

---

---

## ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВОД И ИХ ПРИРОДНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ\*

А.Е. Воробьев, Т.В. Чекушина,

Е.В. Чекушина, А.Т. Роман

Инженерный факультет

Российский университет дружбы народов

ул. Орджоникидзе, 3, Москва, Россия, 115419

Были проанализированы и сравнены между собой существующие теоретические модели воды. Детально рассмотрены особенности строения молекул, структуры и состава вод для разработки эффективных методов выделения водорастворимых газов.

**Ключевые слова:** водорастворенные газы, ресурсы, размер молекул, классификация вод, водородные связи.

Периодически возникающие энергетические кризисы, охватывающие многие страны мира, с особой остротой выдвигают проблему поиска дополнительных источников энергетического сырья. Такими нетрадиционными источниками могут стать растворенные горючие газы подземных и морских (океанических) вод [1].

Необходимо учитывать, что в подземных водах, а также водах океанов, морей и озер по всему миру растворено значительное количество метана, и это содержание метана иногда представляет определенный промышленный интерес. Так, среднее содержание метана в водах Мирового океана составляет порядок  $10^{-2}$  см<sup>3</sup>/л, а его общее количество —  $14 \cdot 10^{12}$  м<sup>3</sup>.

Различные геолого-экономические условия нахождения ресурсов растворенных газов предполагает проведение конкретных исследований в области разработки соответствующим этим условиям разнообразных высокоэффективных технологий извлечения газов, представляющих практический интерес для национальной экономики.

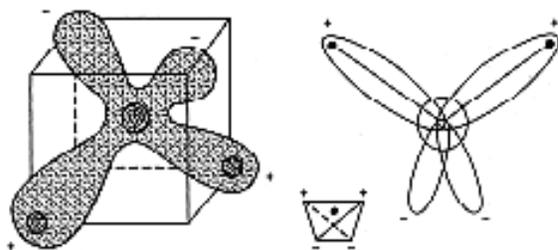
В этой связи первоначально в ходе исследований на основе сопоставительного и контрастного изучения и сравнения были проанализированы и сравнены между собой существующие теоретические модели воды, обуславливающие не только значения угла наклона между ее орбиталями атомов и параметры (вид и характеристику) связей между ними, по величине возможного газонасыщения и содержания (включения) ионов некоторых загрязнителей.

В настоящее время на модель структуры жидкой воды не существует единой (общепринятой) точки зрения [4].

Физическую форму молекулы воды H<sub>2</sub>O можно рассмотреть в виде особого электронного облака (рис. 1): атом кислорода находится в центре данного облака, а два атома водорода (с положительными зарядами) расположены в противоположных углах нижней грани условно взятого куба.

---

\* Работа выполняется в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009—2013 годы, проект «Разработка инновационных методов добычи метана из природных и техногенных вод на основе теоретических и экспериментальных исследований гидрогеологических бассейнов» (14.В37.21.1254)



**Рис. 1.** Электронные орбитали и тетраэдрическая структура молекулы воды [3]

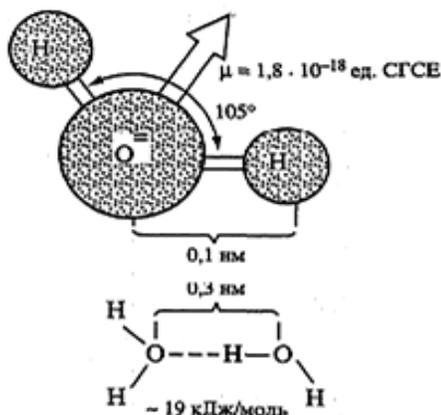
Угол между электронными орбиталями атомов водорода в молекуле воды равен  $104,523^\circ$ . Расстояние между кислородным атомом и водородными атомами приблизительно равно  $0,1 \text{ нм}$  ( $0,9572 \cdot 10^{-8} \text{ см}$ ). Атом кислорода имеет 8 электронов [3]: 2 из них расположены с ядром, еще 2 электрона присутствуют как связка с атомами водорода в молекуле воды, а 2 остальных представляют собой неподеленные пары электронов, образуя своего рода «ветви», простираемые к верхним углам грани условного куба.

Атомы кислорода и водорода связаны между собой ковалентно (Н – О), поэтому молекула воды обычно чрезвычайно устойчива.

Составляющие молекулу воды атомы имеют малые атомные радиусы, вследствие чего длина Н-О связи в ее молекуле составляет всего  $0,096 \text{ нм}$  [3]. Наибольший размер молекулы воды имеет значение около 3 ангстрем.

В связи с указанным распределением положительного и отрицательного зарядов в молекуле воды существует большой дипольный момент, который имеет основное значение при взаимодействии таких молекул между собой, а также и с растворенными веществами.

Таким образом, возникают водородные связи между молекулами воды. Их энергия составляет порядка  $1 \text{ кДж/г}$ , а длина связи (расстояние между атомами кислорода до двух соседних молекул) равна  $0,3 \text{ нм}$  (рис. 2).



**Рис. 2.** Схематическое изображение структурных особенностей молекулы воды и водородной связи [3]

Имеющимися особенностями строения молекул воды и ее структуры объективно объясняется существующие изменения электропроводности водных растворов (позволяющие полезно использовать этот эффект при последующем теоретическом обосновании и практической реализации выделения газов, а также очистки вод от загрязнителей), а также пропорциональное уменьшение вязкости вод, при повышении пластового давления (что способствует уточнению математической модели образования, миграции и накопления газоносных подземных вод) и другие ее свойства (табл. 1).

Таблица 1

Свойства воды [4]

Свойства жидкой воды, насыщенного пара	Изменение свойств с ростом температуры и давления вдоль двухфазной кривой жидкость — насыщенный пар	Сравнительная характеристика
Плотность воды, г/см <sup>3</sup> — 0,998 Насыщенного пара, г/дм <sup>3</sup> при 20 °С 0,0173	Плотность жидкой воды уменьшается, плотность насыщенного пара возрастает, достигая 0,322 г/см <sup>3</sup> в критической точке (374 °С и 22,1 МПа)	С увеличением солёности до 300 г/кг плотность увеличивается до 1,2—1,3 г/см <sup>3</sup> в зависимости от состава водного раствора
Теплоемкость при 0 °С, воды — 4,22, пара — 1,87	Для жидкой воды проходит через минимум, для пара возрастает	Высокая по сравнению с другими веществами
Скрытая теплота плавления льда, кДж/г 0,3		
Скрытая теплота испарения воды при 100 °С, кДж/г, 2,26	Убывает, стремясь к нулю критической точке	
Коэффициент объемного расширения, град <sup>-1</sup> , при 0 °С — 3,4·10 <sup>-5</sup> при 10 °С 9·10 <sup>-5</sup>	Температура максимальной плотности для чистой воды 4 °С	Температура максимальной плотности уменьшается с повышением солёности
Коэффициент поверхностного натяжения, при 0 °С, Н/м 75,65·10 <sup>-3</sup>	Убывает, стремясь к нулю в критической точке	Высокий по сравнению с другими жидкостями
Вязкость при 0 °С, мкПа·с 1,792	Уменьшается с температурой	С ростом солёности возрастает
Диэлектрическая проницаемость при 25 °С, 78,3	Уменьшается с температурой	Наиболее высокая для жидкостей
Электролитическая диссоциация при 25 °С, г-ион, Н <sup>+</sup> и СН <sup>-</sup> в г воды, 10 <sup>-7</sup>	Для жидкой воды проходит через максимум	При сверхкритических параметрах убывает с температурой и возрастает с давлением
Электропроводность при 0 °С, Ом <sup>-1</sup> , м <sup>-1</sup> , 0,68·10 <sup>6</sup>	Возрастает с температурой	Резко возрастает при растворении неорганических веществ
Теплопроводность при 0 °С, МВт·м <sup>-1</sup> ·град <sup>-1</sup> , 561	Уменьшается с температурой	Наиболее высокая для жидкостей
Растворяющая способность	Увеличивается для сильных электролитов (галит, сильвин), проходит через максимум для многих оксидов (кварц и др.) убывает для сульфатов, карбонатов	Вода обладает наиболее высокой растворяющей способностью к неорганическим веществам благодаря высокой диэлектрической проницаемости
Прозрачность		Относительно высока

Так, растворенные в воде вещества, заполняя пространство внутри кристаллической решетки воды, обычно изменяют ее изначальную структуру и свойства. В частности, электропроводность водных растворов, как правило, увеличивается в десятки тысяч раз благодаря появлению заряженных ионов в воде.

Кроме этого, пропорциональное уменьшение вязкости воды происходит с увеличением температуры и давления, что делает ее довольно подвижной [2] даже в глубоких водоносных горизонтах (с очень высокими пластовыми давлениями).

Для последующей разработки эффективных методов дегазации подземных вод важным представляется и коэффициент поверхностного натяжения, при 0 °С имеющий значение  $75,65 \cdot 10^{-3}$  Н/м.

При разработке эффективных методов выделения водорастворимых газов необходимо учитывать, что размеры молекул воды обычно меньше молекул и ионов всех растворенных, коллоидов и неионогенных веществ находящихся в ней (табл. 2).

Таблица 2

Диаметр молекул некоторых газов [4]

Вещество	Критический размер молекул веществ, нм	Вещество	Критический размер молекул веществ, нм
Гелий	0,22	Хлородиформетан	0,49
Аргон	0,34	Дихлородиформетан	0,49
Ацетилен	0,24	Пропан	0,49
Водород	0,27	бутан и высшие n-парафины	0,49
Вода (H <sub>2</sub> O)	0,28	Диоксид углерода	0,40
Этил меркаптан	1	i-бутан и высшие i-парафины	0,56
Моноксид углерода	0,39	Азот	0,35
Метил меркаптан	0,45	Циклогексан	0,61
Метан	0,39	Хлор (Cl <sub>2</sub> )	0,49
Сульфид водорода	0,36	Кислород	0,26
Полипропилен	0,50	Этилен	0,42
Этан	0,44	Бензол	0,58
Диоксид серы (SO <sub>2</sub> )	0,34		

Рассмотренные характеристики и показатели воды оказывают существенное влияние на последующие процессы формирования природных вод в литосфере.

В настоящее время существует две основные теории образования воды (современная земная гидросфера оценивается величиной  $1,385 \cdot 10^9$  км<sup>3</sup>) на нашей планете — литогенетическая (обусловленная химическим синтезом воды в недрах Земли) и биогенетическая (вследствие биохимического синтеза воды живым веществом). Разработана базовая классификация подземных вод по их происхождению (рис. 3).

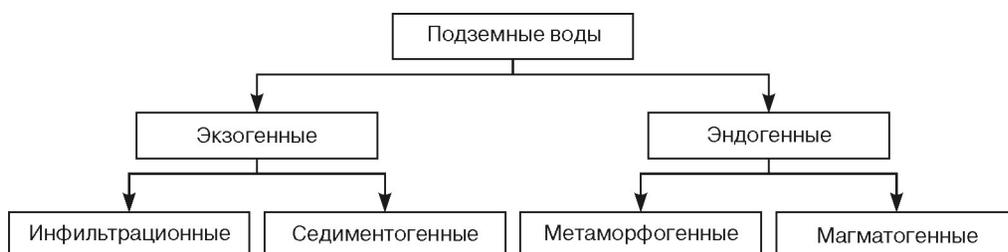


Рис. 3. Классификация подземных вод [2]

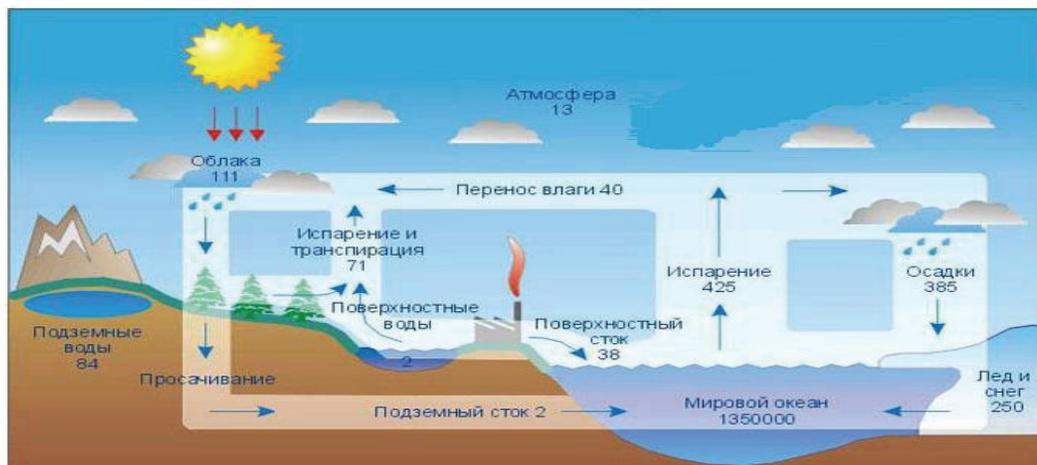
*Ювенильные воды* накапливаются в расплавленной магме в виде паров, где их содержание составляет от 0,5 до 8,01% [2].

Проходя во время извержений вулканов через охлажденную земную кору, эти воды достигают дневной поверхности и начинают конденсироваться (теория Зюсса).

По подсчетам Семененко Н.П., за всю историю существования Земли на ее поверхность выделилось около  $3,4 \cdot 10^9$  км<sup>3</sup> ювенильных вод.

В самом начале XX века Н.И. Андрусовым, Г. Гефером и А.Ч. Лейном независимо друг от друга была выдвинута гипотеза *седиментогенного* происхождения подземных вод. В ее основе лежало «захоронение» морских вод при образовании донных осадков и их последующее «отжатие» при уплотнении массива горных пород.

Необходимо отметить, что в соответствии с современными воззрениями атмосферные воды (осадки) являются первой стадией формирования поверхностных и подземных вод (рис. 4).



**Рис. 4.** Круговорот воды в природе (тыс. км<sup>3</sup>)

Конденсационные и инфильтрационные воды называются *метеорными* или *вадозными* (от лат. *Vadere* идти, двигаться), так как они образуются из влаги атмосферы и также участвуют в общем круговороте воды [6; 7].

Формирование подземных вод происходит за счет атмосферных осадков (рис. 5), просачивающихся в последующем в глубь литосферы, а также из болот, рек, озер и водохранилищ.

Эти воды проникают в массивы проницаемых горных пород, доходят где-то до водоупорного слоя и накапливаются над ним.

Количество влаги, таким образом проникаемой с начала в почву, а затем далее — в литосферу, составляет 15—20% общего количества атмосферных осадков.

В одних блоках литосферы воды просачиваются довольно глубоко, а в других часто не проходят глубже почвенного слоя или первого водоупорного горизонта.

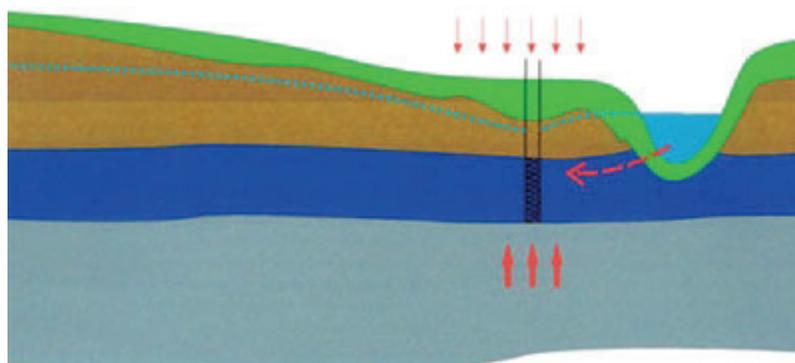
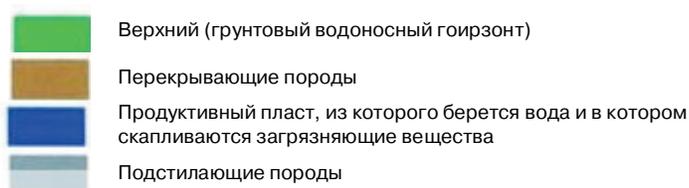


Рис. 5. Схема происхождения и формирования подземных вод[5]:



На степень инфильтрации вод значительное влияние оказывает рельеф местности, состав покрывающих пород и степень обнаженности коренных пород, их литологический состав, структура и текстура, а также и тектоническое строение района. Зачастую на интенсивность инфильтрации вод влияет имеющийся растительный покров и техногенная деятельность.

Нами был осуществлен детальный анализ условий образования, миграции и накопления газосодержащих подземных вод на основе теоретического и экспериментального изучения к настоящему времени уже известных или потенциально возможных характеристик и параметров различных гидрогеологических бассейнов.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Воробьев А.Е., Портнов В.С., Роман А.Т., Таткеева Г.Г., Турсунбаева А.К. Технология извлечения метана, деминерализация подземных и промышленных вод. — Караганда (Казахстан): Издательско-полиграфический центр Казахстанско-Российского университета, 2012. [Vorob'ev A.E., Portnov V.S., Roman A.T., Tatkeeva G.G., Tursunbaeva A.K. Tehnologiya izvlecheniya metana, demineralizaciya podzemnyh i promyshlennyh vod. — Karaganda (Kazakhstan): Izdatel'sko-poligraficheskii centr Kazahstansko-Rossiiskogo universiteta, 2012.]
- [2] Зверев В.П. Подземные воды земной коры и геологические процессы. — М.: Научный мир, 2006. [Zverev V.P. Podzemnye vody zemnoi kory i geologicheskie processy. — М.: Nauchnyi mir, 2006.]
- [3] Климентов П.П. Гидрогеология. — М.: Госгеолтехиздат, 1955. [Klimentov P.P. Gidrogeologiya. — М.: Gosgeoltehzdat, 1955.]
- [4] Крайнов С.Р., Швец В.М. Гидрогеохимия. — М.: Недра, 1992. [Krainov S.R., Shvec V.M. Gidrogeohimiya. — М.: Nedra, 1992.]
- [5] URL: <http://greensource.ru/istochniki-jenergii/podzemnye-vody.html>
- [6] URL: <http://www.geohydrology.ru/gazyi-v-podzemnyih-vodah.html>
- [7] URL: <http://mygeos.com>

## **PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES OF WATER AND ITS NATURAL FORMATION**

**A.E. Vorobiev, T.V. Chekushina,  
E.V. Chekushina, A.T. Roman**

Faculty of Engineering  
Peoples' Friendship University of Russia  
*Ordzhonikidze str., 3, Moscow, Russia, 115419*

Were analyzed and compared with each other existing theoretical models of water. In detail the features of the structure of molecules and composition of water for the development of effective methods for the separation of water-soluble gases.

**Key words:** water-soluble gasses, resources, size of molecules, the classification of water, the hydrogen bond.