

*Аль Муреysh Халед Абдо Саид Али, Г.Т. Фрумин*

**ПРОБЛЕМА ВОДОБЕСПЕЧЕНИЯ В РЕСПУБЛИКЕ ЙЕМЕН:  
СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПУТИ РЕШЕНИЯ**

*Al Mureysh Khaled Abdo Said Ali, G.T. Frumin*

**THE PROBLEM OF WATER DELIVERY IN REPUBLIC YEMEN:  
THE MODERN CONDITION AND WAYS OF THE SOLUTION**

*Цель данного исследования заключалась в оценке современного состояния водобеспечения и поисков путей решения проблемы пресной воды в Республике Йемен. Приведено физико-географическое описание Республики Йемен (площадь, климат, количество населения), современное состояние водобеспечения и пути решения проблемы водобеспечения. Рассмотрены различные варианты решения проблемы пресной воды (транспортировка айсбергов, покупка воды в других странах, проведение водоводов, очистка сточных вод, опреснение морской воды).*

*The purpose of the given research consists in an estimation of the modern condition of available water supply and searches of ways of the decision of the problem of fresh water in the Republic of Yemen. The physical-geographical description of the Republic of Yemen (the area, the climate, amount of the population), the modern condition of available water supply and a way of the decision of the problem of water delivery are presented. Various variants of the decision of the problem of fresh water (transportation of icebergs, purchase of water from other countries, laying water conduits, sewage treatment, desalination sea water) are considered.*

Мысль о том, что вода есть первооснова всех вещей, была высказана древнегреческим философом Фалесом еще в начале VI века до н.э. Вся последующая история человечества убедительно подтвердила справедливость гениальной догадки Фалеса. Однако, к сожалению, понимание того, что вода, по образному выражению Л.Ж. Гендерсона, «есть и будет самым распространенным и самым важным из всех веществ», никак не согласуется с безответственным отношением к ней человечества. Эта безответственность до предела обострила проблему воды на земном шаре, которую в общем виде можно сформулировать как противоречие между возрастанием общественных потребностей в воде высокого качества, с одной стороны, и продолжающимся ее ухудшением – с другой [Толконцев, 1991].

Согласно данным ЮНЕСКО, к 2050 г. 7 млрд человек в 60 странах (по пессимистическим прогнозам) или 2 млрд человек в 48 странах (по оптимистическим прогнозам) столкнутся с проблемой нехватки воды. Пресная вода стремительно превращается в дефицитный природный ресурс. За XX столетие ее потребление увеличилось в 7 раз, тогда как население планеты выросло втрое. Не случайно ООН объявила 2003 год Международным годом пресной воды [Water..., 2002].

Более половины поверхности земли (71 %) покрыто водами океанов. Объем вод Мирового океана составляет 1370 млн км<sup>3</sup>, или 91 % известных запасов воды; 8,72% (131 млн км<sup>3</sup>) воды сосредоточено на континентах. Континентальная вода в основном находится под землей. Примерно половина ее (60 млн км<sup>3</sup>) расположена на глубине десятков и сотен метров от поверхности в пористых породах, которые лежат на водонепроницаемых слоях. Несколько меньше, примерно 50 млн км<sup>3</sup>, сосредоточено в верхних слоях земной толщи, на глубине нескольких метров и в почве. Еще меньше (около 20 млн км<sup>3</sup>) воды в форме ледников покрывает Антарктиду, Гренландию, острова Северного Ледовитого океана и вершины горных хребтов. Немного воды находится в озерах (750 тыс. км<sup>3</sup>) и в атмосфере – в виде пара и облаков (13 тыс. км<sup>2</sup>). И лишь 1 тыс. км<sup>2</sup> – в реках [Догановский, 2004; Семин, 2001; Тарасов, 2004]. Интересно отметить, что в растениях и животных воды содержится значительно больше, чем в реках. Если бы «выжать» эту воду (около 6 тыс. км<sup>3</sup>), то ее хватило бы на питание всех рек в течение двух месяцев [Семин, 2001].

Стремительный рост населения в Республике Йемен, с одной стороны, и острейший дефицит воды, с другой, породили актуальную и трудноразрешимую проблему обеспечения народного хозяйства и бытовых нужд населения пресной водой.

В связи с изложенным цель данного исследования заключалась в оценке современного состояния водообеспечения и поисков путей решения проблемы пресной воды в Республике Йемен. При работе над статьей были использованы данные литературы, приведенные в следующих источниках:

- Центральное статистическое управление Республики Йемен.
- Российские и зарубежные монографии и журнальные статьи.
- Большая энциклопедия «Кирилл и Мефодия» (2003 г.).

### ***Физико-географическое описание Республики Йемен***

Республика Йемен (Аль-Джумхурия аль-Йамания) – государство на юго-западе Аравийского полуострова – была образована 22 мая 1990 г. в результате объединения Йеменской Аравийской Республики (ЙАР, или Северный Йемен) и Народной Демократической Республики Йемен (НДРЙ, или Южный Йемен). На севере граничит с Саудовской Аравией, а на востоке – с Оманом. На юге Йемен омывается водами Аравийского моря и Аденского залива, на западе – Красного моря (некоторые участки границы до сих пор четко не определены). Йемену принадлежат также острова Камаран в Красном море, Перим в Баб-эль-Мандебском проливе, Сокотра в Аденском заливе. Кроме того, Йемен претендует на острова Курия-Мурия, расположенные у побережья Омана. В 1854 г. Оман уступил эти острова Великобритании, которая в 1937 г. включила их в состав своей колонии Аден, а в 1967 г. вернула их Оману. Площадь Йемена 527,9 тыс. км<sup>2</sup>. Столица – Сана (рис. 1).

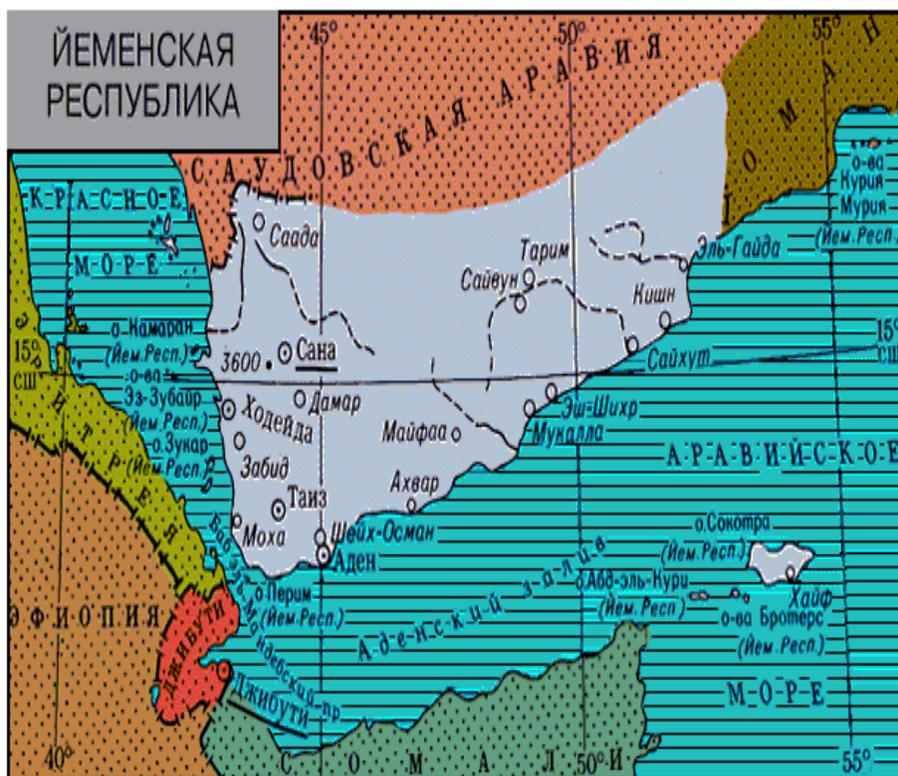


Рис. 1. Карта-схема географического положения Республики Йемен.

Юг Аравийского полуострова – это климатическое разнообразие и плодородная почва; здесь веками существовала высокоразвитая сельскохозяйственная культура. С античных времён население этого региона пользовалось хитроумными оросительными системами, позволявшими обходиться минимумом воды. *Agabia Felix* – Счастливая Аравия называли древние римляне земли, на которых сегодня находится Йемен. Страна царицы Савской славилась своим богатством.

Климат страны различен в разных регионах: в горах – полусухой, умеренный, в южной пустыне – очень жаркий, а летние и зимние ветры часто приносят песчаные бури. Средняя температура июня около 27 °С, а средняя температура января – около 14 °С [Весь мир..., 1998]. На побережье Красного моря климат труднопереносимый. Самый горячий сезон – с мая по сентябрь. В эти месяцы выпадает наибольшее количество осадков, что усиливает духоту.

Средняя температура лета 37 °С. С октября по март – зимний сезон со средней температурой 20 °С.

Внутри страны климат более благоприятный, особенно в высокогорных районах, где располагается столица республики г. Сана. Однако здесь содержание кислорода в воздухе примерно на 20 % ниже, чем на побережье. В Сана средняя температура в декабре 11 °С, в июле – 20 °С. В Адене самый «холодный» месяц январь (в среднем 26 °С), самый жаркий – июнь (в среднем 33 °С). [Яс А. М. Van Der Gun, 2000; Киселев, 1990].

Объем выпадающих осадков в Республике Йемен за год составляет около 60 млрд м<sup>3</sup>. Большая их часть тратится на испарение, часть стекает в океан, некоторое количество пополняет запасы подземных вод [Аль Мурейш Халед Абдо Саид Али, 2002]. Наибольшее количество осадков выпадает в горных районах. Самый дождливый месяц август, сухой период с ноября по январь (рис. 2). В табл. 1 приведены данные об общем количестве осадков в основных городах Йемена, зафиксированных на главных метеорологических станциях в 2002 г. [Яс А. М. Van Der Gun, 2000].

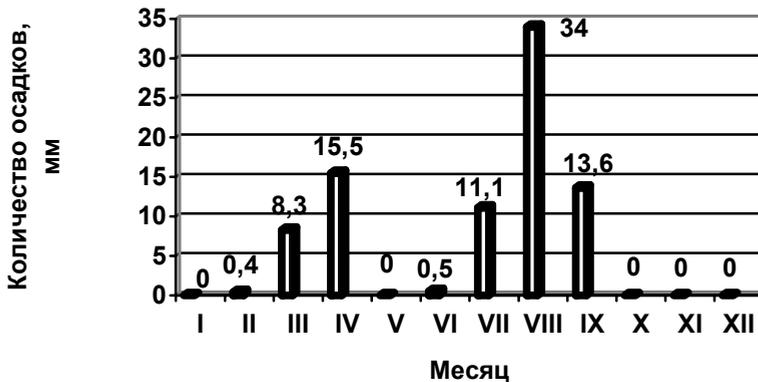


Рис. 2. Внутригодовая динамика осадков в г. Сана в 2002 г. [Statistical..., 2003]

Таблица 1

Годовое количество осадков в наиболее крупных городах Йемена в 2002 г. [Statistical..., 2003]

Город	Количество осадков, мм	Город	Количество осадков, мм
Таиз	1119,7	Сайвун	72,0
Ибб	556,8	Сада	66,5
Сокотра	239,7	Аден	57,1
Дамар	201,8	Мариб	22,8
Сана	83,4	Ходейда	18,9

Средняя плотность населения по стране – 37 чел./км<sup>2</sup>, однако его распределение крайне неравномерно. Свыше 2/3 жителей сосредоточено в Джебеле (гор-

ная часть Северного Йемена) и прибрежной полосе Тихамы. Плотность населения в некоторых районах здесь доходит до 235 чел./км<sup>2</sup>. Наиболее населенные области на юге расположены вдоль основных вад и на побережье. Самой населенной провинцией здесь является Хадрамаут, где проживает более 718 тыс. человек (1994 г.). Густонаселенным считается город Аден и его окрестности с населением 568,7 тыс. человек (2003 г.), а наименее населенной – Махра, на востоке страны, с населением 56,5 тыс. человек (1994 г.). В районах, прилегающих к пустыне Руб-эль-Хали, почти нет постоянного оседлого населения. Эти районы преимущественно населяют кочевники и полукочевники. В настоящее время в стране насчитывается свыше 100 тыс. кочевников-бедуинов. В основном они расселены на востоке, севере и северо-востоке, а также в Сокотре. В горных районах имеются также полукочевые группы.

Большая часть населения – крестьяне (феллахи). В городах проживает лишь четверть населения. Более урбанизировано общество Южного Йемена. Здесь до объединения страны в городах проживало около 43 % жителей, тогда как в ЙАР этот показатель составлял 32 %. Помимо столицы Саны (1,778,9 тыс. жит. в 2003 г.), крупнейшие города на севере – Таиз (460 тыс.), Ходейда (430 тыс.), Ибб (140 тыс.) и Дамар (120 тыс.). К крупнейшим городам в южной части страны относятся Мукалла (170 тыс.), Сайвун (75 тыс.), Зинджибар (65 тыс.) и Эш-Шихр (65 тыс.).

Сегодняшний Йемен – это беднейшее государство региона. Большинство более чем 20-миллионного населения Йемена живёт в беспросветной нищете, больше половины не умеют ни читать, ни писать. Однако главная проблема Йемена – это острая нехватка воды [Аль Мурейш Халед Абдо Саид Али, 2002].

### ***Современное состояние водообеспечения в Республике Йемен***

Потребление воды на душу населения в Республике Йемен составляет лишь 2 % от среднего глобального показателя – всего 140 м<sup>3</sup>, в то время как на Ближнем Востоке и в Северной Африке – в среднем 1250 м<sup>3</sup>. Йемен погибает от жажды. В чём же причина столь острой нехватки воды? Как говорит сотрудник Йеменского ведомства водоснабжения **Гамаль Мохамед Абду**, в Йемене привыкли к проблеме нехватки воды. Эта проблема связана прежде всего с природными особенностями нашей страны. Но важно и то, как наше население использует имеющуюся воду. Главным потребителем, естественно, является сельское хозяйство, где по-прежнему применяются старые системы орошения, которые уже неэффективны. По данным Министерства сельского хозяйства, эффективно используется только 40–50 % воды, т.е. половина воды просто пропадает. В Йемене постоянно понижается уровень грунтовых вод, в некоторых регионах – до 6 м в год. Это – пугающая перспектива, считает йеменский эксперт. Сегодня в Йемене используется воды в 400 раз больше, чем биологически восполнимо.

Процесс, пагубные последствия которого ощущаются сегодня, развивается с 70-х годов. Тогда началось бурение глубоких скважин; мощные насосы

выкачивали на поверхность огромное количество воды. Согласно оценкам ООН, источники воды в районе столицы Йемена Саны полностью иссякнут к 2010 г. [Кийвер, 2006].

Постоянные водотоки фактически отсутствуют. Исключение составляют небольшие реки и ручьи, берущие начало в горной части страны, большинство из которых в сухое время года пересыхает. Наиболее значительные реки на севере – Мур и Мадаб, в южных районах – Масила. Главным источником водоснабжения населенных пунктов остаются колодцы и артезианские скважины. В настоящее время в среднем на душу населения приходится не более 250 м<sup>3</sup> в год возобновляемых вод. По существующим прогнозам количество возобновляемых водных ресурсов на душу населения примерно через 30 лет уменьшится до 76 – 100 м<sup>3</sup> в год, что значительно меньше физиологических потребностей. Объем выпадающих осадков в Республике Йемен за год составляет около 60 млрд м<sup>3</sup>. Большая их часть тратится на испарение, часть стекает в океан, некоторое количество пополняет запасы подземных вод. Последние являются основным источником водоснабжения всех хозяйственных и бытовых нужд.

Водные ресурсы в Йемене распределены и используются крайне неравномерно – 90 % населения Йемена потребляет не более 90 м<sup>3</sup> воды в год на человека. Проблема водных ресурсов чрезвычайно остра на западе страны. Запас воды, пригодный для использования в западной части Йемена, оценивается около 35 млн м<sup>3</sup>. Даже при сохранении существующих темпов использования воды эти ресурсы полностью иссякнут в течение ближайших 50 лет. Еще хуже положение в густонаселенных районах. Так, в бассейне Саны проживает около 10 % населения страны. Здесь в 1994 г. было извлечено около 224 млн м<sup>3</sup> подземных вод, в то время как пополнение не превысило 42 млн м<sup>3</sup>, т.е. расход превысил поступление более чем в пять раз. Уже в самые ближайшие годы в столице республике г. Сана, где ежегодный прирост населения в среднем составляет 8 %, прогнозируется полное расходование подземных вод.

Единственное благополучное с подземными водными ресурсами место в Йемене – район Хадрамаут, расположенный в малонаселенной юго-восточной части страны, на расстоянии около 500 км от столицы. Здесь возобновляемые водные ресурсы достигают 280 млн м<sup>3</sup> в год, и при ныне существующих темпах использования воды ее запасов хватит на несколько тысячелетий.

Основными причинами водного кризиса, существующего в настоящее время в Йемене, является постоянно возрастающий спрос на воду в результате роста населения страны (рис. 3) [Большая энциклопедия..., 2003], расширение площадей сельскохозяйственных угодий, требующих искусственного орошения, отсутствие контроля со стороны государственных служб за процессами извлечения и потребления подземных вод.

Возможность контроля за использованием подземных вод осложняется и тем, что в стране насчитывается около 45 тыс. частных колодцев и около 200 буровых скважин. Попытки правительства ввести лицензии на использование частных колодцев и скважин и поставить их под контроль государства в ре-

зультате несовершенства организационно-административной структуры государственного аппарата оказались безуспешными. В мире нет больше такой страны, подземные воды которой истощались бы такими темпами, как в Йемене. Ее столица в самые ближайшие годы может остаться без воды.

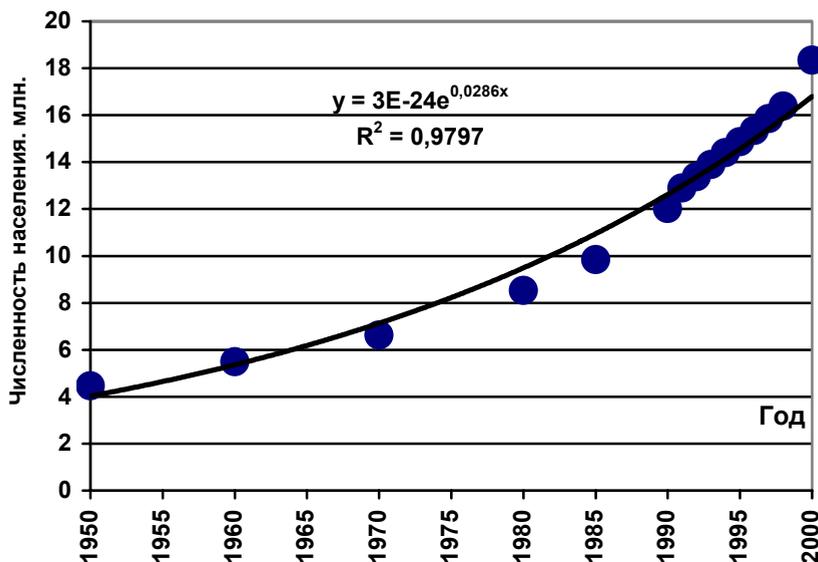


Рис. 3. Динамика численности населения в Республике Йемен [Statistical..., 2003].

Возобновляемые подземные водные ресурсы в настоящее время оцениваются примерно в 1,2 млрд м<sup>3</sup> в год. Объем ежегодного потребления подземных вод составляет около 8,2 млрд м<sup>3</sup>, т.е. почти в семь раз превышает объем ежегодного возобновления. Подсчитано, что уровень залегания подземных вод в большинстве районов страны снижается на 1–6 м в год. Так, в Каа-ль-Бун, близ Амрана, уровень подземных вод за последние двадцать лет упал почти на 60 м, из которых 30 м падения приходится только на пять последних лет. Темпы истощения запасов подземных вод быстро увеличиваются, отчасти в связи с быстрым приростом населения страны и активизацией различных видов его хозяйственной деятельности

Негативным моментом, связанным с использованием воды, является не только ее острый дефицит, но и большая опасность загрязнения отходами деятельности человека, особенно в условиях отсутствия водоочистных сооружений, а также развитой водопроводной и канализационной сети.

Преобладающим методом избавления от сточных вод является их сброс в колодцы глубиной до 20 м. Такие колодцы в итоге являются источником загрязнения подземных вод. Даже в столице страны г. Сане очистка вод все еще осуществляется во временных водоемах окисления, которые получают сточные

воды в объемах, превышающих их производительную мощность. В результате загрязненные воды попадают в окружающую среду, нередко используются для орошения полей. Последнее приводит к снижению качества, а нередко и к загрязнению сельскохозяйственных продуктов. Так, химический и бактериологический анализы вод, взятых из скважины в районе ар-Равда, прилегающем к международному аэропорту «Сана», свидетельствуют об их загрязнении нитратами, фосфатами, железом, а также о большом содержании болезнетворных бактерий. Такая же картина характерна и для скважин, расположенных в центре города и поблизости от емкостей со сточными водами. В Адене лишь 25 % сточных вод собирается в окислительные резервуары. В дальнейшем эти воды используются для орошения близлежащих сельскохозяйственных угодий.

В настоящее время только 35 % населения Йемена получает воду, пригодную для питья. В городах этот показатель составляет около 74 %. В сельской местности – около 14 %. Последствия использования человеком некачественных вод печальны. Около 70 % смертей детей в грудном возрасте вызвано разными заболеваниями, получаемыми через воду.

Проблемы обеспечения населения качественной водой осложняются быстрым и не контролируемым стихийным разрастанием городов, обусловленным интенсивным притоком в них сельского населения. Переселенцы поселяются в городах, инфраструктура которых не готова принять столь большое количество новых жителей. В большом количестве дома строятся на пригородных землях, где отсутствуют водопроводная и канализационная сети.

Примерно 3/4 неочищенных вод приморских городов сбрасывается непосредственно в море, что губительно воздействует на ихтиофауну, вызывает заболевание кожи и обуславливает другие болезни у населения. Это чрезвычайно серьезная экологическая проблема, поскольку у очень небольшого по площади государства протяженность морской береговой линии вдоль Красного и Аравийского морей составляет более 2000 км.

Быстрые темпы экологического загрязнения прибрежных морских вод в большой степени обусловлены увеличением населения и неконтролируемым ростом прибрежных городов без строительства необходимых коммуникационных сооружений по водоснабжению промышленных объектов и населения городов и отвода и очистки использованных вод. Серьезную опасность для прибрежной морской среды представляет также неаккуратное использование в сельском хозяйстве инсектицидов, которые попадают в море. Кроме того, городское строительство в прибрежных районах ведет к разрушению мест кладки морских черепах, а увеличение количества неорганизованных туристов и отдыхающих ведет к разрушению коралловых рифов, неконтролируемому вылову раковин-жемчужниц, декоративных рыб и другим негативным последствиям воздействия человека на окружающую среду.

Помимо материковых источников загрязнения прибрежных морских вод не меньшую опасность для них представляют и непосредственные морские источ-

ники – загрязнение вод нефтью в результате сброса промывочных отходов нефтетанкерных резервуаров, аварий на нефтетанкерах в Аденском заливе при их заправке, загрузке и др. По статистическим данным через Аденский залив ежедневно проходит 50–60 судов и танкеров, которые ежегодно перевозят порядка 400 млн т грузов, значительную часть которых составляет нефть и ее производные. Наиболее подвержен опасности загрязнения Баб-эль-Мандебский пролив и близлежащие к нему районы в результате наиболее частых здесь столкновений входящих и выходящих из пролива судов. Кроме того, Аденский порт и его прибрежную зону загрязняет нефтью Аденский нефтеперерабатывающий завод [Аль Мурайш Халед Абдо Саид Али, 2002].

Растущий дефицит пресной воды в Республике Йемен, отсутствие или недостаток ее в засушливых и пустынных районах, богатых природными ресурсами и перспективных для освоения, делает необходимым изыскание там дополнительных водных источников (дефицит чистой воды ощущается на территории более 40 стран, расположенных главным образом в аридных, а также засушливых областях и составляющих около 60 % всей поверхности земной суши).

### ***Пути решения проблемы водообеспечения в Республике Йемен***

Человек, используя для хозяйственных целей в основном лишь пресную очищенную воду, берет ее там, где она «под руками» – из рек и поверхностных источников. Их отсутствие или дефицит приводит к той проблеме, о которой говорилось выше. В то же время на Земле существуют огромные резервы пресной воды, практически не используемые только по причине их относительно далекого расположения или неудобства транспортировки. В связи с этим ряд ученых выдвигает новые интересные проекты, позволяющие решить проблему водного голода. Одни проекты пока носят утопический характер, другие – не могут быть реализованы при современном техническом уровне, третьи – по чисто экономическим причинам, четвертые – уже воплощаются в действительность или будут реализованы в ближайшие годы (рис. 4) [Софер, 1974].

Использование айсбергов как источников питьевой воды – идея не новая. В 1977 г. капитан Джеймс Кук собрал 15 т питьевой воды из антарктических айсбергов для своего корабля «The Resolution», и сейчас айсберги Аляски перерабатывают на кубики льда, которые продаются в Японии для гурманов. Идея переработки айсбергов впервые была озвучена в 1940-х годах. В 1977 г. более 200 ученых и представителей от частных фирм из 18 стран собрались на конференции в г. Эймсе, штат Айова, для обсуждения идеи использования айсбергов Антарктики. Отправной точкой было то, что стоимость воды айсбергов будет в два раза меньше, чем опресненной. Было подсчитано, что наиболее рентабельно будет через спутники подыскивать оптимальные для переработки айсберги размером 1 км × 400 м × 250 м, которые далее оборачиваются в кевларовую «обертку» для уменьшения таяния и буксируются с использованием по максимуму попутных океанических течений до точки назначения. До Саудовской Аравии такой путь занимает до одного года с потерей 20 % объема. Разница в

температуре «айсберг / океанская вода» используется для выработки энергии. Вторая конференция по этой тематике прошла в 1980 г. в Великобритании в Полярном исследовательском институте Скотта. Русские специалисты в этих конференциях не участвовали. Но исследования в России активно велись учеными Арктического и Антарктического НИИ Санкт-Петербурга, ЦНИИ им. академика Крылова.

Одновременно проявили себя негативные стороны подобной транспортировки, особенно при транспортировке айсберга без «оболочки»: в обоих случаях крайне высока вероятность экологической или технической катастрофы в океане, сам айсберг создает вокруг себя свой собственный «туманный» микроклимат, что приводит к ограничению видимости и высокой вероятности повторения второго «Титаника»; морская вода вокруг антарктической глыбы, готовой перевернуться в любой момент из-за смещения центра тяжести, охлаждается и негативно воздействует на морскую фауну и флору по маршруту перемещения, изменяя попутно, пусть в небольших пределах, местный климат; на мелководье, как правило, менее 150 м, вероятны очаговые повреждения дна; районы суши, которые в своей жизнедеятельности становятся «айсбергозависимыми», в случае, если очередной «груз» по каким-либо причинам потеряется по дороге, садятся на «водяную диету»; во время транспортировки чрезвычайно велико потребление топлива, 50–80 % от объема «напрямую транспортируемого» айсберга теряется при таянии, а до Калифорнии или Саудовской Аравии без «обертки» он не доплывет по определению. Экономичным считается транспортировка айсбергов массой в 350 млн т, но для этого потребуется тяговое усилие до 500,000 лошадиных сил.

Заворачивать небольшие ровные айсберги массой до 1 млн т в пластиковую пленку, усиленную волоконной сеткой German Antarctic RV Polarstern, предложила в 1985 г. одна немецкая фирма, разработавшая технологию, позволявшую перетаскивать более мелкие айсберги с уменьшением потерь от таяния в пути, но при условии, что до 50 % расстояния будет преодолеваться «по течению»; при этом пленка обладает небольшим сопротивлением, что значительно снижает «тяговые» затраты; сам тягач потребляет воду непосредственно из айсберговой «пластиковой сумки»; нет никакой технической необходимости создавать значительные емкости для воды на самом судне. Опыты подтвердили, что вода из айсберга в пластиковой оболочке не портится многие месяцы и остается питьевой даже при смешивании с 2,5 % морской воды (но лучше 1 %). Доставить айсберг до Саудовской Аравии будет стоить 80 млн долл. и займет время до одного года. Американские ВМФ исследовали этот вопрос и пришли к выводу о необходимости строительства "super-tugs" (супер-буксиров) специально для этой миссии, существующие – слишком маломощные.



Рис. 4. Возможные пути решения проблемы водообеспечения в Республике Йемен.

На всемирной выставке «Экспо-98» в Португалии Россия представляла проект «Чистый лед» и «Айсберг». Автор проекта И.П. Калько убежден, что использование айсбергов позволит человечеству решить проблему нехватки питьевой воды на ближайшие двести лет. По его мнению, айсберги не нужно никуда отбуксировывать. Специальный судовой комплекс прибывает в район скопления айсбергов, который определяют с помощью спутников. А далее к делу приступают особые устройства: они превращают айсберг в ледяную крошку и отправляют ее в четыре грузовых секции судна. Эти секции могут спокойно отстыковываться и автономно следовать в любой пункт назначения.

Более реальным способом покрытия дефицита пресных вод является переброска избытка их по каналам или водоводам из водообильных районов. Примером такого способа снабжения водой населения может служить построенная в 1962 г. третья очередь Каракумского канала длиной 800 км, по которому ежедневно подается к Ашхабаду свыше 500 тыс. м<sup>3</sup> (6 м<sup>3</sup>/с) амударьинской воды. Другой пример. В Республике Казахстан наименее обеспеченной водой является Мангыстауская область. Здесь практически отсутствуют пресные поверхностные воды. Потребности в ней удовлетворяются в основном за счет подачи волжской воды по магистральному водоводу Астрахань-Мангышлак, опреснения морской воды на Мангыстауском энергокомбинате, эксплуатации месторождений подземных вод. За последние три года введено в эксплуатацию 145 км водоводов [<http://www.greenwomen.freenet.kz/sendlist/21-03-2002.txt>]. Добавим к этому, что, например, в СССР были сооружены каналы Северский Донец – Донбасс (около 130 км), Иртыш – Караганда (около 460 км), три очереди крупнейшего в мире Каракумского канала, имеются (в Казахстане) водопроводы Ишимский и Булавинский, протяженностью более 1700 км каждый. Однако при значительном удалении пресноводных источников опреснение соленой воды на месте стоит дешевле пресной воды, поступающей по водоводам. При водопотреблении до 1000 м<sup>3</sup>/сут опреснение соленой воды на месте выгоднее, чем по-

дача пресной воды на расстояние, превышающее 40–50 км, при водопотреблении 100 000 м<sup>3</sup>/сут – выгоднее, чем подача пресной воды на расстояние более 150 – 200 км.

По нашему мнению, такой способ частичного покрытия дефицита воды может быть реализован в Республике Йемен, поскольку, как отмечено выше, в юго-восточной части республики возобновляемые водные ресурсы весьма значительны (280 млн м<sup>3</sup> в год). Следует, однако, учитывать, что стоимость подачи пресной воды по водоводам зависит прежде всего от расстояния и от величины водопотребления.

Еще одна возможность для улучшения водного баланса состоит в повторном использовании воды. Значительный резерв водопотребления в Республике Йемен связан с очисткой сточных вод, так как примерно 75 % неочищенных вод приморских городов сбрасывается непосредственно в море. В Йемене промышленные предприятия сосредоточены в четырех мухафазах: Сана, Таиз, аль-Ходейта, Аден. Многие из них отработанные сточные воды, загрязненные промышленными отходами, а также продуктами жизнедеятельности животных и людей, без всякой очистки сбрасывают прямо в канализационную сеть и в море. Однако в городах, где в настоящее время проживает примерно 23,5 % населения страны, канализационной сетью охвачено менее половины городского населения. Еще более острое положение сложилось в сельской местности, где проживает большая часть населения. Здесь канализационной сетью обеспечено не более 10 % населения.

Двумя основными игроками на мировом рынке торговли водой являются компании Vivendi Universal и Suez. Обе компании расположены во Франции и контролируют 70 % рынка. Вместе они снабжают питьевой водой более 100 млн человек. Suez представлена в 130 странах, а Vivendi – в 90. Сразу за двумя гигантами следуют Vougues-SAUR (Франция), RWE-Thames (Германия) – Bechtel-United Utilities (США). Это – мировые гиганты, однако кроме них на рынке существует большое количество мелких компаний.

Среди индустриально развитых стран самая дорогая вода в Германии, самая дешевая – в Канаде. Компания Watertech подсчитала среднюю стоимость добычи, обработки и доставки 1 кубометра воды в офисные здания, расположенные в городах. В Германии 1 кубометр воды стоит 1,91 долл., во Франции – 1,23 долл., в Италии – 0,76 долл., в Финляндии – 0,69 долл., в Испании – 0,57 долл., в США – 0,51 долл., в Канаде – 0,40 долл.

Одним из наиболее эффективных и перспективных путей обеспечения пресной водой является опреснение соленых морских вод (соленость вод Красного моря достигает 42 ‰). Опреснение воды – способ обработки воды с целью снижения концентрации растворенных солей до степени (обычно до 1 г/л), при которой вода становится пригодной для питьевых и хозяйственных целей [Павлов, 1972; Апельцин, 1968; Слесаренко, 1973].

Активные научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы в области опреснения солоноватых и морских вод начались в разных странах

мира в конце 50-х – начале 60-х годов прошлого века. Дата подписания президентом США в 1952 г. закона о развертывании работ по созданию установок для получения дешевой пресной воды признана началом становления промышленного опреснения воды в мире.

Получение пресной воды из соленой известно с древнейших времен. В небольших количествах ее получали выпариванием в перегонных аппаратах. Однако стоимость получения пресной воды таким методом очень высокая. Еще в XVI в. английская королева Елизавета предложила премию в размере 10 тыс. фунтов стерлингов тому, кто найдет наиболее дешевый способ опреснения. Однако и по сей день претендентов на премию не оказалось.

Природа, как бы подсказывая и идя навстречу человеку, сама создала эффективнейшие образцы опреснителей. К примеру, морские млекопитающие – киты, пингвины, тюлени – вынуждены довольствоваться водой с концентрацией солей 35 г/л. Однако киты не потребляют морскую воду, а вырабатывают так называемую метаболическую обессоленную воду путем обмена веществ при окислении жира. У морских птиц – буревестников, бакланов, альбатросов и других, которые пьют морскую воду, – в желудке всегда находится пресная вода. Все дело в том, что в голове птиц имеется солевая железа, которая является своего рода биологическим опреснителем, причем весьма совершенным.

В принципе методы опреснения морских и океанических вод можно разделить на традиционные, т.е. уже используемые, и нетрадиционные, т.е. те, которые находятся в стадии научно-исследовательских или опытно-конструкторских разработок [Юдбаровский, 2004; Не дай..., 2005].

В настоящее время известно примерно 30 способов опреснения морской воды. Но в принципе все эти методы можно разделить на несколько типов: 1. Дистилляционные процессы. 2. Процессы с использованием льдообразования – естественное и искусственное вымораживание, газгидратный метод. 3. Химические процессы – ионный обмен, реагентные методы. 4. Экстракционные процессы. 5. Процессы с применением мембран – гиперфльтрация, электродиализ. 6. Биологические методы [Аль Мурейш Халед Абдо Саид Али, Фрумин, 2006].

Каждый из указанных способов имеет свои положительные и отрицательные стороны. Все способы превращения соленой воды в пресную требуют больших затрат энергии. Например, при опреснении путем дистилляции расходуется 13–14 кВт·ч на одну тонну продукции. В общем на долю электроэнергии приходится примерно половина всех издержек на опреснение, их другая половина идет на ремонт и амортизацию оборудования. Таким образом, стоимость опреснения воды зависит в основном от стоимости электроэнергии. Однако там, где для жизнеобеспечения людей не хватает пресной воды и есть условия для строительства опреснителей, стоимостной фактор отступает на второй план. В некоторых районах опреснение, несмотря на его высокую стоимость, экологически выгоднее, чем привоз воды издалека.

Весьма перспективно для опреснения воды использование атомной энергии. В этом случае атомная электростанция (АЭС) «спаривается» обычно

с дистилляционным опреснителем, который она питает энергией. Опреснение соленых вод развивается достаточно интенсивно, в результате чего каждые два-три года суммарная производительность установок удваивается. К наиболее крупным в мире производителям опресненной воды относится Кувейт, где опреснительные установки обеспечивают пресной водой все государство. Мощными опреснителями располагает Саудовская Аравия. Большие объемы пресной воды получают в Ираке, Иране, Катаре. Опреснение морской воды налажено в Израиле. В Индии действуют опреснительные установки небольшой мощности (в штате Гуджарат работает солнечный опреснитель мощностью 5 тыс. л воды в сутки, который снабжает пресной водой местное население). Проблемой опреснения океанических и морских вод занимаются органы ООН, Международное агентство по атомной энергии, национальные организации более чем 15 стран мира. Усилия ученых и инженеров направлены на разработку эффективных мер по комплексному использованию вод Мирового океана, при котором извлечение из них полезных компонентов сочетается с производством чистой воды. Такой путь позволяет наиболее эффективно осваивать водные богатства океана.

Промышленное опреснение океанических и морских вод в приатлантических странах ведется на Канарских островах, в Тунисе, Англии, на острове Аруба в Карибском море, в Венесуэле, на Кубе, в США и др. На Украине опреснительные установки применяются в северо-западной части Причерноморья и в Приазовье. Опреснительные установки функционируют также и в некоторых районах тихоокеанского побережья – в Калифорнии, например, такая установка производит в сутки 18,9 тыс. м<sup>3</sup> воды для технических целей.

При выборе метода опреснения следует учитывать, что электродиализ и обратный осмос (гиперфильтрация) экономичны при содержании солей от 2,5 до 10 г/л, а ионный обмен – при солесодержании менее 2,5 г/л.

Одним из методов опреснения соленых вод является непосредственная дистилляция под воздействием солнечных лучей. В пустынных южных районах и на безводных островах применяются солнечные опреснители, которые дают в летние месяцы около 4 л воды в сутки с 1 м<sup>2</sup> поверхности, воспринимающей солнечную радиацию. Сущность этого метода заключается в том, что под воздействием солнечной радиации в бассейне, заполненном соленой водой, происходит ее испарение, а дистиллят, образующийся при конденсации пара на наклонных, охлаждаемых воздухом поверхностях крыши из стекла или пластмассы, собирается в желобах, расположенных в нижней ее части; оставшийся рассол удаляется в дренаж (рис. 5) [Кульский, 1974]. Подавляющее большинство методов опреснения соленой воды требует значительных затрат тепловой или электрической энергии. Солнечная же дистилляция выгодно отличается от других методов опреснения, так как требует сравнительно меньших эксплуатационных расходов [Павлов, 1972].

Размеры солнечных опреснителей характеризуются главным образом их производительностью, которая может быть с некоторыми допущениями вычислена по следующей приближенной формуле [Павлов, 1972]:

$$Q = kE/580,$$

где  $Q$  – удельная производительность опреснителя, л/м<sup>2</sup>·сут;  $k$  – коэффициент использования солнечной энергии, принимаемый равным 0,3–0,5;  $E$  – интенсивность солнечной радиации, ккал/м<sup>2</sup>·сут; 580 – расход энергии на нагревание и испарение 1 кг воды.

По нашему мнению, учитывая климатические особенности, использование солнечных опреснителей (гелиоопреснение) весьма целесообразно для решения проблемы покрытия, хотя бы частичного, дефицита воды в Республике Йемен.

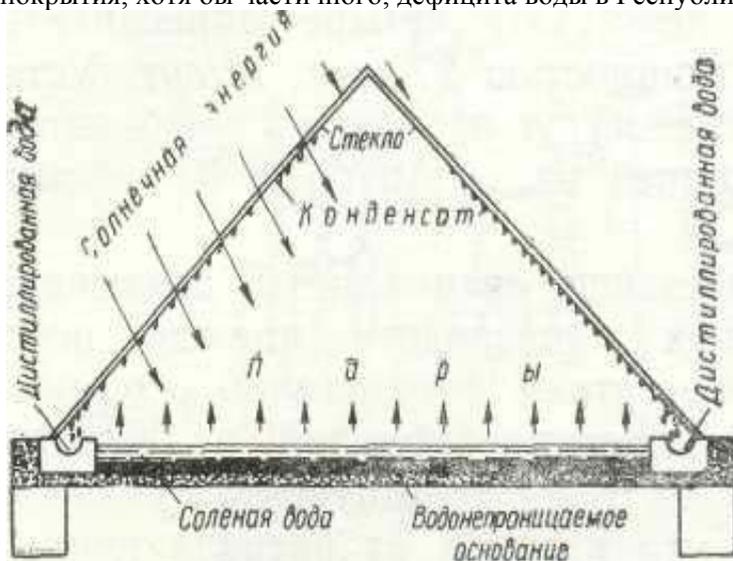


Рис. 5. Схема солнечного опреснителя типа «горячий ящик».

Среди нетрадиционных методов опреснения соленых вод заслуживает внимание способ, предложенный Д.М. Юдбаровским [Юдбаровский, 2004].

По предлагаемой технологии опреснение морской воды в богатых солнцем странах обойдётся от 35 до 50 центов за кубометр опреснённой воды, в зависимости от срока окупаемости (от 3 до 5 лет) и доли солнечных дней в году (250 или 300). При более долговременной эксплуатации стоимость опреснённой воды снизится примерно до 20–30 центов за кубометр, что соизмеримо с ценами в регионах, богатых чистой пресной водой. Такая экономичность достигается за счёт трансформации энергии солнца в энергию давления газа с низкой температурой испарения и теплотой парообразования, который продавливает морскую воду через специальные фильтры («мембраны»). Вода опресняется, так как большая часть растворённой соли не может пройти сквозь мембрану – этот экономичный классический процесс принято называть «обратным осмосом». Ус-150

тановка состоит из множества независимых и однотипных небольших блоков, что очень удобно для внедрения и резко удешевляет общую стоимость изготовления монтажа.

*Описание установки.* Солнечная энергия сначала превращается в тепло воды (примерно до  $T = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) в почти стандартных солнечных бойлерах, это тепло испаряет жидкость со сравнительно низкой температурой и теплотой испарения, например дешёвый пентан или изопентан, с температурой испарения у пентана  $36\text{ }^{\circ}\text{C}$  (у изопентана –  $27\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), т.е. энергия солнца переходит в высокое давление газа. Это давление далее повышается, если потребуется, по известной чисто механической схеме цилиндров с разным диаметрами. Высокое давление газа передаётся через мягкие ("вялые") мембраны морской воде в попеременно на относительно короткое время подключаемых баках, и эта вода под давлением поступает в небольшие плоские ячейки обратного осмоса. Газ, отдавший энергию воде, идёт в конденсаторы и далее обратно в солнечные бойлеры, замыкая цикл, а в опорожненный бак поступает следующая порция морской воды для опреснения.

Покрытие дефицита воды в Йемене может быть реализовано также на основе прогрессивных методов ирригации. В этом отношении весьма перспективно капельное орошение. Коэффициент полезного использования воды определяется как соотношение между количеством воды, усвоенным растением, и израсходованным на полив. Исследования показывают, что эта величина составляет около 95 % при капельном орошении, тогда как для поверхностного орошения она равняется 45 %, а для орошения дождеванием – 75 % [<http://posolstvo.narod.ru/lib/water.htm>].

### **Выводы**

1. Достаточное водоснабжение имеет для Республики Йемен приоритетное экономическое и политическое значение.
2. Выбор принципа получения пресной воды определяется исходя из местных условий с учетом свойств исходной воды, источников энергии, инфраструктуры и т.д. с целью получения максимальной экономической эффективности.
3. Целесообразно проведение научно-исследовательских работ, направленных на разработку нетрадиционных методов опреснения морских вод.
4. Необходимо проведение четкой политики капиталовложений для осуществления крупномасштабных проектов в области водного хозяйства.
5. Необходимы жесткие водохозяйственные меры, такие, как строительство дополнительных опреснительных установок, ограничение сельскохозяйственного производства с одновременным применением высокоэкономичных технологий (например, капельное орошение), усиленное использование очищенных вод.

**Литература**

1. *Апельцин И.Э., Клячко В.А.* Опреснение воды. – М.: Изд-во литературы по строительству, 1968.
2. *Аль Мурейш Халед Абдо Саид Али.* Проблемы рационального водопотребления и охраны водных ресурсов в Йемене. В сб.: Историческая геология и эволюционная география / Под ред. Е.М. Нестерова. – СПб.: изд-во «Эпиграф», 2002, с. 135–138.
3. *Аль Мурейш Халед Абдо Саид Али, Фрумин Г.Т.* Проблемы водообеспечения в Республике Йемен. Тезисы докладов. Итоговая сессия ученого совета 25–26 января 2006 года. СПб.: изд. РГГМУ, 2006, с. 112–113.
4. Большая энциклопедия Кирилла и Мефодия (2003) (электронная версия, [www.MEGABOOK.RU](http://www.MEGABOOK.RU)).
5. Весь мир. Энциклопедический справочник. – М.: Литература, 1998, с. 226–229.
6. *Догановский А.М., Малинин В.Н.* Гидросфера Земли. / Под ред. Л.Н. Карлина. – СПб.: Гидрометеоздат, 2004.
7. *Кийвер В.* (2006) Помогут ли немцы превратить Йемен в процветающую страну. [www.dw-world.de](http://www.dw-world.de).
8. *Киселев А.Ю., Шефов Н.А.* Практический путеводитель по 97 странам мира. – М.: ИНТО, 1990, с. 112–115.
9. *Кульский Л.А., Даль В.В.* Проблемы чистой воды. – Киев: изд. «Наукова думка», 1974.
10. Не дай себе засохнуть. Американцы заявляют о разработке новой технологии опреснения морской воды (2005) (<http://www.globalrus.ru/new/778802/>).
11. *Павлов Ю.В.* Опреснение воды. – М.: Просвещение, 1972.
12. *Семин В.А.* Основы рационального водопользования и охраны водной среды. – М.: Высшая школа, 2001.
13. *Слесаренко В.Н.* Современные методы опреснения морских и соленых вод. – М., 1973.
14. *Софер М.Г.* Проблема пресной воды. – Л.: Знание, 1974.
15. *Тарасов В.И.* Гидросфера. Учебное пособие. – Уссурийск: Уссурийский гос. педагогический ун-т, 2004.
16. *Толоконцев Н.А.* Токсикология гидросферы // Вестник АМН СССР, 1991 № 1, с. 33–38.
17. *Юдбаровский Д.М.* Технологии: технология дешевого опреснения морской воды (<http://judbarovski.inauka.ru>), 2004.
18. *Лас А.М. Van Der Gun.* Lecture Notes On “Hydrology Of Yemen”. Republic of Yemen. Sana’a University. Water and Environment Center. Sana’a June, 2000.
19. Statistical Year-book of the Republic of Yemen for 2003.
20. Water for people, Water for Life – UN World Water Development Report (WWDR). The United Nations Educational, Scientific and Cultural organization (UNESCO). – Paris., 2002.