

ГИДРОГЕОЛОГИЯ

УДК 556.3

О фундаментальных проблемах гидросферы и силикатном типе карстаА.Я. Гаев^{a,b,d}, Ю.А. Килин^{c,d}^aОренбургский научный центр УрО РАН, 460000, Оренбург, ул. Пионерская, 11^bИнститут экологических проблем гидросферы при ОГУ, 460018, Оренбург, пр. Победы, д. 13. E-mail: gayev@mail.ru^cИнститут карстоведения и спелеологии Русского географического общества, 614600, Пермь, ул. Букирева, 15^dПермский государственный национальный исследовательский университет, 614990, Пермь, ул. Букирева, 15. E-mail: yuakilin@mail.ru*(Статья поступила в редакцию 28 апреля 2017 г.)*

Обоснование модели гидросферы с двумя областями питания и разгрузки раскрывает закономерности формирования подземных вод, отражающие особенности системы вода – порода – газы – живое вещество и характер взаимодействия гидросферы с другими оболочками Земли. Разработку основ эндогенной гидрогеологии с изучением силикатного типа карста необходимо сосредоточить на исследовании «черных и белых курильщиков», структуры и изотопного состава вод в различных фазовых состояниях, на моделировании ситуации в зоне гидрометагенеза. Это будет способствовать развитию геотехнологии и обеспечению человечества минеральными и энергетическими ресурсами на перспективу.

Ключевые слова: *модель гидросферы с двумя областями питания и разгрузки, карстосфера, силикатный тип карста.*

DOI: 10.17072/psu.geol.16.3.232

Вводная часть

Элементы фундаментальных представлений о гидрогеологии и гидросфере прослеживаются в работах Ж. Ламарка, Э. Зюсса, К. Кейльгака, О. Мейнцера, а в России – С.Н. Никитина, В.И. Вернадского, П.Н. Чирвинского, Ф.П. Саваренского, Г.В. Богомолова, Г.Н. Каменского, Н.И. Толстихина, А.М. Овчинникова, Г.А. Максимовича и др., в которых раскрываются представления о единстве природных вод Земли и делаются попытки комплексного рассмотрения генетических признаков вод с положением в гидросфере, особенностями их динамики, физических свойств и химического состава. По

А.А. Карцеву (1972), строение гидросферы определяет условия залегания подземных вод, их химический и изотопный состав, особенности динамики и формирования. Используя палеогидрогеологический анализ, он выделяет типы нефтегазонасыщенных бассейнов, раскрывает их роль в формировании, сохранении и разрушении месторождений углеводородов, отмечает высокую эффективность использования гидрогеологических методов при поисках, разведке и эксплуатации нефтяных месторождений.

До многотомной монографии «Основы гидрогеологии» (1984) гидрогеология считалась наукой о подземных водах, а не наукой о гидросфере планеты. Ее авторы

подчеркнули, что в характере залегания вод интегрируются физико-географические, структурно-геологические и термодинамические условия их формирования. Вслед за К. Кейльгаком (1935), А.М. Овчинниковым (1955), О.К. Ланге (1959) и др. они отметили большую сложность разработки комплексной классификации подземных вод из-за разнообразных условий и изменчивости их параметров. Е.В. Пиннекер кроме вод суши выделил подземные воды под морями и океанами (1980, 1984). Н.И. Толстихин, характеризуя воды земной коры, выделил и зону горячего пара как прообраз вод в надкритическом состоянии. В.А. Кирюхин (2008) в геологической ветви круговорота воды определил три цикла ее движения: 1) литогенетический со схемой движения осадочный бассейн ↔ складчатая структура; 2) собственно геологический, по А.Н. Павлову (1977) или субдукционный, обусловленный движением литосферных плит, и 3) мантийный, обусловленный мантийными плюмами. С литогенетическим циклом он связывает элизионные воды с 15÷25 % метаморфогенных вод, поступающих из глубин. При этом процессы в системе вода – порода значительно осложняются из-за многократных смен трансгрессий и регрессий моря. Неотектонические движения влияют на гидродинамические, геохимические и теплоэнергетические процессы в глубоких горизонтах земной коры, а тектоническая трещиноватость обеспечивает взаимодействие геологической и климатической ветвей круговорота воды. Субдукционный цикл круговорота воды, по В.А. Кирюхину, связан «со схемой движения океанического дна и системой конвективных потоков в верхней мантии». В соответствии с плитной теорией перемещение океанической коры и слоев мантии происходит от срединных хребтов и возвышенностей к континентам, а крупные тектонические разломы формируются за счет разной скорости потоков под разными плитами и блоками. При погружении отдельных блоков под континенты на глубины до 750

км, по Х. Хессу, происходят значительные деформации земной коры. В зоне срединных хребтов и возвышенностей вещество мантии при температуре 300÷400°C взаимодействует с морской водой. Серпентинизация перидотита при этом обеспечивает поступление в океан большого количества железа, марганца, никеля, кобальта, хрома и других металлов. Темпы перемещения морской воды от срединных хребтов к континентам составляют, по В.А. Кирюхину, порядка 0,2 км³ в год, а всего воды в океанической литосфере находится порядка 1,8•10⁸ км³. В соответствии с плитной тектоникой на участках глубоководных желобов океанические плиты погружаются под континенты, и часть этой воды принимает участие в гранитизации коры, а часть возвращается через жерла вулканов на поверхность. Остальная вода вовлекается в подкоровые течения и возвращается в океан при подводных извержениях магмы в зонах срединных океанических хребтов в количестве порядка 1 км³ в год. Под влиянием плюмовой тектоники (Лобковский, 2004) В.А. Кирюхин (2008) выделил мантийный цикл геологического круговорота воды. То есть плюмово-плитная тектоника играет существенную роль в формировании гидросферы и планетарного круговорота воды, но неясным остается вопрос о границах гидросферы. Методами сейсмомографии плюмы выявлены и на границе мантии с ядром Земли. Но нижняя граница гидросферы вряд ли опускается ниже астеносферы, которая, видимо, ограничивает область распространения и формирования не только ювенильных вод, но и существования химических элементов в том виде, который мы знаем по таблице Д.И. Менделеева.

О планетарном круговороте воды

При оценке водоносности гидросферы современные представления ограничиваются верхней частью литосферы и ориентировочными знаниями о круговороте воды на планете (рис. 1). В представлениях о планетарном круговороте воды учиты-

ваются орографическая дисимметрия совместно с ландшафтно-климатическими особенностями территории, ее гидрографией, геологическими структурами, литологией и коллекторскими свойствами пород.

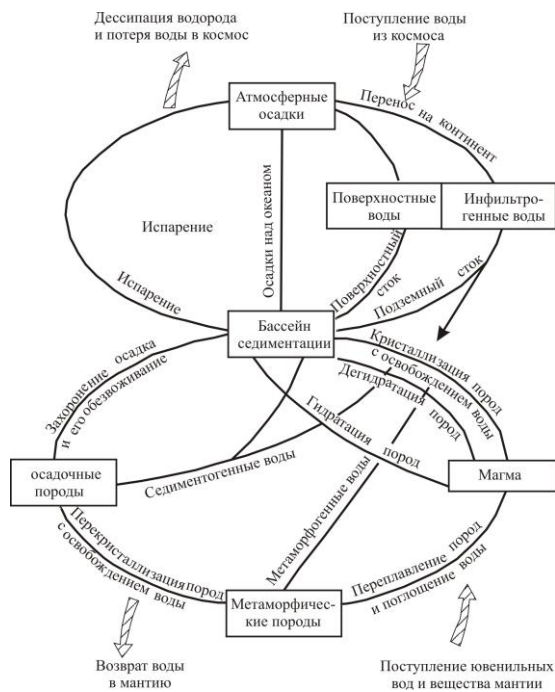


Рис. 1. Взаимосвязь гидрологической и геологической ветвей круговорота воды в земных недрах (Пиннекер, 1984)

Учитывается также водоносность зон активного водообмена и регионального стока. В глубоких частях гидросферы на первый план выступают термодинамические условия земной коры, формирующиеся в процессе развития гидрогеологических структур и в зависимости от свойств и состава пород, а также наличия или отсутствия взаимосвязи экзогенной и эндогенной областей питания и разгрузки.

Нам представляется, что эта модель, не привязанная к разрезу земной коры с конкретной гидрогеологической зональностью, структурно-гидрогеологическими условиями залегания и движения подземных вод только в первом приближении отражает модель строения гидросферы. При ее конкретизации становится очевидным, что гидросфера имеет две области питания и разгрузки (рис. 2). На континентах выделяются два типа разрезов гидросферы: платформенных и горно-складчатых областей. У них резко отличаются функциональная роль в гидросфере планеты, вертикальная гидрогеологическая зональность и характер пространственно-временной взаимосвязи эндогенной (ювенильной) и экзогенной (климатической) областей питания и разгрузки вод. Функционально горно-складчатые области играют роль климатической области питания подземной гидросферы.

Повышенная мощность осадочных пород на платформах, как в пределах континентов, так и в смежных областях морского и океанического дна, обусловила хорошую закрытость недр, благоприятную для формирования и сохранения залежей нефти и газа. В горно-складчатых областях в период их формирования эндогенные процессы в определенные периоды геологической истории проявлялись на поверхности Земли по причине развития глубинных разломов. Эти разломы и сопутствующая им трещиноватость пород обновляются и на последующих этапах геологической истории, наследуя некоторые реликты взаимосвязи климатической и ювенильной областей питания и разгрузки. Только в прогибах и межгорных впадинах с повышенной мощностью осадочных пород формируются относительно закрытый гидрогеологический режим и отличная от гор гидрогеологическая зональность. В горах гидрогеологическая и ландшафтно-климатическая зональность проявляется несколько иначе. Но в целом на континентах в верхней части гидросферы повсеместно выделяются следующие гидродинамические зоны: 1) аэрации, 2) сезонных и многолетних колебаний уровня грунтовых вод, 3) насыщения и постоянного стока в реки, моря и океаны. В более глубоких частях земной коры наблюдается дисимметрия в зональности платформенных и горных районов. Еще более значительная дисимметрия наблюдается в гидрогеологических разрезах континентов и океана, что обусловлено глубинами залегания астеносферы и ди-

нах выделяются два типа разрезов гидросферы: платформенных и горно-складчатых областей. У них резко отличаются функциональная роль в гидросфере планеты, вертикальная гидрогеологическая зональность и характер пространственно-временной взаимосвязи эндогенной (ювенильной) и экзогенной (климатической) областей питания и разгрузки вод. Функционально горно-складчатые области играют роль климатической области питания подземной гидросферы.

Повышенная мощность осадочных пород на платформах, как в пределах континентов, так и в смежных областях морского и океанического дна, обусловила хорошую закрытость недр, благоприятную для формирования и сохранения залежей нефти и газа. В горно-складчатых областях в период их формирования эндогенные процессы в определенные периоды геологической истории проявлялись на поверхности Земли по причине развития глубинных разломов. Эти разломы и сопутствующая им трещиноватость пород обновляются и на последующих этапах геологической истории, наследуя некоторые реликты взаимосвязи климатической и ювенильной областей питания и разгрузки. Только в прогибах и межгорных впадинах с повышенной мощностью осадочных пород формируются относительно закрытый гидрогеологический режим и отличная от гор гидрогеологическая зональность. В горах гидрогеологическая и ландшафтно-климатическая зональность проявляется несколько иначе. Но в целом на континентах в верхней части гидросферы повсеместно выделяются следующие гидродинамические зоны: 1) аэрации, 2) сезонных и многолетних колебаний уровня грунтовых вод, 3) насыщения и постоянного стока в реки, моря и океаны. В более глубоких частях земной коры наблюдается дисимметрия в зональности платформенных и горных районов. Еще более значительная дисимметрия наблюдается в гидрогеологических разрезах континентов и океана, что обусловлено глубинами залегания астеносферы и ди-

симметрией в строении планеты в целом. Это различие проявляется и на глубинах перехода вод в надкритическое состояние под влиянием области формирования

ювенильных вод, а также в состоянии равновесно-неравновесной системы вода – порода – газ – живое вещество.

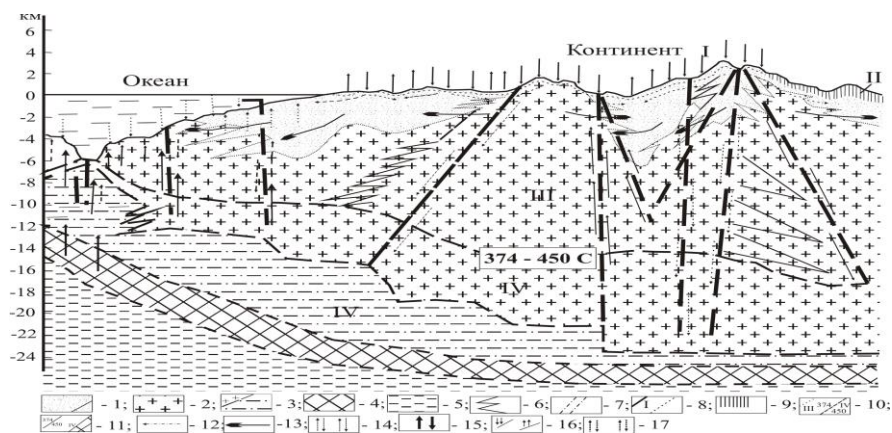


Рис. 2. Модель гидросферы Земли с двумя областями питания и разгрузки вод: 1 – осадочный чехол земной коры и его подошва; 2 – гранитная и базальтовая оболочки земной коры; 3 – верхняя мантия над астеносферой и граница Моховичича; 4 – ювенильная область питания и раз-

грузки флюидов гидросферы в зоне влияния астеносферы; 5 – мантия под астеносферой; 6 – надвиги и шарьяжи в земной коре и верхней мантии вследствие плитной тектоники; 7 – зоны глубинных тектонических нарушений; 8 – зона аэрации и ее нижняя граница (вне масштаба); 9 – криолитозона; 10 – зона полного насыщения и ее границы; 11 – зона вод в надкритическом состоянии и ее границы; 12 – направление движения «местных» потоков подземных вод; 13 – региональных потоков; 14 – глубинных субвертикальных потоков; 15 – направление движения флюидов в ювенильной области питания и разгрузки гидросферы; 16 – инфильтрационное питание и разгрузка испарением и транспирацией грунтовых вод; 17 – захоронение морской воды и отжатие поровых вод

О свойствах воды в различных термодинамических условиях

Считается, что переход вод в надкритическое состояние происходит при температуре 374÷450 °С, но температура не единственный фактор перехода. Изменение свойств воды при повышении температуры и давления замечено давно. Так, в автоклавах вода при температуре 300÷400 °С и давлении 100 МПа активизируется, становится кислой и легко растворяет вещества, не растворимые в обычных условиях. Состав воды из водорода и кислорода установлен исследованиями Г. Кавендиша, А. Лавуазье, А. Гумбольдта, Ж.Л. Гей-Люссака в конце XVIII – начале XIX вв. Исследователи давно отметили аномальность многих свойств воды: уменьшение ее плотности при переходе в твердое состояние, высокую теплоемкость (4,19 Дж/ °С), определяющую климатические условия планеты, высокую диэлектрическую постоянную и изменчивую

вязкость. Ее удивительные свойства объясняются изменчивостью структуры из-за водородных связей (мостиков). Дж. Бернал и Р. Фаулер (1933), используя рентгенографические и спектроскопические методы, обосновали ее тетраэдрическую структуру по аналогии со структурой льда и способность ее молекул агрегировать. Каждая молекула воды в их модели находится в окружении четырех других молекул (рис. 3). Объяснили это они водородными связями (мостиками) и присущими воде тремя типами структуры, характерными для элементов VI b подгруппы таблицы Д.И. Менделеева.

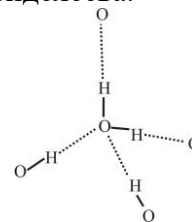


Рис. 3. Тетраэдрическое строение структуры воды и водных растворов, по Дж. Берналу и Р. Фаулеру (1933)

По М. Агено (Блох, 1969), молекулы воды, благодаря водородным мостикам, образуют кольцевые структуры и агрегаты молекул пяти конфигураций (рис. 4). Электроотрицательность создается кислородом, а избыток положительных зарядов – водородом. Возникают водородные связи, электрический момент и полярность между ионами. Избыток зарядов между ионами водорода и кислорода соседних молекул компенсируется водородными связями. Электрический момент определяется из произведения одного заряда на расстояние между противоположными зарядами. Ион водорода мал и легко захватывается ионом кислорода соседней молекулы воды. Между ионами водорода и кислорода двух соседних молекул формируются четыре водородные связи с энергией в $17 \div 33$ кДж/моль и полимерный характер структуры с агрегатными цепочками молекул.

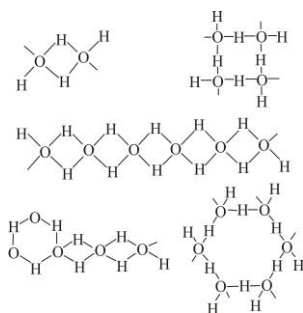


Рис. 4. Кольцевые структуры агрегатов молекул воды пяти конфигураций с водородными мостиками во внешних оболочках Земли, по М. Агено (1967)

Простейшие из них создают димеры H_2O_2 и линейные цепи из серии колец с двумя водородными мостиками у каждого. Каждое кольцо сформировано из двухшести молекул, но молекула может иметь только две водородные связи, одной валентной и одной коллективной (не поделенной) электронных орбиталей. Одновременно в воде присутствуют все типы агрегатов, а равновесие между ними определяется термодинамическими условиями. При неизменных термодинамических условиях количество водородных мостиков остается постоянным. Van Thiel,

Becker, Pimentel (1957) методом спектроскопии и матричной изоляции подтвердили наличие кольцевых структур и агрегатов молекул воды, выявив цикличность в строении димеров (Блох, 1969). С повышением температуры эти структуры укорачиваются и разрушаются вплоть до гидроля с плоскими, межатомными связями, образующими равнобедренный треугольник с углом при вершине в 104° (рис. 5). Наибольшая плотность электронов вокруг атома кислорода определяет полярность гидроля.

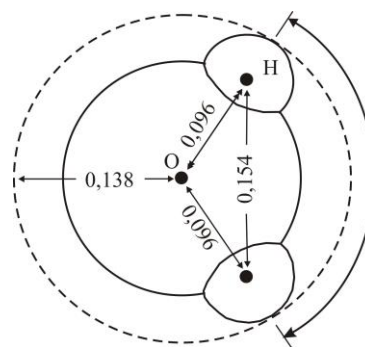


Рис. 5. Гидроль молекулы воды при высокой температуре с плоскими, межатомными связями равнобедренного треугольника и углом при вершине в 104° (межъядерные расстояния даны в нм)

Х.С. Френк и У.И. Вин; Д. Эйзенберг, В. Кауцман и др. считают, что агрегаты молекул воды со структурой льда находятся в массе несвязанных молекул. О.Я. Самойлов и др. говорят об однородном тетраэдрическом льдоподобном каркасе, связи которого деформируются при тепловом движении молекул.

Гипотеза М. Аджено (Блох, 1969) хорошо объясняет многообразие аномальных свойств воды, обусловленных особенностями ее структуры. Вода – многолика. Формула воды H_2O справедлива только при температуре $> 250^\circ C$. При более низкой температуре ее формулу надо писать $(H_2O)_n$, где n изменяется от 2 до 860 в зависимости от температуры и давления. Твердому, жидкому, парообразному и надкритическому состоянию воды соответствуют свои структурные особенности строения. Вода в надкритическом

состоянии обладает аномально высокой растворяющей способностью из-за особенностей ее структуры. Установлено, что структурировано при комнатной температуре до 50 % молекул воды, при 100°C – 30 %, а при температуре в 374 °C водородные мостики вообще не проявляются. Вода в противоположность другим жидкостям с ростом давления не уплотняется, ее вязкость сначала уменьшается из-за структурного заполнения пустот между молекулами, а при давлении в 100 МПа начинает повышаться из-за активированного состояния. Макс Вильке (2013) с коллегами назвал такую воду сверхводой. Некоторые термальные минеральные источники обладают целебными свойствами благодаря такой воде, а не ее химическому составу. На активацию воды таких источников, видимо, оказывают влияние ювенильные воды. Водородные связи в активированных водах слабее химических связей. Они измеряются в единицах ккал/моль, но именно из-за них формируются агрегаты молекул.

Карст и уникальные свойства воды

Очевидно, что свойства воды в надкритическом состоянии превращают ее в растворитель даже тех веществ, которые в обычной воде практически не растворимы. Это, в частности, подтверждено Максом Вильке с коллегами и другими исследователями. Типичные растворимые породы представлены известняками, доломитами, мергелями, гипсами, ангидритами и солями. Эти породы изучают карстоведы, и только в регионах Урала и Приуралья они распространены на 40 % площади. В них формируются карстовые формы, изучение которых имеет большое практическое значение. Поэтому Л.И. Маруашвили (1970) предложено выделить толщи этих пород в виде карстосферы. В ней карстующиеся породы играют ведущую роль. Масса карбонатов в карстосфере составляет от веса земной коры всего 1,7 %, а галоидов и сульфатов значительно меньше. Но, учитывая уникальную способность воды в активированном со-

стоянии растворять любые породы, включая силикатные, становится очевидным, что карстосфера – это та же гидросфера, в пределах которой карст проявляется там, где нарушается равновесие в системе вода–порода–газ–живое вещество. На поверхности Земли карст активизируется в пределах хорошо растворимых пород и особенно в зонах развития тектонических разломов, где формируются так называемые зоны сосредоточения подземных вод и крупные источники (Буданов, 1964). Карстоведы различают карбонатный, сульфатный и галоидный типы карста. С карбонатными породами связаны питьевые воды хорошего качества. В массивах сульфатных и галоидных пород формируются некондиционные по составу воды.

Исследование вод в надкритическом состоянии, их уникальных свойств как растворителей позволили нам сделать вывод о наличии и широком распространении в недрах планеты силикатного типа карста. А.П. Виноградов считал, что диссоциированной воды в мантии в десятки раз больше, чем в гидросфере. Мобилисты считают, что литосферные плиты перемещаются благодаря воде. По их мнению, влиянием воды обусловлены и сейсмические явления на глубинах до 700–900 км. К этим глубинам и приурочена зона влияния астеносферы с областью питания и разгрузки гидросферы ювенильными водами. Обладая уникальными растворяющими свойствами, они продуцируют в земной коре процессы гидрометагенеза и силикатного карста. На участках геохимических и гидродинамических барьеров имеет место аккумуляция растворяемых этой водой веществ. О том, что эти процессы имеют место в глубинных зонах недр, свидетельствует разгрузка «черных и белых курильщиков» в зонах глубинных разломов на дне океана, представляющих собой высокотемпературные гидротермы. Активированные воды способны выщелачивать и растворять силикаты, которые в обычной обстановке практически не растворимы. Благодаря активированной воде формируются месторождения полезных

ископаемых и на континентах, и под акваториями. При движении активированной воды по глубинным разломам образуются разнообразные формы силикатного карста, заполняемые аккумуляруемыми осадками, включая залежи полезных ископаемых. Освоение этих природных процессов представляет интерес для развития геотехнологии путем моделирования природных процессов в условиях плюмово-плитных явлений с сейсмическими проявлениями на глубинах до 900 км. Эпейрогенические движения создают напряжения в литосфере и обновляют трещиноватость пород, определяя динамику проявления и взаимодействия вод климатической ветви круговорота с эндогенными ювенильными водами. Последние формируются и распространяются в нижней части гидросферы планеты.

В результате тектонических движений в подземной гидросфере формируются пьезоминимумы и пьезомаксимумы. Неотектонические поднятия обновляют и увеличивают объем трещинных коллекторов (рис. 6, левая часть), стимулируя падение давления в них ниже гидростатического и проникновение флюидов сверху вниз по разрезу вплоть до астеносферы. При отрицательных тектонических движениях объем трещинных коллекторов пород уменьшается, растут давление и температура флюидов, и в астеносфере создаются условия для восполнения их запасов за счет ювенильных вод («сверхводы»). Этот механизм надо подвергнуть моделированию и экспериментально изучить. В зонах пьезоминимумов происходит дегазация флюидов, и к этим зонам они поступают из соседних коллекторов (рис. 7).

Об интенсификации в гидросфере карстовых процессов свидетельствует присутствие в глубинных флюидах Предкавказья высоких концентраций углекислоты (до 40 г/л), метана (до 12,9 г/л), водорода (до 1,5 г/л), азота (до 1,2 г/л), кислорода (до 0,2 г/л), а в Болгарии сероводорода (до 10 г/л) (Корценштейн, 1984; Крайнов, 2004; Крайча, 1980). В.Д. Щугоревым

экспериментально доказана высокая газонасыщенность водного флюида (до 40 м³/м³) при давлении уже в 10 МПа. При росте давления объем флюидов уменьшается, а плотность растет, снижение давления вызывает дегазацию флюидов (Гаев, 1986).

Отрицательные неотектонические движения уменьшают объем трещин, вызывая рост давления и газонасыщенности флюидов, формируя водонапорные системы и зоны аномально высоких пластовых давлений (АВПД). Основные области разгрузки водонапорных систем приурочены к акваториям морей и океанов. Поэтому недра их более богаты минеральными ресурсами, чем на континентах. Акватории при этом занимают до 70 % площади планеты. Преобладание здесь тектонических движений с отрицательным знаком способствует формированию гидрогеологически закрытой обстановки и накоплению залежей полезных ископаемых в осадочном чехле акваторий. Например, гидросфера регионов Поволжья и Предуралья с докембрия до верхнепермской эпохи формировалась в условиях морских акваторий. В разрезе в это геологическое время сформировались четыре гидродинамических этажа: 1) в толще пород четвертично-верхнепермского возраста с зонами активного водообмена и регионального стока; 2) в толще пород от кунгурского сульфатно-галогенного комплекса до средневерхнедевонского преимущественно карбонатного водоносного комплекса с зонами замедленного и весьма затрудненного водообмена с нефтегазоносными горизонтами; 3) в толще пород от среднего девона до кровли кристаллического фундамента с зоной весьма затрудненного водообмена; на участках неотектонических поднятий растет трещиноватость пород, они становятся полупроницаемыми снизу, и часть сформированных здесь залежей углеводородов разрушается; 4) крупнейший по мощности этаж кристаллических пород литосферы и верхней мантии, включая астеносферу. Его воды и силикатный тип карста почти не изучены.

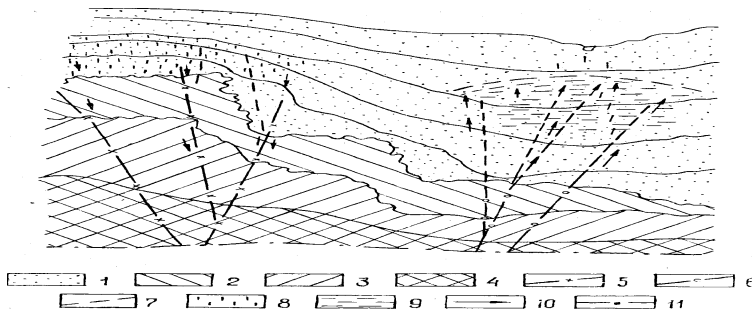


Рис. 6. Схема тектоно-гидравлического механизма гидросферы под влиянием неотектоники (Гаев, 1989): 1 – породы осадочного чехла; 2 – гранитная оболочка земной коры; 3 – базальтовая оболочка земной коры; 4 – верхняя часть мантии с астеносферой; 5 – тектонические нарушения с увеличивающейся скважностью за счет глыбовых поднятий; 6 – тектонические нарушения с уменьшающейся скважностью за счет отрицательных тектонических движений литосферы и верхней мантии; 7 – оперяющая тектоническая трещиноватость; 8 – зоны пьезоминимумов; 9 – гидроаномалии и пьезомаксимумы; 10 – преобладающее направление движения флюидов; 11 – подошва астеносферы как нижняя граница гидросферы, изменяющая свое положение в зависимости от знака тектонических движений

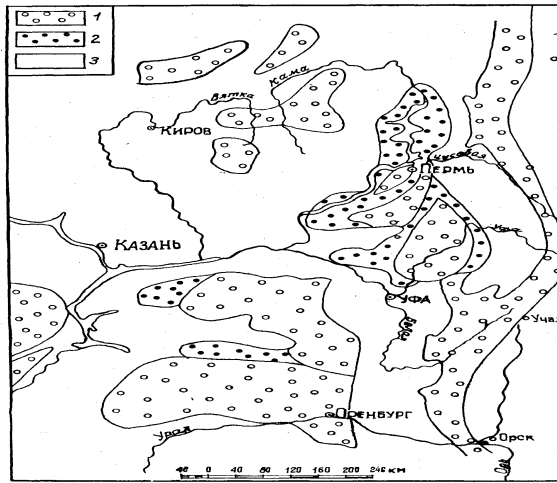


Рис. 7. Схема Приуралья с неоготектоническими поднятиями и очагами дегазации флюидов (Гаев, 1989): 1 – площади с очагами дегазации флюидов, деминерализации рассолов и зонами поглощения; 2 – унаследованные зоны поглощения; 3 – площади, где зоны поглощения не установлены

Астеносфера является областью питания и разгрузки флюидов гидросферы ювенильными водами. Флюиды разгружаются, возможно, в зоне складчатых поясов и глубоководных желобов, например, в зоне надвига Африканской плиты на Евразийскую. Ювенильные воды формируются в астеносфере из их диссоциированных компонентов в мантии в условиях, создаваемых неотектоническими движениями. При изменении знака этих движений астеносфера из области питания становится областью разгрузки гидросферы в

ее основании. Необходимо, чтобы эндогенная гидрогеология изучала воды «черных и белых курильщиков» в океанических впадинах, расширить экспериментальные исследования вод в надкритическом состоянии, термальных вод и вещества внутренних геосфер планеты (Гаев, 2015). Высокая агрессивность вод в надкритическом состоянии способствует выщелачиванию и растворению всех химических элементов на пути ее миграции. С этим явлением связаны процессы метагенеза (Ферсман, 1955). В соответствии со схемой вертикальной зональности Г.А. Максимовича (1964) в пределах этой части гидросферы мы выделяем зону гидрометагенеза и силикатного карста.

Установлено, что трещинные воды кристаллического фундамента имеют кислую реакцию среды с $\text{pH} \leq 4$ (Суббота, 1967). Они несколько уступают ювенильным водам по pH, поскольку содержат значительную долю экзогенных вод.

Обоснование модели гидросферы с двумя областями питания и разгрузки раскрывает закономерности формирования и динамики подземных вод и флюидов, отражающие особенности системы вода (флюид) – порода – газы – живое вещество и характер взаимодействия гидросферы с другими оболочками Земли в свете плюмово-плитной тектоники. Разработку основ эндогенной гидрогеологии необходимо сосредоточить на изучении «черных и белых курильщиков» и экспе-

риментальных исследованиях структуры и изотопного состава вод в различных фазовых состояниях и обстановках, на моделировании гидрогеологической ситуации в зоне гидрометагенеза и области проявления силикатного карста. Это будет способствовать развитию геотехнологии и обеспечению человечества минеральными и энергетическими ресурсами на значительную перспективу.

Библиографический список

- Блох А.М.* Структура воды и геологические процессы. М.: Недра, 1969. 216 с.
- Буданов Н.Д.* Гидрогеология Урала. М.: Наука, 1964. 304 с.
- Вернадский В.И.* История природных вод/Институт геол. наук НАН Украины; сост. В.М. Шестопалов, А.Ю. Моисеев, В.В. Гудзенко и др. Киев, 2012. 754 с. (Избранные тр. акад. В.И. Вернадского. Т. 6)
- Вернадский В.И.* История природных вод / под ред. С.Л. Шварцева, Ф.Т. Яншиной. М.: Наука, 2003. 752 с.
- Гаев А.Я.* Гидрогеохимия Урала и вопросы охраны подземных вод. Свердловск: Изд-во Урал. ун-та, 1989. 368 с.
- Гаев А.Я., Шугорев Б.Д., Бутолин А.П.* Подземные резервуары. Л.: Недра, 1986. 223 с.
- Гидрогеология* Волго-Уральской нефтегазоносной области / под ред. М.И. Субботы, Г.П. Якобсона. М.: Недра, 1967. 422 с.
- Карцев А.А.* Гидрогеология нефтяных и газовых месторождений. М.: Недра, 1972. 280 с.

- Кирюхин В.А.* Общая гидрогеология: учебник / Санкт-Петербургский гос. горный ин-т (техн. ун-т). СПб., 2008. 439 с.
- Корценштейн В.Н.* Растворенные газы подземной гидросферы Земли. М.: Недра, 1984. 230 с.
- Крайнов С. Р., Швец В. М.* Основы геохимии подземных вод. М.: Наука, 2004. 677 с.
- Крайча Я.* Газы в подземных водах / пер. с чеш. М.: Недра, 1980. 343 с.
- Современные проблемы геотектоники и геодинамики*/Л.И. Лобковский, А.М. Никишин, В.Е. Хаин; под общ. ред В.Е. Хаина. М.: Научный мир, 2004. 610с.
- Максимович Г.А.* Гидрогеохимические зоны платформы // Химическая география и гидрогеохимия. Пермь, 1964. Вып. 3(4). С. 101–120.
- Маруашвили Л.И.* Карстосфера, ее размеры и отношения к другим геосферам // Сообщ. АН Грузинской ССР. 1970. Т. 57, № 2.
- Основы гидрогеологии.* Т. 1. Общая гидрогеология // под ред. Е.В. Пиннекера. Новосибирск: Наука, 1980. 231 с.
- Павлов А.Н.* Геологический круговорот воды на Земле. Л.: Недра, 1977. 143 с.
- Пиннекер Е.В.* Подземная гидросфера. Новосибирск: Наука, 1984. 156 с.
- Ферсман А.Е.* Избранные труды. М.: Изд-во АН СССР, 1955. Т. 3. 798 с. Т. 4. 588 с.
- Gayev A.Ja., Kilin Ju.A.* Endogeneita di idrogeologia e silicato Carsten // Italian Sciences Review. 2015. Vol 2(23). P. 13-17.
- Proceedings of the National Academy of Sciences.* DOI:10.1073/pnas. 1220301110. 2013. URL: chemport.ru.

About Fundamental Problems of Hydrosphere and Silicate Karst

A.Ya. Gayev^{a,b,d}, Yu.A. Kilin^{c,d}

^aOrenburg Scientific Center of Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 11 Pionerskaya Str., Orenburg 460000, Russia

^bInstitute of Ecological Problems of the Hydrosphere at the Orenburg State University. 13 Pobedy Str., Orenburg 460018, Russia E-mail: gayev@mail.ru.

^cInstitute of Karst and Speleology of the Russian Geographical Society. 15 Bukireva Str., Perm 614600, Russia

^dPerm State University, 15 Bukireva Str., Perm 614990, Russia
E-mail: yuakilin@mail.ru

Rationale of hydrosphere model with two regions of supply and discharge reveals regularities of ground water formation reflecting the special features of system water – rock – gas – living material and character of interaction of hydrosphere with the other

spheres of the Earth. It is necessary to concentrate the development of endogenous hydrogeology fundamentals with the study of silicate karst on investigation of “white and black smokers”, the structure and isotope composition of water in different phase conditions, and on modeling of situation in hydrometagenese zone. It will support the development of geotechnology and providing the humanity with mineral and energetic resources in future.

Key words: *hydrosphere model with two regions of supply and discharge; karst sphere; silicate karst.*

References

- Blokh A.M.* 1969. Struktura vody i geologicheskie protsessy [The structure of water and geological processes]. Moskva, Nauka, p. 216. (in Russian)
- Budanov N.D.* 1964. Gidrogeologiya Urala [Hydrogeology of the Urals]. Moskva, Nauka, p.304. (in Russian)
- Vernadskiy V.I.* 2012. Istoriya prirodnykh vod [History of natural waters]. V.M. Shestopalov, A.Yu. Moiseev, V.V. Gudzenko et al. (Eds.). Kiev, Institut geol. nauk NAN Ukrainy, p.754. (in Russian)
- Vernadskiy V.I.* 2003. Istoriya prirodnykh vod [History of natural waters]. S.L. Shvartsev, F.T. Yanshina (Eds.), Moskva, Nauka, p.752. (in Russian)
- Gaev A.Ya.* 1989. Gidrogeokhimiya Urala i voprosy okhrany podzemnykh vod [Hydrogeochemistry of the Urals and protection of groundwater]. Sverdlovsk, Izd. Ural. univ., p.368. (in Russian)
- Gaev A.Ya., Shugorev B.D., Butolin A.P.* 1986. Podzemnye rezervuary. [Underground reservoirs]. Leningrad, Nedra, p. 223. (in Russian)
- Gidrogeologiya Volgo-Uralskoy neftegazonosnoy oblasti* [Hydrogeology of the Volga-Ural oil and gas province]. M.I. Subboty, G.P. Yakobsona (Eds.). Moskva, Nedra, 1967, p. 422. (in Russian)
- Kartsev A.A.* 1972. Gidrogeologiya neftyanykh i gazovykh mestorozhdeniy. [Hydrogeology of oil and gas fields]. Moskva, Nedra. p. 280. (in Russian)
- Kiryukhin V.A.* 2008. Obshchaya gidrogeologiya [General hydrogeology]. Sankt-Peterburg, SPb gos. gornyy univ., p. 439. (in Russian)
- Kortsenshteyn V.N.* 1984. Rastvorennyye gazy podzemnoy gidrosfery Zemli. [Dissolved gases of underground hydrosphere of the Earth]. Moskva, Nedra, p. 230. (in Russian)
- Kraynov S. R., Shvets V. M.* 2004. Osnovy geokhimiya podzemnykh vod. [Fundamentals of groundwater geochemistry]. Moskva, Nauka, p. 677. (in Russian)
- Kraycha Ya.* 1980. Gazy v podzemnykh vodakh [The gases in groundwater]. Moskva, Nedra, p. 343. (in Russian)
- Lobkovskiy L.I.* 2004. Sovremennyye problemy geotektoniki i geodinamiki. [Modern problems of geotectonics and geodynamics]. L.I. Lobkovskiy, A.M. Nikishin, V.E. Khain, V.E. Khain (Eds.). Moskva, Nauchnyy mir, p.610. (in Russian)
- Maksimovich G.A.* 1964. Gidrogeokhimicheskie zony platform. [Hydrochemical zones of the platforms]. Khimicheskaya geografiya i gidrogeokhimiya. Perm. 3(4):101–120. (in Russian)
- Maruashvili L.I.* 1970. Karstosfera, ee razmery i otnosheniya k drugim geosferam. [Karstosfera, its dimensions and relationships to other geospheres]. Soobshch. AN Gruzinskoy SSR. 57(2). (in Russian)
- Osnovy gidrogeologii. T. 1. Obshchaya gidrogeologiya.* [Fundamentals of hydrogeology. T. 1. General hydrogeology]. E.V. Pinneker (Ed.). Novosibirsk, Nauka, 1980, p.231. (in Russian)
- Pavlov A.N.* 1977. Geologicheskiy krugovorot vody na Zemle. [The geological cycle of water on the Earth]. Leningrad, Nedra, p.143. (in Russian)
- Pinneker E.V.* 1984. Podzemnaya gidrosfera. [Underground hydrosphere]. Novosibirsk: Nauka, p. 156. (in Russian)
- Fersman A.E.* 1955. Izbrannyye trudy. [Selected works]. Moskva. Izd. AN SSSR, T. 3, p. 798. (in Russian)
- Fersman A.E.* 1955. Izbrannyye trudy. [Selected works]. Moskva. Izd. AN SSSR, T. 4, p. 588. (in Russian)
- Gayev A.Ja., Kilin Ju.A.* 2015. Endogeneita di idrogeologia e silicato carsten. Italian Sciences Review. 2(23):13-17.
- Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2013; DOI: 10.1073/pnas. 1220301110. URL: chemport.ru.