

---

## СОВРЕМЕННЫЕ ПРИКЛАДНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ГИДРОСФЕРЫ И ИННОВАЦИОННЫЕ ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ\*

А.Т. Роман

Кафедра нефтепромысловой геологии, горного и нефтегазового дела  
Инженерный факультет  
Российский университет дружбы народов  
ул. Орджоникидзе, 3, Москва, Россия, 115419

В статье рассмотрены основные проблемы истощения источников чистой воды. Сделан краткий количественный анализ. Подробно рассмотрены физические константы воды. Дана характеристика геологического цикла массопереноса подземных вод.

**Ключевые слова:** подземный воды, чистая вода, истощение, генезис, потребности человечество.

Миру не хватает чистой воды. И в ближайшие десятилетия проблема эта будет только нарастать. Миллиарды людей живут в условиях дефицита ключевого для выживания ресурса. А там, где имеются большие источники питьевой воды, в первую очередь реки и озера, они активно загрязняются деятельностью промышленных предприятий и канализационными стоками.

Запасы пресной воды не используются рационально, в соответствии с существующим спросом и потребностями. Мы по-прежнему не обладаем всей полной информацией по этому вопросу, а управление водными ресурсами дезорганизовано. В этой связи будущее представляется все более неопределенным, а риски становятся более значимыми.

По данным Всемирного банка, порядка одного миллиарда человек испытывают дефицит воды, еще около 700 миллионов живут в условиях водного стресса, т.е. на них приходится от 1 тысячи до 1,7 тысячи м<sup>3</sup> воды в год.

Только за год более 20 миллионов человек в мире покинули свои дома в лишенных воды регионах. Перемещение таких масс людей не может не повышать градус социального напряжения, неизбежно будет приводить к разрастанию конфликтов и их переходу в военную фазу.

Такой зоной потенциальной войны является, например, бывшая советская Средняя Азия. Нынешние независимые государства склонны использовать дефицит воды и контроль над истоками рек как потенциальный рычаг давления на соседей.

По данным Института мировых ресурсов, в число тринадцати самых необеспеченных водой стран мира входит Туркмения (206 м<sup>3</sup> в год на человека), Молдавия (236 м<sup>3</sup>), Узбекистан (625 м<sup>3</sup>) и Азербайджан (972 м<sup>3</sup>). Как минимум

---

\* Статья написана и использованием материалов работы, выполненной в рамках реализации Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009—2013 годы, направление «Геология. Горное дело», мероприятие 1.2.1 «Проведение научных исследований научными группами под руководством докторов наук», проект «Разработка инновационных методов добычи метана из природных и техногенных вод на основе теоретических и экспериментальных исследований гидрогеологических бассейнов» (номер конкурсной заявки 2012-1.2.1-12-000-1007-1251).

три из четырех указанных стран по своему человеческому и военному потенциалу способны вести войны за воду [1].

В мире существуют нации, которые не способны грамотно использовать водные ресурсы и активно разрушают собственную среду обитания, но при этом обладают значительным военным потенциалом. На евразийском континенте примером таких государств могут служить Индия и в большей степени Китай. Эти страны уже в текущем десятилетии войдут в число регионов, испытывающих водный стресс.

Примером существования в условиях разрушенных экосистем является большинство стран Ближнего Востока и Северной Африки, которые некогда были центрами сельскохозяйственного производства. Нынешние пустыни на территориях этих стран столетия назад представляли собой плодородные земли, которые были уничтожены хищническим хозяйствованием.

Рост водопотребления в ближайшие десятилетия будет связан в первую очередь с увеличением потребности в продовольствии. Исследования института системного анализа РАН показали, что около 70% потребляемой в мире воды из поверхностных источников и грунтовых вод идет на ирригацию сельскохозяйственных земель, 20% используется в промышленности и только 10% — для бытовых целей, отмечает ведущий научный сотрудник

К 2050 г. ожидается рост производства продуктов питания, что приведет к глобальному потреблению воды в сельском хозяйстве (на которое уже сегодня приходится 70% ресурсов пресной воды).

Глобальные ресурсы воды сохранены в недрах земли в виде подземных вод. Поэтому за последние 50 лет извлечение подземных вод утроилось, в некоторых регионах ресурсы и эти трудно рассчитываемые источники также катастрофически сокращаются [1].

Одной из основных фундаментальных проблем является то, что подземные воды бывают высокоминерализованными, в составе их присутствуют множество газов, ионы твердых полезных ископаемых, или какие-то живые организмы, что требует дополнительных затрат на очистку подземных вод.

Химически чистая вода, годная для употребления, должна быть жидкостью без запаха, вкуса, цвета, состоять из 11,11% водорода и 88,89% кислорода (табл. 1).

Таблица 1

**Физические константы воды**

Молярная масса, г/моль	18,016
Температура в °С:	
— замерзания (при P = 0,1 МПа)	0,00
— кипения	100,00
Температура при максимальной плотности, °С	3,98
Плотность воды в г/см <sup>3</sup> при температуре в °С	
0	0,99987
3,98	1,0000
20	0,99823
Критическая температура воды, °С	374,2
Критическое давление воды, Мпа	22,1
Критическая плотность воды, кг/м <sup>3</sup>	0,324
Относительная диэлектрическая постоянная при температуре в °С:	
0	88,2
20	80,4
100	55,1

Размеры молекул воды меньше молекул и ионов всех веществ, находящихся в воде, — растворенных, коллоидов, неионогенных.

Запасы и ресурсы подземных вод можно подразделить по их генезису на следующие виды: естественные, искусственные и привлекаемые.

Эксплуатационные запасы (ресурсы) по возможному сроку их использования могут быть приняты равными сроку амортизации водозабора, т.е. 25—30 лет, а при оценке прогнозных ресурсов в региональном плане — около 50—100 лет.

Гидрогеологические исследования, проводящиеся для выявления и оценки эксплуатационных запасов подземных вод, делятся на следующие стадии: поисковые работы, предварительная разведка и детальная разведка.

Эксплуатационные запасы подземных вод оцениваются гидродинамическим, гидравлическим и балансовым методами.

*Гидродинамический метод* заключается в расчетах по соответствующим формулам, выведенным из основных уравнений математической физики и теоретической гидродинамики.

*Гидравлические методы* расчета эксплуатационных запасов подземных вод, широко использующие эмпирические приемы, основываются непосредственно на данных опыта. Гораздо надежнее, как это и делается на практике, определять зависимость понижения от дебита откачкой из скважины. Но гидравлическими методами нельзя установить обеспеченность восполнения эксплуатационных запасов подземных вод, так как экстраполяционные формулы не включают величину, характеризующую баланс потока. Гидравлическим методом можно оценить эксплуатационные запасы, применяя их лишь совместно с гидродинамическими или балансовыми методами [3].

*Балансовые методы* расчета запасов подземных вод основаны на том, что объем воды, извлеченной водозабором за тот или иной срок его эксплуатации, равен сумме объемов воды, полученной за счет:

- отбора воды из естественных запасов;
- частичного перехвата водозабором расхода естественного потока;
- увеличения питания водоносного горизонта, вызванного эксплуатацией.

При оценке эксплуатационных запасов подземных вод на отдельных участках балансовые методы играют подчиненную роль, поскольку определить, какая часть естественных запасов и расхода естественного потока будет использована водозабором, по балансовым уравнениям невозможно. Вместе с тем балансовый метод позволяет дать характеристику восполнения запасов за счет естественных ресурсов водоносного горизонта, что особенно важно при оценке эксплуатационных запасов водоносных горизонтов, имеющих небольшую область питания.

В свою очередь, подземные воды представляют собой подвижную фазу земной коры и находятся в постоянном круговороте.

*Гидрогеологический цикл круговорота* представляет собой передвижение свободных вод от области питания к местам их разгрузки на земной поверхности. В нем выделяются потоки зоны активного водообмена, связанные с верхними частями земной коры и дренируемые местной эрозионной сетью, и потоки глубокого замедленного водообмена, разгрузка которых осуществляется в наиболее врезанных долинах крупных рек, котловинах озер или в прибрежных частях мор-

ских бассейнов. Масса вод, участвующих в гидрогеологическом цикле, подсчитана с хорошей точностью и составляет для верхней зоны  $9,6 \cdot 10^{18}$  г/год, и нижней —  $0,6 \cdot 10^{18}$  (табл. 2).

Таблица 2

**Основные массопотоки подземных вод в земной коре [2]**

Толща горных пород земной коры, вовлекаемых в круговорот	Преобладающее состояние подземных вод	Масса горной породы, вовлекаемой в круговорот, $10^{24}$ г	Масса воды, содержащейся в горных породах, $10^{24}$ г	Интенсивность водообмена или выделения в свободное состояние
<b>Гидрогеологический</b>				
Зоны активного водообмена континентального блока земной коры	Свободное	0,04	0,0025	$9,7 \cdot 10^{18}$
Зоны замедленного водообмена континентального блока земной коры		1,1	0,065	$0,5 \cdot 10^{15}$
<b>Литогенетический</b>				
Осадочных континентального и субконтинентального блоков земной коры	Физически связанное	1,1	0,05	$4,4 \cdot 10^{15}$
Осадочных I сейсмического слоя океанического блока земной коры		0,18	0,098	$0,4 \cdot 10^{15}$
<b>Геологический</b>				
Гранитно-метаморфической оболочки химически континентального блока земной коры	Химически связанные	8,1	0,2	$0,4 \cdot 10^{15}$
II и III сейсмических слоев океанического блока земной коры		5,96	0,05	$0,4 \cdot 10^{15}$
<b>Гидротермальный</b>				
Океанических рифтов	Свободная пароводяная смесь	—	—	$0,2 \cdot 10^{18}$
Островных дуг и активных континентальных окраин		—	—	$4,0 \cdot 10^{15}$

В то же время происходят круговороты вод глубоких горизонтов земной коры. Оценивая массоперенос этих вод, мы рассматривали формы их существования, т.е. связь между жидкой и твердой фазами (подземными водами и горными породами), а также влияние давления и температуры, которые ограничивают существование таких связей. Выделяются три основных типа массопереноса подземных вод: гидрогеологический, реализуемый свободными потоками; литогенетический, определяемый физически связанной водой, и геологический, обусловленный переносом и выделением воды, входящей в кристаллическую решетку минералов [2].

*Литогенетический цикл круговорота* подземных вод заключается в физическом связывании воды в ходе седиментации, последующем переносе ее вместе с породами в более глубокие части осадочных бассейнов, где она при дос-

тижении определенных температур и давлений постепенно переходит частично в свободное, а частично в химически связанное состояние. Существуют две основные ветви литогенетических массопотоков: континентальная и океаническая.

При погружении и уплотнении пород в осадочных бассейнах континентов физически связанная вода переходит в свободное состояние. Интенсивность этого процесса оценивается в  $4,4 \cdot 10^{15}$  г/год. Большая часть вод поступает в водоносные горизонты и в конечном итоге попадает на земную поверхность. Превращение связанных вод в свободные обуславливает возникновение зон аномально высоких пластовых давлений, в которых часто формируются нефтяные залежи. В случае превышения гидростатического давления над литостатическим (т.е. прочностью) горные породы трескаются и воды внедряются в вышележащие толщи. В дальнейшем происходит их разгрузка на земной поверхности или в морских акваториях — в виде грязевого вулканизма.

В пределах океанического блока земной коры физически связанные воды осадочных пород (I сейсмического слоя) в процессе дрейфа литосферных плит и последующей субдукции опускаются с вмещающими их породами под континентальную кору. Образуются островные дуги и активные окраины континентов, где в конечном итоге вода также переходит в свободное состояние, принимая участие в формировании гидросферы этих активных структур. Интенсивность выделения свободных вод оценена (исходя из содержания в породах связанной воды и максимального времени их существования  $\sim 200$  млн лет) в  $0,4 \cdot 10^{15}$  г/год.

*Геологический цикл массопереноса* подземных вод характеризуется последовательными процессами гидратации минералов и по мере погружения горных пород последующей их дегидратацией в ходе регионального метаморфизма [4].

На континентах вода связана с гранитно-метаморфической оболочкой. Направленные вниз физически связанные воды, выделяющиеся в осадочных бассейнах, — основной источник гидратации пород на ранних этапах метаморфизма. Более глубокие горизонты характеризуются ростом давления и температуры и, соответственно, более высокими стадиями метаморфизма. В этих условиях химически связанные воды переходят в свободное состояние. Интенсивность этого процесса невелика и составляет примерно  $0,04 \cdot 10^{15}$  г/год. Формирование зон обводненных разуплотненных пород, вскрытых Кольской сверхглубокой скважиной на глубине 6—8 км в пределах Балтийского щита, по-видимому, связано с подобными процессами.

Более динамичен геологический цикл массопереноса подземных вод с вулканогенно-осадочными и базальтовыми породами (II и III сейсмических слоев) океанической коры. Он характеризуется процессами гидратации основных пород в ходе рифтогенеза, переносом гидратированных пород в результате дрейфа литосферных плит и последующей дегидратацией при региональном метаморфизме в зонах погружения под континентальную кору. Масса выделяющихся при этом свободных вод (исходя из содержания химически связанной воды в породах океанической коры и максимального времени их существования  $\sim 200$  млн лет) оценена в  $0,4 \cdot 10^{15}$  г/год. Образующиеся в результате этого высокотемпературные флюиды — один из источников питания гидротерм островных дуг и активных

континентальных окраин и одна из действующих сил развития вулканических процессов. Масса ежегодно образующихся при извержении пород  $\sim 6 \cdot 10^{15}$  г/год, среднее содержание воды в магме примерно 3%; при грубом подсчете обнаруживаем, что в вулканическом процессе принимает участие  $\sim 0,2 \cdot 10^{15}$  г/год воды.

Особенности фазовых переходов воды при высоких температурах и трещиноватость пород приводят к формированию в зонах островных дуг и активных континентальных окраин гидротермальных конвективных ячеек, нисходящее звено которых — холодные океанические или метеорные воды (атмосферные осадки). Восходящее же звено ячеек складывается из трех основных источников: физически и химически связанных вод, выделяющихся из осадочных и вулканических пород океанического блока земной коры, а также восходящего потока нагретых подземных «бывших» метеорных вод. Суммарный восходящий гидротермальный массопоток на основании данных о конвективном выносе тепла подобными системами оценен в  $4 \cdot 10^{15}$  г/год. Примерно 15% гидротермального массопотока ( $0,6 \cdot 10^{15}$  г/год) приходится на долю освобождающихся связанных вод, а остальные 85% ( $3,4 \cdot 10^{15}$  г/год) — на долю нисходящей и восходящей ветвей гидротермальных вод метеорного происхождения.

Наконец, необходимо кратко остановиться на массопотоке воды из мантии. Мантийный флюид можно рассматривать как смесь водородного и углеводородного компонентов. При миграции, связанной с восходящей ветвью конвекции вещества мантии, происходит окисление его составляющих, что в конечном итоге приводит к синтезу воды, масса которой приближенно оценивается в  $0,25 \cdot 10^{15}$  г/год [2; 3].

Таким образом, количественная оценка структуры основных массопотоков подземных вод в земной коре показывает, что среди них доминируют воды, формирующие гидрогеологический цикл круговорота. Его массопотоки более чем на 3—4 порядка превышают массы физически связанных (адсорбированных) вод, выделяющихся в ходе литогенетического цикла, и на 4—5 порядков — массы химически связанных вод (входящих в структуру минералов), освобождающихся в процессе геологического цикла круговорота.

Вместе с тем переход таких вод в свободное состояние, реализуемый в толще земной коры, имеет исключительно большое геологическое значение. С подобными процессами связаны существенные изменения вещества горных пород, формирование месторождений полезных ископаемых (в том числе и горючих), а также развитие ряда эндогенных, часто катастрофических явлений.

В связи с этим можно уверенно отметить, что запасы подземных вод велики и представляют промышленный интерес.

Так, на сегодняшний день мировым трендом является своеобразный перенос водоемкого сельского хозяйства на другие территории путем скупки водоносных земель. В основном такие операции сейчас осуществляются в Африке, однако основным источником ресурсов подобного рода считается и Россия, которая также распродает собственные земли.

Как отмечается в докладе ООН, к 2030 г. изменение климата может оказать существенное влияние на производство продовольствия в Южной Азии и в Южной

Африке. К 2070 г. дефицит водных ресурсов будет ощущаться также в Центральной и Южной Европе и затронет только в этом регионе 44 миллиона человек. Ближайшая перспектива — 3 миллиарда человек, живущих в состоянии водного стресса уже к 2025 г.

Проще говоря, если человечество будет развиваться в русле нынешних тенденций, экологические катастрофы и войны за воду просто неизбежны. Только за последние полстолетия зафиксировано порядка 40 конфликтов из-за водных ресурсов с применением оружия. Израильско-сирийский военный конфликт 1964 г. так и вошел в историю как «война за воду».

В настоящее время все чаще можно встретить деление на водоизбыточные и вододефицитные территории. Однако кроме экономического смысла подобные классификации рождают идеологический контекст, который приводит к появлению беспрецедентно опасных идей наподобие неоднократно появлявшихся планов поворота сибирских рек [1].

Спасти ситуацию может жесткая система водорегулирования, строжайшие требования к системам очистки использованной воды, которая является одним из факторов загрязнения пресных водоемов, перевод сельского хозяйства на рельсы органического земледелия, использование новейших технологий, сокращающих водоемкость продукции во всех отраслях, и резкое ограничение водопотребления с учетом предельно возможной нагрузки на эко- и водосистемы регионов.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] URL: <http://www.bigness.ru/articles/2012-03-26/voda/134020>
- [2] *Зверев В.П.* Массопотоки подземной гидросферы. — М., 1999.
- [3] *Ронов А.Б.* Осадочные оболочки Земли. — М., 1988.
- [4] *Ронов А.Б., Ярошевский А.А.* // *Геохимия*. — 1976. — № 12. — С. 1763—1795.

## MODERN APPLIED PROBLEMS HYDROSPHERE AND INNOVATIVE SOLUTIONS OF THEM

**A.T. Roman**

Department of petroleum geology, mining and oil and gas business  
Engineering Faculty  
People's Friendship University of Russia  
*Ordzhonikidze str., 3, Moscow, Russia, 115419*

In the article are considered the basic problems of depletion of clean water. A brief quantitative analysis. Detail the physical constants of water. The characteristic of the geological cycle of mass transport of groundwater.

**Key words:** underground water, pure water, depletion, genesis, the needs of humanity.