

На правах рукописи

Аль_Майтами Валид Абдулвахед Мохаммед

**ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ СОВЕРЩЕНСТВОВАНИЯ
ВОДОБЕСПЕЧЕНИЯ В СТРАНАХ АРАВИЙСКОГО ПОЛУОСТРОВА**

Специальность 25.00.36 – Геоэкология

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Санкт- Петербург
2009

Работа выполнена на кафедре прикладной экологии Российского государственного гидрометеорологического университета

Научный руководитель: доктор химических наук, профессор
Фрумин Григорий Тевелевич

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Арсеньев Герман Семенович

доктор географических наук, профессор
Рянжин Сергей Валентинович

Ведущая организация: Санкт-Петербургский государственный
политехнический университет

Защита состоится «02.03» 2009 г. в 17 часов 00 минут на заседании диссертационного совета Д212.197.03 в Российском государственном гидрометеорологическом университете по адресу: 195196, Санкт-Петербург, пр. Металлистов, д.3, аудитория 406^б

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Российского государственного гидрометеорологического университета.

Автореферат разослан «19» января 2009 г.

Ученый секретарь диссертационного совета
доктор технических наук, профессор

Бескид П.П.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Проблемы, связанные с потреблением воды и ее дефицитом, настолько обострились в последние десятилетия, что стали рассматриваться как одно из самых значимых свидетельств общего кризиса цивилизации. Они являются фактором, сдерживающим развитие многих стран, источником межгосударственных конфликтов и нестабильности. Дефицит воды снижает качество жизни, наряду с бедностью, становится причиной антисанитарии и роста заболеваемости населения. Пресная вода стремительно превращается в дефицитный природный ресурс. За XX столетие ее потребление увеличилось в 7 раз, тогда как население планеты выросло втрое. Согласно данным ЮНЕСКО к 2050 году 7 миллиардов человек в 60 странах (по пессимистическим прогнозам) или 2 миллиарда человек в 48 странах (по оптимистическим прогнозам) столкнутся с проблемой нехватки воды. Не случайно ООН объявляла 2003 год Международным годом пресной воды.

Особым регионом является Ближний Восток, или Западная Азия, где сосредоточены все характерные для континента водные проблемы - в силу природных условий здесь существует водный голод, который усугубляется быстрым ростом населения и ростом экономики.

Изложенное в полной мере относится и к странам Аравийского полуострова (Бахрейн, Йемен, Катар, Кувейт, Оман, Саудовская Аравия, Объединенные Арабские Эмираты), где располагаемые к использованию водные ресурсы неуклонно снижаются.

В настоящее время запасы воды (обновляемый объем на душу населения) составляют 388 м³/год в Омане, 223 м³/год – в Йемене, 181 м³/год – в Бахрейне, 118 м³/год – в Саудовской Аравии, 94 м³/год – в Катаре, 58 м³/год – в Объединенных Арабских Эмиратах и всего 10 м³/год – в Кувейте. Это создает серьезную угрозу водоснабжению во многих регионах, прежде всего в наиболее крупных городах. Возобновляемые водные ресурсы на Аравийском полуострове намного ниже критической величины в 10³ м³/год·чел., которая используется как индикатор хронического дефицита воды.

Таким образом, обеспечение народного хозяйства и бытовых нужд населения водой является одной из острейших проблем в странах Аравийского полуострова.

Проблемы обеспечения населения стран Аравийского полуострова качественной водой осложняются быстрым и не контролируемым стихийным разрастанием городов, обусловленным интенсивным притоком в них сельского населения. В большом количестве дома строятся на пригородных землях, где отсутствуют водопроводная и канализационная сети. Примерно три четверти неочищенных вод приморских городов сбрасывается непосредственно в море, что губительно действует на ихтиофауну, вызывает заболевание кожи и обуславливает другие болезни у населения. Это весьма серьезная геоэкологическая проблема.

Основными причинами водного кризиса в странах Аравийского полуострова является постоянно возрастающий спрос на воду в результате роста населения, расширения площадей сельскохозяйственных угодий, требующих искусственного орошения, отсутствие со стороны государственных служб контроля за процессами извлечения и потребления подземных вод.

Сложность решения проблемы водообеспечения в странах Аравийского полуострова обусловлена следующими причинами:

1. Практическим отсутствием поверхностных вод суши (озер, рек). 2. Крайне неравномерным распределением осадков по территории Аравийского полуострова и не увязкой их с районами максимального водопотребления. 3. Большой численностью населения (49098000 человек в 2000 г.). 4. Высоким показателем среднегодового прироста населения (от 4,1% в Республике Йемен до 1,5% в Катаре за период 2000-2005 гг.). 5. Невысоким процентом городского населения в Республике Йемен (25,3% в 2000 г.) и значительной долей «рассеянного населения». В других странах процент городского населения варьирует от 76,6% в Омане до 96,3% в Кувейте. 6. Невысоким уровнем экономического развития (валовой национальный продукт в 2000г. составлял 10100 млн. US \$ в Бахрейне и 54000 млн. US \$ в Объединенных Арабских Эмиратах). Для сравнения – в США 9963000 млн. US \$, в Китае – 4500000 млн. US \$, в Швеции – 197000 млн. US \$). 7. Невысоким производством электроэнергии (от минимального количества в Республике Йемен – 3010 млн. кВт·ч до максимального количества в Саудовской Аравии – 122400 млн. кВт·ч). Для сравнения – в США – 3719000 млн. кВт·ч, в Китае – 1420000 млн. кВт·ч, в России – 915000 млн. кВт·ч,).

В связи с изложенным всесторонний анализ проблемы водообеспечения в странах Аравийского полуострова представляет собой **актуальную задачу**, так как при успешном ее решении оказывается возможным выявить основные причины дефицита пресной воды, провести необходимые природоохранные мероприятия и разработать систему рационального управления водными ресурсами.

Цель работы. Цель диссертационного исследования состояла в обосновании основных принципов рациональной (устойчивой) водной политики в странах Аравийского полуострова.

Для достижения поставленной цели было необходимо решить следующие задачи:

- собрать, обобщить и проанализировать данные литературы о современном состоянии водообеспечения в странах Аравийского полуострова;
- оценить динамику антропогенного воздействия на территории стран Аравийского полуострова;
- проанализировать традиционные и нетрадиционные методы опреснения морских вод;
- разработать рекомендации о путях совершенствования водной политики.

В ходе исследования были сформулированы и обоснованы следующие основные положения, **выносимые на защиту:**

1. Результаты комплексного анализа водообеспечения в странах Аравийского полуострова.
2. Математические зависимости для расчета удельных производительностей гелиоопреснителей, учитывающие интенсивность солнечной радиации, температуру и теплоемкость воды.
3. Основные принципы рациональной водной политики в странах Аравийского полуострова.

Научная новизна работы.

1. Для оценки дефицита пресной воды в странах Аравийского полуострова предложен индикатор напряженности водных ресурсов (ИНВР), рассчитываемый как отношение объема ежегодно возобновляемых подземных вод к количеству населения. Установлено, что значение индикатора напряженности водных ресурсов во всех странах Аравийского полуострова с 1950г. по 2000г. уменьшаются по экспоненциальному закону, что обусловлено экспоненциальным ростом населения.

2. Впервые проведен комплексный анализ возможных путей решения проблемы водообеспечения в странах Аравийского полуострова. Предложены и обоснованы экологически безопасные технологии водообеспечения, включающие повторное использование воды (очистка промышленных и бытовых сточных вод), переход на современные методы орошения (капельное орошение), экологически безопасное опреснение морских вод методом гелиоопреснения, получение пресной воды из атмосферного воздуха и утилизация дождевых осадков с помощью подземных наливных резервуаров, устанавливаемых вдоль вадии (высохших русел рек).

3. Выявлены математические зависимости для расчета удельных производительностей гелиоопреснителей, учитывающие интенсивность солнечной радиации, температуру и теплоемкость морской воды, а также широту местности.

4. Установлено, что для получения максимальной экономической эффективности выбор метода (методов) получения пресной воды следует проводить, исходя из местных условий с учетом свойств исходной воды (морская или атмосферная вода), источников энергии и инфраструктуры.

Практическая значимость. Результаты работы позволили выработать рекомендации по рациональному водообеспечению в странах Аравийского полуострова и природоохранным мероприятиям, направленным на управление водными ресурсами.

Достоверность научных положений и выводов обусловлена критическим анализом большого количества литературных источников и применением современных методов математико-статистической обработки данных.

Личный вклад автора заключается в постановке проблемы, методическом обеспечении ее решения и анализе полученных результатов.

Апробация работы. Результаты исследования докладывались и обсуждались: на Международной научной конференции «Экологические и гидрометеорологические проблемы больших городов и промышленных зон» (Санкт-Петербург, 25-27 октября 2006г.), на Всероссийской научно-практической конференции, посвященной памяти академика РАО А.В. Даринского (Санкт-Петербург, 2007г.), на межвузовской конференции факультета географии РГПУ им. А.И. Герцена (26-27 апреля, 2007г.), на сессии Ученого совета РГГМУ (январь, 2007г.), на юбилейной международной научной конференции, посвященной 210-летию Российского государственного педагогического университета им. А.И. Герцена (Санкт-Петербург, 2007г.). Материалы изложены в 9 публикациях, в том числе в двух статьях в журнале «Современные проблемы науки и образования», рекомендованном ВАК.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка использованных источников и приложения. Всего в работе 159 страницы, 60 рисунка и 20 таблиц. Список использованных источников включает 86 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении излагается общая характеристика проблемы обеспечения населения стран Аравийского полуострова пресной водой. Излагается общая характеристика района исследований, обосновывается актуальность и цель работы, формулируются задачи и практическое значение диссертационной работы, и показана научная новизна.

В первой главе «Физико-географические, климатические и социально-экономические характеристики стран Аравийского полуострова» приведен анализ данных о географическом положении Аравийского полуострова (рисунок 1), климатических особенностях, демографических показателях, отраслях экономики, энергетике и водных ресурсах (таблица 1). Установлено, что ресурсы поверхностных вод Аравийского полуострова незначительны и включают лишь неустойчивый сезонный сток по высохшим руслам рек (вади) и малое число источников с водой среднего качества. Ресурсы грунтовых вод включают полунапорные и неглубоко залегающие водоносные пласты, а также глубокие напорные водоносные пласты. Ресурсы грунтовых вод Аравийского полуострова находятся в критическом состоянии, так как объемы забора воды намного превышают темпы естественного пополнения. В результате уровень неглубоко залегающих водоносных горизонтов неуклонно понижается.



Рисунок 1 – Карта-схема Аравийского полуострова

Таблица 1 - Среднегодовое распределение осадков в странах Аравийского полуострова

Страна	Количество осадков, мм	Страна	Количество осадков, мм
Саудовская Аравия	33-550	ОАЭ	80-160
Кувейт	30-140	Оман	80-400
Бахрейн	30-140	Йемен	10-1000
Катар	20-150	-	-

Открытие месторождений нефти в начале 30-х годов ознаменовало новый этап в истории региона в плане как экономического развития, так и состояния окружающей среды. Аравийский полуостров стал одним из основных мировых источников ископаемого топлива (нефти и природного газа). Благодаря этому начался период бурных социально-экономических преобразований, сопровождавшихся невиданной по своим темпам урбанизацией, непродуманной индустриализацией и массовой иммиграцией из соседних стран. В связи с этим, численность населения стала расти быстрыми темпами (рисунок 2).

Кривая динамики численности населения, представленная на рисунке (2), описывается следующим уравнением регрессии:

$$\ln(\text{население}) = -57,5383 + 0,037615 \cdot \text{год} \quad (1)$$

$$N = 11 \quad r = 0,993 \quad r^2 = 0,987 \quad \sigma_{Y(X)} = 0,076 \quad F_P = 665,76 \quad F_T = 4,96$$

Как следует из приведенных статистических показателей уравнение (1) адекватно ($F_P > F_T$) и, кроме того, может быть использовано для прогнозирования численности населения, так как $F_P > 4F_T$.

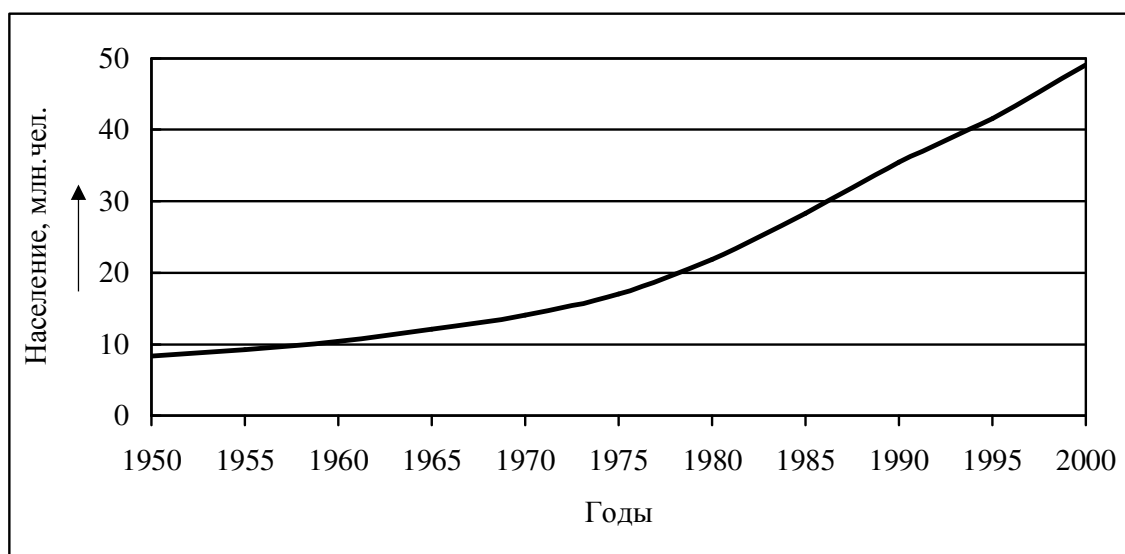


Рисунок 2 –Динамика численности населения на Аравийском полуострове

Для оценки численности населения для каждого государства Аравийского полуострова по данным с 1950г. по 2000г. ($N = 11$) нами были выявлены соответствующие уравнения регрессии (таблица 2).

Таблица 2 – Уравнения для расчетов численности населения в странах Аравийского полуострова (1950г. – 2000г.)

Страна	Уравнение	r^2	$\sigma_{Y(X)}$	F_P/F_T
Бахрейн	$\ln(\text{население}) = -61,35027 + 0,03740 \cdot \text{год}$	0,994	0,050	312,1
Йемен	$\ln(\text{население}) = -39,20096 + 0,0279 \cdot \text{год}$	0,972	0,083	62,4
Катар	$\ln(\text{население}) = -97,80715 + 0,05564 \cdot \text{год}$	0,979	0,142	84,5
Кувейт	$\ln(\text{население}) = -93,47134 + 0,05418 \cdot \text{год}$	0,924	0,271	22,1
ОАЭ	$\ln(\text{население}) = -151,22363 + 0,08316 \cdot \text{год}$	0,968	0,264	55,2
Оман	$\ln(\text{население}) = -54,22771 + 0,03447 \cdot \text{год}$	0,990	0,060	182,6
СА	$\ln(\text{население}) = -57,41657 + 0,03715 \cdot \text{год}$	0,978	0,097	81,6

Уравнения, приведенные в таблице 2, свидетельствуют о том, что во всех странах Аравийского полуострова с 1950г. по 2000г. **рост народонаселения возрастал по экспоненциальному закону.**

Как отмечено во введении, объем воды в $10^3 \text{ м}^3/\text{год} \cdot \text{чел.}$ используется как индикатор хронического дефицита воды. В этой связи нами был предложен **индикатор напряженности водных ресурсов (ИНВР)**, который рассчитывается как отношение обновляемого объема воды к количеству населения (таблица 3). При этом в качестве **критического уровня** (критического значения) использовали вышеприведенную величину $10^3 \text{ м}^3/\text{год} \cdot \text{чел.}$ При расчетах были приняты следующие величины обновляемого объема воды (подземных вод): $2340 \cdot 10^6 \text{ м}^3/\text{год}$ – в Саудовской Аравии, $1550 \cdot 10^6 \text{ м}^3/\text{год}$ – в Йемене, $955 \cdot 10^6 \text{ м}^3/\text{год}$ – в Омане, $125 \cdot 10^6 \text{ м}^3/\text{год}$ – в

Объединенных Арабских Эмиратах, $100 \cdot 10^6$ м³/год – в Бахрейне, $88 \cdot 10^6$ м³/год – в Кувейте и $50 \cdot 10^6$ м³/год – в Катаре.

Таблица 3 – Динамика индикатора напряженности водных ресурсов в странах Аравийского полуострова, м³/год·чел

Страна	1950	1955	1960	1965	1970	1975	1980	1985	1990	1995	2000
Йемен	386	336	292	254	221	192	167	145	127	110	96
Кувейт	528	403	307	235	179	137	104	79	61	46	35
СА	769	639	531	441	366	304	253	210	174	145	120
Бахрейн	935	776	644	534	443	367	305	253	210	174	144
ОАЭ	2054	1355	894	590	389	257	169	112	74	49	32
Катар	1230	931	705	534	404	306	232	176	133	101	76
Оман	2059	1733	1458	1227	1033	869	731	615	518	436	367

Как следует из приведенных данных, критический уровень индикатора водных ресурсов в Йемене, Кувейте, Саудовской Аравии и Бахрейне был превзойден еще до 1950г., в Объединенных Арабских Эмиратах – между 1955г. и 1960г., в Катаре – между 1950г. и 1955г., в Омане между 1970г. и 1975г. Математико-статистический анализ данных, представленных в таблице 3, позволил выявить аналитические зависимости для расчета динамики индикатора напряженности водных ресурсов в разных странах Аравийского полуострова (таблица 4). Приведенные зависимости свидетельствуют о том, что значения индикаторов напряженности водных ресурсов во всех странах Аравийского полуострова с 1950г. по 2000г. уменьшаются по экспоненциальному закону.

Таблица 4 – Уравнения для расчетов индикатора напряженности водных ресурсов в странах Аравийского полуострова (1950г. – 2000г.)

Страна	Уравнение	r ²	σ _{Y(X)}	F _P /F _T
Бахрейн	$\ln(\text{ИНВР}) = \exp(79,7710 - 0,0374 \cdot \text{год})$	0,994	0,050	312,2
Йемен	$\ln(\text{ИНВР}) = \exp(60,3616 - 0,0279 \cdot \text{год})$	0,972	0,083	61,4
Катар	$\ln(\text{ИНВР}) = \exp(115,5346 - 0,0556 \cdot \text{год})$	0,979	0,142	84,5
Кувейт	$\ln(\text{ИНВР}) = \exp(111,7641 - 0,0541 \cdot \text{год})$	0,924	0,271	22,1
ОАЭ	$\ln(\text{ИНВР}) = \exp(169,8674 - 0,0832 \cdot \text{год})$	0,968	0,264	55,2
Оман	$\ln(\text{ИНВР}) = \exp(74,9049 - 0,0345 \cdot \text{год})$	0,990	0,060	182,6
СА	$\ln(\text{ИНВР}) = \exp(78,9900 - 0,0371 \cdot \text{год})$	0,978	0,097	81,6

Во второй главе «Современное состояние водообеспечения в странах Аравийского полуострова» отмечено, что вплоть до середины прошлого столетия считалось, что регион в достаточной мере обеспечен водными ресурсами. С тех пор в результате увеличения численности населения и развития экономики потребности в воде значительно увеличились. К 80-м годам стало очевидно, что водные ресурсы региона испытывают сильные нагрузки с точки зрения, как количества, так и качества. За последнее десятилетие первая и вторая войны в Персидском заливе отрицательно сказались на экономике стран региона, в результате чего многие программы в области водоснабжения были сокращены или отложены. По данным многолетних наблюдений межправительственной группы экспертов по изменению климата (с 1960 по 1999 г.) количество осадков в странах Аравийского полуострова колеблется от 59 мм/год в Саудовской Аравии до 167,2 мм/год в Йемене (рисунок 4).

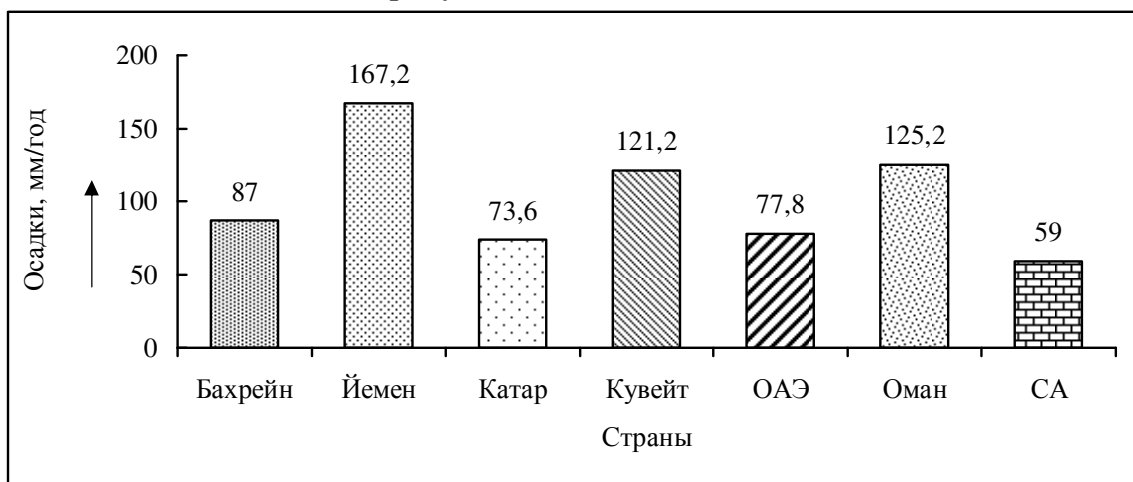


Рисунок 4 – Среднее за год количество осадков в странах Аравийского полуострова

Главным потребителем воды на Аравийском полуострове является сельское хозяйство, на его долю приходится 86 % всего водопотребления, тогда как на коммунальные нужды расходуется 11 % воды, а на нужды промышленности – 3 % (рисунок 5).

Основными источниками водообеспечения в странах Аравийского полуострова являются: подземные воды, опресненные морские воды и повторное использование сточных вод.

Использование подземных вод. За последние три десятилетия для удовлетворения потребностей в воде, особенно в орошаемой земледелии, резко увеличился забор подземных вод. При этом во всех странах извлечение подземных вод существенно превышает объем их возобновления (рисунок 6).

Ресурсы подземных вод Аравийского полуострова находятся в критическом состоянии, поскольку объемы забора воды намного превышают темпы естественного пополнения. В результате, уровень неглубоко залегающих водоносных горизонтов неуклонно понижается. Это приводит ко

многим негативным последствиям. Например, в результате чрезмерной откачки заметно снизился уровень грунтовых вод в столице Йемена г.Сана. Наиболее интенсивно подземные воды откачиваются в Саудовской Аравии, далее следуют Йемен и Оман.

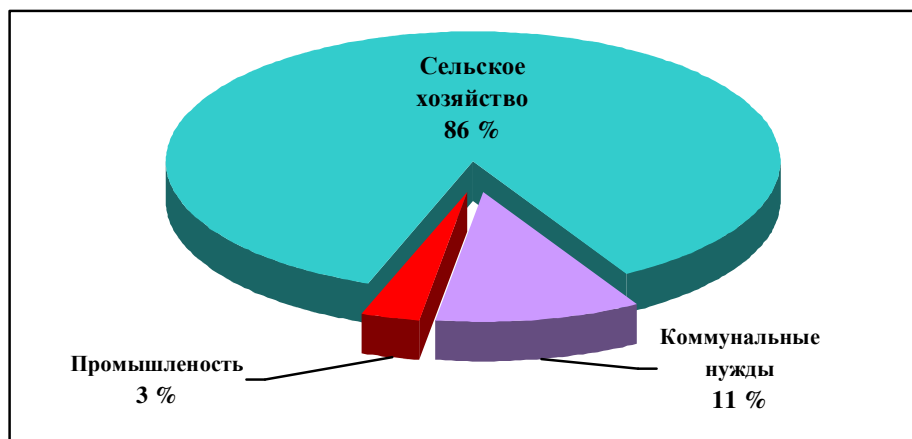


Рисунок 5 - Водопотребление на Аравийском полуострове по секторам, 2002г

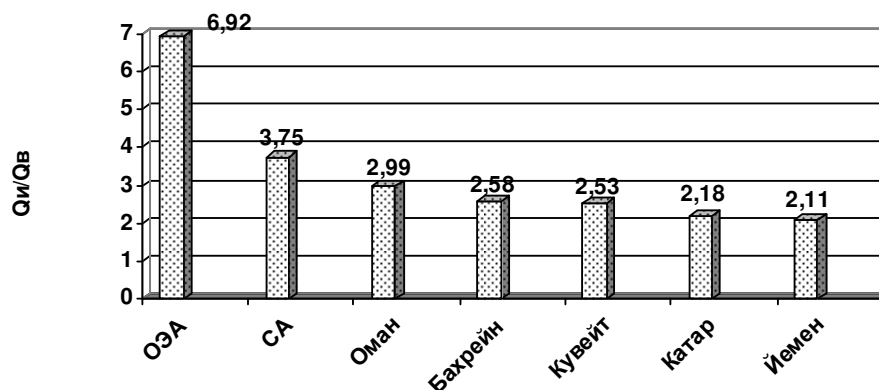


Рисунок 6 – Отношение объема используемых подземных вод (Q_U) к объему возобновляемых (Q_R) подземных вод

Опреснение морских вод. Опреснение воды – способ обработки воды с целью снижения концентрации растворенных солей до степени (обычно до 1 г.л^{-1}), при которой вода становится пригодной для питьевых и хозяйственных целей. Проблемой опреснения океанских 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.

Основными методами опреснения морских вод, используемых в настоящее время в странах Аравийского полуострова, являются: обратный осмос, электродиализ, различные варианты дистилляции (дистилляция с

использованием принципа мгновенного вскипания, многоступенчатая дистилляция).

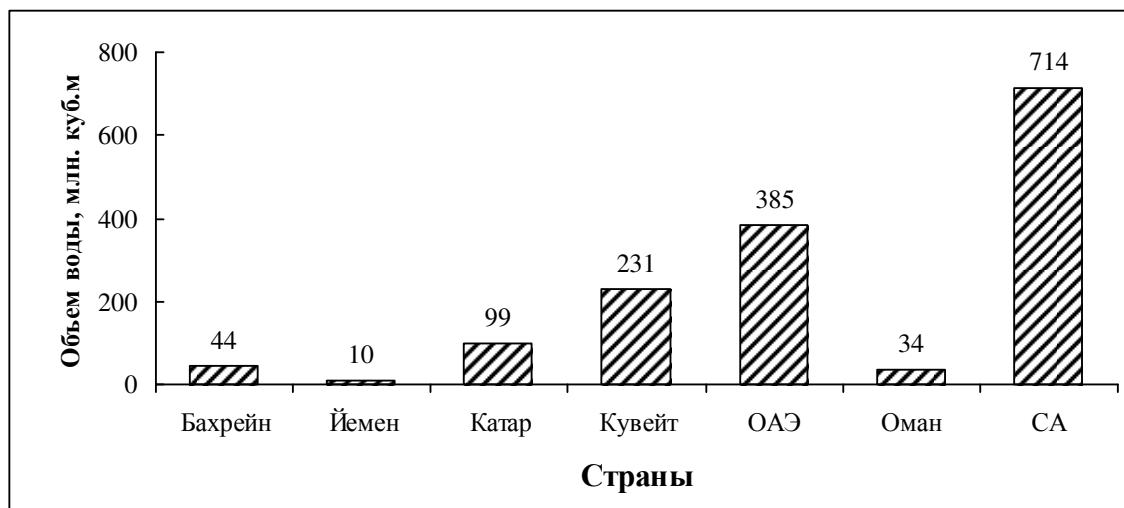


Рисунок 9 - Объем опресненных вод в странах Аравийского полуострова, 2002г

В современных электродиализных установках расход электроэнергии составляет от 7 до 13 квт.ч на 1 т опресняемой воды в зависимости от ее солесодержания и количества удаляемых солей. Несмотря на высокие капитальные и производственные затраты (стоимость опреснения одного кубического метра морской воды составляет от 1,0 до 1,5 долл.США), опреснительные установки будут сооружаться и в дальнейшем для удовлетворения бытовых нужд населения стран региона. Ожидается, что мощность опреснительных установок возрастет с 1,5 млрд.м³ в 2002г. до 3 млрд.м³ в 2020г.

В странах Аравийского полуострова не используются такие методы опреснения вод как опреснение вымораживанием, опреснение химическим осаждением и ионным обменом. Это связано с рядом факторов, в частности, с высокой соленостью морских вод. Так, например, соленость воды Красного моря достигает в среднем 38-42 грамма солей на литр и колеблется в зависимости от поверхностного испарения и притока пресных вод. Соленость воды Суэцкого залива и залива Акаба составляет более 41,5% (наибольшая из морей Земли), в северной части моря 40,5-41,0%, в южной - 38,0-39,0%. Уровень солености глубинных вод Красного моря достигает 42,3%. Плотность воды в северной части моря около 1028 г/л, в южной - 1024 г/л.

Повторное использование сточных вод. В странах Аравийского полуострова повторное использование сточных вод после их доочистки сравнительно невелико и характеризуется величинами, приведенными в (таблице б).

Таблица 6 – Использование сточных вод в странах Аравийского полуострова
(максимальные значения в 1995-1997 гг., $\text{н} \cdot 10^6 \text{ м}^3/\text{год}$)

Страна	Использование сточных вод, $\text{н} \cdot 10^6 \text{ м}^3/\text{год}$			Всего $\text{н} \cdot 10^6 \text{ м}^3/\text{год}$
	сельскохозяйственных	коммунальных	опреснение	
Бахрейн	0	55	56	111
Кувейт	0	103	240	343
Оман	0	26	34	60
Катар	0	103	126	229
СА	30	526	795	1321
ОАЭ	0	102	387	489
Йемен	0	20	9	29

Водохозяйственный баланс. Установлено, что для всех стран Аравийского полуострова характерен отрицательный водохозяйственный баланс, который согласно прогнозу, сделанному в 1997г., сохранится до 2025г. (таблица 7) .

Расчет водохозяйственного баланса был проведен на основе следующих соотношений: водохозяйственный баланс = общие водные ресурсы (1997г.) – общее водопотребление. Общее водопотребление в 1997г. = поверхностные воды + использованные подземные воды + опресненные морские воды + повторное использование сточных вод. Общее водопотребление в 2025г. = коммунально-бытовые воды + воды для промышленного использования + воды для орошения.

Таблица 7 – Водохозяйственный баланс в странах Аравийского полуострова

Страна	Водохозяйственный баланс, 1997г.		Водохозяйственный баланс, 2025г.	
	Общее водопотребление, 10^6 м^3	Баланс, 10^6 м^3	Общее водопотребление, 10^6 м^3	Баланс, 10^6 м^3
Бахрейн	332	-136	437	-242
Кувейт	673	-168	1160	-655
Оман	2747	-268	3214	-735
Катар	445	-236	601	-392
СА	21136	-14636	41520	-35020
ОАЭ	2328	-1490	2745	-1907
Йемен	6491	-1380	9297	-4186
Итого	34152	-18314	58974	-43136

В третьей главе. «Направления совершенствования водообеспечения в странах Аравийского полуострова» рассмотрены различные варианты решения проблемы пресной воды. Теоретически возможные направления решения проблемы дефицита пресной воды в странах Аравийского полуострова: транспортировка айсбергов, покупка воды в других странах,

установка подземных наливных резервуаров, установка конденсоров воды из атмосферного воздуха, рециклинг промышленных и бытовых сточных вод, опреснение морской воды.

По нашему мнению, для покрытия дефицита пресной воды в странах Аравийского полуострова целесообразно: * установить опреснители морской воды; * использовать отходящие газы различных заводов для опреснения морской воды методом дистилляции; * установить подземные наливные резервуары вдоль высохших русел рек для сбора дождевых осадков; использовать конденсоры воды из атмосферного воздуха; * перейти на современные методы орошения (капельное орошение); * производить доочистку сточных вод (рециклинг).

Для оценки дополнительно необходимого объема воды в странах Аравийского полуострова в 2025г. нами были проведены соответствующие расчеты, учитывающие требуемый объем воды в 2025г., объем ежегодно восполняемых подземных вод и объемы воды, производимые в настоящее время путем опреснения (таблица 8).

При расчетах был сформулирован принцип, согласно которому ежегодно извлекаемый объем подземных вод не должен превышать их годовое естественное восполнение.

Таблица 3.1 – Дополнительно необходимый объем воды в странах Аравийского полуострова в 2025 году

Страна	*Требуемый объем воды к 2025г., $n \cdot 10^6 \text{ м}^3$	*Объем ежегодно восполняемых подземных вод, $n \cdot 10^6 \text{ м}^3$	*Объем опресняемых вод в настоящее время, $n \cdot 10^6 \text{ м}^3$	Дополнительно необходимый объем воды в 2025г., $n \cdot 10^6 \text{ м}^3$
Бахрейн	437	100	75	262 (60,0%)
Кувейт	1160	88	388	684 (59,0%)
Оман	3214	955	51	2208 (68,7%)
Катар	601	50	131	420 (69,9%)
СА	41520	2340	795	38385 (92,4%)
ОАЭ	2745	125	455	2165 (78,9%)
Йемен	9297	1550	9	7738 (83,2%)
Итого	58974	5208	1904	51862 (87,9%)

Примечание. * Прогнозируемые величины [Amer & Al-Zubari, 2006]

Высокие значения инсоляции на территории стран Аравийского полуострова приводят к выводу о целесообразности покрытия дефицита воды с помощью гелиотехнического опреснения морских вод. 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. Солнечная дистилляция выгодно отличается от других методов опреснения, так как требует сравнительно меньших эксплуатационных расходов.

В наиболее холодном месяце – декабре приход солнечной радиации варьирует от 3,8 до 6 кВт·ч/м², а наиболее солнечным месяцем оказывается июнь. В нем приход солнечного излучения составляет от 7,2 до 8,5 кВт·ч/м².

Как показывает опыт эксплуатации солнечных опреснителей, выработка дистиллята определяется интенсивностью солнечной радиации и связана с ней прямолинейной зависимостью (рисунок 7).

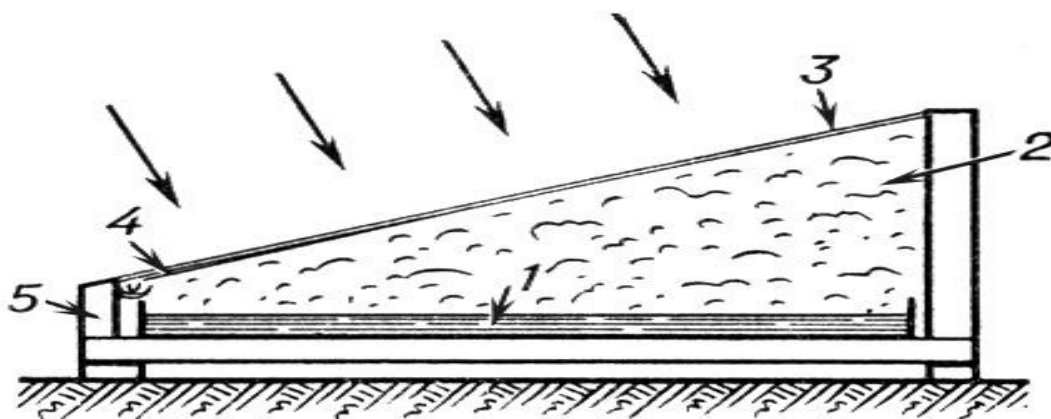


Рисунок 7 - Схема солнечного опреснителя типа «горячий ящик»

1 — сосуд с солёной водой; 2 — паровоздушная смесь; 3 — прозрачная крышка; 4 — конденсат; 5 — теплоизолирующая стенка ящика; стрелками обозначены солнечные лучи.

Для расчетов удельных производительностей гелиотехнических опреснителей морской воды ($q_{\text{сут}}/F$) предложена формула, учитывающая температуру соленой воды ($t_{\text{с.в}}$), ее теплоемкость ($c_{\text{с.в}}$) и широту местности (φ):

$$q_{\text{сут}}/F = \frac{0,000466 \cdot (2704,8 - 12,1 \cdot \varphi)}{0,7152 - c_{\text{с.в}} \cdot t_{\text{с.в}}} \quad (2)$$

В формуле (2) размерности входящих величин следующие:

$[q_{\text{сут}}/F] - [\text{кг}/\text{м}^2 \cdot \text{сутки}]$; $[i] - [\text{кВт} \cdot \text{ч}/\text{м}^2]$; $[c_{\text{с.в}}] - [\text{кВт} \cdot \text{ч}/\text{кг} \cdot \text{K}]$; $[t_{\text{с.в}}] - [\text{K}]$

Угол наклона α поверхности опреснителя выбирается, исходя из следующих соображений. Он должен удовлетворять максимуму вхождения солнечной радиации за весь период работы опреснителя и обеспечивать хорошее стекание пленки конденсата, так как при малых углах наклона капли конденсируемых паров будут падать обратно в соленую воду.

Покрытие дефицита воды в странах Аравийского полуострова может быть реализовано также на основе прогрессивных способов орошения.

Среди различных способов весьма **перспективно капельное орошение**. Капельное орошение основано на поступлении воды в прикорневую зону растения. Поэтому при использовании такого метода на поверхности земли не образуется корок, а значит, не возникает препятствий для дыхания корней даже во время полива. Для оценки возможной экономии воды при переходе от традиционных методов орошения к капельному орошению нами были проведены соответствующие расчеты. При расчетах коэффициент полезного использования воды был принят равным 60% (среднее значение между коэффициентами полезного использования воды при поверхностном орошении и орошении дождеванием). Результаты расчетов представлены в таблице 9.

Таблица 9 – Необходимые объемы воды при традиционных методах орошения и капельном орошении

Страна	Требуемый объем воды в 2025г. при традиционных методах орошения, $n \cdot 10^6 \text{ м}^3$	Требуемый объем воды в 2025г. при капельном орошении, $n \cdot 10^6 \text{ м}^3$	Сэкономленный объем воды, $n \cdot 10^6 \text{ м}^3$
Бахрейн	200	120	80
Кувейт	444	266	178
Оман	2725	1635	1090
Катар	385	231	154
СА	34484	20690	13794
ОАЭ	1837	1102	735
Йемен	6913	4148	2765
Итого	46988	28193	18795

Как следует из данных, при переходе от традиционно используемых в странах Аравийского полуострова методов орошения к капельному орошению объемы сэкономленной воды весьма значительны (от $80 \cdot 10^6 \text{ м}^3$ в Бахрейне до $13794 \cdot 10^6 \text{ м}^3$ в Саудовской Аравии).

Проведенные нами расчеты свидетельствуют о незначительном использовании сточных вод в рассматриваемых странах, кроме Бахрейна (72%). В остальных странах процент использования сточных вод варьирует от минимального величины в 0,9% в Саудовской Аравии и Республике Йемен до максимального значения 10,7% в Катаре. При доочистке промышленных сточных вод на 75% суммарный сэкономленный объем воды в 2025г. составит примерно $1,5 \cdot 10^9 \text{ м}^3$.

Согласно нашим оценкам, частичное покрытие дефицита пресной воды в странах Аравийского полуострова может быть достигнуто **за счет повторного использования сточных вод после их доочистки**.

Нами установлено, что объем коммунально-бытовых сточных вод (Q) связан с количеством городского населения (ГН) следующим соотношением:

$$Q = 58,9 + 7,67 \cdot 10^{-5} \cdot \text{ГН} \quad (3)$$

$$N = 6 \quad r = 0,989 \quad r^2 = 0,978 \quad \sigma_{Y(X)} = 93,7 \quad F_P = 178,2 \quad F_T = 6,61$$

К сожалению, в настоящее время в странах Аравийского полуострова коммунально-бытовые сточные воды не используются, а сбрасываются в акватории морей (заливов). Вместе с тем, повторное использование коммунально-бытовых сточных вод после их очистки (в основном дезинфекции) позволило бы частично покрыть дефицит воды в рассматриваемых странах. Проведенные расчеты показали, что ультрафиолетовое облучение бытовых стоков с последующим использованием их для орошения позволит сэкономить в 2025г. примерно $8,110^9$ м³ воды.

Дополнительный анализ показал, что требуемый объем воды для орошения в 2025г. практически полностью может быть покрыт за счет использования бытовых сточных вод после их дезинфекции в Бахрейне, Кувейте и Объединенных Арабских Эмиратах. В Катаре повторное использование бытовых сточных вод позволяет покрыть дефицит воды для орошения на 68,1%, в Омане – на 14,7%, в Саудовской Аравии – на 10,7% и в Республике Йемен – лишь на 9,9%.

В некоторых странах Аравийского полуострова частичное покрытие дефицита пресной воды может быть реализовано путем **установки подземных наливных резервуаров**. Для решения вопроса о целесообразности установки подземных наливных резервуаров были проведены оценки ежегодного объема осадков в различных странах Аравийского полуострова (таблица 10). Для расчетов были использованы данные литературы о площадях стран и количестве осадков в миллиметрах. Средние осадки определены по данным многолетних наблюдений Межправительственной группы экспертов по изменению климата за период с 1960г. по 1999г.

Таблица 10 – Ежегодный объем осадков в странах Аравийского полуострова

Страна	Площадь, км ²	Количество осадков, мм	Объем осадков, $n \cdot 10^9$ м ³
СА	2250000	59	132,8
Йемен	527970	167,2	88,3
Оман	309500	125,2	38,7
ОАЭ	83600	77,8	6,5
Кувейт	17800	121,2	2,2
Катар	11500	73,6	0,85
Бахрейн	711	87,0	0,06

Из данных, приведенных в таблице 10, следует, что установка подземных наливных резервуаров может быть целесообразна лишь в Саудовской Аравии, Йемене, Омане и Объединенных Арабских Эмиратах, то есть в тех странах Аравийского полуострова, где ежегодный объем осадков сравнительно высок.

Для оценки объемов воды, которые могут быть собраны подземными наливными резервуарами, был составлен водный баланс для вышеуказанных стран. Водный баланс - это количественное соотношение между

поступлением (приходная часть) и расходом (расходная часть) за определенный период (декада, месяц, год), рассматриваемое относительно выделенного балансового участка.

В общем виде водный баланс можно представить следующим образом. Приходная часть баланса складывается из объема осадков (V_{OC}). Расходная часть баланса складывается из объема инфильтрации дождевых вод в водоносные горизонты ($V_{инф.}$), испарения и транспирации ($V_{исп.}$) и климатического стока ($V_{сток}$). Балансовое уравнение за время t (один год) имеет вид:

$$\Delta W = V_{OC} - V_{инф.} - V_{исп.} - V_{сток}, \quad (4)$$

где ΔW – невязка баланса (дисбаланс).

Величина $V_{инф.}$ рассматривалась как произведение V_{OC} на некоторый коэффициент k , значение которого рассчитывали по данным о восполняемых объемах подземных вод.

$$V_{инф.} = k \cdot V_{OC}. \quad (5)$$

Для Йемена и Саудовской Аравии $k = 0,0176$, для Омана $k = 0,0247$, а для ОАЭ $k = 0,0192$.

Для оценки величины климатического стока $V_{сток}$ была проведена обработка данных литературы и рассчитаны значения коэффициента стока α (сток/осадки)

$$V_{сток} = \alpha \cdot V_{OC}. \quad (6)$$

Для Йемена $\alpha = 0,040$, для Саудовской Аравии $\alpha = 0,024$, для Омана $\alpha = 0,037$ и для ОАЭ $\alpha = 0,023$.

Для оценки величины $V_{исп.}$ была проведена статистическая обработка данных литературы об испарении и климатическом стоке в Республике Йемен и рассчитаны значения коэффициента испарения α_1 (испарение/осадки)

$$V_{исп.} = \alpha_1 \cdot V_{OC}. \quad (7)$$

В результате анализа было выявлено следующее соотношение:

$$V_{исп.} = 0,9325 \cdot V_{OC}. \quad (8)$$

В приведенном соотношении $V_{исп.}/V_{OC} = 0,9325$ стандартное отклонение 0,0624, стандартная ошибка 0,0133, количество значений $N = 22$.

Учитывая, что для других стран Аравийского полуострова величины $V_{исп.}$ и V_{OC} в доступной нам литературе отсутствуют, формула (8) в первом приближении была использована нами для оценки $V_{исп.}$ в Саудовской Аравии, Омани и ОАЭ. По нашему мнению, это вполне допустимо, если учесть, что приводимые выше значения коэффициентов α и α_1 достаточно близки для всех четырех рассматриваемых стран. Обобщение проведенных расчетов представлено в (таблице 11).

Таблица 11 – Элементы водного баланса стран Аравийского полуострова, м³/год

Страна	V _{ос.}	V _{инф.}	V _{исп.}	V _{сток}	ΔW
ОАЭ	6,5·10 ⁹	0,1·10 ⁹	6,1·10 ⁹	0,2·10 ⁹	0,1·10 ⁹
Оман	38,7·10 ⁹	1,0·10 ⁹	38,1·10 ⁹	1,4·10 ⁹	-1,8·10 ⁹
Йемен	88,3·10 ⁹	1,6·10 ⁹	82,3·10 ⁹	3,5·10 ⁹	0,9·10 ⁹
СА	132,8·10 ⁹	2,3·10 ⁹	123,8·10 ⁹	3,2·10 ⁹	3,5·10 ⁹

Сопоставление величин климатических стоков, приведенных в таблице 11, с требуемыми объемами воды в 2025г. показало, что теоретически установка подземных наливных резервуаров позволит покрыть дефицит воды в промышленности в ОАЭ, Омане, Йемене и Саудовской Аравии и, частично, для орошения в Омане, Йемене и Саудовской Аравии. Следует, однако, учесть, что в Саудовской Аравии вади (высохшие русла рек) практически отсутствуют. Поэтому подземные наливные резервуары могут быть установлены вдоль вади лишь в Йемене и Омане (таблица 12).

Таблица 12 – Объем дождевых осадков, который может быть собран подземными наливными резервуарами

Страна	Вади	Объем воды, м ³
Оман	Бани Халид, Шаб	1,10·10 ⁹
Оман	Дока, Аль-Араби	0,03·10 ⁹
Йемен	Адхана	0,09·10 ⁹
Йемен	Забид	0,13·10 ⁹
Йемен	Мавр	0,16·10 ⁹
Йемен	Бана	0,17·10 ⁹

При установке наливных резервуаров весьма актуальна проблема предотвращения потерь воды за счет испарения. Она имеет важное значение для сельскохозяйственного производства, для водоснабжения населенных пунктов и промышленных предприятий. Неслучайно еще в 1957г. Международная комиссия по ирригации и дренажу признала проблему борьбы с испарением воды первоочередной проблемой мирового значения.

К настоящему времени достаточно четко выявилось основное направление в решении рассматриваемой проблемы – защита водной поверхности при помощи химических реагентов: распределяясь по поверхности воды, они образуют пленку, затрудняющую испарение.

Обследование почти 200 различных органических веществ и технических продуктов показало, что лучше всего подходят для этой цели высшие жирные спирты C₁₀ – C₂₀ и их различные смеси. Наиболее эффективными из них оказались гексадециловый (C₁₆H₃₃OH) и октадециловый (C₁₈H₃₇OH) спирты и их смеси. Для создания непрерывной пленки цетилового спирта на поверхности в один гектар (100x100м) теоретически требуется всего 11г спирта.

Таким образом, решение проблемы дефицита пресной воды в странах Аравийского полуострова может быть найдено лишь при условии комплексного подхода, предусматривающего, с одной стороны, поиск новых источников водообеспечения и, с другой стороны – меры экономии уже имеющихся водных ресурсов. Среди нетрадиционных источников воды в Йемене и Омане целесообразно «улавливать» дождевые осадки путем установки подземных наливных резервуаров. Частично дефицит воды может быть покрыт при переходе от традиционных методов орошения к капельному орошению. Наиболее перспективным подходом к решению дефицита пресной воды является опреснение морской воды (таблица 12).

Таблица 12 – Предлагаемые мероприятия по совершенствованию водообеспечения к 2025 году в странах Аравийского полуострова, $n \cdot 10^6 \text{ м}^3/\text{год}$

	Йемен	Бахрейн	Катар	Кувейт	ОАЭ	Оман	СА
Необходимый* объем воды	9297	437	601	1160	2745	3214	41520
Извлечение подземных вод	1550	100	50	88	125	955	2340
Установка наливных резервуаров	1000	-	-	-	-	420	-
Опреснение морской воды	6747	337	551	1072	2620	1839	39180
Мероприятия по экономии водных ресурсов (сэкономленный объем воды)							
Переход на капельное орошение	2765	80	154	178	735	1090	13794
Доочистка промышленных сточных вод на 75%	488	29	27	36	113	80	696
Дезинфекция бытовых сточных вод с последующим использованием для орошения	687	184	262	891	2011	400	3678
Итого	3940	293	443	1105	2859	1570	18168

Примечание. * [Amer & Al_Zubari, 2006]

ВЫВОДЫ

1. Одна из острейших и актуальных проблем стран Аравийского полуострова (Саудовской Аравии, Кувейта, Бахрейна, Катара, Объединенных Арабских Эмиратов, Омана и Республики Йемен) является проблема пресной воды.
2. Дефицит пресной воды в странах Аравийского полуострова обусловлен отсутствием поверхностных вод суши, аридными климатическими условиями, незначительным количеством осадков (от 10 до 1000 мм в год) и интенсивным ростом народонаселения.
3. Для оценки дефицита пресной воды в странах Аравийского полуострова предложен индикатор напряженности водных ресурсов (ИНВР), рассчитываемый как отношение объема ежегодно возобновляемых подземных вод к количеству населения. Установлено, что значения индикаторов напряженности водных ресурсов во всех странах Аравийского полуострова с 1950г. по 2000г. уменьшаются по экспоненциальному закону.
4. Главными потребителями воды на Аравийском полуострове являются сельское хозяйство (86% всего водопотребления), коммунальное хозяйство (11%) и промышленность (3%).
5. Основными источниками водообеспечения в странах Аравийского полуострова являются: подземные воды, опресненные морские воды и повторное использование сточных вод. Метод гелиоопреснения морских вод не используется.
6. Для всех стран Аравийского полуострова характерен отрицательный водохозяйственный баланс, который согласно прогнозу, проведенному в 1997г., сохранится до 2025г.
7. Сформулирован принцип, согласно которому ежегодно извлекаемый объем подземных вод не должен превышать их годовое естественное восполнение.
8. Для расчетов удельных производительностей гелиотехнических опреснителей морской воды предложена формула, учитывающая температуру воды, ее теплоемкость и широту местности. В среднем удельная производительность гелиотехнических опреснителей морской воды составляет $5 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{сутки}$.
9. Установка подземных наливных резервуаров целесообразна лишь в Республике Йемен и Омане, что позволит «улавливать» $1 \cdot 10^9$ и $0,4 \cdot 10^9 \text{ м}^3$ воды в год соответственно.
10. Покрытие дефицита воды в странах Аравийского полуострова может быть реализовано на основе прогрессивных способов орошения (капельное орошение). При переходе на капельное орошение суммарный сэкономленный объем воды в 2025г. составит $18,8 \cdot 10^9 \text{ м}^3$.
11. При доочистке промышленных сточных вод на 75% суммарный сэкономленный объем воды в 2025г. составит примерно $1,5 \cdot 10^9 \text{ м}^3$. Ультрафиолетовое облучение бытовых стоков с последующим использованием их для орошения позволит сэкономить в 2025г. примерно $8,1 \cdot 10^9 \text{ м}^3$ воды.

12. Наиболее перспективное направление совершенствования водообеспечения в странах Аравийского полуострова - опреснение морской воды.
13. С целью получения максимальной экономической эффективности выбор метода (методов) получения пресной воды следует проводить, исходя из местных условий с учетом свойств исходной воды (морская или атмосферная вода), источников энергии и инфраструктуры.
14. Решение проблемы дефицита пресной воды в странах Аравийского полуострова может быть найдено лишь при условии комплексного подхода, предусматривающего, с одной стороны, поиск новых источников водообеспечения и, с другой стороны – меры экономии уже имеющихся водных ресурсов.

Публикации по теме диссертации

Первые две статей в журнале «Современные проблемы науки и образования», рекомендованном ВАК.

1. Аль_Майтами Валид Абдулвахед Мохаммед, Фрумин Г.Т. Направления совершенствования водообеспечения в странах Аравийского полуострова // Современные проблемы науки и образования, №6, часть 2, 2007. – С.13-18.

2. Аль_Майтами Валид Абдулвахед Мохаммед, Фрумин Г.Т. Экологически безопасные технологии водообеспечения в странах Аравийского полуострова // Современные проблемы науки и образования, №3, 2008. – С.11-15.

3. Фрумин Г.Т., Аль_Майтами Валид Абдулвахед Мохаммед. Динамика антропогенного воздействия на территории стран Аравийского полуострова // Материалы Международной научной конференции «Экологические и гидрометеорологические проблемы больших городов и промышленных зон». (25-27 октября 2006г.) - СПб.: РГГМУ, 2006, С. 82-83.

4. Аль_Майтами Валид Абдулвахед Мохаммед, Фрумин Г.Т. Динамика антропогенного воздействия на территории стран Аравийского полуострова // Сборник трудов Международной научной конференции «Экологические и гидрометеорологические проблемы больших городов и промышленных зон». (25-27 октября 2006г.) - СПб.: РГГМУ, 2007, С. 13-19.

5. Аль_Майтами Валид Абдулвахед Мохаммед, Фрумин Г.Т. Проблема водообеспечения государств Аравийского полуострова // Сборник докладов молодых ученых на сессии Ученого совета РГГМУ. (январь 2007г.) – СПб.: РГГМУ, 2007, С.4-6.

6. Аль_Майтами Валид Абдулвахед Мохаммед, Фрумин Г.Т. Динамика антропогенного давления на территории стран Аравийского полуострова // Материалы Всероссийской научно-практической конференции, посвященной памяти академика РАО А.В. Даринского. – СПб.: РГПУ им. А.И. Герцена, 2007, С.148-150.

7. Фрумин Г.Т., Аль_Майтами Валид Абдулвахед Мохаммед. Современное состояние водообеспечения в странах Аравийского полуострова // Материалы юбилейной международной научной конференции, посвященной 210-летию Российского государственного педагогического университета им. А.И. Герцена и 75-летию факультета географии. – СПб.: РГПУ им. Герцена, 2007. – С.235-236.
8. Аль_Майтами Валид Абдулвахед Мохаммед, Фрумин Г.Т. Современное состояние и направления совершенствования водообеспечения в странах Аравийского полуострова // Материалы межвузовской конференции «География и смежные науки. LX Герценовские чтения». – СПб.: РГПУ им. Герцена, 2007. – С.108-111.
9. Аль_Майтами Валид Абдулвахед Мохаммед, Фрумин Г.Т. Современное состояние и направления совершенствования водообеспечения в странах Аравийского полуострова // Экологическая химия, том 17, выпуск 1, 2008. – С. 1-11.