего, наличием сверхвысоких температур и, в меньшей мере, физическими свойствами и структурой горных пород. Движения их направлены к крупным разломам — зонам разгрузки всех видов напряжений в глубинных частях земной коры. По достижении аномально высоких (для указанных условий) давлений в «облаках» надкритических флюидов и ретроградных растворов последние прорываются по плоскостям разломов в верхние части осадочных толщ и, в результате трансформации вертикальных движений в горизонтальные, активно влияют на гидродинамику элизионных и глубоких частей артезианских систем, играют определяющую роль в формировании залежей углеводородов, грязевых вулканов и зон с аномально высокими пластовыми давлениями (АВПД), рудных месторождений и вод со специфическим набором микрокомпонентов (J, F, H₂ и др.).

Помимо выделенных (табл. 1) в гидрогеологическом разрезе земной коры в настоящее время известен еще один тип гидродинамических систем — деградировавшие элизионно-термогидродинамические (термин наш). Осадочные образования в разрезе этих систем под воздействием жестких термобарических условий однажды достигли высоких степеней метаморфизма и консолидации и на современном этапе развития не способны к геостатическому уплотнению, как это свойственно породам в разрезе элизионных систем. В то же время, в связи с резким снижением температур горные породы не подвержены и термической дегидратации, характерной для систем термогидродинамических. Эти своеобразные мумифицированные гидродинамические системы известны в Припятской виа-

дине (девон), в Днепровско-Донецком бассейне и др. Для них характерно отсутствие современных внешних и внутренних областей питания водоносных комплексов, латерального перемещения подземных вод и рассолов, а существующие напоры поддерживаются преимущественно за счет вторичного сокращения объема трещин под воздействием неотектонических процессов и связанного с ними пластического перемещения соляных масс.

Институт геохимии и геофизики
Академии наук БССР
Минск

Поступило
3 IV 1973

Институт геологии и геохимии горючих ископаемых
Академии наук УССР

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ В. В. Колодий, А. В. Кудельский, Гидрогеология горных стран, смежных прогибов и впадин, Киев, 1972. ² А. М. Овчинников, Общая гидрогеология, М., 1955. ³ Г. Н. Каменский, М. М. Толстихина, Н. И. Толстихин, Гидрогеология СССР, М., 1959. ⁴ А. А. Карцев, Гидрогеология нефтяных и газовых месторождений, М., 1963. ⁵ А. Е. Ходьков, Г. Ю. Валуконис, В сборн. Вопросы гидрогеологии и геохимии, Л., 1966. ⁶ Н. В. Роговская, Л. Г. Соколовский, Сов. геол., № 8 (1972). ⁷ E. U. Franck, Endeavour, 27, № 101, 55 (1968). ⁸ А. М. Блох, Структура воды и геологические процессы, М., 1969. ⁹ Г. В. Богомолов, В. В. Красинцева, А. И. Силян-Бекчурин, Докл. АН БССР, 10, № 11 (1966). ¹⁰ А. А. Сауков, Тр. Инст. геол. рудных месторожд., в. 46 (1960). ¹¹ X. С. Йодер (младший), В сборн. Земная кора, ИЛ, 1957. ¹² Н. И. Толстихин, Зап. Ленингр. горн. инст., 62, Гидрогеол. и инж. геол., в. 2 (1971).