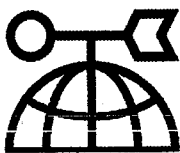


МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

АЛЬ МУРЕЙШ ХАЛЕД АБДО САИД АЛИ, Г.Т. ФРУМИН

**ВОДООБЕСПЕЧЕНИЕ В РЕСПУБЛИКЕ ЙЕМЕН: СОВРЕМЕННОЕ
СОСТОЯНИЕ И НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ**



САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2008

Аль Мурейш Халед Абдо Саид Али, Г.Т. Фрумин. Водобеспечение в Республике Йемен: современное состояние и направления совершенствования – СПб.: Изд. РГГМУ, 2008.

Рецензент: доктор технических наук, профессор Арсеньев Герман Семенович

Адрес для контакта: 195196, Санкт-Петербург, Малоохтинский пр., 98.
e-mail: frumin@rshu.ru, khalidmurish@yahoo.com

84 стр., 12 табл. 6 рис., список литературных источников 19 названий

ISBN 5-230-09885-6

© Аль Мурейш Халед Абдо Саид Али
© Г.Т. Фрумин
© Российский государственный
гидрометеорологический университет

27.10.08 г. Зак. 190-75РТП ИК «Синтез» Московский пр., 26

Содержание

Стр.

Введение	4
1. Физико-географическое описание Республики Йемен	6
2. Состояние окружающей среды в Республике Йемен	9
3. Современное состояние водообеспечения в Республике Йемен	12
4. Направления совершенствования водообеспечения в Республике Йемен	19
Выводы	28
Список литературных источников	30

Введение

Мысль о том, что вода есть первопричина всех вещей, была высказана древнегреческим философом Фалесом еще в начале VI века до нашей эры. Вся последующая история 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 [Толоконцев, 1991]. Эта безответственность до предела обострила проблему воды на Земном шаре, проблему, которую в общем виде можно сформулировать как противоречие между возрастанием общественных потребностей в воде высокого качества, с одной стороны, и продолжающимся ее ухудшением и дефицитом – с другой.

Если сегодня около 1,7 миллиарда людей, то есть 40% населения Земли, в более чем 80 странах страдают от абсолютного или хронического дефицита воды, и из них не менее 400 миллионов человек живут в регионах с серьезным дефицитом воды, то к 2025 году уже две трети человечества будут страдать от нехватки воды.

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. И ситуация может только усугубляться, поскольку население планеты в настоящее время увеличивается примерно на 80 миллионов человек в год, а расход воды за последние десятилетия возрастал вдвое быстрее, чем рост населения. Дефицит воды обостряется ростом благосостояния, повышением доли мясных продуктов в рационе питания, а также изменением распределения осадков на земной поверхности.

Статистический средневропейский уровень потребления воды составляет 200-300 литров пресной воды на человека для бытовых целей в день, что превышает минимальный расход в 10-15 раз. 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.

Обеспечение народного хозяйства и бытовых нужд населения водой является одной из острейших проблем в Республике Йемен [Аль Мурейш Халед Абдо Саид Али, 2002, 2003, 2004, 2006, 2007; Фруммин, Аль Мурейш Халед Абдо Саид Али, 2005, 2006].

В настоящее время в среднем на душу населения в Йемене приходится 223 куб. м в год обновляемых водных ресурсов. Если же предположить, что в будущем темпы прироста населения Йемена сохранятся на существующем уровне, то примерно через два десятка лет этот показатель не будет превышать 150 куб. м в год. По существующим прогнозам количество возобновляемых вод на душу населения примерно через 30 лет уменьшится

до 100-76 куб. м в год, что значительно меньше его физиологических потребностей.

В настоящее время на душу населения в Йемене в среднем потребляется около 1250 куб. м воды в год, то есть расходуется не только избыток этого природного ресурса, но и нещадно уничтожается сам ресурс. В итоге в масштабах всей страны выкачивание подземных вод в полтора раза превышает величину их возобновления. Это создает серьезную угрозу водоснабжению во многих регионах страны, прежде всего в наиболее крупных городах [Аль Мурейш Х.А.С.А., Фрумин, 2006].

Только 35% населения Йемена получают воду, пригодную для питья. В городах этот показатель составляет около 74%, в сельской местности – около 14%. Последствия использования некачественной воды весьма трагичны. Около 70% смертей детей в грудном возрасте вызвано различными заболеваниями, получаемыми через воду.

Проблемы обеспечения населения Йемена 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 экологическая проблема, так как у очень небольшого по площади государства протяженность морской береговой линии вдоль Красного и Аравийского морей составляет более 2000 км.

Основными причинами водного кризиса в Республике Йемен является постоянно возрастающий спрос на воду в результате роста населения (по темпам роста населения Йемен занимает пятое место в мире, опережая все другие страны Азии – 4,1% в год), 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 Республике Йемен обусловлена следующими причинами: 1. Практическим отсутствием поверхностных вод суши (озер, рек). 2. Большой численностью населения (18349000 человек в 2000 г.). 3. Высоким показателем среднегодового прироста населения (4,1% в 2000-2005 гг.). 4. Невысоким процентом городского населения (25% в 2000 г.) и значительной долей «рассеянного населения». 5. Невысоким уровнем экономического развития (внутренний валовой продукт, рассчитанный по параметру покупательной способности, в 2000 г. составлял 14400 млн. US \$). 6. Небольшим количеством производимой энергии (в 1999 г. ежегодное производство энергии – 240 млн. кВт·ч). 7. Крайне неравномерным распределением осадков по территории республики и не увязкой их с районами максимального водопотребления.

В связи с изложенным всесторонний анализ проблемы водообеспечения в Республике Йемен 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.

1. Физико-географическое описание Республики Йемен

Йемен расположен в южной части Аравийского полуострова, между 12° и 20° северной широты и долготы 41° и 54° к востоку от Гринвича. Республика Йеменская (Аль-Джумхурия аль-Йамания) - государство на юго-западе Аравийского полуострова, была образована 22 мая 1990 г. в результате объединения Йеменской Аравской 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. Йемену принадлежат также острова Камаран в Красном море, Перим в Баб-эль-Мандебском проливе, Сокотра в Аденском заливе. Площадь Йемена 527,9 тыс. кв. км. Столица - Сана (рис. 1.).

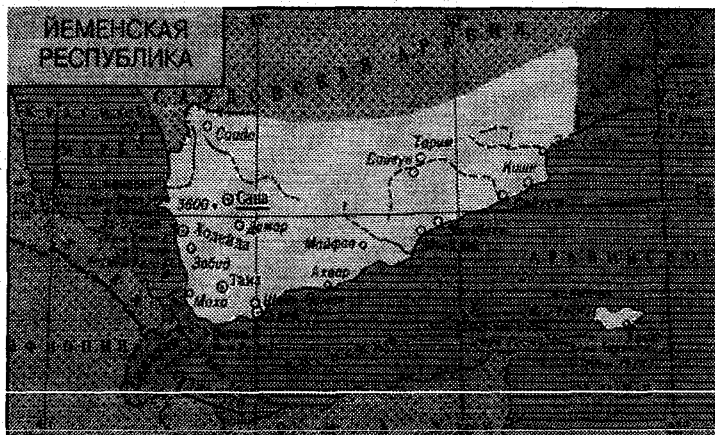


Рис. 1. Карта-схема географического положения Республики Йемен

Большая часть Йемена занята горным массивом с сильно пересеченным рельефом на западе (Джебель), плато на севере (Шарпи) и столообразными массивами на востоке (Хадрамаут); лишь узкая полоса побережья представляет собой низменную равнину (Тихама). Прибрежная

равнина узкой полосой, шириной 20-30 км, местами до 80 км., вдоль Красного моря и Аденского залива (Тихама) протягивается от берега моря до подножья гор. Ее абсолютные отметки составляют от 40 до 200 м. Равнинная поверхность осложнена руслами многочисленных вади, ширина днища которых у предгорий составляет около 49 м., а ближе к берегу моря увеличивается до 200 м. Наличие на поверхности легко водопроницаемых горных пород, плоских и вогнутых форм рельефа способствует быстрой инфильтрации атмосферных осадков, выпадающих здесь, хотя и в очень незначительном количестве, и не благоприятствует формированию поверхностного стока. Одновременно эти условия благоприятствуют пополнению запасов грунтовых вод, особенно в период ливневых дождей.

Климат страны различен в разных регионах: в горах полупустынный, но умеренный, в южной пустыне – очень жаркий, а летние и зимние ветры часто приносят песчаные бури. Средняя температура июня около 27°C, а средняя температура января – около 14°C [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°C. С октября по март – зимний сезон со средней температурой 20°C.

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°C, в июле - 20°C. В Адене самый «холодный» месяц январь (в среднем 26°C), самый жаркий – июнь (в среднем 33°C). Осадков в течение года практически не бывает [Практический путеводитель..., 1991].

Объем выпадающих осадков в Республике Йемен за год составляет около 60 млрд. куб. м. Наибольшее количество осадков выпадает в горных районах. Самый дождливый месяц август, сухой период с ноября по январь.

В табл. 1. приведены данные об общем количестве осадков в основных городах Йемена, зафиксированных на главных метеорологических станциях в 2002 году.

Таблица 1. Годовое количество осадков в наиболее крупных городах Йемена в 2002 году

Город	Количество осадков, мм	Город	Количество осадков, мм
Таиз	1119,7	Сана	83,4
Ибб	556,8	Сайвун	72,0
Хаджа	317,5	Саада	66,5
Сокотра	239,7	Аден	57,1
Дамар	201,8	Мариб	22,8
Ал-Мукалла	85,2	Ал-Ходейда	18,9

Средняя плотность населения по стране – 37 чел./кв. км, однако его распределение крайне неравномерно. Свыше 2/3 жителей сосредоточено в Джебеле (горная часть Северного Йемена) и прибрежной полосе Тихамы. Плотность населения в некоторых районах здесь доходит до 235 чел./кв. км. Наиболее населенные области на юге расположены вдоль основных вадии и на побережье. Самой населенной провинцией здесь является Хадрамаут, где проживает более 718 тыс. человек (1994г.). Густонаселенным считается город Аден и его окрестности с населением 568,7 тыс. человек (в 2003), а наименее населенной – Махра, на востоке страны, с населением 56,5 тыс. человек (в 1994г.). 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 Сокотре. В горных районах имеются также полукочевые группы.

Общие демографические показатели представлены в табл. 2.

Таблица 2. Общие демографические показатели Республики Йемен

Название показателя	Значение	Год
Численность населения (тыс.)	18349	2000
Прогнозируемая численность населения к 2015 г. (тыс.)	33118	2015
Прогнозируемая численность населения к 2050 г. (тыс.)	102379	2050
Численность населения (по показателю последней переписи)	14587807	1994
Показатель среднегодового прироста населения (%)	4,1	2000-2005
Плотность населения (чел.км ⁻²)	29,5	1998
Процент городского населения	25,0	2000
Количество городов с населением более 100 000 человек	5	1995

Основные отрасли экономики в Республике Йемен: сельское хозяйство, лесное хозяйство, рыболовство, обрабатывающая, добывающая промышленность и коммунальные службы, сфера услуг, торговля, гостиничный и ресторанный бизнес, сфера транспорта и связи, финансы и операции с недвижимостью.

Доля обрабатываемой земли по отношению к общей площади составляет всего 2,9%, а доля сельскохозяйственных угодий и постоянно культивируемых земель – 2,9% при площади сельскохозяйственных угодий и постоянно культивируемых земель 1545 тыс. га. Доля орошаемой обрабатываемой земли – 33%.

В Республике Йемен производство электроэнергии связано с использованием ископаемого топлива. Атомные, геотермальные, солнечные, ветровые и гидроэлектростанции отсутствуют. Мощность дизельных электростанций 375 МВт, тепловых электростанций – 435 МВт, что составляет соответственно 46,3% и 53,7% от суммарной электрической мощности.

Проблема энергоснабжения населения в Республике Йемен приобретает особую остроту, так как большая часть населения проживает в районах, отдаленных от централизованной электроэнергетической сети и лишь 16% населения имеет доступ к электроэнергии за счет местных частных дизель-генераторов небольшой мощности.

В Йемене постоянные водотоки фактически отсутствуют. Исключение составляют небольшие реки и ручьи, берущие начало в горной части страны; в сухое время года большинство их пересыхает. Наиболее значительные реки на севере – Мур и Мадаб, в южных районах – Масила. Главным источником водоснабжения населенных пунктов остаются колодцы и артезианские скважины.

2. Состояние окружающей среды в Республике Йемен

В результате применения любых современных технологий происходит деформация окружающей среды, возникают локальные, региональные и глобальные ее нарушения. Любая технология в том или ином виде использует энергию для прямого или косвенного воздействия на окружающую среду. Все это позволяет считать величину энергии, используемой на единицу площади территории, интегральным показателем антропогенного воздействия [Котляков и др., 1995]. Согласно [Лосев, 1996], коэффициент антропогенного воздействия (К) рассчитывается следующим образом:

$K^* =$	$\frac{\text{Энергопотребление на единицу территории данной страны}}{\text{Среднемировое энергопотребление}}$	(1)
---------	---	-----

В нашем исследовании для оценки динамики антропогенного воздействия на территорию Республики Йемен, а также на отдельные города (области) этой республики вначале было выявлено соотношение между коэффициентами антропогенного воздействия (К) на территории десяти стран Азии и плотностью населения (ПН):

$$K^* = 0,33(ПН^*)^{1,27} = 0,33(ПН/41,6)^{1,27} \quad (2)$$

Расчет безразмерной величины плотности населения ПН* проводили по формуле

$$ПН^* = ПН/41,6 \quad (3)$$

Здесь ПН – фактическая плотность населения, человек.км⁻²; 41,6 – среднемировая плотность населения, человек.км⁻².

Затем была проведена оценка динамики антропогенного воздействия на территорию Республики Йемен с 1950г. по 2003г. (табл. 3). Как следует из приведенных данных за период с 1950 г. по 2003 г. коэффициент

антропогенного воздействия на территорию Республики Йемен вырос в 7,5 раз, что обусловлено высокими темпами увеличения населения. По прогнозам демографов в 2010 г. в Йемене будет проживать 24793712 человек, а в 2015 г. – 33118000 человек. В этих случаях расчеты, проведенные по формуле (2), показывают, что в 2010 г. величина K^* будет равна 0,038, а в 2015г. – 0,056. В сравнительном плане приведенные значения коэффициентов антропогенного воздействия на территорию Республики Йемен весьма низки и не могут привести к серьезным экологическим последствиям. Однако высокий прирост населения может вызвать серьезные проблемы, связанные с питьевым водоснабжением, поскольку даже в настоящее время доля населения, имеющая доступ к чистой воде, составляет 69%.

Таблица 3. Динамика антропогенного воздействия на территорию Республики Йемен

Год	Население	ПН, чел.км ⁻²	K^*	Год	Население	ПН, чел.км ⁻²	K^*
1950	4461000	8,45	0,004	1993	13892189	26,3	0,018
1960	5483000	10,4	0,006	1994	14394750	27,3	0,019
1970	6628000	12,6	0,007	1995	14861612	28,1	0,020
1980	8527396	16,2	0,010	1996	15348787	29,1	0,021
1985	9841522	18,6	0,012	1997	15857186	30,0	0,022
1990	12023220	22,8	0,015	1998	16387963	31,0	0,023
1991	12888524	24,4	0,017	2000	18349000	34,8	0,026
1992	13379284	25,3	0,018	2003	20356700	38,6	0,030

Несмотря на сравнительно невысокие значения коэффициентов антропогенного воздействия на территорию Республики Йемен, серьезные экологические проблемы могут возникнуть, а возможно, уже и возникли в связи с применением в сельском хозяйстве различных пестицидов.

Основным фактором изменения состояния воздушного бассейна Йемена в настоящее время является хозяйственная деятельность человека; природные источники загрязнения атмосферы незначительны и сводятся в основном к временному усилению ее запыленности в результате ветровой эрозии в пустынных регионах. Главными источниками загрязнения воздуха и ухудшения экологической ситуации являются: промышленное производство, транспорт, бытовая деятельность населения.

Подавляющее большинство электростанций, цементных заводов и других промышленных предприятий работают на мазуте и солярке. В результате их сжигания в атмосферу выбрасывается большое количество сернистого ангидрида, окиси углерода и других ядовитых и вредных газов. Кроме того, цементные заводы являются источником поступления в атмосферу недопустимо большого количества цементной пыли. При этом системы очистки газов, выбрасываемых в атмосферу в результате сжигания

этих видов топлива на большинстве промышленных предприятий нет, отсутствует также систематический контроль за их составом. Это относится даже к столице Йемена, не говоря уже о других городах. Из крупных тепловых электростанций лишь Марибская работает на природном газе.

Загрязнению атмосферы способствуют кирпичные заводы, также работающие на мазуте, и дополнительно к ядовитым газам поставляющие в атмосферу кирпичную пыль, надолго зависающую в воздухе. Не существует заслона и для поступления в атмосферу каменной пыли, возникающей в процессе добычи строительного материала в каменоломнях, которых только в горах, окружающих Сану, постоянно работает не менее пятнадцати.

В настоящее время в Йемене насчитывается более 350 тыс. единиц транспортных средств, подавляющая часть которых работает на бензине, содержащем в большом количестве свинец - тяжелый металл, опасный для живых организмов. Выхлопные газы транспортных средств содержат также сернистый ангидрид, оксиды азота, оксид углерода (угарный газ), сажу и другие вредные для живых организмов компоненты.

По данным Совета охраны окружающей среды Йемена в результате использования солярки и мазута различными стационарными и мобильными потребителями в воздушные бассейны крупнейших городов страны каждую минуту выбрасывается до 200 кг оксида углерода, 20 кг оксидов азота, 20 кг углеводородов, более 3 кг диоксида серы (сернистого ангидрида), не менее 10 кг твердых взвесей. Наибольшее загрязнение, при этом, испытывают воздушные бассейны городов Сана и Ходейда.

Несмотря на ограниченные запасы водных ресурсов, до сих пор ведутся работы по рытью колодцев, еще больше истощающие эти запасы, причем в ходе проведения подобных работ не учитываются проведенные на эту тему исследования, которые распространяются как в соответствующих государственных, так и в негосударственных организациях. Так, например, последнее исследование водного бассейна города Саны (подземных вод) показывает снижение уровня воды, который колеблется между 6 - 7 метрами в год, при этом общее число колодцев в бассейне Саны достигает 13000. В это же время запасы поверхностных вод уже больше не могут удовлетворять все растущую в них потребность, а самим им угрожает загрязнение. Также необходимо учитывать тот факт, что защита подземных вод от загрязнения начинается с защиты поверхностных вод от некоторых видов деятельности человека, приводящих в нежелательным последствиям в гидрохимическом отношении и в отношении качества воды, то есть наносящих вред воде и окружающей среде. Так как, в результате роста потребности в воде, запасы поверхностных вод почти истощились, более пристальное внимание стало уделяться подземным водам, которые при сравнении их с прочими источниками пресной воды отличаются рядом свойств [Ахмад Шамсан, газета аль-Саура, 17 ноября 2003 г., № 14251].

Большинство специалистов все еще считают прибрежные районы Йемена одними из самых чистых в мире. Однако, любому из нас не составит большого труда обнаружить все те нарушения в охране окружающей среды,

которые особенно легко можно обнаружить в тех прибрежных районах, рядом с которыми расположены большие города и места отдыха, которые оказались наводненными различными отходами. Одним из наиболее распространенных видов отходов, количество которых постоянно растет, являются различные отходы пластиковых материалов. Некоторые виды пластика могут сохраняться в море на протяжении 450 лет.

Несмотря на то, что в большинстве стран были приняты специальные законы, призванные остановить загрязнение морской среды пластиковыми материалами, такие материалы продолжают попадать в морскую среду и загрязнение пластиковыми отходами продолжает оставаться серьезной проблемой для окружающей среды.

На сегодняшний день Йемен испытывает острую потребность в принятии серьезных мер для решения этой проблемы до того, как она примет угрожающие размеры.

Окружающей среде в бассейне Красного моря угрожает неправильное избавление от нефтехимических отходов. Нефтяные углеводороды являются самыми опасными источниками загрязнения воды, а загрязнение прибрежной зоны маслами и побочными продуктами нефтехимической промышленности угрожает морской флоре и фауне.

3. Современное состояние водообеспечения в Республике Йемен

Потребление воды на душу населения в Республике Йемен составляет лишь 2% от среднего глобального показателя. Всего 223 кубометров, в то время как на Ближнем Востоке и в Северной Африке – в среднем 1250 кубометров. Йемен погибает от жажды. В чём же причина столь острой нехватки воды? Как говорит сотрудник Йеменского ведомства водоснабжения Джамаль Мохаммед 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 (рис. 2), где по-прежнему применяются старые системы орошения, которые уже неэффективны.

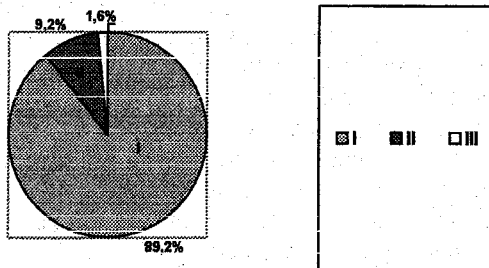


Рис. 2. Распределение секторов водопотребления в Республике Йемен, % (I – сельское хозяйство, II – промышленность, III – коммунальное хозяйство)

По данным Йеменского Министерства сельского хозяйства, эффективно используется только 40-50% воды, то есть половина воды просто пропадает.

В Йемене постоянно понижается уровень грунтовых вод, в некоторых регионах – до шести метров в год. Это – пугающая перспектива, считает йеменский эксперт.

Процесс, пагубные последствия которого ощущаются сегодня, развивается с 70-е 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 году [Кийвер, 2006].

Постоянные водотоки фактически отсутствуют. Исключение составляют небольшие реки и ручьи, берущие начало в горной части страны; в сухое время года большинство из них 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 куб.м в год возобновляемых вод. По существующим прогнозам количество возобновляемых водных ресурсов на душу населения примерно через 30 лет уменьшится до 76-100 куб.м в год, что значительно меньше физиологических потребностей. Объем выпадающих осадков в Республике Йемен за год составляет около 60 млрд. куб. м.

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 куб. м 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. куб. м и 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. куб. м подземных вод, в то время как пополнение не превысило 42 млн. куб. м, то есть 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. куб. м 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 [Большая..., 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 результате 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.

Возобновляемые подземные водные ресурсы в настоящее время оцениваются примерно в 1,2 млрд. куб. м. в год. Объем ежегодного потребления подземных вод составляет около 8,2 млрд. куб. м, то есть 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-Албун, 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. Сана 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, что приводит к снижению качества, а нередко и к загрязнению сельскохозяйственных продуктов. Так, химический и бактериологический анализы вод, взятых из скважины в районе Ал-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.

Здесь уместно отметить, что ежегодный объем мировых стоков оценивается в 1,5 тысячи кубических километров, а 1 литр сточных вод делает непригодным для питья 8 литров пресной воды.

В настоящее время только 35 % населения Йемена получают 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 неконтролируемым стихийным разрастанием городов, обусловленным интенсивным притоком в них сельского населения. Переселенцы поселяются в города, 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.

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).

Как известно, организм человека на 64% состоит из воды. Меньше всего воды в костях и жировой ткани – 25-30%; в мышцах и внутренних органах около 70-80% воды; в крови – до 90%, а слюна состоит на 99,5% из воды [Дмитриев, Фрумин, 2004]. При потере 6-8% воды человек впадает в полуобморочное состояние, потери 10% воды вызывают галлюцинации, нарушают глотательный рефлекс. При утрате 12% воды наступит летальный исход (гибель). Наряду с этим весьма опасно для здоровья и жизни человека употребление загрязненной воды.

Ежедневно от болезней, передаваемых через воду, таких, как холера, брюшной тиф, дизентерия и других, в мире умирает около 50 000 человек,

при этом большую часть составляют дети до 5 лет. Так, в 1974 и 1977 гг. наблюдалась вспышка холеры в Танзании с передачей инфекции водным путем. Особенно резко заболеваемость возросла в сезон дождей, что обусловлено условиями выживания холерного вибриона (до двух недель в пресной воде и более восьми недель в солоноватой водной среде).

В развивающихся странах на долю заболеваний, вызванных потреблением воды, непригодной для питья и приготовления пищи, приходится до 75% случаев.

Качество питьевой воды должно соответствовать гигиеническим нормативам перед ее поступлением в распределительную сеть, а также в точках водозабора наружной и внутренней водопроводной сети.

Безвредность питьевой воды по химическому составу определяется ее соответствием нормативами по:

- обобщенным показателям и содержанию вредных химических веществ наиболее часто встречающихся в природных водах на территории Республики Йемен, а также веществ антропогенного происхождения, получивших глобальное распространение;
- содержанию вредных химических веществ, поступающих и образующихся в воде в процессе ее обработки в системе водоснабжения;
- содержанию вредных химических веществ, поступающих в источники водоснабжения в результате хозяйственной деятельности человека.

Особо следует отметить, что несмотря на весьма актуальную и в принципе нерешенную проблему водообеспечения, в Республике Йемен разработаны и используются гигиенические нормативы содержания вредных веществ в питьевой воде (табл. 4) и в сточных водах, используемых для орошения (табл. 5) (предельно допустимые концентрации – ПДК).

Таблица 4. ПДК некоторых вредных веществ в питьевой воде
Республики Йемен

№	Элементы	Символ	Размерность	ПДК
1	Свинец	Pb	мг/л	0,05
2	Селен	Se	мг/л	0,01
3	Мышьяк	As	мг/л	0,05
4	Хром	Cr	мг/л	0,05
5	Цианид	CN ⁻	мг/л	0,1
6	Кадмий	Cd	мг/л	0,005
7	Ртуть	Hg	мг/л	0,001
8	Сурьма	Sb	мг/л	0,01

Таблица 5. ПДК химических элементов в сточных водах, используемых для орошения в Республике Йемен

№	Элементы	Символ	ПДК мг/л
1	Алюминий	Al	5,00
2	Мышьяк	As	0,10
3	Бериллий	Be	0,10
4	Кадмий	Cd	0,01
5	Кобальт	Co	0,05
6	Хром	Cr	0,10
7	Медь	Cu	0,20
8	Фтор	F	1,00
9	Железо	Fe	5,00
10	Литий	Li	2,50
11	Марганец	Mn	0,20
12	Молибден	Mo	0,01
13	Никель	Ni	0,20
14	Свинец	Pb	5,00
15	Селен	Se	0,02
16	Ванадий	V	0,10
17	Цинк	Zn	2,00

Для обоснования направлений совершенствования водообеспечения в Республике Йемен было проведено составление водохозяйственного баланса, то есть количественного соотношения между поступлением (приходная часть) и расходом (расходная часть) за определенный период, рассматриваемое относительно выделенного балансового участка. Порядок составления уравнения водохозяйственного баланса заключался в следующем: - задавали интервал времени, за который рассматривается баланс (один год); - записывали все элементы баланса в виде алгебраической суммы приходных и расходных статей; - определяли числовые значения всех элементов баланса; - оценивали результаты баланса, то есть те изменения в запасах воды, которые происходят на территории Республики Йемен в результате взаимодействия элементов баланса.

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

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

где ΔW – изменение запасов воды за время t .

Согласно нашим расчетам величина $V_{\text{ос.}} = 51 \cdot 10^9 \text{ м}^3/\text{год}$. По данным 2000г. $V_{\text{потреб.}} = 3,4 \cdot 10^9 \text{ м}^3/\text{год}$. Величина $V_{\text{инф.}}$ рассматривалась как произведение $V_{\text{ос.}}$ на некоторый коэффициент k , значение которого согласно [Нуман Салим, 1998] было принято равным 0,1. То есть

$$V_{\text{инф.}} = 0,1 \cdot V_{\text{ос.}} \quad (5)$$

Для расчетов $V_{\text{исп.}}$ и $V_{\text{сток}}$ была проведена математико-статистическая обработка данных литературы и были выявлены числовые значения коэффициента испарения (α_1) и коэффициента стока (α). В результате были получены следующие значения: $\alpha_1 = 0,936$; $\alpha = 0,065$. Эти величины были использованы для расчета водохозяйственного баланса с использованием следующих формул (табл. 6):

$$V_{\text{исп.}} = 0,936 \cdot V_{\text{ос.}} \quad (6)$$

$$V_{\text{сток}} = 0,065 \cdot V_{\text{ос.}} \quad (7)$$

Таблица 6. Элементы водохозяйственного баланса в Йемене, $\text{м}^3/\text{год}$

$V_{\text{ос.}}$	$V_{\text{инф.}}$	$V_{\text{исп.}}$	$V_{\text{сток}}$	* $V_{\text{ПОТРЕБЛЕНИЕ}}$			ΔW
				Сельское хозяйство	Коммунально-бытовое хозяйство	Индустрия	
$51 \cdot 10^9$	$5,1 \cdot 10^9$	$47,7 \cdot 10^9$	$3,3 \cdot 10^9$	$3,145 \cdot 10^9$	$0,21 \cdot 10^9$	$0,045 \cdot 10^9$	$-8,5 \cdot 10^9$

Примечание. *Приведено значение $V_{\text{ПОТРЕБЛЕНИЕ}}$ для 2000г.

Отрицательный водохозяйственный баланс ($\Delta W = -8,5 \cdot 10^9 \text{ м}^3/\text{год}$) свидетельствует о необходимости мероприятий по покрытию водного дефицита. Анализ данных, приведенных в табл. 6, показывает, что объем водопотребления в 14,2 раза меньше, чем объем осадков ($V_{\text{ос.}} / V_{\text{потреб.}} = 51 \cdot 10^9 / 3,4 \cdot 10^9 = 14,2$).

Другой вариант расчета водохозяйственного баланса приведен в работе [Kamel Mostafa Amer & Waleed K. Al-Zubari, 2006]. Авторы этой работы рассматривают водный баланс как разницу между общими водными ресурсами в 1997г. и общим водопотреблением. По оценкам указанных исследователей, в 1997г. отрицательный водохозяйственный баланс в Йемене составил $-1,38 \cdot 10^9 \text{ м}^3/\text{год}$, а по прогнозу в 2025г. составит $-4,186 \cdot 10^9 \text{ м}^3/\text{год}$. Использование рассмотренного подхода позволило нам рассчитать динамику отрицательного водохозяйственного баланса в Йемене с 1990г. по 2025г. (табл. 7.).

Различие между величинами дефицита воды по первому и второму вариантам расчетов обусловлена тем, что в первом варианте приходная часть баланса была связана с дождевыми осадками, которые до сих пор не используются, а во втором варианте – с подземными водами, которые и являются в настоящее время основным источником водообеспечения в республике.

Таблица 7. Динамика водохозяйственного баланса в Республике Йемен

Год	Общие водные ресурсы, м^3	Общее водопотребление, м^3	ΔW , м^3	Год	Общие водные ресурсы, м^3	Общее водопотребление, м^3	ΔW , м^3
1990	$2,0 \cdot 10^9$	$2,8 \cdot 10^9$	-0,8	2005	$1,3 \cdot 10^9$	$3,7 \cdot 10^9$	$-2,4 \cdot 10^9$
1995	$1,7 \cdot 10^9$	$3,1 \cdot 10^9$	-1,4	2010	$1,1 \cdot 10^9$	$4,0 \cdot 10^9$	$-2,9 \cdot 10^9$
2000	$1,5 \cdot 10^9$	$3,4 \cdot 10^9$	-1,9	2025	$0,7 \cdot 10^9$	$4,8 \cdot 10^9$	$-4,1 \cdot 10^9$

4. Направления совершенствования водообеспечения в Республике Йемен

В качестве возможных путей решения проблемы водообеспечения в Йемене нами рассмотрены: транспортировка айсбергов, очистка сточных вод, покупка воды в других странах, опреснение морских вод, установка конденсоров воды из атмосферного воздуха и подземных наливных резервуаров (рис. 3).

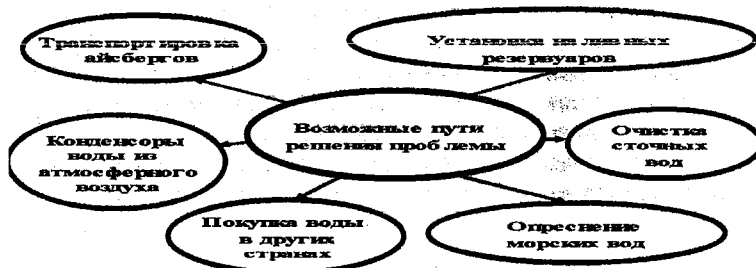


Рис. 3. Возможные пути решения проблемы водообеспечения в Республике Йемен

Одна из возможностей 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-Ходейда, 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. Объем

сточных вод в республике составляет $82,9 \cdot 10^6 \text{ м}^3$, из них подвергается очистке примерно 55%, то есть $45,6 \cdot 10^6 \text{ м}^3$. Таким образом, $37,3 \cdot 10^6 \text{ м}^3$ сточных вод не очищается.

Один из наиболее эффективных и перспективных путей обеспечения пресной водой Республики Йемен 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^{-1}), при которой вода становится пригодной для питьевых и хозяйственных целей.

Рассмотрены различные методы опреснения морских вод (опреснение вымораживанием, химическим осаждением, ионным обменом, электродиализом, обратным осмосом, дистилляцией и гелиоопреснением). Однако, учитывая климатические особенности Йемена (высокие значения инсоляции), основное внимание было сосредоточено на **гелиоопреснении**.

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. 4). Гелиоопреснение технологически отличается от обычных дистилляционных установок лишь тем, что для первоначального нагрева воды используются специальные теплообменники со стеклянной поверхностью, питаемые теплотой солнечной энергии. Солнечная дистилляция выгодно отличается от других методов опреснения, так как требует сравнительно меньших эксплуатационных расходов.

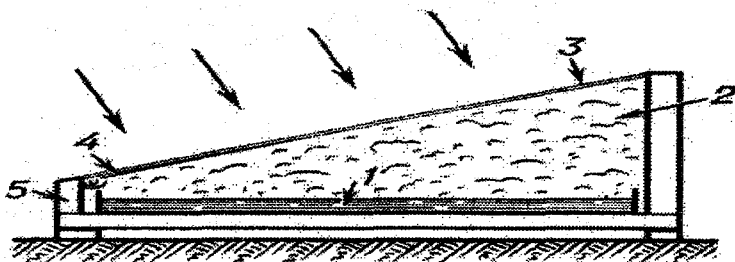


Рис. 4. Схема солнечного опреснителя типа «горячий ящик»

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

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

$$Q = kE/L = kE/580, \quad (8)$$

где Q - удельная производительность опреснителя, $\text{л/м}^2 \cdot \text{сут.}$; k - коэффициент использования солнечной энергии, принимаемый равным 0,3-0,5; E - интенсивность солнечной радиации; $L=580$ - расход энергии на нагревание и испарение 1 кг воды.

Для проведения практических расчетов формула (8) была нами преобразована. При преобразовании было принято среднее значение величины k ($k = 0,4$). В итоге была получена следующая формула

$$Q = 0,593 \cdot E \quad (9)$$

В приведенной формуле размерность Q - $\text{л/м}^2 \cdot \text{сут.}$, а размерность E - $\text{кВт} \cdot \text{ч/м}^2 \cdot \text{сут.}$

По формуле (9), используя данные о значениях инсоляции, были рассчитаны средние месячные и среднегодовые удельные производительности гелиоопреснителей для трех крупных городов Республики Йемен (г. Сана, г. Ходейда, г. Таиз) (рис. 5).

Особо отметим, что рассчитанные нами величины удельных производительностей опреснения, близки к тем значениям, которые приведены в работе [Salem M. Bin Gadhi & Mohammed A. Mukbel, 1998]. В этой работе, в частности, отмечается, что для типичного дня производительность солнечного опреснителя достигает $3,7 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{день}$.

К недостаткам этого метода следует отнести большие капиталовложения ввиду сложности конструкций и слишком больших параметров сооружений, а также низкую выработку на единицу поверхности солнечных опреснителей. Не поддающиеся контролю изменения погоды, облачность, широта места, сезонные колебания температур значительно затрудняют и ограничивают применение метода солнечной дистилляции.

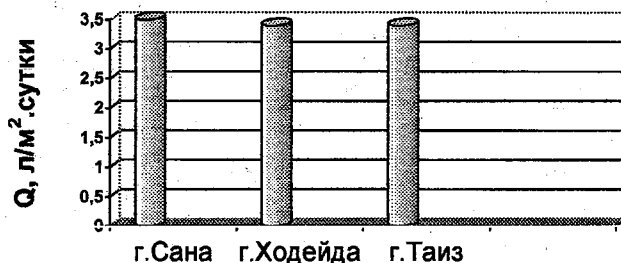


Рис. 5. Среднегодовые удельные производительности гелиоопреснителей в некоторых городах Республики Йемен (расчетные данные)

В дополнение к изложенному нами были проведены расчеты площадей гелиоопреснителей, обеспечивающие выработку питьевой воды в трех рассматриваемых городах в течение года. При расчетах были использованы стандартные средние характеристики человека и, в

частности, количество питьевой воды в день для взрослого человека – 2 литра (табл. 8).

Таблица 8. Площади гелиоопреснителей для питьевого водоснабжения населения некоторых городов Республики Йемен

Город	Удельная производительность опреснителя, Q , л/м ² ·сут	Население	Площадь опреснителя, га
Сана	3,5	1834293	104,8
Ходейда	3,4	826672	48,6
Таиз	3,4	566569	33,3

В настоящее время власти Йемена планируют немедленно начать строительство десятков заводов по опреснению морской воды. Уже в ближайшее время правительство Йемена планирует объявить тендеры на проекты строительства многочисленных заводов для опреснения морской воды вдоль йеменского побережья, протяженность которого около 2000 км.

Одним из направлений, позволяющим частично решить проблему дефицита водных ресурсов в Йемене, является использование тепла отходящих газов печей цементных и других заводов для опреснения морской воды. Использование отходящих газов цементных печей этих заводов, как показали наши расчеты, позволит получать около $2 \cdot 10^8$ кг ($2 \cdot 10^8$ л) пресной воды в год. Если учесть, что на выращивание 1 кг пшеницы необходимо израсходовать 10^3 л воды, то указанное выше дополнительное количество воды, используемой для орошения, позволит вырастить 200 тонн пшеницы.

Другое направление покрытия дефицита пресной воды – **получение воды из атмосферного воздуха**. Для этой цели используют конденсоры различных типов. Способ получения пресной воды из атмосферного воздуха состоит в том, что поглощение влаги из воздуха происходит при его продуве через сорбент, который затем отдает влагу при нагреве с последующей ее конденсацией, и отличается тем, что в качестве сорбента используют материал, состоящий из пористой матрицы и помещенного в поры гигроскопичного вещества. В качестве пористой матрицы используют неорганические оксиды, углеродные сорбенты, полимеры, природные сорбенты, порометаллы, пористые композиты или их смеси, в качестве гигроскопичного вещества в поры помещают неорганические соли, их смеси, их растворы и их кристаллогидраты. При этом нагрев сорбента на стадии десорбции воды осуществляют до температуры 50-80°C за счет использования солнечной или электрической энергии, а также тепла различных двигателей, а температуру в конденсаторе поддерживают близкой к температуре окружающей среды.

Количество воды, которое может быть получено из атмосферного воздуха зависит от: температуры и влажности окружающего воздуха; температуры конденсирующей поверхности; объема воздуха, проходящего

через систему конденсации влаги. Очевидно, что размещение устройств для извлечения воды из воздуха целесообразно на тех территориях, которые характеризуются высокой относительной влажностью воздуха. В этой связи нами была предпринята попытка выявить зависимость величин относительной влажности воздуха (RH) от высоты местности над уровнем моря (E). В результате была выявлена следующая зависимость:

$$RH = 91 - 6,6 \cdot \ln(E) \quad (10)$$

$$N = 28; r = 0,76; r^2 = 0,58; F_p = 35,9 \quad F_T = 4,21; F_p / F_T = 8,5$$

Как следует из приведенной формулы относительная влажность воздуха линейно уменьшается с увеличением натурального логарифма высоты территории над уровнем моря (в интервале высот от 5 м до 2500 м).

Полученный результат приводит к выводу о целесообразности размещения устройств для извлечения воды из воздуха на территориях, расположенных невысоко над уровнем моря, например в районе Моха ($E = 5$ м).

Покрытие дефицита воды в Йемене может быть реализовано также на основе прогрессивных способов орошения. Среди различных способов орошения (поверхностное, дождевание, аэрозольное увлажнение, подпочвенное, капельное) наиболее перспективно капельное орошение. Капельное орошение – локальное орошение с помощью микроводовыпусков, поливных капельниц. Капельное орошение имеет существенные преимущества по сравнению с другими видами ирригации. Оно превосходит поверхностное орошение и орошение дождеванием с точки зрения экономии воды. При орошении 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%.

В 2000г. на орошение в республике было израсходовано $3,145 \cdot 10^9$ м³ воды. Согласно нашим расчетам переход на капельное орошение позволит сэкономить примерно $1,655 \cdot 10^9$ м³ воды.

В Республике Йемен ежегодное количество осадков ($V_{ос.} = 51 \cdot 10^9$ м³/год) в 15 раз превышает объем ежегодного водопотребления ($V_{потреб.} = 3,4 \cdot 10^9$ м³/год). Более того, величина ежегодного стока ($V_{сток} = 3,3$ м³/год) соизмерима с объемом водопотребления ($V_{потреб.} / V_{сток} \approx 1$). Большая часть выпадающих осадков тратится на испарение, некоторое количество пополняет запасы подземных вод, часть стекает в Красное море, Аденский залив и Аравийское море.

По нашему мнению, количество стекающих осадков можно существенно уменьшить путем установки резервуаров под поверхностью земли (подземные наливные резервуары).

Обоснование пунктов установки наливных резервуаров было проведено нами в несколько этапов. На первом этапе был проведен анализ распределения дождевых осадков по территории Йемена. Анализ показал,

что наибольшее количество осадков выпадает в западной горной части Йемена. На втором этапе был проведен анализ внутригодового объема осадков. Результаты анализа свидетельствуют о неравномерном объеме выпадающих осадков в течение года. Наибольшее количество осадков выпадает, например, в г. Таиз в апреле (152,2 мм), мае (216,4 мм), июле (214,5 мм), августе (181,9 мм) и сентябре (180,5 мм). На третьем этапе был проведен анализ топографической карты Йемена, содержащей горизонтальные изолинии, указывающие расположение различных территорий над уровнем моря. К сожалению, масштаб имевшейся в нашем распоряжении топографической карты Йемена (1: 1 000 000) не позволял рассчитать с достаточной точностью расстояние между вади (высохшими руслами рек).

Тем не менее, суть предлагаемой нами идеи заключается в установке наливных резервуаров вдоль вади, по которым происходит основной сток дождевых осадков в Красное море. Практическая реализация такого подхода, как показали расчеты, позволяет собирать весьма большое количество дождевых осадков (табл. 9).

Таблица 9. Объем дождевых осадков, который может быть собран подземными наливными резервуарами в западной части Йемена

Вади	Водосбор, км ²	Среднегодовой сток, мм	Среднегодовой сток, м ³
1	2	3	4
Harad	1700	6,0	10,2·10 ⁶
Mawr	7912	20,5	162,2·10 ⁶
Surdud	2370	28,9	68,5·10 ⁶
Rima	2250	44,0	99,0·10 ⁶
Zabid	4632	27,0	125,1·10 ⁶
Rasyan	1990	6,2	12,3·10 ⁶
Tuban	5060	21,6	109,3·10 ⁶
Rabwa	460	12,5	5,8·10 ⁶
Bana	6200	27,2	168,6·10 ⁶
Ahwar	6419	11,0	70,6·10 ⁶
Adhana	8300	10,5	87,2·10 ⁶
Amd/Doan	6553	3,1	20,3·10 ⁶
Al Ayn	1500	6,4	9,6·10 ⁶
Sarr	2540	1,2	3,0·10 ⁶
Bin Ali	720	4,4	3,2·10 ⁶
Juaymah	760	1,0	0,76·10 ⁶
Idim	5485	7,5	41,1·10 ⁶
Thibi	718	2,6	1,9·10 ⁶
Итого	65569 км ²	241,6 мм	998,7·10 ⁶ м ³

Примечание. Во избежании неточностей перевода названия вади приведены на английском языке. Первичные данные для расчетов были заимствованы из [Jac A.M. Van Der Gun, 2000].

Как следует из приведенных данных, реализация предложенного проекта позволит собрать около $1 \cdot 10^9 \text{ м}^3$ дождевых осадков, что составит примерно 29,4% от современного водопотребления в Республике Йемен ($3,4 \cdot 10^9 \text{ м}^3/\text{год}$).

При проектировании наливных резервуаров особое внимание следует уделять минимальному расходу материалов (бетона, железобетона и т.д.).

Пусть наливной резервуар имеет форму открытого цилиндра. При изготовлении резервуара материал идет на образование стенок и дна цилиндра. Если r – радиус основания и h – высота резервуара, то сумма площади основания и боковой поверхности цилиндра выразится следующим образом:

$$F = \pi r^2 + 2\pi r h \quad (11)$$

Объем цилиндра V равен:

$$V = \pi r^2 h \quad (12)$$

Исключив h , получим

$$F = \pi r^2 + 2V/r \quad (13)$$

Суть задачи заключается в том, чтобы при заданном объеме цилиндра (наливного резервуара) найти такое значение r , при котором поверхность F была бы минимальной. Дифференцируя (11) по r и приравнявая первую производную нулю, получим

$$dF/dr = 2\pi r - 2V/r^2 = 0 \quad (14)$$

Тогда:

$$2\pi r^3 = 2V \quad (15)$$

Так как

$$h = V/\pi r^2 \quad (16)$$

то отсюда находим:

$$h = r \quad (17)$$

Поскольку вторая производная

$$d^2F/dr^2 = 2\pi + 4V/r^3 \quad (18)$$

положительна, то при $h = r$ поверхность наливного резервуара будет минимальной.

Иными словами, наибольшая экономия материалов будет достигнута в том случае, когда высота резервуара будет равна его радиусу. В этом случае объем резервуара будет равен

$$V = \pi r^2 h = \pi r^3 \quad (19)$$

Или

$$r = h = (V/\pi)^{1/3} \quad (20)$$

Для иллюстрации приводим результаты расчетов некоторых наливных резервуаров для некоторых вади, характеризующихся наибольшим, средним и наименьшим стоком дождевых осадков (табл. 9.). В приведенных расчетах

учтен только объем стока, но не учитывался «мертвый объем» наливного резервуара.

Таблица 10. Размеры подземных наливных резервуаров для некоторых вад

Вади	Объем стока, м ³	Высота = радиус, м
Bana	168,6·10 ⁶	380
Zabid	125,1·10 ⁶	340
Idim	41,1·10 ⁶	240
Amd/Doan	20,3·10 ⁶	190
Rasyan	12,3·10 ⁶	160
Bin Ali	3,2·10 ⁶	101
Juaymah	0,76·10 ⁶	62

Приведенные результаты расчетов показывают, что в зависимости от объема стока линейные размеры наливных резервуаров весьма значительны. В этих случаях, по-видимому, вдоль вад следует устанавливать несколько наливных резервуаров меньших размеров. В общем случае, высота и радиус резервуара в зависимости от объема стока описывается следующей формулой (рис. 6):

$$r = h = 58,9 \cdot \ln V_{\text{сток}} + 448 \quad (21)$$

При установке наливных резервуаров весьма актуальна проблема предотвращения потерь воды за счет испарения. 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. Наиболее эффективными из них оказались гексадециловый (цетиловый) (C₁₆H₃₃OH) и октадециловый (C₁₈H₃₇OH) спирты и их смеси. К их преимуществам относятся простота нанесения защитного слоя, отсутствие ядовитых свойств, сравнительная доступность. Пленка цетилового спирта на воде вблизи невидима, не меняет ее вкуса, цвета и запаха. Анализ не обнаруживает присутствие цетилового спирта в воде, защищенной его пленкой.

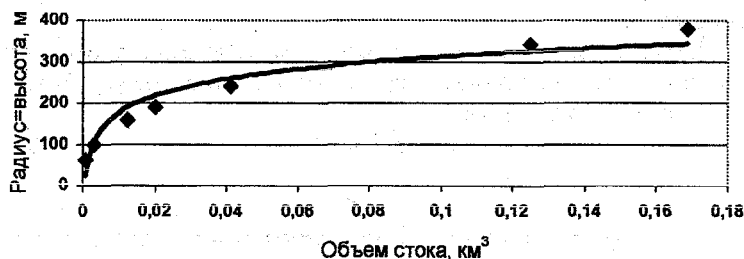


Рис. 6. Зависимость радиуса (высоты, м) подземного наливного резервуара от объема улавливаемого стока (км³)

Для создания непрерывной пленки цетилового спирта на поверхности в один гектар (100х100м) теоретически требуется всего 11г спирта. Ориентировочная оценка количества цетилового спирта, необходимого для покрытия поверхности воды в рассмотренных выше наливных резервуарах показывает, что оно варьирует от примерно 500 г до 13 г. (табл. 11).

Таблица 11. Количество цетилового спирта для предотвращения испарения воды из наливных резервуаров

Вади	Поверхность резервуара, га	Теоретическое минимально необходимое количество цетилового спирта, г
Bana	45,3	500
Zabid	36,3	400
Idim	18,1	200
Amd/Doan	11,3	124
Rasyan	8,0	88
Bin Ali	3,2	35
Juaymah	1,2	13

Обобщение результатов наших расчетов показывает, что реализация предложенных мероприятий по покрытию дефицита пресной воды позволит дополнительно произвести и сэкономить примерно $2,9 \cdot 10^9$ м³ воды (табл. 12).

Таблица 12. Предлагаемые мероприятия по совершенствованию водообеспечения в Республике Йемен

Мероприятия	Дополнительно производимый или сэкономленный объем воды
Переход на капельное орошение	$1,7 \cdot 10^9$ м ³
Установка подземных наливных резервуаров	$1,0 \cdot 10^9$ м ³
Использование отходящих газов цементных заводов	$0,2 \cdot 10^9$ м ³
Установка гелиоопреснителей морской воды в г. Сана, Таиз, Ходейда	$2,3 \cdot 10^6$ м ³
Итого:	$2,9 \cdot 10^9$ м ³

ВЫВОДЫ

1. Одной из острейших проблем Республики Йемен является обеспечение народного хозяйства и бытовых нужд населения пресной водой.
2. В настоящее время Республика Йемен характеризуется высокими темпами естественного прироста населения (4,1%), низкой энерговооруженностью (количество электроэнергии на душу населения 150,3 кВт·ч), незначительным количеством осадков (в среднем по республике не более 100 мм в год) и отсутствием поверхностных вод суши. Быстрый рост населения и экономическое развитие в таких условиях все время усиливают нехватку воды, что грозит «водным голодом».
3. Динамика производства электроэнергии в Республике Йемен характеризуется значительным ростом с 1967г. (17 млн.кВт·ч) по 1994г. (1958 млн.кВт·ч) и резким падением в последующие годы (240 млн.кВт·ч в 1999г.), что существенно ограничивает решение проблемы водообеспечения путем опреснения морских вод и установки гидротехнических сооружений для сбора дождевых осадков и их последующей транспортировки.
4. Водохозяйственный баланс Республики Йемен, состоящий из приходной части (осадки) и расходной части (инфильтрация, испарение, климатический сток, потребление), характеризуется следующими величинами: осадки - $51 \cdot 10^9$ м³/год, инфильтрация - $5,1 \cdot 10^9$ м³/год, испарение - $47,7 \cdot 10^9$ м³/год, сток - $3,3 \cdot 10^9$ м³/год, потребление - $3,4 \cdot 10^9$ м³/год. Отрицательный водохозяйственный баланс ($-8,5 \cdot 10^9$ м³/год) свидетельствует о необходимости мероприятий по покрытию водного дефицита.
5. Для покрытия дефицита водообеспечения необходимо разработать комплекс экологически безопасных технологий.
6. Для покрытия дефицита пресной воды в Республике Йемен необходимо установить гелиоопреснители морской воды, использовать отходящие газы цементных и других заводов для опреснения морской воды методом дистилляции, установить наливные резервуары вдоль вадии для сбора дождевых осадков, использовать конденсоры воды из атмосферного воздуха, перейти на капельное орошение и производить доочистку сточных вод.
7. Переход на капельное орошение позволит сэкономить примерно $1,655 \cdot 10^9$ м³ воды.
8. Ежегодное количество осадков в Республике Йемен в 15 раз превышает объем среднегодового водопотребления ($51 \cdot 10^9$ м³/год и $3,4 \cdot 10^9$ м³/год соответственно). Установка наливных резервуаров позволит собирать примерно $1 \cdot 10^9$ м³/год дождевых осадков, что составляет около 30% от современного водопотребления в республике.
9. Наибольшая экономия материалов будет достигнута в том случае, когда высота цилиндра наливного резервуара будет равна его радиусу. Для снижения испарения воды целесообразно нанесение выпших жирных спиртов или кислот на поверхность воды, собранной в резервуаре.
10. При выборе принципа получения пресной воды следует проводить, исходя из местных условий с учетом свойств исходной воды (морская или

атмосферная вода), источников энергии, инфраструктуры и т.д. с целью получения максимальной экономической эффективности.

Литература

1. Аль Мурейш Халед Абдо Саид Али (2002) Проблемы рационального водопотребления и охраны водных ресурсов в Йемене. В монографии: «Историческая геоэкология и эволюционная география». Под ред. Е.М. Нестерова. СПб.: Эпиграф, С. 135 – 138.
2. Аль Мурейш Халед Абдо Саид Али (2003) Социально-экономические предпосылки осложнения экологических проблем в Республике Йемен. Сборник научных трудов. Под ред. Г.И. Юренкова. СПб.: «Эпиграф», С. 8-12.
3. Аль Мурейш Халед Абдо Саид Али (2004) Состояние воздушного бассейна Йемена. Сборник научных трудов. География и смежные науки. LVII Герценовские чтения / Под ред. Г.И. Юренкова. СПб.: «Эпиграф», С. 3-5.
4. Аль Мурейш Халед Абдо Саид Али, Фрумин Г.Т. (2006) Проблемы водообеспечения в Республике Йемен. Тезисы докладов Итоговой сессии ученого совета РГТМУ (25 – 26 января 2006 г.). СПб.: РГТМУ, С. 112 – 113.
5. Аль Мурейш Халед Абдо Саид Али, Фрумин Г.Т. (2006) Проблема водообеспечения в Республике Йемен: современное состояние и пути решения // СПб.: Ученые записки РГТМУ, №2, С. 136-151.
6. Аль Мурейш Халед Абдо Саид Али (2007) Обоснование комплекса экологически безопасных технологий водообеспечения в Республике Йемен. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. СПб.: РГТМУ.
7. Большая энциклопедия Кирилла и Мефодия (2003) (Электронная версия).
8. Дмитриев В.В., Фрумин Г.Т. (2004) Экологическое нормирование и устойчивость природных систем. СПб.: Наука.
9. Кийвер В. (2000) Помогут ли немцы превратить Йемен в процветающую страну? Немецкая волна. www.dw-world.de
10. Котляков В.М., Лосев К.С., Сутова И.А. (1995) Вложение энергии в территорию как экологический индикатор. – Изв. Академии Наук, сер. геогр., №3. С.70-75.
11. Лосев К.С. (1996) Экодинамика России и ее взаимодействие с сопредельными территориями. В кн.: Экология – экономика – политика. СПб.: Научный Центр РАН.
12. Нуман Салим (1998) Оценка водных ресурсов Западного Йемена. Диссертация на соискание ученой степени кандидата географических наук. СПб.: РГТМУ.
13. Практический путеводитель по 97 странам мира (1990) М.: ИНТО.
14. Толоконцев Н.А. (1991) Токсикология гидросферы // Вестник АМН СССР, № 1, С. 33 – 38.
15. Фрумин Г.Т., Аль Мурейш Халед Абдо Саид Али (2005) Динамика антропогенного воздействия на территорию Республики Йемен. Материалы международной научной конференции 25-27 мая 2005 г. СПб.: РГТМУ, С. 52-53.

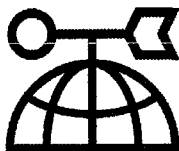
16. Фрумин Г.Т., Аль Мурейш Халед Абдо Саид Али (2006) Проблема водообеспечения в Республике Йемен: современное состояние и пути решения // Морской вестник. №4(20), С. 57-59.
17. *Jac A. M. Van Der Gun* (2000) Lecture Notes On "Hydrology Of Yemen". Sana'a June 2000.
18. *Kamel Mostafa Amer & Waleed K. Al-Zubari* (2006) The Need for Desalination and Water Reuse as Non-Conventional Water Resources in the Arabian Peninsula. In book: Policy Perspectives for Ecosystem and Water Management in the Arabian Peninsula. United Nations University, pp. 105-119.
19. *Salem M. Bin Gadhi & Mohammed A. Mukbel* (1998) A review of renewable energy activities in Yemen // Renewable Energy, Vol. 14, No. 1-4, pp. 459-465.

THE MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF THE
RUSSIAN FEDERATION

RUSSIAN STATE HYDROMETEOROLOGICAL UNIVERSITY

KHALID ABDO SAEED ALI AL-MUREISH, G.T. FRUMIN

WATER SUPPLY IN REPUBLIC OF YEMEN:
MODERN STATE AND DIRECTIONS OF PERFECTION



SAINT-PETERSBURG

2008

Khalid Abdo Saeed Ali Al-Mureish, G.T. Frumin. WATER SUPPLY IN
REPUBLIC OF YEMEN: MODERN STATE AND DIRECTIONS OF
PERFECTION. Saint-Petersburg. The edition: RSHU, 2008.

Reviewer: Professor Arsen'ev German Semenovitch

Address for contact: 195196, Saint-Petersburg, Maloohtinsky pr. 98

E-mail: frumin@rshu.ru , khalidmurish@yahoo.com

84 pages, 12 tables . 6 figures, 19 references

ISBN 5-230-09885-6

© Khalid Abdo Saeed Ali Al-Mureish

© G.T. Frumin

© Russian State Hydrometeorological University

Contents

	page
Introduction	4
1. Physics-geographical description of Republic of Yemen	5
2.Environment state in Republic of Yemen	8
3. Modern state of the water supply in Republic of Yemen	11
4. The directions of improvement of the water supply in Republic of Yemen	17
Conclusions	26
References	28

Introduction

Conception of the water's cause for the all objects was yet expressed by the ancient Greek philosopher Fales at the VI century before Christmas. The all following history confirmed convincingly the fairness of Fales genius conjecture. But comprehension, expressed with image by L. J. Henderson, that «water is and will be most abundant and most important out of all the objects», doesn't agree by no means with irresponsible attitude of mankind to one [Tolokontsev, 1991].

This irresponsibility sharpened limitlessly the problem of water on the Earth, this problem may be formulated commonly as a contradiction between increasing of the social necessities in the high qualitative water, on the one hand, and deterioration of its quality and its deficit, on the other hand.

If now about of 1.7 milliards of people (i.e. 40% of the Earth population) in the more, than 80 countries, suffer of absolute or chronic deficit water and about 0.4 milliard of these 1.7 milliard live in the regions with serious water deficit, so to 2025 year 66.66% of humanity will suffer already because of water shortage.

In compliance with UNESCO data to 2050 year 7 milliards people in 60 countries (on pessimistic forecasts) or 2 milliards people in 48 countries (on the optimistic forecasts) occur with the problem of water shortage. And situation may be aggravated only, as population of a planet increases now by 80 millions people in a year, but water expenditure increased during last decades twice, than population growth. Water deficit is sharpened with the growth of common weal, with the increase of meat products, quota in feed ration and also with variation of precipitation distribution on the earth surface.

Statistical mean-European level of water consumption accounts for 200-300 liters of the fresh water on the person for domestic aids during a day that exceeds minimal consumption to 10-15 times.

The fresh water is converted violently into unavailable natural resource.

During XX century its consumption was increased in 7 times, when population of a planet was increased threefold. It's not occasional that UNO declared 2003 year as international year of the fresh water.

Water supplement of national economy and domestic need of population is one of the sharpest problems in Yemen Republic (Khalid Abdo Saeed Ali Al-Mureish 2002,2003,2004,2006,2007; Frumin G.T., Abdo Saeed Ali Al-Mureish 2005,2006).

Now mean year expenditure of renovated water resources for one Yemen inhabitant is equal 223 m^3 . If it's assumed that in future increasing rates of Yemen population will be maintain at real level, then after two decades this index will not exceed $150 \text{ m}^3/\text{year}$. In accordance to real forecast after 30 years removed waters volume for one inhabitant will be reduce to $100\text{-}76 \text{ m}^3/\text{year}$, it is less significantly than his physiological needs.

Now Yemen inhabitant consumes meanly about 1250 m³ of water in year, i.e. expenditure not only excess of this natural resource, but unlimited destroying resource of oneself. In final analysis of all country scale underground waters, pumping out exceeds its renovated volume to 1.5 times. This is a serious treat for water security of many Yemen regions, especially in most large towns (Khalid Abdo Saeed Ali A-I Mureish, Frumin G.T., 2006).

Only 35% of Yemen populations receive fit drinking water. In the towns this index is equal about 74%, in the rural district it's about 14%. Consequences of bad water usage are very tragic. About 70% of small children deaths is induced by different diseases, initiated by bad water.

Problems of supplying the qualitative water for Yemen population are complicated by quick and non-controlled elemental towns growing, that is caused by intensive influx of rural population to towns. Numerous houses are being built on the suburban lands, where are no water lines and sewerage nets.

About 75% unpurified waters of seaside towns are thrown down directly in the sea, that acts destructively on the ichthyofauna, causes derma and other diseases. It is very serious ecological problem, because the state with a small area has the sea shore line along Red and Arabian seas with the extent of 2000 km and more.

Main causes of water crisis in Yemen Republic are the gradually growing water permission in the result of population growing (it's rate is on the fifth place in the world, i.e. 4.1%/year), expanding the agricultural areas, requiring the artificial irrigation, absence of state inspecting the processes of extracting and consuming the underground waters.

Complicity in deciding the problem of water security in Yemen Republic is influenced by the next causes: 1. Practically absence of the surface waters (the lakes and rivers). 2. The great population number (18349000 persons in the 2000 year). 3. Superior index of the annual population growth (4.1% in the 2000-2005 years). 4. The low per cent of the urban population (25% - in the 2000 year) and major proportion «of the migrated population». 5. Low level of the economic development (the internal total product was 14400 million \$ USA in the 2000 year). 6. Small amount of the produced energy (240 million kWt/hour- in the 1999 year). 7. Exclusively uneven distribution of the precipitates over Republic territory.

In connection with the presented material general analysis of water security problem in Yemen Republic presents itself the actual task, as after its successful decision it occurs possible to reveal the main causes of the fresh water's shortage, to carry out the natural control measures and to develop the system of the rational managing the water resources.

1. Physics-geographical description of Republic of Yemen

Yemen is disposed on the south part of Arabian Peninsula, between 12° and 20° of north latitude and 41° and 54° of longitude to East of Greenwich. Yemen Republic (Al-Djumhuriya Al- Yamanija) – state on the South-West of Arabian

Peninsula, was generated on the 22 may of 1990 year as a result of joining Yemen Arabic Republic (YAR, or north Yemen) and National Democratic Republic Yemen (NDRY, or south Yemen). On the north Yemen borders on Saudi Arabia, but on the East- Oman, on the south Yemen is surrounded by Arabian sea and Aden gulf, on the west- Red sea (some parts of frontier don't definitude legibly yet). Also Yemen possesses the islands: Kamaran –in the Red Sea, Perim- in Bab Al-mandeb sound, Sokatra in Aden Gulf. Yemen's area is 527900 square km . capital -Sana'a (figure 1).



Figure 1. Card-scheme of Yemen Republic's geographical position

The most part of Yemen is covered on the west by the mountain massive with strongly traversed topography (Djabal), on the north – by plateau and on the east - by the tableous massives (Hadramouth), only the narrow coast strip presents itself the lower plain (Tehama). Littoral plain, as the narrow strip with breadth 20-30 km, partly to 80 km, along Red Sea and Aden Gulf (Tehama) are stretched from the sea shore to the mountain foot. Its absolute marks contain of 40 to 200 m.

The plainy surface is complicated by the beds of numerous vadi, which width changes of 49 m (at mountain foots) to 200m (at sea shore).

The surface, very pervious to water rocks, flat and concave forms of topography favors quick infiltration of atmospheric precipitates and does not encourage surface flow formation. Simultaneously these conditions favours re-underground waters, especially during heavy shower rains.

Yemen climate is differentiated from region to region: in the south desert – very hot, but summer and winter winds bring the sandy storms. The average June temperature is about 27°C, but the average January temperature is about 14°C (All the world..., 1998).

Climate of the Red Sea coast is very hard for life. The hottest season is since May to September. During these months most part of precipitates falls out, that increases a closeness. Average summer temperature is 37°C. There is the winter season since October to March with average temperature 20°C.

Climate is more favorable inside country, especially in the high-mountainous regions, where is located republic capital Sana'a city. However here air contains oxygen less by 20%, than on the coast. In Sana'a average temperature in December is 11°C, in July is 20°C... There is the coldest month January in Aden (on average 26°C), hottest – June (on average 33°C). It's no practically precipitates during year [Practical guide-book..... 1991].

Annual volume of the falling precipitations makes up about 60 milliard cub meter in Yemen Republic. The most precipitations, amount falls in the mountainous regions. The rainiest month is an august, dry weather is prolonging since November to January. Common precipitation amount's data in the main Yemen towns, fixed on the main meteorological stations in the 2002 year, are given in the Table 1.

Table 1. Annual precipitations amount in the largest Yemen towns in the 2002 year

Town	precipitations, mm	Town	precipitations, mm
Ta'izz	1,119.7	Sana'a	83.4
Ibb	556.8	Saywun	72.0
Hajjah	317.5	Sa'dah	66.5
Sokotra	239.7	Adan	57.1
Dhamar	201.8	Ma'rib	22.8
Al-Mukalla	85.2	Al Hudaydah	18.9

The average density of population over country is 37 person/sq.km, however its distribution is uneven extremely. More 2/3 of inhabitants are concentrated in Djabal (mountain part of the North Yemen) and on the coastal strip of Tehama. The density of population in some regions reaches to 235 person/sq.km here. The most populated regions on the south are located along the main vadi and on the seacoast. Hadramawt is most populated province, water 718000 persons. live (1994 year). Aden and its environs with population of 568700 persons. (2003 year) are considered a densely populated, ---Al-Mahrah less populated (its population in 1994 year --- 56500 persons.). There are no permanent settled population in the regions adjacent to desert Roob-Al-khaly. These regions are populated by nomads and half-nomads mainly. Now nomads – Bedouins of country number more than 100000. They are settled mainly on the East, North and North-East, as well on Sokotra. There are half-nomadic groups also in the mountainous regions. Common demographic indices are presented in the Table 2.

Table 2. Common demographic indices of Republic of Yemen

Index name	Value	Year
Population numbers (thousand)	18,349	2000
Forecasted population number to 2015 y. (thousand)	33,118	2015
Forecasted population number to 2050 y. (thousand)	102,379	2050
population numbers (last census)	14,587,807	1994
Index of the average annual population increase (%)	4.1	2000-2005
Density of population (person.km ⁻²)	29.5	1998
Percentage of urban population	25.0	2000
Number of towns with population more 100.000 persons.	5	1995

Main branches of Yemen economy : agriculture, timber industry, fishery, manufacturing industry, sphere of services, trade, business of hotel and restaurant, sphere of transport and communication, finances and operations with real estate.

Part of the worked land is 2.9% only of common area, but part of agricultural land and cultivated land is 2.9% of agricultural and cultivated land with area 1545thousand Ha. Part of irrigation worked land is 33%.

Electrical energy production in Yemen Republic is connected with mineral fuel usage. There are no atomic, geothermal, sunny, windy and hydroelectric power stations. Diesel electric stations power is 375MWt, for heating electric stations 435MWt, that composes 46.3% and 53.7% accordingly of total electric power.

Energy security problem for Yemen population acquires special sharpness, as the major part of population lives in the regions, distanced from centralized electro-energetically systems, and only 16% of population has an admittance to electric energy of the local private diesel-generators with small power.

Constant water channels are absent actually in Yemen. Small rivers and streams, originating in the mountainous part of country, constitute an exception; Ones' majority dry out hot season. Moore and Madab are most important rivers on the North, Masila- in the south regions. The usual and artesian wells are reserved as main water security source for localities.

2. Environment state in Republic of Yemen

Environment deformation occurs, local, regional, global violations of one arise as a result of any modern technologies' application. Any technology employs energy for direct or indirect influence upon environment. It permits to account value of energy, used by unit area, as integral index of anthropogenic influence [Kotljakov and other, 1995]. According to [Losev, 1996] coefficient of anthropogenic influence (K) is calculated by the next way:

$K^* =$	<i>Energy consumption on the unit territory of any country</i>	(1)
	<i>Average global Energy consumption</i>	

At first it was revealed ratio between coefficients of anthropogenic influence(K) on territory of ten Asian countries and population density (PD):

$$K^* = 0.33(PD^*)^{1.27} = 0.33(PD / 41.6)^{1.27} \quad (2)$$

Dimensionless value of population density PD^* is accounted by formula:

$$PD^* = PD / 41.6 \quad (3)$$

Here PD – actual population density, person.km⁻²; 41,6 – average global population density, person. km⁻².

After that we evaluated the dynamics of anthrop genetic influence upon Yemen territory since 1950 year to 2003 year (Table 3). It follows from these data since 1950 year to 2003 year, that coefficient of anthrop genetic influence upon Yemen territory has increased 7.5 times in connection with high temps of population increasing. Demography forecast that 24793712 persons will live in Yemen to 2010 year, but 33118000 persons – to 2015 year. In these cases accounts, carried out by formula (2), show, that K^* will be equal 0.038 to 2010 year, but 0.056 – to 2015 year. Presented values of K^* upon Yemen territory are very small and cannot lead to serious ecologic consequences. But high population increase can cause serious problem in connection with drinking water security, because now 69% of population have admission to fresh water only.

Table 3. Dynamics of anthropogenic influence upon Yemen territory

Year	Population	PD, person km ⁻²	K^*	Year	Population	PD, person km ⁻²	K^*
1950	4,461,000	8.45	0.004	1993	13,892,189	26,3	0.018
1960	5,483,000	10.4	0.006	1994	14,394,750	27.3	0.019
1970	6,628,000	12.6	0.007	1995	14,861,612	28.1	0.020
1980	8,527,396	16.2	0.010	1996	15,348,787	29.1	0.021
1985	9,841,522	18.6	0.012	1997	15,857,186	30.0	0.022
1990	12,023,220	22.8	0.015	1998	16,387,963	31.0	0.023
1991	12,888,524	24.4	0.017	2000	18,349,000	34.8	0.026
1992	13,379,284	25.3	0.018	2003	20,356,700	386	0.030

In spite of comparatively low values of K^* upon Yemen territory, serious ecologic problems can arise and, possibly, have arisen already in connection with Application of different pesticides in agriculture.

Now the main factor of changing the state of Yemen aerial basin is a human economical activity; natural sources of atmospheric pollution are negligible and mainly come to temporary intensification of its dusting in the result of windy erosion in the desert regions. The main sources of air pollution and ecologic situation's worsening are the next: industrial manufacture, transport, domestic human activity.

Overwhelming majority of electric stations, cement plants and other industrial enterprises are running with usage of the fuel oil and heavy fuel. A great amount of sulphurous anhydride (SO_2), carbon-monoxide (CO), and other poisonous and harmful gases are threw off to atmosphere in the result of the burning up the ones. Moreover cement plants are source of the entering inadmissibly great amount of cement dust in atmosphere. By this, majority of industrial plants have no systems for purification the gases, being thrown to atmosphere in the result of the burning off these types of fuel, also there is no systematic control of their composition. It concerns to many Yemen towns and to capital even. Among large thermal-electric stations only Ma'rib station is running at usage of natural gas. Brick plants, running with fuel oil also, promote atmospheric pollution and throw off to atmosphere not only poison gases, but brick dust, hovering in the air during long time. Also it's no barrier from the entering the stone dust to atmosphere; this dust arises during extraction of building materials in the quarries, number more than fifteen around Sana'a. Now Yemen transport means more than 350,000 units, which are running with petrol, containing much lead – heavy metal, dangerous for alive organisms. Transport means' exhaust gases contain also sulphurous anhydride (SO_2), carbon-monoxide (CO), soot and other harmful for alive organisms, components.

Data of Yemen environments' protection council show that 200 kg of CO , 20 kg of nitrogen oxides, 20 kg of hydrocarbons, more than 3 kilograms of sulphur dioxide, 10 kg of solid suspensions are being thrown off in air basins of largest Yemen towns every minute in the result of the using the heavy fuel and fuel oil. By this, air basins of towns Sana'a and Al Hudaydah are feeling most pollution.

In spite of limited reserves of water resources, works are carried on digging the wells, exhausting these reserves, moreover during similar works investigations on this subject, which were distributed both in correspondent state and not state organizations organizations, are not taken into account SO_2 , for instance, last investigation of Sana'a water level (underground waters) reveals lowering water level, which fluctuates between 6-7 m/year, by that common number of wells in Sana'a basin reaches 13,000. At the same time surface waters reserves cannot satisfy already growing necessity in ones, which are threatened by pollution. Also it's necessary to account for that under around waters, protection against pollution begins at surface waters' protection against some types of human activity, resulting in undesirable consequences in hydro chemical relation and in relation water quality; these consequences are harmful both for water and environment. As, in the result of growing necessities in water. Surface waters, reserves were exhausted almost, more sharp attention began to pay for under ground waters, which differs number properties at comparison ones with other sources of fresh water. (Ahmad shamsan , newsp. Al-Saura, 17 November 2003y, Ni 1425).

Most of experts considers yet Yemen shore regions one of the purest place in the world. However everyone discovers easily the all violations in the environment protection, which may be discovered especially in those shore regions around large towns and resting zones being flood by different wastes. More distributed wastes with growing amount of ones are different plastics wastes. Some kinds of plastic can be preserved in the sea during 450 years.

In spite of that, most of countries accepts the special laws such materials continue to come upon sea environment, and pollution by plastic waste continues to remain as a serious problem for environment.

Up to now Yemen feels sharp necessity in solutions of the serious measures for solutions this problem before it will become threatening.

Wrong deliverance of oil and chemical wastes threatens the Red Sea basin environment. Oil hydrocarbons are the most dangerous sources of water pollution, but shore pollution by oils and by-products of petroleum- chemical industry is a threat for sea flora and fauna.

3. Modern state of the water supply in Republic of Yemen

Personal water consumption in Yemen Republic composes only 2% of the mean global index and is equal 223 cub.m only. Where as on the Near east and in the North Africa-meanly 1250 cub. M. Yemen is lost of thirst. What is the cause of such sharp water shortage? Collaborator of Yemen water-supply Department Gamal Mohammed Abdu says: "Yemen population has got used to problem of water shortage First of all this problem is connected with natural peculiarities of our country. But it's important how our population uses the presenting water." It's natural that main consumer is agriculture (figure 2), where old non-effective irrigation systems are used as before.

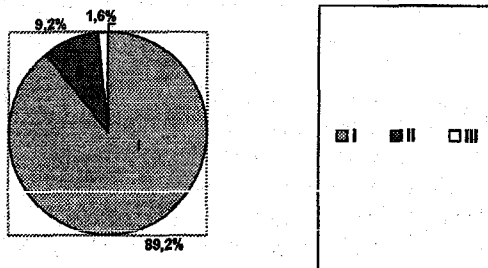


Figure 2. Distribution of Yemen water- consumption in the Republic of Yemen, % (I – agriculture, II- Industry, III- municipal economy)

Yemen Ministry of agriculture informs that it's used 40-50% of water only, i.e. half of water is lost simply. The level of subsoil waters in Yemen falls constantly, in other regions- to 6m/year. Yemen expert accounts that it is a frightening perspective.

Process with today's pernicious consequences develops since 70th years. Boring the deep slits started at that time, powerful pumps did pumping out enormous amount of water to surface. In accordance with Uno's estimations, water sources in Yemen capital Sana'a will exhaust completely to 2010 year (QUIVER, 2006).

Constant water courses are absent actually. Small rivers and streams originating in the mountainous Part of country, compose an exclusion, most of ones dry out during dry season. The most considerable rivers on the North – are Moor and Madab, in the south regions-Masila. Usual wells and artesian wells remain as the main source of water – supply for localities. At present time average annual consumption of restored waters for one person composes no more, than 250 cub. m. after 30years this forecasted index will reduce to 76-100 m³, that is less significantly, than physiological needs. Annual volume of falling precipitations in Republic of Yemen composes about 60 billion m³.

Most of ones evaporate, part of one is flowing together ocean, and some amount re-stocks underground waters. Last are main water supply sources of the all economic and municipal needs.

Yemen water resources are distributed and used very irregularly. 90% Yemen population expends not more than 90 cubic meters of water in year for one man. Water resources problem is sharp extremely on the west of country. Water reserve, fit for usage in west Yemen, is evaluated about 35 million cubic meters, and even at present temps of water usage these resources will exhausts completely during nearest 50 years. Situation in the densely populated regions is get worse. So about 10% of country population lives in Sana'a basin.

About 224 million cubic meters of underground waters did was extracted here in 1994 year, but supplement not exceed 42 million cubic meters, i. e. expenditure exceeded receipt more than 5 times. During nearest years it is forecasted full expenditure of underground waters in Republic capital Sana'a , where average annual population increase composes 8%.

The only happy (with underground water resources) place in Yemen is Hadramout region, located in the sparsely Populated south-east part of country, at distance about 500 km from capital. Here renew water resources reach 280 million cubic meters/year, and these reserves are enough for some millenniums at present temps of water usage.

The main causes of present water crisis in Yemen are the next: constantly increasing demand for water as a result of country population increase (Large, 2003), extension of agricultural areas, demanding. The artificial irrigation, absence of state control after processes of extracting and consumption the underground waters.

Possibility of control after underground waters usage is complicated by the fact that about 45 thousands. Private wells and 200 bore-holes numbers in country. Government attempts of license the usage of private wells and splits and of state inspecting the ones were found to be unsuccessful in the result of imperfection of organization- administrative state structures. Yemen is the only country, where

underground waters are exhausting with such high temps. Sana'a can remain without water in the nearest future.

Renewed underground water resources are estimated at present approximately as 1.2 billion cubic meters/year. Volume of average annual underground waters consumption composes about 8.2 billion cubic meters, i.e. sevenfold volume of annual resumption. It is counted up that bedding level of underground waters comes down in the most of country regions by 1-6 m annually. So, in Kaa - Alboon (near Amran) underground waters level fell down by 60m roughly after last twenty years and by 30m after last 5 years. Temps of exhaustion the underground waters, reserves are increasing quickly partly, in connection with quick population increase and activization of different types of its economic activity.

The negative moment, connected with water usage, is not only its sharp deficit, but also the large danger of pollution by deviations from human activity, especially, in conditions of absence water purifying buildings and water-line and sewerage nets also.

Predominant method of deliverance from sewages is theirs disposal in wells by depth to 20 m. As a result, such wells are the sources of polluting the underground waters. Even in capital Sana'a waters purification is realized still in the temporary oxidation reservoirs, which receive sewages in volumes, exceeding its productive capacity. As a result, polluted waters are found in environment, used of ten for irrigation of fields, that leads to decreasing of agricultural products quality and to polluting the ones often. So chemical and bacteriological analyses of waters, taken out of the wells in the region of Al-Rawda (at international carport Sana'a) give evidence concerning its pollution by nitrates, phosphates, iron and about great content of pathogenic bacterium's also. The Same picture is typical for the wells, arranged in the centre of town and near sewages reservoirs. In Aden only 25% of sewages are collected in oxidizing reservoirs. In future these waters are used for irrigation of the nearest agricultural years.

Here it is proper to remark, that volume of the world sewages is evaluated as 1500 km³. But 1L of sewages makes unfit for drink 8 L of the fresh water.

At present only 35% of Yemen population receives water, fit for drink. This index conforms about 74% in towns, but in rural area.. about 14% Consequences of using the waters of poor quality are unfortunate. About 70% deaths of infants in arms is provoked by different illnesses, derived through water.

Problems of supplying the population by qualitative water are complicated by the quick and irregular elemental growing up the towns that is caused by intensive intake of rural population in ones. Migrants are settling in the towns, infrastructure of which is not ready to accept so much of the new inhabitants. Large amount of houses is being built on suburban areas, where is no water-line and sewerage nets.

About 3/4 unpurified waters of the coastal towns are being thrown directly in sea, that influences destructively upon ichthyofauna, causes derma-diseases and makes conditional upon other illnesses of population. It is exclusively serious

ecologic problem, as the state with small area has the sea coastal line along Red and Arabian seas by length of more, than 2000 km.

Fast temps of ecologic polluting the coastal sea waters are caused in the highest degree by population increase and uncontrollable growth of the coastal towns without building the necessary utility systems for water-supplying the industrial objects and towns' population and for bleed and purification of the used waters.

Growing deficit of the fresh water in Yemen Republic, its absence in droughty or deserted regions, having rich natural resources and perspective for assimilation, makes the necessity of searching there additional water sources (deficit of the fresh water is felt on the territory of more than 40 countries, distributed mainly in the arid and also in dry regions and composing about 60% surface of the all global land).

As is well known, human organism consist of water by 64% water is less of all in the bones and in adipose tissue – 25-30% in muscles and in viscera- about 70-80%, but saliva consist of water by 99.5% (Dmitriev, Frumin, 2004). At loss of 6-8% water man falls in to half-syncope, loss of 10% water provokes hallucination, violates swallow- reflex. At loss of water by 12% lethal issue (death) is coming to. At the same time polluted water's usage is very dangerous for the health and life of man.

About 50,000 men of the world are dies every day of such illnesses through water as cholera, typhoid, dysentery and other, moreover most part is composed by children to 5 years. So, outbreak of cholera was observed in Tanzanija with picking up the infection by water way. Sickness rate increased especially sharply in season of rains that is caused by conditions of survival for cholera of rains that is caused by conditions of survival for cholera bacillus (to 2 weeks in the fresh water, and more 8 weeks- in the salty water environment).

Share of the sicknesses, caused by consumption of water unfit for drink and preparation of food, is up to 75% of cases.

Quality of drink water must correspond to sanitary norms before one's entering in distributive net and at the water inlet's points of the external and internal waterline net.

Harmlessness of drink water by chemical composition is determined by its corresponding to the next norms:

- generalized index and content of harmful chemical substances, that are being founded most often on the territory of Yemen Republic , and also of substances of anthropogenic origin, haring the global spreading,
- content of harmful chemical substances, entering and being formed in water during her treatment in water-supply system.
- Content of harmful chemical substances, entering in water-supplement sources in the result of the human economic activity.

It should be remarked especially, that in spite of very actual and unsolved in principle water-security problem in Yemen Republic, it is developed and used sanitary norms of harmful substances, content in drink water (Table 4) and in the sewages, used for irrigation (Table 5) (limit acceptable concentration - LAC).

Table 4. LAC of some harmful substances in drink water of Yemen Republic

N	Elements	Symbol	Dimensions	FAC
1	Lead	Pb	mg/l	0.05
2	Selenium	Se	mg/l	0.01
3	Arsenic	As	mg/l	0.05
4	Chromium	Cr	mg/l	0.05
5	Cyanogen	CN ⁻¹	mg/l	0.1
6	Cadmium	Cd	mg/l	0.005
7	Mercury	Hg	mg/l	0.001
8	Antimony	Sb	mg/l	0.01

Table 5. LAC of chemical elements in sewages, used for irrigation in Republic of Yemen

N	Element	Symbol	FAC mg/l
1	Aluminum	Al	5.00
2	Arsenic	As	0.10
3	Beryllium	Be	0.10
4	Cadmium	Cd	0.01
5	Cobalt	Co	0.05
6	Chromium	Cr	0.10
7	Copper	Cu	0.20
8	Fluorine	F	1.00
9	Iron	Fe	5.00
10	Lithium	Li	2.50
11	Manganese	Mn	0.20
12	Molybdenum	Mo	0.01
13	Nickel	Ni	0.20
14	Lead	Pb	5.00
15	Selenium	Se	0.02
16	Vanadium	V	0.10
17	Zinc	Zn	2.00

It was drawn up water - economic balance for basing the directions of water-security's improvement in Yemen republic, this balance is a quantitative ratio between entering (receipt part) and expenditure (expences part) after definite period, being considered in regard to the picked out balance sector. The order of composing the equation of water- economic balance was concluded in the next:

- It was settled time interval, after that balance is bring considered (one year).
- It was registered the all elements of balance in form of algebraic of credit debit items.
- It was determined numeral meanings of the all balance elements.
- It was evaluated balance results, i. e. those changes of water reserves, which occur in Yemen territory in the result of balance elements interaction.

Water-economic balance of Yemen Republic can be presented in general aspect by the next. Receipt part of balance is being formed of precipitations volume (Vpr.). Expenses part of balance is being formed of rain water's infiltration (through water- bearing levels) volume (vinf.). evaporation and transpiration volume (Vev), climatic drainage (Vdr.) and water-consumption (Vcons). Balance Equation for time (t) has a form:

$$\Delta W = Vpr. - Vinf. - Vev. - Vdr. - Vcons., \quad (4)$$

Where ΔW - water reserves, change during time t.

In accordance with our accounts $Vpr. = 51.10^9 \text{ m}^3/\text{year}$ for 2000y $Vcons. = 3.4. 10^9 \text{ m}^3/\text{year}$. Value Vinf. Was being considered as product of Vpe. by some coefficient k, which meaning was accepted to be equal 0.1 in accordance with (Numan Salim, 1998), i.e.

$$Vinf. = 0.1 \cdot Vpr. \quad (5)$$

It was carried out the mathematics- statistical treatment of literature data and were revealed numerical meanings of evaporation coefficient (α_1) and of drainage coefficient (α) for accounting Vev. And Vdr. it were resulted the next values" $\alpha_1 = 0.936$; $\alpha = 0.065$. These meanings were used for account of water-economic balance at using the next formulas (Table 6):

$$Vev. = 0.936 \cdot Vpr. \quad (6)$$

$$Vdr. = 0.065 \cdot Vpr. \quad (7)$$

Table 6. The elements of water-economic balance in Yemen, m^3/year

Vpr.	Vinf.	Vev.	Vdr.	*Vcons.			ΔW
				agriculture	municipal economy	industry	
51.10^4	$5.1.10^4$	$47.7. 10^4$	$3.3. 10^9$	$3.145.10^3$	$0.21.10^9$	$0.045.10^9$	$-8.5.10^9$

Note. * It's given of value of Vcons for 2000y.

The negative water-economic balance ($\Delta W = -8.5 \cdot 10^9 \text{ m}^3/\text{year}$) is evidence of necessity in measures, compensating water shortage.

Analysis of data, given in the Table 2 shows, that water consumption volume is 14.2 times less, than precipitations volume ($Vpr./Vecons. = 51 \cdot 10^9 / 3.4 \cdot 10^9 = 14.2$).

Other variant of calculating the water – economic Balance is given in work (Kamel Mostafa Amer Waleed k. Al-Zubari, 2006). Authors consider water balance as difference between common water resources in 1997y and common

water consumption. In accordance with evaluations of these investigators, negative water-economic balance in Yemen composed- $1.38 \cdot 10^9 \text{ m}^3/\text{year}$ for 1997y, but in accordance with prediction it will compose $-4.186 \cdot 10^9 \text{ m}^3/\text{year}$ for 2025y. use of considered approach permitted to calculate the dynamics of negative water-economic balance in Yemen since 1990y. to 2025y. (Table 7).

Difference between water deficit values by 1st and 2^d variants of calculations is conditioned by that in 1st variant receipt past of balance was connected with rainy precipitations, which are not using up to now, but in 2^d variant – with underground waters, which are the main source of water-security in republic at present time.

Table 7. The dynamics of water-economic balance in Republic of Yemen

Year	General water resources m^3	General water consumption m^3	$\Delta W, \text{m}^3$	Year	General water resources m^3	General water-consumption m^3	$\Delta W, \text{m}^3$
1990	$2.0 \cdot 10^9$	$2.8 \cdot 10^9$	-0.8	2005	$1.3 \cdot 10^9$	$3.7 \cdot 10^9$	$-2.4 \cdot 10^9$
1995	$1.7 \cdot 10^9$	$3.1 \cdot 10^9$	-1.4	2010	$1.1 \cdot 10^9$	$4.0 \cdot 10^9$	$-2.9 \cdot 10^9$
2000	$1.5 \cdot 10^9$	$3.4 \cdot 10^9$	-1.9	2025	$0.7 \cdot 10^9$	$4.8 \cdot 10^9$	$-4.1 \cdot 10^9$

4. The directions of the water supply development in Republic of Yemen

We considered the next possible ways of deciding the water- security's problem in Yemen: transportation of icebergs, sewages, purification, buying of water in other countries, desalination of sea waters, installation the condensers of water from atmospheric air and of underground poured reservoirs (figure 3).

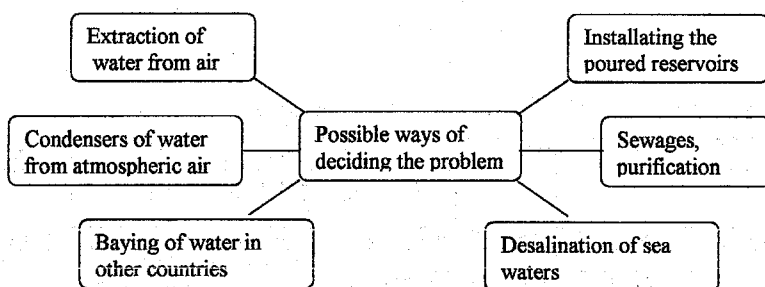


Figure 3. Possible ways of deciding the water supply, problem in Republic of Yemen

One of possibilities for improvement of water balance is concluded in repeat water usage. Significant reserve of water- consumption in Yemen republic is connected with sewages' purification, as about 75% unpurified waters of coastal

towns are thrown off directly in sea. Yemen industrial plants are concentrated in the four big towns:

Sana'a, Taiz'z , Al-Hodayda, Aden. Most of ones throw off the waste waters, polluted by industrial wastes and by municipal wastes, waters any purification directly in sewer net and in sea. However only about half of urban population (2.3% population of country) is enveloped by sewer net. More sharp situation-in rural area, where most part of population live. Here about 10% of population is provided with sewer net. Sewages volume in republic is equal $82.9 \cdot 10^6 \text{ m}^3$, but only 55% of ones ($45.1 \cdot 10^6 \text{ m}^3$) is purified. So, $37.3 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ of sewages are not purified.

One of the most effective and perspective ways of securing Yemen republic by fresh water is desalination of the salt sea waters (salinity of the Red Sea, waters reaches 42%). Water desalination is method of water treatment in order to reduce concentration of dissolved salts to degree (usually to 1 g.L^{-1}), at which water becomes fit for drink and economic purposes.

We considered different methods of sea waters, desalination (desalination by freezing out, chemical precipitating, ionic exchange, electrodialysis, reverse osmosis, distillation and solar desalination. However, main attention was concentrated on solar desalination, accounting climatic peculiarities of Yemen (high values of insolation).

The essence of this method consists in the fact that evaporation of salt water, which fills up reservoir, takes place in the result of solar radiation's influence, but condensed distillate, being formed on inclined planes of glass or plastic roofs, is collected in gutters, arranged in lower part of roof, the rest brine is removed to drainage (figure 4).

Technologically solar desalination differs from usual distillation installations only by that special heat exchangers with glass surface, fed by heat of sun energy, are used for initial heating of water. Solar distillation differs advantageously from other methods of desalination, as one requires relatively lesser running costs.

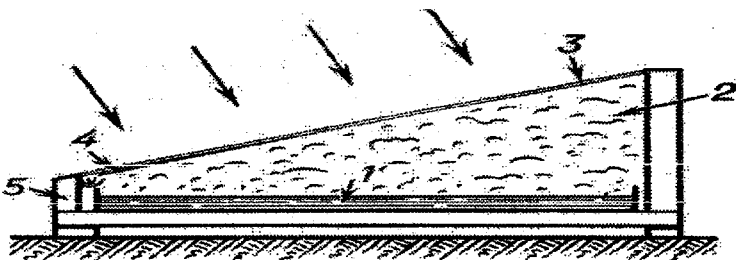


Figure 4. Solar distiller scheme of type "hot box"

1. Vessel with salt water. 2. Steam - air mixture. 3. Transparent cover.
4. Condensate. 5. Heat-isolating wall of the box, sun rays are marked by arrows.

Solar distillers dimensions are determined mainly by their productivity, which may be calculated with some assumptions by approximate formula:

$$Q = kE/L = kE/580, \quad (8)$$

Where Q- specific productivity of distiller, $L/m^2 \cdot day$

k - coefficient of solar energy, utilization, accepted being equal 0.3-0.5;
E-intensiveness of solar radiation, $L = 580$ – expenditure of energy for heating and evaporation of 1 kg water.

Formula (8) was transformed for carrying out the practical calculation. At this the mean value of k ($k = 0.4$) was accepted. Next formula was obtained as a result.

$$Q = 0.593 \cdot E \quad (9)$$

In the resulted formula Q has the following dimensional representation- $L/m^2 \cdot day$, and E - $kWt.h/m^2 \cdot day$.

Average monthly and average annual specific productivities of solar distillers for three large towns of Yemen Republic (Sana, Hodayda, Ta'izz) (figure 5) were calculated by formula (9) at using the insolation values data.

It is to mark that calculated values of desalination specific productivities are close to ones, which are adduced in work (Salem M.Bin Gadhi Mohammed A. Mukbel, 1998). Particularly it's noted in this work, that for usual day productivity of solar desalination reaches $3.7 L/m^2 \cdot day$.

Shortages of this method are the next: large capital investments because of constructions, complicity and of too great installations, parameters, low production on unit surface of solar distillers. Non-controlled weather changes, cloudiness, latitude of place, season temperatures, variations makes significantly difficult and limits the application of solar distillation method.

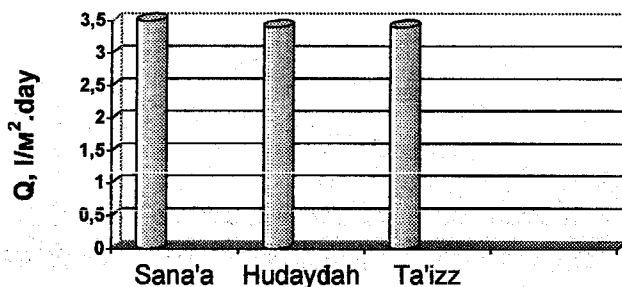


Figure 5. Average annual specific productivity of solar distillers in some towns of Yemen Republic (calculation data)

In addition to expounded we calculated solar distillers, areas, providing for drink water's production in three examined towns during year. Standard mean characteristics of man and in particular, quantity of drink water for adult man during day (2L) used at calculations (Table 8).

Table 8. Areas of solar distillers for drink water- supply of some towns' population in Republic of Yemen

Town	Distiller's specific productivity, Q, L/m ² ·day	Population	Distillers area, hectare
Sana'a	3.5	1,834,293	104.8
Hodayda	3.4	826,672	48.6
Ta'izz	3.4	566,569	33.3

At present Yemen authorities plan to begin immediately the building of tens plants for sea water's desalination. Already at the nearest time Yemen government plans to announce tenders on projects of building the numerous plants for water sea's desalination along Yemen coast, which has length about 2000 km.

One of directions, permitting to decide partially the problem of water resources, deficit in Yemen, is the using waste gases, heat of cement and other plants, furnaces for water sea's desalination. Our calculations indicated, that using the waste gases of these plants permits to receive about $2 \cdot 10^8$ kg ($2 \cdot 10^8$ L) fresh water in year. If we take into account, that it's necessary to spend 10^3 L of water for growing 1 kg of wheat, so foregoing amount of water, being used for irrigation, will permit to grow 200 tonnes of wheat.

The other direction of compensating the fresh water's deficit- is water extraction out of atmospheric air. Condensers of different type are used for this purpose. Method of obtaining the fresh water out of atmospheric air consists in fact, that moisture absorption out of air takes place during its blowing through sorbent, which returns moisture at heating and following condensation of vapour, and differs by that as sorbents it's used material, composing of porous matrix and hygroscopic substance, placed in pores. As porous matrix are used inorganic oxides, carbon sorbents, polymers, natural sorbents, porous metals, porous composites are mixtures of ones, as hygroscopic substance are placed in pores inorganic salts, their mixtures, their solutions and their crystalline hydrates.

At this, heating the sorbent on the stage of water desorption is being fulfilled to temperature 50° - 80° C at the expense of using the solar or electric energy and different diesels, heat also, and temperature in the condenser is supported near environment temperature.

Water amount, which may be received out of atmospheric air, depends on the next factors: temperature and humidity of environment air, temperature of condensing surface, volume of air, passing through the system of moisture condensation. It is evident, that arrangement of devices of water extraction out of air is expedient on that territory, which is characterized by high relative humidity of air.

In this connection we have tried to reveal dependence of air's relative humidity values upon locality height over sea levee (E). The next relationship was revealed as result:

$$RH = 91 - 6,6 \ln(E) \quad (10)$$

$$N = 28; r = 0,76; r^2 = 0,58; F_P = 35,9 \quad F_T = 4,21; F_P / F_T = 8,5$$

As quoted from presented formula, relative humidity of air reduces linearly with increasing the natural logarithm of territory's height over sea level (in height interval of 5m to 2500m).

Obtained result heads to conclusion about expediency of devices, placing for water extraction out of air on the territories located rather lowly over sea level, for instance in the region of Mocha ($E = 5m$).

Water deficit' compensation in Yemen may be realized also on the base of progressive irrigation ways. Freckling irrigation is most perspective among different irrigation ways (surface, sprinkling, aerosol moistening, subterranean, treickling). Freckling irrigation is the local irrigation with rid of micro-floodgates, irrigation deoppers). Freckling irrigation has an advantage over other types of irrigation. It surpasses surface and sprinkling irrigation at point of water economy. At irrigation, the coefficient of useful water utilization is determined as relationship be tweet water amount, assimilated by plant, and water amount, expended on watering. The investigations show that this value composes about 95% at trickling irrigation and 45%- at surface irrigation.

In 2000 year $3.145 \cdot 10^9 \text{ m}^3$ of water was expended on irrigation in Republic. Passage to trickling irrigation allows saving about $1.655 \cdot 10^9 \text{ m}^3$ of water in accordance with our cal relations.

Annual precipitations' amount in Yemen Republic ($V_{pr} = 51 \cdot 10^9 \text{ m}^3/\text{year}$) exceeds annual water-consumption's volume ($V_{cons} = 3.4 \cdot 10^9 \text{ m}^3/\text{year}$) to 15 times. Moreover. Value of annual discharge volume ($V_{dis} = 3.3 \text{ m}^3/\text{year}$) is commensurable with water-consumption volume ($V_{cons} / V_{dis} = 1$). Most part of falling out precipitations is expended on evaporation, some amount fills up underground waters reserves, part is flowing down the Red Sea, the Gulf of Aden and the Arabian Sea.

In our opinion, the quantity of the flowing dawn precipitates may be reduced essentially by installation of reservoirs under earth surface (under, round reservoirs, filled with water).

Basing of localities for installation of filled reservoirs was carried out in several stages. Analysis of rain precipitates' distribution over Yemen territory was carried out on the first stage. Analysis testified that the largest precipitations, quantity falls in the west mountainous part of Yemen. Analysis of precipitations volume within year was carried out on the second stage. Analysis results are evidence of irregular volume of falling precipitations during year. For instance the greatest precipitations amount falls in Taiz'z in April (152.2mm) May (216.4mm), July (214.5mm), August (181.9mm) and September (180.5mm).

Analysis of topographical card of Yemen was fulfilled on the third stage, this card contains horizontal iso-lines, indicating location of different territories over sea level. It's a pity, that the scale of our topographic card of Yemen (1:1000000) didn't allow to calculate exactly distance between vadi (out dried river-beds).

Nevertheless, the essence of proposed idea is enclosed in the installation of filled reservoirs' along vadi, where the main flow of the rain precipitations in Red sea takes place. Accounts has shown, that practical realization of such approach allows to gather very great amount of the rain precipitations (Table 9).

Table 9. Rain precipitations' volume, that may be gathered by underground filling reservoirs in the west part of Yemen

Vadi	Basin, km ²	Mid-annual runoff, mm	Mid-annual runoff, m ³
Harad	1,700	6.0	10.2·10 ⁶
Mawr	7,912	20.5	162.2·10 ⁶
Surdud	2,370	28.9	68.5·10 ⁶
Rima	2,250	44.0	99.0·10 ⁶
Zabid	4,632	27.0	125.1·10 ⁶
Rasyan	1,990	6.2	12.3·10 ⁶
Tuban	5,060	21.6	109.3·10 ⁶
Rabwa	460	12.5	5.8·10 ⁶
Bana	6,200	27.2	168.6·10 ⁶
Ahwar	6,419	11.0	70.6·10 ⁶
Adhana	8,300	10.5	87.2·10 ⁶
Amd/Doan	6,553	3.1	20.3·10 ⁶
Al Ayn	1,500	6.4	9.6·10 ⁶
Sarr	2,540	1.2	3.0·10 ⁶
Bin Ali	720	4.4	3.2·10 ⁶
Juaymah	760	1.0	0.76·10 ⁶
Idim	5,485	7.5	41.1·10 ⁶
Thibi	718	2.6	1.9·10 ⁶
Total	65,569 km²	241.6 mm	998.7·10⁶ m³

Primary data for calculations were borrowed of (Jac A. M. Vander Gun, 2000).

As follows from presented data, realization of proposed project will allow to gather about $1 \cdot 10^9 \text{ m}^3$ of rain precipitation, that will amount to about 29,4% of modern water consumption in Yemen Republic ($3.4 \cdot 10^9 \text{ m}^3/\text{year}$).

At projecting the filled reservoirs it is necessary to pay attention to minimum expenditure of materials (concrete, ferro-concrete and so on).

Let filled reservoir has the form of open cylinder. At manufacturing the reservoir material goes to make walls and bottom of reservoir. If r-radius of basis

and h-reservoir's height, then sum of basis area and side surface of cylinder is expressed by the next:

$$F = \pi r^2 + 2\pi r h \quad (11)$$

Cylinder volume V is equal :

$$V = \pi r^2 h \quad (12)$$

Excluding h, we receive:

$$F = \pi r^2 + 2V/r \quad (13)$$

Task essence consists in finding for given cylinder volume such meaning r, when surface F would be minimum. Differentiating (11) with respect to r and equating first derivative to zero, we relieve :

$$dF/dr = 2\pi r - 2V/r^2 = 0 \quad (14)$$

Then :

$$2\pi r^3 = 2V \quad (15)$$

As

$$h = V / \pi r^2 \quad (16)$$

So from this we find:

$$h = r \quad (17)$$

So far as second derivative

$$d^2F/dr^2 = 2\pi + 4V/r^3 \quad (18)$$

is positive, then at $h = r$ surface reservoir will be minimum.

In other words, the largest economy of materials will be achieved in that case, when reservoir height will be equal its radius. In this case reservoir volume will be equal:

$$V = \pi r^2 h = \pi r^3 \quad (19)$$

Or

$$r = h = (V/\pi)^{1/3} \quad (20)$$

For illustration we present the calculation results of some filling reservoirs for some vadi being characterized by largest, medium and least flow of rain precipitation (Table 9). In presented calculations we took into account flow-volume only, but didn't take into account dead volume of filling reservoir.

Table 9. Dimensions of underground filling reservoirs for some "vadi"

Vadi	Volume of runoff, m ³	Height = radius, m
Bana	168.6·10 ⁶	380
Zabid	125.1·10 ⁶	340
Idim	41.1·10 ⁶	240
Amd/Doan	20.3·10 ⁶	190
Rasyan	12.3·10 ⁶	160
Bin Ali	3.2·10 ⁶	101

Presented results of calculations show that linear dimensions of filling reservoirs are very large in dependence of flow volume. Seemingly, in these cases it is necessary to place along vadi a number of filling reservoirs with lesser dimensions. In common case, relationship between reservoir dimensions (height, radius) and flow volume is described by next formula (Figure 6):

$$r = h = 58,9 \cdot \ln V_{fl} + 448 \quad (21)$$

At installation of filling reservoirs problem of preventing the losses of water at the expense of evaporation is very actual. At present, main direction in deciding the considered problem is disclosed rather clearly, it is a defense of water surface at aid of chemical reagents: distress baling over water surface, ones forms the film, hindering the evaporation. The most effective of ones were hlexadlcyl (cetyl) ($C_{16}H_{33}OH$) and okta-decyl ($C_{18}H_{37}OH$) alcohols and its mixtures. It advantages are the next: simplicity of piling up the protective layer, absence of toxic properties, comparive easy of access. Cetyl alcohols film on the water is invisible near by, doesn't change her taste, colour and smell. Analysis doesn't discover the presence of cetyl alcohol in water, protected by its film.

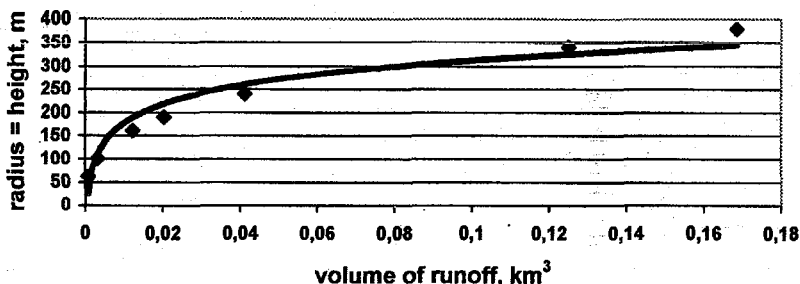


Figure 6. Relationship between radius (height, m) of underground filling reservoir and caught flow volume, km³

Only 11g of alcohol is required theoretically for making the uninterrupted film of cetyl alcohol over unit surfer of one hectare ($100 \times 100m$). Tentative estimation of cetyl alcohol amount, necessary for water surface, covering in aforementioned filling reservoirs, shows, that it varies since 500g to 13g (Table 11).

Table 11. Cetyl alcohol's amount for preventing the water evaporation out of filling reservoirs

Vadi	Surface of reservoir, hectare	Theoretical mini- necessary amount of cetyl alcohol, g
Bana	45.3	500
Zabid	36.3	400
Idim	18.1	200
Amd/Doan	11.3	124
Rasyan	8.0	88
Bin Ali	3.2	35
Juaymah	1.2	13

Generalizing the results of our calculations shows that realization of proposed measures on compensation of the fresh water's deficit allows to produce additionally and to save about $2.9 \times 10^9 \text{ m}^3$ of water (Table 12).

Table 12. Proposed measures on development of water supply in Republic of Yemen

Measures	Produced additionally or saved volume of water
Transfer to trickling irrigation	$1.7 \cdot 10^9 \text{ m}^3$
Mount of underground filling reservoirs	$1.0 \cdot 10^9 \text{ m}^3$
Utilization of cement plants' waste gases	$0.2 \cdot 10^9 \text{ m}^3$
Installation of heliodistillers of sea water in Sana, Taiz'z, Hodayda	$2.3 \cdot 10^6 \text{ m}^3$
Total	$2.9 \cdot 10^9 \text{ m}^3$

Conclusions

1. One of sharpest problems in Yemen Republic is the security of national economy and domestic needs of population by fresh water.
2. At present Yemen Republic is characterized by high temps of natural population increase (4.1%), low electric power availability per man (150.3 kWt.h, slight precipitation, amount (on the average upon Republic- not more, than 100mm in year) and absence of land's surface waters. Quick population increase and economic development in these conditions intensifies water shortage all time, that threatens by "water hunger".
3. Dynamic of electric energy's production in Yemen Republic is characterized by appreciable increase since 1967 year ($17 \cdot 10^6$ kWt.h) to 1994 year ($1958 \cdot 10^6$ kWt.h) and by sharp decrease in the following years ($240 \cdot 10^6$ kWt.h in 1999 year). That limits sharply solving the problem of water supply by desalination of the sea waters and mount of hydro technical constructions for gathering of rain precipitation and its following transportation.
4. Water economic balance of Republic of Yemen, consisting of receipt-part (precipitation) and expense part (infiltration, evaporation, climatic flow, consumption), is characterized by the next values: precipitation- $51 \cdot 10^9$ m³/year, infiltration- $5.1 \cdot 10^9$ m³/year, evaporation- $47,7 \cdot 10^9$ m³/year flow- $3.3 \cdot 10^9$ m³/year, consumption- $3.4 \cdot 10^9$ m³/year. Negative water-economic balance ($-8.5 \cdot 10^9$ m³/year) is evidence of necessity in measures on compensation of water deficit.
5. For compensation of water- security's deficit it is necessary to work out complex of technologies, safe technologically.
6. For compensation of the fresh water's deficit in Yemen Republic it is necessary to mount solar distillers of sea water, to use the waste gases of cement and other plants for desalination of sea water by distillation method, to mount the filling reservoirs along vadi for gathering the rain precipitation, to use water condensers out of atmospheric air, to go over to trickling irrigation and to make additional purification of sewage.
7. Going over to trickling irrigation will allow to save about $1.655 \cdot 10^9$ m³ of water.
8. Annual precipitation amount in Yemen Republic exceeds volume of annual water consumption in 15 times ($51 \cdot 10^9$ m³/year and $3.4 \cdot 10^9$ m³/year accordingly). Installation of the filling reservoirs will allow to gather about $1 \cdot 10^9$ m³/year of rain precipitation, that consists about 30% of modern water-consumption in Republic of Yemen.
9. Largest economy of materials will be reached in that cases, when cylinder height of the filling reservoir will be equal its radius. For decreasing of water evaporation it is expedient to apply high aliphatic alcohols or acids on surface of water, gathered in reservoir.
10. At a choice the concept of producing the fresh water would be carried out, coming from local conditions with due account of origin water's properties

(sea or atmospheric water), of energy sources, infrastructure etc. for purpose of producing the maximum economic efficiency.

References

- 1- *Al-Mureish Khalid Abdo Saeed Ali* (2002) Problems of rational water-consumption and control of water resources in Yemen. In the monograph: Historical geoeology and evolutionary geography. Edited by E.M. Nesterova. SPG.: Epigraph, P. 135 -138.
- 2- *Al-Mureish Khalid Abdo Saeed Ali* (2003) Social-economic pre-conditions of ecologic problems, complication in Yemen Republic. Collection of Scientific works. Edited by G.I. Jurenkova. SPG. "Epigraph, P.8-12".
- 3- *Al-Mureish Khalid Abdo Saeed Ali* (2004) State of the air basin in Yemen. Collection of scientific works. Geography and adjacent sciences. Herten reading matters/ Edited by G.L. Jurenkova. SPb.: Epigraph, p.3-5.
- 4- *Al-Mureish Khalid Abdo Saeed Ali, Frumin G.T.* (2006) Problems of water – security in Yemen Republic. Lectures, theses of Academic council RSMU (25-26 January of 2006 y.). Spb.: RSHMU, P.112-113.
- 5- *Al-Mureish Khalid Abdo Saeed Ali, Frumin G.T.* (2006) Water-security problem in Yemen Republic: Modern state and ways of salvation// SPb.: scholarly transactions of RSHMU, № 2, p.136-151.
- 6- *Al-Mureish Khalid Abdo Saeed Ali* (2007) Basing the complex of water-security technologies, safe ecologically, in Yemen Republic. Candidate dissertation. SPb.: RSHMU.
- 7- Large encyclopedia of Cyril and Mefodija (2003) (Electron Version).
- 8- *Dmitriev V.V., Frumin G.T.* (2004) Ecologic regulation and stability of the natural systems. SPb.: Science.
- 9- *Quiver V.* (2000) Will Germans help to turn Yemen to prospering country. Germany wave. WWW.dw.-world.de
- 10- *Kotljakov V.M., Losev K.S., Suetova I.A.* (1995) Energy enclosure in territory. As ecologic indicator. – Proceedings of the Academy of Sciences, ser. Geography., No. 3, p.70-75.
- 11- *Losev K.S.* (1996) Ecodinamics of Russia and its interaction. SPb.: Scientific centre of RAS.
- 12- *Numan Salim* (1998) Evaluation of water resources of west Yemen. Candidate dissertation. SPb.: RSHMU.
- 13- Practical guide-book on 97 countries of world (1990) M.: INTO.
- 14- *Tolokontsev N.A.* (1991) Toxicology of hydrosphere // Medical sciences Academy of the USSR'S Bulletin, N:1 , p.33-38.
- 15- *Frumin G.T., Al-Mureish Khalid Abdo Saeed Ali* (2005) The dynamics of anthropogenic influence upon territory of Republic of Yemen. Materials of the international scientific conference on 25-27 of May 2005 y. SPb.: RSHMU, P. 52-53.
- 16- *Frumin G.T., Al-Mureish Khalid Abdo Saeed Ali* (2006) Water of salvation// Sea Bulletin. N. 4 (20). P. 57-59.
- 17- *Jac A. M. Van der Gun* (2000) Lecture Notes On "Hydrology Of Yemen". Sana'a June 2000.

- 18- *Kamel Mostafa Amer & Waleed K. Al-Zubari* (2006) The Need for Desalination and Water Reuse as Non-Conventional Water Resources in the Arabian Peninsula. In book: Policy Perspectives for Ecosystem and Water Management in the Arabian Peninsula. United Nations University, pp. 105-119.
- 19- *Salem M. Bin Gadhi & Mohammed A. Mukbel* (1998) A review of renewable energy activities in Yemen // Renewable Energy, Vol. 14, No. 1-4, pp. 459-465.

1. خالد عبده سعيد علي المريش (2002م)، مشاكل إدارة المياه والمحافظة على الموارد المائية في اليمن. بحوث علمية: «تاريخ الجغرافيه و تطور البيئة الجيولوجية». المحرر ي. م. نيسيتروفا. سان بطرس بورج: الصفحات، 135-138.
2. خالد عبده سعيد علي المريش (2003م)، الخلفية الاجتماعية والاقتصادية وتفاقم المشاكل البيئية في الجمهورية اليمنية. مجموعة البحوث العلمية. المحرر ج. ايفانوفيتش يورينكوف. سان بطرس بورج: الصفحات، 8-12.
3. خالد عبده سعيد علي المريش (2004م)، حالة الهواء الجوي في اليمن. مجموعة البحوث العلمية. الجغرافيا والعلوم ذات الصلة. LVII القراء الجرسنيه / المحرر ج. ايفانوفيتش يورينكوف. سان بطرس بورج الصفحات، 3-5.
4. خالد عبده سعيد علي المريش ، فرومين ج. ت. (2006م)، مشاكل تأمين المياه في الجمهورية اليمنية. الخلاصات النهائية من دورة المجلس الأكاديمي RSHU (25-26 يناير 2006م). سان بطرس بورج: RSHU، الصفحات، 112-113.
5. خالد عبده سعيد علي المريش ، فرومين ج. ت. (2006م)، مشاكل تأمين المياه في الجمهورية اليمنية: الحالة الراهنة وطرق المعالجة // سانت بطرس بورج :: مذكرات علميه RSHU، 2، الصفحات 136-151.
6. خالد عبده سعيد علي المريش (2007م)، تأسيس نظام تكنولوجي بيئي آمن ، لتأمين المياه في الجمهورية اليمنية. الأطروحة، في العلوم التكنولوجيه. سان بطرس بورج: RSHU.
7. الموسوعة الكبرى كيريل و ميغودي (2003م) (النسخة الإلكترونية).
8. ديميترييف ف. ف. ، فرومين ج. ت. (2004م)، التنظيم البيئي واستقرار النظم الطبيعية. سان بطرس بورج: العلم.
9. كييفير ف. (2000)، هل سيساعد الألمان تحويل اليمن إلى بلد مزدهر؟ الموجه الألماني. www.dw-world.de.
10. كولتياكوف ف.م. ، لوسوف ك.س. ، سوتوفا ي.ا. (1995م)، ترسيخ الطاقة في إقليم المؤشرات البيئية. -- أكاديمية العلوم ، Ser. الجغرافية ، № 3. الصفحات 70-75.
11. لوسوف ك.س. (1996م)، الديناميكه البيئيه روسيا وتفاعلها مع المناطق المجاورة. في كتاب: علم البيئة -- الاقتصاد -- السياسة. سان بطرس بورج: المركز العلمي التابع للأكاديمية الروسية للعلوم.
12. سليم نعمان (1998م)، تقييم الموارد المائية الغربية في اليمن. الأطروحة، في العلوم الجغرافية. سان بطرس بورج: RSHU.
13. دليل عملي على 97 بلدا في العالم (1990م)، موسكو: INTO.
14. تولوكوتسوف ن.ا. (1991م)، علم السموم في الغلاف المائي // اليومية للاتحاد الجمهوريات الاشتراكية السوفياتية أكاديمية للعلوم الطبية ، № 1 ، الصفحات 33 - 38.
15. فرومين ج. ت. ، خالد عبده سعيد علي المريش (2005م)، ديناميكية الآثار البشرية على أراضي الجمهورية اليمنية. وقائع المؤتمر الدولي للعلوم 25-27 أيار / مايو 2005 سان بطرس بورج: RSHU ، الصفحات 52-53.
16. فرومين ج. ت. ، خالد عبده سعيد علي المريش (2006م)، مشكلة تأمين المياه في الجمهورية اليمنية: الحالة الراهنة وطرق المعالجة // الجريدة الرسمية البحرية الجريدة العدد 4 (20)، الصفحات 57-59.
17. جاس ا.م. فان دير جيون (2000م)، اللجنة الاستشارية المشتركة محاضرة و ملاحظات عن "هيدرولوجيا اليمن". صنعاء في حزيران / يونيه 2000.
18. كاسل مصطفى عامر وليد ك. ألزيباري (2006م)، الحاجة لتحلية المياه وإعادة استعمال مياه الموارد المائية غير التقليدية في شبه الجزيرة العربية. في كتاب: منظورات السياسة العامة للنظم الإيكولوجية وإدارة المياه في شبه الجزيرة العربية. جامعة الأمم المتحدة، الصفحات 105-119.
19. سالم م. بن القاضي & محمد أمقبل (1998م)، استعراض أنشطة الطاقة المتجددة في اليمن // وتجديد الطاقة، المجلد. 14، رقم 1-4، الصفحات. 459-465.

الاستنتاجات (المخارج والحلول)

1. واحدة من المشاكل الحرجة في الجمهورية اليمنية هي تأمين الاقتصاد الوطني والاحتياجات المنزلية من المياه العذبة للسكان.
2. في الوقت الحالي تتميز الجمهورية اليمنية بارتفاع معدل النمو الطبيعي في السكان (4.1 ٪) ، وانخفاض الطاقة (كمية الطاقة الكهربائية للفرد الواحد تقدر 150,3 كيلو واط في الساعة) ، وقلة سقوط الأمطار (متوسط هطول الأمطار في الجمهورية لا يزيد عن 100 ملم في السنة) وقلة المياه السطحية. والنمو السكاني السريع اضر بالتنمية الاقتصادية و هذه الظروف طوال الوقت تؤدي إلى تفاقم النقص في المياه ، مما يهدد «بالجوع المائي».
3. ديناميكية إنتاج الطاقة الكهربائي في الجمهورية اليمنية تتميز بالنمو النشط من عام 1967م (17 مليون كيلو واط في الساعة) وإلى عام 1994م (1958 مليون كيلو واط في الساعة) وانخفاض حاد في السنوات التالية) في عام 1999م (240 مليون كيلو واط في الساعة) وهذا يحد بشدة من حل مشكلة المياه عن طريق تحلية مياه البحر وتركيب المعدات الهيدروليكية لجمع مياه الأمطار ، ونقلها.
4. التوازن المائي للجمهورية اليمنية ، الذي يتألف جزء إيرادات (مياه الأمطار) والجزء الآخر الاتفاق (التسرب إلى باطن الأرض ، التبخر ، الجريان السطحي ، والاستهلاك) ، وهي بالشكل التالي: مياه الأمطار- $10^9.51$ م³/السنة، التسرب إلى باطن الأرض -- $10^9.51$ م³/السنة، التبخر- $10^9.47$ م³/السنة ، الجريان السطحي-- $10^9.33$ م³/السنة ، الاستهلاك-- $10^9.34$ م³/السنة.
5. التوازن المائي السلبي (-8.5 م³/السنة) يدل على ضرورة اتخاذ تدابير لتعويض النقص في المياه.
6. لتغطية العجز في إمدادات المياه نحتاج إلى تطوير مجموعة من التكنولوجيات الآمنة بيئياً.
7. لتغطية عجز المياه العذبة في الجمهورية اليمنية ينبغي إنشاء محطات لتحلية مياه البحر ، واستخدام الغازات الناتجة عن الاحتراق في الافران الغازية لمصانع الاسمنت والمصانع الأخرى من أجل تحلية مياه البحر بطريقة الترشيح ، بناء السدود على طول الأودية لجمع مياه الأمطار ، استخدام مكثفات المياه المتواجده في طبقات الهواء الجوي ، والتحول إلى الري بالتنقيط، ومعالجة مياه الصرف الصحي والمياه العادمة.
8. الانتقال إلى الطريقة الحديثة لري الأراضي بالتنقيط سيسمح لنا بتوفير حوالي $10^9.1.655$ م³ من المياه.
9. كمية هطول الأمطار السنوي في الجمهورية اليمنية يزيد في 15 مرة عن كمية الاستهلاك السنوي للمياه ($10^9.51$ م³/السنة و $10^9.34$ م³/السنة ، على التوالي). بناء السدود سوف تسمح لنا بجمع حوالي $10^9.1$ م³/السنة من مياه الأمطار ، التي تقدر بنحو 30 ٪ من المياه المستهلكة في وقتنا الحالي في اليمن.
10. الاقتصاد الكبير في مواد بناء السدود ذات الشكل الاسطواني سيتحقق ، إذا تساوت مقاييس نصف القطر و ارتفاع السد. ومن أجل تخفيض تبخر مياه السد من المجدي اضافة كحول ذو دهنية عاليه على سطح مياه السد.
11. عند اختيار طريقة الحصول المياه العذبة وينبغي أن تتلأ الظروف المحلية ، مع مراعاة خصائص مصدر المياه (البحر أو مياه في الغلاف الجوي) ، ومصدر الطاقة ، والبنية التحتية ، الخ. بغية في تحقيق أقصى قدر من الكفاءة الاقتصادية.

اعلاه مختلفه و تتراوح بين نحو 500 غرام إلى 13 غرام. (الجدول 11).

الجدول 11. كمية الكحول لمنع تبخر مياه السدود

الحد الأدنى لكمية الكحول الضروريه، غرام	سطح السد، هكتار	الوادي
500	45,3	بنا
400	36,3	زبيد
200	18,1	انيم
124	11,3	دوعن
88	8,0	رسيان
35	3,2	بن علي
13	1,2	Juaymah جوامه

الاستنتاج العام لنتائج حسابتنا تبين ان تنفيذ التدابير والخطط المقترحة لتغطية العجز من المياه العذبة ستسمح لنا بتوفير ما يقرب $2,9 \cdot 10^9$ م³ من المياه (الجدول 12).

الجدول 12. التدابير والخطط المقترحة لتحسين وتأمين المياه في الجمهورية اليمنية

كمية المياه الموفرة، متر مكعب	التدابير والخطط المقترحة
$1,7 \cdot 10^9$	التحويل الى الري بالتنقيط
$1,0 \cdot 10^9$	بناء السدود
$0,2 \cdot 10^9$	استخدام الغازات الناتجة عن الاحتراق في افران الغاز لمصانع الاسمنت
$2,3 \cdot 10^6$	تحلية مياه البحر
$2,9 \cdot 10^9$	المجموع

الأمطار انظر (الجدول 9). في الحسابات المقدمه يأخذ في الاعتبار فقط كمية الجريان السطحي .

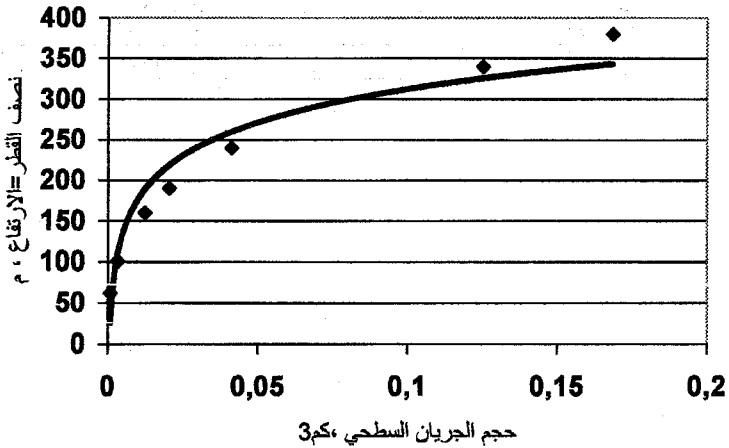
الجدول 10. مقاسات السدود لبعض الاواديه

الوادي	حجم جريان المياه، متر مكعب	الارتفاع = نصف القطر، متر
بنا	$168,6 \cdot 10^6$	380
زبيد	$125,1 \cdot 10^6$	340
انيم	$41,1 \cdot 10^6$	240
دوعن	$20,3 \cdot 10^6$	190
رسيان	$12,3 \cdot 10^6$	160
بن على	$3,2 \cdot 10^6$	101
Juaymah جوامه	$0,76 \cdot 10^6$	62

تشير نتائج الحسابات تشير الى أنه من حجم الجريان السطحي الأبعاد الخطية لتعينة السد ستكون كبيرة في هذه الحالات لا بد من بناء عدة سدود صغيره على طول الوادي. وفي كل الاحوال العلاقه بين الارتفاع و نصف القطر للسد وحجم الجريان السطحي نوصفها بالمعادله الاتيه (شكل 6):

$$r = h = 58,9 \cdot \ln V_{dr} + 448 \quad (21)$$

وبعد بناء السدود حتماً ستواجهنا مشكلة مهمة للغاية وهي فقدان المياه بسبب التبخر. وقد تم النظر وتحديد بوضوح الاتجاه الرئيسي في معالجة المشكلة - حماية سطح المياه من التبخر باستخدام التفاعلات الكيميائية: تضاف على سطح الماء وتشكل طبقة تعيق التبخر والأكثر فعالية منها $hlxadlcy$ (cetyl) $(C_{18}H_{37}OH)$ وكحول $(C_{16}H_{33}OH)$ و $okta-decyl$ $(C_{18}H_{37}OH)$. ومن خصائص هذه المواد بانها تكون طبقة واقية، وغير سامة للإنسان والحيوان، تكلفتها رخيصه، ليس لها لون ولا تغير طعم ولون ورائحة الماء.



الشكل 6. علاقه نصف القطر (الارتفاع) للسد مع حجم مياه الجريان السطحي التي من جلبها (كم 3)

للحصول على طبقه متماسكه من الكحول **Acetyl alcohol** على السطح الماء لكل هكتار واحد يتطلب 11 غرام من الكحول. وتشير التقديرات الأولية ان كمية الكحول اللازمة لتغطيه سطح المياه في السدود المشاره

وكما يتبين من البيانات ، وتنفيذ المشروع المقترح الذي سيوفر 1.10^9 متر مكعب من مياه الأمطار ، والذي يشكل نحو 29.4 % من المياه المستهلكة حالياً في الجمهورية اليمنية ($3.4.10^9$ متر مكعب في السنة).
في تصميم سدود لتخزين السيول ، ينبغي إيلاء اهتمام خاص بالحد الأدنى من استهلاك مواد البناء (الخرسانة ، الخرسانة المسلحة ، وما إلى ذلك).

يبنى السد بشكل اسطواني مفتوح ، مواد بناء السد تستهلك للجدران ، وقاع السد الاسطواني. إذا ، r -- نصف قطر قاع السد الاسطواني ، h -- ارتفاع السد الاسطواني ، فإن مجموع مساحة القاع والسطح الجانبي (جدار) للسد الاسطواني سيكون على النحو التالي :

$$F = \pi r^2 + 2\pi r h \quad (11)$$

حجم الاسطوانة V يساوي:

$$V = \pi r^2 h \quad (12)$$

باستثناء h ، نحصل

$$F = \pi r^2 + 2 V / r \quad (13)$$

وجوهر المسألة ينحصر عند تحديد أو تعيين حجم الاسطوانة (السد ذو الشكل الاسطواني) يجب إيجاد قيمة r -- بحيث تكون قيمة السطح F ضئيلة.

المعادلة (11) قابلة للتفاضل بمساعدة r وبمسوات المشتقة الأولى بالصفر نحصل على التالي:

$$dF/dr = 2\pi r - 2V/r^2 = 0 \quad (14)$$

حينئذ :

$$2\pi r^2 = 2V \quad (15)$$

وبما أن:

$$h = V / \pi r^2 \quad (16)$$

ومن هنا نجد :

$$h = r \quad (17)$$

بما أن المشتقة الثانية

$$d^2F/dr^2 = 2\pi + 4V/r^3 \quad (18)$$

إيجابيه ، إذا عندما $r = h$ ---- سطح السد سوف يعطي الحد الأدنى.
وبعبارة أخرى ، فإن الجزء الأكبر من الاقتصاد في مواد البناء سيتحقق إذا تساوى ارتفاع ونصف قطر السد. وفي هذه الحالة ، فإن حجم السد سوف يساوي

$$V = \pi r^2 h = \pi r^3 \quad (19)$$

أو

$$r = h = (V/\pi)^{1/3} \quad (20)$$

للتوضيح نقدم نتائج لحسابات بعض السدود لعدة أودية ، وفقاً لأعلى ، وأدنى متوسط الجريان السطحي لمياه

القيمة السنوية للسيول او الجريان السطحي ($Vdr = 3,3 \cdot 10^9$ متر مكعب في السنة) بما يتناسب مع حجم استهلاك المياه ($Vcons/Vdr \approx 1$). كمية كبيرة من هطول الأمطار تقفد في التبخر ، والبعض منها يغذي المياه الجوفية ، وبعضها يصب في البحر الأحمر وخليج عدن وبحر العرب.

وفي رأينا ، ان بعض كمية مياه الأمطار التي تصب في البحر يمكن خفضها عن طريق بناء خزانات وسدود على سطح الارض، وتنفيذ بنود البناء الى عدة مراحل. المرحلة الأولى هي تحليل توزيع هطول الأمطار على الاراضي اليمنية. وأظهر التحليل أن أكبر كمية من الأمطار في المنطقة الغربية تقع في المناطق الجبلية من اليمن. المرحلة الثانية تحليل الكمية السنوية المحلية لهطول الأمطار. وأظهرت نتائج التحليل عدم تساوي كمية هطول الأمطار خلال العام من منطقة الى أخرى. أكبر كمية من هطول الأمطار تقع ، على سبيل المثال ، في تعز في نيسان / أبريل (152,2 مم) ، آيار / مايو (216,4 مم) ، يوليو (214,5 مم) ، آب / أغسطس (181,9 مم) وأيلول / سبتمبر (180,5 ملم). المرحلة الثالثة هي تحليل خريطة اليمن الطبوغرافية ، التي تحتوي على الخطوط الأفقية التي تبين مواقع مختلف لمنطق فوق مستوى سطح البحر. وللأسف ، فإن النطاق المتاحة تحت تصرفنا خريطة طبوغرافية من اليمن بمقياس (1 : 1 000 000) لا يسمح بدرجة دقيقه في حساب المسافة بين الأودية.

ومع ذلك ، فإن جوهر الفكرة التي نقترحها لبناء الخزانات والسدود على طول الاودية ، حيث يحدث تدفق السيول نتيجة هطول الأمطار.

وقد أظهرت الحسابات ، أن التحقيق العملي لهذا النهج يسمح لجمع كمية كبيرة جدا من مياه الأمطار انظر (الجدول 9).

الجدول رقم (9). كمية الأمطار ، التي يمكن تجميعها في الخزانات والسدود في غرب اليمن

الوادي	جمع المياه، كم ²	المتوسط السنوي للسيول، مم	المتوسط السنوي للسيول، م ³
1	2	3	4
حرض	1700	6,0	$10,2 \cdot 10^6$
مور	7912	20,5	$162,2 \cdot 10^6$
سرودود	2370	28,9	$68,5 \cdot 10^6$
ريمه	2250	44,0	$99,0 \cdot 10^6$
زبيد	4632	27,0	$125,1 \cdot 10^6$
رسيان	1990	6,2	$12,3 \cdot 10^6$
توين	5060	21,6	$109,3 \cdot 10^6$
Rabwa ربوى	460	12,5	$5,8 \cdot 10^6$
بنا	6200	27,2	$168,6 \cdot 10^6$
احور	6419	11,0	$70,6 \cdot 10^6$
Adhana الضنا	10,5	8300	$87,2 \cdot 10^6$
دوعن	6553	3,1	$20,3 \cdot 10^6$
العين	1500	6,4	$9,6 \cdot 10^6$
سر	2540	1,2	$3,0 \cdot 10^6$
بن على	720	4,4	$3,2 \cdot 10^6$
Juaymah جوامه	760	1,0	$0,76 \cdot 10^6$
انيم	5485	7,5	$41,1 \cdot 10^6$
Thibi ثيبى	718	2,6	$1,9 \cdot 10^6$
المجموع	65569 كم ²	241,6 مم	$998,7 \cdot 10^6$ م ³

البيانات الأولية للحسابات اخذت من [Jac A.M. Van Der Gun, 2000].

حاليا تخطط السلطات اليمنية لوضع خطة للبدء في بناء العشرات من مصانع تحلية مياه البحر، وترفع في المستقبل القريب حكومة اليمن لاعلان المناقصات لمشاريع البناء للعديد من مصانع تحلية مياه البحر على طول الساحل اليمني ، وطوله ما يقارب 2000 كم.

احدى الاتجاهات التي ستساعد جزئيا في حل مشكلة ندرة المياه في اليمن في تحلية مياه البحر هو استخدام حرارة الغازات المنبعثة من افرن مصانع الاسمنت وغيرها من المصانع الاخرى. استخدام نفايات الافران الغازية لمصانع الاسمنت ، كما ينضج من حساباتنا ، سوف توفر 2.10^8 كجم (2.10^8 ليتر) من المياه العذبة في السنة. ونلفت النظر أن زراعة 1 كجم من القمح يحتاج لإتفاق 10^3 ليتر من المياه ،بمعنى ان سنوفر كميات إضافية من المياه المستخدمة في الري ، وسنزرع 200 طن من القمح.

(3) الاستمطار

طريقة اخرى لتغطية العجز من المياه العذبة – استقطاب المياه من طبقات الهواء الجوي، لهذا الغرض ، تستخدم أنواع مختلفة من المكثفات. طريقة الحصول على المياه العذبة من الهواء عن طريق امتصاص الرطوبة من الجو ويحدث هذا عند دخول الهواء الرطب من خلال مواد خاصة لامتصاص الرطوبة ، التي بعد ذلك تعطي رطوبة في درجة حرارة معينة ، تليها دورت التكثيف ، ويختلف ذلك باختلاف نوعية المواد، تستخدم المواد التي تتألف من قوالب مسامية وضعت في مسامات المواد الماصة للمياه. القوالب المسامية سهلة الاختراق والتي تستخدم من الاكاسيد الغير عضوية ،الكربون ، المواد الطبيعية التي تمتص الرطوبة ، المعادن الصناعية ، المسامية التركيب أو مخاليطها ، من المواد الماصة للمياه أيضا توضع في المسامات الأملاح الغير عضوية ، و مخاليطها ، ومخاليطها وهيدرات بلورية. وبناء على هذا عند تسخين المواد الماصة للمياه الى مرحلة تجميع المياه وذلك عند درجة حرارة من 50-80 درجة مئوية عن طريق استخدام الطاقة الشمسية أو الطاقة الكهربائية ، وايضا من حرارة المحركات ، ودرجة الحرارة في المكثفات تكون مقاربة لدرجة الحرارة البيئة المحيطة.

كمية المياه التي يمكن الحصول عليها من الهواء تعتمد على : درجة الحرارة ورطوبة الهواء المحيط، درجة حرارة سطح التكثيف ، وحجم مرور الهواء من خلال آلة التكثيف للرطوبة هنا يتطلب تحديد المواقع الملائمة لآلة امتصاص المياه من الجو في المناطق التي تنسم بارتفاع الرطوبة النسبية للجو. وفي هذا الصدد ، فقد بذلنا محاولة لتحديد علاقة كمية الرطوبة النسبية (RH) من المواقع المرتفعة فوق مستوى سطح البحر (E) وفي النتيجة حصلنا على العلاقة التالية :

$$RH = 91 - 6,6 \cdot \ln(E) \quad (10)$$

$$N = 28; r = 0,76; r^2 = 0,58; F_P = 35,9 \quad F_T = 4,21; F_P / F_T = 8,5$$

وكما يتبين من المعادلة انخفاض الرطوبة النسبية طويلا مع الزيادة الطبيعية في الوغاريم للمواقع المرتفعة فوق مستوى سطح البحر (في المرتفعات من 5 متر الى 2500 متر).

النتائج المحصلة تؤدي إلى استنتاج بشأن وضع آلة استخلاص المياه من الجو في المناطق المنخفضة من مستوى سطح البحر ، على سبيل المثال في منطقة المخا (E = 5).

(4) ترشيد طرق الري □

وايضا احدى الطرق التي يمكن ان تساعد في تغطية العجز المائي في اليمن من خلال أساليب الري المتطورة. ومن بين مختلف أساليب الري (السطحي ، الرش ، الترطيب الجوي ، تحت الارض ، التقطير) التقطير افضل طريقة وتعتبر واعدة في الري. الري بالتقطير – تعتبر ري موضعي من خلال موزعات دقيقة للماء. الري بالتقطير له مزايا هامة على الأنواع الأخرى من الري، وهي تتجاوز الري السطحي والري بالرش من حيث توفير المياه. عند الري مؤشر (عامل) الفائدة للاستخدام المياه تعرف بأنها العلاقة بين كمية المياه التي تستوعبها النباتات ، وأنفاق الماء على الري. وتبين الدراسات أن هذه القيمة هي حوالي 95 % في الري بالتقطير ، بينما للري السطحي تساوي 45 %.

في عام 2000م كمية المياه المستهلكة للري في اليمن $3,145.10^9$ م³. ووفقا لحساباتنا الانتقال إلى الري بالتقطير سيوفر حوالي $1,655.10^9$ م³ من المياه.

في الجمهورية اليمنية المعدل السنوي لهطول الأمطار ($V_{pr} = 10^9 \cdot 51$ مترمكعب في السنة) تقريبا في 15 أضعاف الاستهلاك السنوي من المياه ($V_{eons} = 10^9 \cdot 3,4$ مترمكعب في السنة). علاوة على ذلك ، فإن

مقاييس آلة تحلية المياه بالطاقة الشمسية تؤخذ على حسب كمية إنتاجيتها ، والتي يمكن حسابها مع بعض الافتراضات على المعادلة التالية :

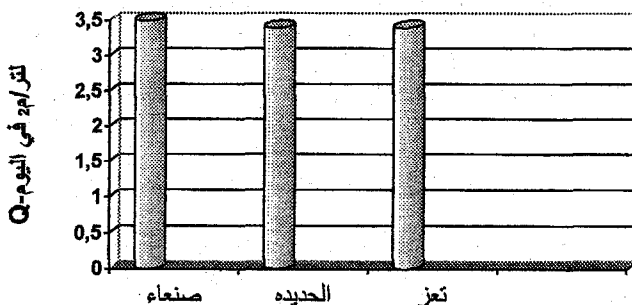
$$Q = kE/L = kE/580, \quad (8)$$

حيث Q - الانتاج النوعي لآلة التحلية لتر/متر مربع في اليوم ؛ k - مؤشر استخدام الطاقه الشمسيه وقدر $= 0,3-0,5$; E شدة الإشعاع الشمسي ؛ $L = 580$ - كمية الطاقه المقفوده لتسخين وتبخير 1 كجم من الماء.

من أجل ايجاد الحساب الصحيح تم تعديل المعادله (8) وتم قبول متوسط قيمة $k = 0,4$ وكانت النتيجة الحصول على المعادله التاليه:

$$Q = 0,593 \cdot E \quad (9)$$

في المعادله (9) ابعاد Q -- لتر/ متر مربع في اليوم ؛ E -- كيلو وات في الساعه / متر مربع في اليوم. بالمعادله (9) ، وباستخدام بيانات و قيم سطوع الشمس تم حساب المتوسط الشهري والمتوسط السنوي للانتاج النوعي لآلة تحلية المياه لثلاث مدن رئيسية في الجمهورية اليمنية (صنعاء، الحديدة ، تعز) في (الشكل 5). نوكد ان في حسابتنا لقيمة الانتاج النوعي لآلة تحلية المياه ، هي قريبه من تلك القيم التي قدمها [سالم م. محمد بن جادهي & محمد ا. مقبل ، 1998]. في هذا العمل ، ولا سيما ، في اليوم العادي لتحلية المياه بالطاقة الشمسية تصل إلى 3.7 كيلو غرام في المتر المربع في اليوم الواحد. وعيوب هذه الطريقة انها مكلفه جداً نظرا لتعدد بنائها ومشاكلها ، وايضا انخفاض انتاج وحدة السطح لتحلية المياه بالطاقة الشمسية. غير خاضعة للمراقبة التغيرات المناخية ، الغيوم ، والتقلبات الموسمية في درجة الحرارة فيها إعاقة كبيره وتقيد لاستخدام طريقة تحلية المياه بالطاقة الشمسية.



الشكل 5. المتوسط السنوي للانتاج النوعي لآلة التحلية، في بعض مدن الجمهورية اليمنية (تقديرات).

وبالإضافة إلى الحسابات السابقة تم حساب مساحة آلة التحلية التي تنتج مياه الشرب في الثلاث المدن خلال العام الواحد. وعندما حساباتها استخدمت المعايير للخصائص المتوسطة للشخص الواحد، وعلى وجه الخصوص ، كمية مياه الشرب للبالغين في اليوم الواحد = 2 لتر (الجدول 8).

الجدول 8. مساحات آلة التحلية لامدادات مياه الشرب لسكان بعض المدن في الجمهورية اليمنية

المدينة	الانتاج النوعي لا آلة ، Q - لتر/م² في اليوم	السكان	مساحة لا آلة ، هكتار
صنعاء	3,5	1834293	104,8
الحديدة	3,4	826672	48,6
تعز	3,4	566569	33,3

(1) معالجة مياه الصرف الصحي

أحدى الإمكانيات لتحسين التوازن المائي هي إعادة استخدام المياه. الاحتياطي الكبير من استخدام المياه في الجمهورية اليمنية يرتبط مع عملية معالجة مياه الصرف الصحي ، ومع ذلك نحو 75 % من المياه غير المعالجة في المدن السواحية تلقى مباشرة الى البحر. في اليمن ، تتركز المؤسسات الصناعية في أربع محافظات : صنعاء ، تعز ، الحديدة ، عدن. وكثيراً من مياه الصرف الصحي العادمة، والنفايات الصناعية الملوثة ، وايضاً المخلفات الحيوانية والبشرية ، دون ان تعالج تلقى مباشرة في المجاري ومنها الى البحر. في الوقت الحالي يعيش في المدن حوالي 23.5 % من السكان ، وشبكة الصرف الصحي تغطي أقل من نصف عدد سكان المناطق الحضرية وهذه الحالة تزداد سوءاً في المناطق الريفية ، حيث يعيش فيها معظم السكان وشبكة الصرف الصحي تغطي نحو 10 % من السكان. حجم مياه الصرف الصحي في اليمن حوالي $10^6 \cdot 82.9$ متر مكعب ، يعالج منها نحو 55. % اي $10^6 \cdot 45.6$ متر مكعب وبهذه الشكل $10^6 \cdot 37.3$ متر مكعب من مياه الصرف الصحي دون ان تعالج.

(2) تحلية مياه البحر

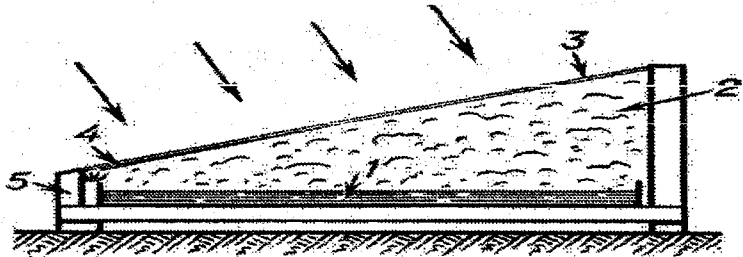
واحدة من أنجح الوسائل والواعدة لتوفير المياه العذبة لجمهورية اليمن هي تحلية مياه البحر المالحة. (ملوحة مياه البحر الأحمر تصل إلى 42٪). تحلية مياه البحر - عباره عن طريقة لمعالجة او تحلية المياه بهدف تقليل تركيز الأملاح الذائبة (عادة يصل الى 1 غرام لتر⁻¹) ، حتى تصبح المياه صالحة للشرب والاستخدامات المنزلية.

وقد تناولنا طرق مختلفة لتحلية مياه البحر (تحلية المياه عبر التجميد ، ترسيب المواد الكيميائية ، والتبادل الأيوني ، الفصل او الغسيل الكهربائي (الايكترودياليسس) ، التناضح العكسي (اسموس) ، والتقطير ، تحلية مياه البحر).

ولكن بالنظر إلى الخصائص المناخية في اليمن (طول فترة سطوع الشمس) ، ركزنا على تحلية مياه البحر (هيليواوير استينيا).

جوهر هذه الطريقة هو أن تحت تأثير الإشعاع الشمسي على بركه او حوض ملئ بالمياه المالحة ، يحدث تبخر الماء ، والتقطير الناتج عن تكثيف البخار على منحدر ، يبرد بالهواء ، على سطح مصنوع من الزجاج أو البلاستيك ، ونت ثم تجمع في احواض تقع في الجزء الأسفل اما إزالة ما تبقى من ماء مالح يصرف عبر مجرى خاص كما هو مبين في (الشكل 4).

هذه الطريقة التكنولوجية للتحلية تختلف عن محطات التقطير التقليدية ، في البدايه عند التسخين ورفع درجة حرارة الماء تستخدم مبادلات حرارية خاصة عبر سطح الزجاج ، تتغذى من حرارة الطاقة الشمسية. التقطير باستخدام الطاقة الشمسية مريحه وتختلف عن الطرق الأخرى لتحلية المياه ، وذلك لانخفاض النسبي لتكاليف التشغيل.



الشكل 4. آلة لتحلية المياه بالطاقة الشمسية من نوع «الصندوق الساخن»
1 - حوض من المياه المالحة ؛ 2 - خليط من بخار الماء ، 3 - غطاء شفافي ، 4 - مكثف ، 5 - عازل حراري لجدار الصندوق ؛ السهام من الاعلى - اشعة الشمس.

استهلاك المياه. وفقاً لتقديرات الباحثين ، في عام 1997م النتيجة السلبية للتوازن المائي في اليمن كان = - 1.38. 10^9 متر مكعب في السنة ، التوقعات في 2025م سيكون = - 4.186 متر مكعب في السنة وباستخدام هذه التوقعات سمح لنا حساب ديناميكا سلبية التوازن المائي في اليمن من عام 1990م الى عام 2025م وذلك في الجدول رقم (7).

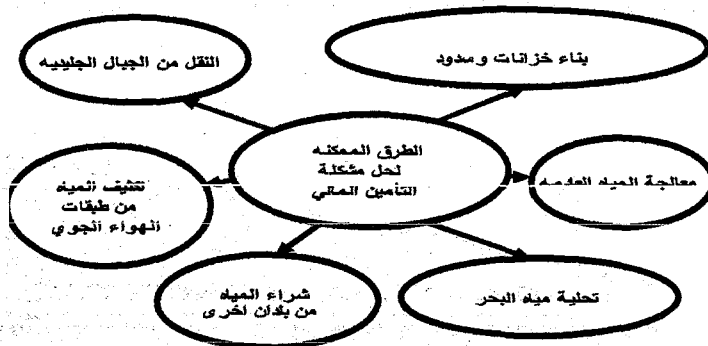
الفرق بين القيم في عجز المياه في الخيار الأول والثاني يرجع إلى أن في الخيار الأول احتساب إيرادات التوازن المائي الظاهر اتباع من هطول الأمطار ، التي لم تستغل كاملاً في اليمن حتى الآن ، بينما الخيار الثاني -- إلى المياه الجوفية ، التي هي حالياً الرئيسية المصدر الرئيسي لإمدادات المياه في البلاد.

الجدول 7. ديناميات التوازن المائي في الجمهورية اليمنية

السنة	الموارد المائية العامه، متر مكعب	الاستهلاك العام، متر مكعب	ΔW متر مكعب	السنة	الموارد المائية العامه، متر مكعب	الاستهلاك العام، متر مكعب	ΔW متر مكعب
1990	$2,0 \cdot 10^9$	$2,8 \cdot 10^9$	-0,8	2005	$1,3 \cdot 10^9$	$3,7 \cdot 10^9$	$-2,4 \cdot 10^9$
1995	$1,7 \cdot 10^9$	$3,1 \cdot 10^9$	-1,4	2010	$1,1 \cdot 10^9$	$4,0 \cdot 10^9$	$-2,9 \cdot 10^9$
2000	$1,5 \cdot 10^9$	$3,4 \cdot 10^9$	-1,9	2025	$0,7 \cdot 10^9$	$4,8 \cdot 10^9$	$-4,1 \cdot 10^9$

4. اتجاهات تنمية التأمين المائي في الجمهورية اليمنية

نستعرض في بحثنا الطرق الممكنة لحلول مشاكل تأمين المياه في اليمن ، وهي كالتالي : النقل من الجبال الجليدية (إيزبيرج) ، معالجة المياه العادمة ، شراء المياه من بلدان أخرى ، تحلية مياه البحر ، تكثيف المياه من طبقات الهواء الجوي ، بناء خزانات وسدود (الشكل 3).



الشكل 3. الحلول الممكنة لمشكلة تأمين المياه في الجمهورية اليمنية

من أجل تأسيس قواعد لتحسين إمدادات المياه في الجمهورية اليمنية تم حساب وعرض التوازن المائي - ويعنى النسبة الكمية بين موارد المياه (إيرادات) واستهلاك المياه (الانفاق) لفترة معينة وجزء معين من لهذا التوازن من أجل حساب معادلة التوازن المائي تم تحديد الآتي: -- حدة فتره زمنية معينة التي تتناول التوازن المائي (سنة واحدة) -- سجلت جميع عناصر التوازن في شكل مجموع جبري لينود الإيرادات والاستهلاك - عرفت القيم العددية لجميع عناصر التوازن المائي -- قيمة نتائج التوازن المائي ، بمعنى التغييرات في مستوى الاحتياطي من المياه ، التي تحدث على أراضي الجمهورية اليمنية نتيجة لتأثير عناصر التوازن المائي.

وبصورة عامة فإن التوازن المائي للجمهورية اليمنية ممكن عرضه على النحو التالي □ إيرادات التوازن المائي تتألف من هطول الأمطار (Vpr). الاستهلاك تتألف من تسرب حجم مياه الأمطار إلى الأرض و طبقات المياه الجوفية (Vinf)، والتبخر والنتح (Vev)، تدفق السيول الطبيعية (Vdr)، الاستهلاك السكاني (Vcons). المعادلة الحسابية للتوازن المائي في الفترة الزمنية t (سنة واحدة) تمتلك الشكل الآتي :

$$\Delta W = Vpr. - Vinf. - Vev. - Vdr. - Vcons., \quad (4)$$

حيث ΔW - التغييرات في احتياطي المياه من خلال الفترة الزمنية t .
وفقا لحسابنا حجم $Vpr. = 51 \cdot 10^9$ متر مكعب في السنة، وفقا لعام 2000م حجم الاستهلاك $(Vcons) = 3.4 \cdot 10^9$ متر مكعب في السنة، وحجم $(Vinf.)$ عباره عن حاصل ضرب $(Vpr.)$ و المؤشر k وذلك ومتفقا مع [سليم نعمان - 1998م] وقدرت $k = 0.1$

$$Vinf. = 0.1 \cdot Vpr. \quad (5)$$

اما قيمة (Vev) و $(Vdr.)$ فقد تم اجراء العمليات الرياضية والاحصائية وبحث البيانات وفقا للمراجع العلمية وحددت القيم العددية لرمز التبخر (α_1) ورمز لتدفق السيول الطبيعية (α) وفي النتيجة حصلنا على النتائج الآتية: $\alpha_1 = 0.936$ ؛ $\alpha = 0.065$. وهذه القيم استخدمت في حساب التوازن المائي باستخدام الصيغة التالية (الجدول 6) :

$$Vev. = 0.936 \cdot Vpr. \quad (6)$$

$$Vdr. = 0.065 \cdot Vpr. \quad (7)$$

الجدول 6. عناصر التوازن المائي في اليمن ، متر مكعب في السنة

Vpr.	Vinf.	Vev.	Vdr.	*Vcons.			ΔW
				الزراعة	الاستهلاك المنزلي	الصناعة	
$51 \cdot 10^9$	$5.1 \cdot 10^9$	$47.7 \cdot 10^9$	$3.3 \cdot 10^9$	$3.145 \cdot 10^9$	$0.21 \cdot 10^9$	$0.045 \cdot 10^9$	$-8.5 \cdot 10^9$

النتيجة السلبية للتوازن المائي $(\Delta W) = -8.5 \cdot 10^9$ متر مكعب في السنة) تدل على ضرورة اتخاذ تدابير لتغطية العجز المائي . التحاليل المبينة في الجدول 6 ، توضح ان حجم استهلاك المياه اقل من كمية الأمطار بمقدار 14,2 مرة $(Vpr./Veons = 15 \cdot 10^9 / 3.4 \cdot 10^9 = 14.2)$.
وثة خيار آخر لحساب التوازن المائي ويرد الى [كامل مصطفى عامر، وليد ك. الزبياري ، 2006].
الباحثان بينا التوازن المائي هو عباره عن الفرق بين مجموع موارد المياه في عام 1997م ومجموع

جمهورية اليمن ، وايضاً تحدد المواد التي يخلفها الإنسان وتنتشر بشكل واسع ؛
-- محتوى المواد الكيميائية الضارة التي تدخل و تتكون في المياه عند عملية معالجة المياه في انظمة إمدادات المياه؛

-- تكوين المواد الكيميائية الضارة التي تتسرب الى مصادر امدادات المياه نتيجة للمخلفات المنزليه.
وينبغي ملاحظة الى جانب البحث في مشكلة التآمين المائي والتي لم تحل من حيث المبدأ في الجمهورية اليمنية ، يجب استخدام ووضع المعايير الصحية المسموحة من المواد الضارة ، في مياه الشرب (الجدول 4) النفايات في مياه الصرف الصحي ،التي تستخدم لري الاراضي الزراعيه (الجدول 5) (حد التركيز المسموح--ح.ت.م).

الجدول 4. بعض المواد الضارة في مياه الشرب في الجمهورية اليمنية

عدد	العناصر	الرمز	المقياس	ح.ت.م
1	الرصاص	Pb	مغ / لتر	0,05
2	السيانيوم	Se	مغ / لتر	0,01
3	الزرنيخ	As	مغ / لتر	0,05
4	الكروم	Cr	مغ / لتر	0,05
5	السيانيد	CN ⁻¹	مغ / لتر	0,1
6	كادميوم	Cd	مغ / لتر	0,005
7	الزئبق	Hg	مغ / لتر	0,001
8	لانتيمون	Sb	مغ / لتر	0,01

الجدول 5. حد التركيز المسموح--(ح.ت.م) للعناصر الكيميائية في مياه الصرف الصحي التي تستخدم لأغراض الري الزراعي في الجمهورية اليمنية

عدد	العناصر	الرمز	ح.ت.م مغ / لتر
1	الألومنيوم	Al	5,00
2	الزرنيخ	As	0,10
3	بيريليوم	Be	0,10
4	كادميوم	Cd	0,01
5	الكوبالت	Co	0,05
6	الكروم	Cr	0,10
7	النحاس	Cu	0,20
8	الفلور	F	1,00
9	الحديد	Fe	5,00
10	الليثيوم	Li	2,50
11	المنغنيز	Mn	0,20
12	الموليبدنيوم	Mo	0,01
13	النيكل	Ni	0,20
14	الرصاص	Pb	5,00
15	السيانيوم	Se	0,02
16	الفاناديوم الخامس	V	0,10
17	الزنك	Zn	2,00

وبالمقارنة بين الجدولين يتضح مدى الهوة بين التزايد في الواقع وبين المسموح به.

الجوانب السلبية المرتبطة باستخدام المياه ليس فقط في النقص الحاد في المياه ، ولكن أيضا قدرا كبيرا من خطر التلوث بالنفايات البشرية ولا سيما في حالة عدم وجود محطات معالجة المياه ، وعدم وجود شبكة إمدادات المياه وشبكة الصرف الصحي المتطورة.

ومن أكثر الطرق شيوعا للتخلص من النفايات هي ان تصرف المياه في آبار بعمق 20 م وهذه الآبار في نهاية المطاف هي مصدر للتلوث المياه الجوفية. وحتى في العاصمة صنعاء تنقية المياه لا تزال في برك الأكسدة المؤقتة ، والتي تلقى فيها مياه الصرف الصحي بكميات تتجاوز طاقتها الإنتاجية. وفي النهاية المياه الملوثة تنسرب الى البيئة ، وكثيرا ما تستخدم في ري الحقول ، الأمر الذي يؤدي غالبا إلى انخفاض جودة المنتجات الزراعية وتلوثها. وهكذا ، التحاليل الكيميائية والجراثومية لمياه من آبار في منطقة الروضة القريبة للمطار الدولي في «صنعاء» ، أظهر التلوث من جانب بالنترات ، الفوسفات ، الحديد ، فضلا عن ارتفاع محتوى البكتيريا الضارة بصحة الانسان. نفس الصورة النمطية للآبار الواقعة في وسط المدينة والقرب من برك مياه الصرف الصحي. في عدن ، فقط 25 ٪ من مياه الصرف الصحي تجمع في أحواض الأكسدة وهذه المياه تستخدم في الري للمزارع القريبة منها.

و جدير بالذكر بأن الحجم السنوي العالمي لمياه الصرف الصحي يقدر بنحو 1.5 ألف كيلو متر مكعب ، فإن 1 لتر من مياه الصرف الصحي يلوث 8 ليتر من المياه العذبة ويجعلها غير صالحة للشرب. حاليا ، كما ذكرى سلفا بأن 35 ٪ من السكان يحصلون على مياه صالحة للشرب هذه النسبة في المناطق الحضرية نحو 74 ٪ وفي المناطق الريفية نحو 14 ٪ الآثار المترتبة في استخدام المياه الملوثة تؤدي نحو 70 ٪ من وفيات الأطفال في سن الرضاعة بسبب أمراض مختلفة. ومن هنا فإن التحديات التي تواجه السكان للحصول على مياه عالية الجودة تزداد صعوبة ويزيدها تعقيدا ذلك النمو السكاني الغير طبيعي للمدن الناجم عن تدفق سكان من الريف، والبنية التحتية ليست على استعداد لاستيعاب هذا العدد المتزايد من السكان الجدد. والبناء العشوائي في الضواحي التي لا يوجد فيها إمدادات المياه وشبكات الصرف الصحي.

ان سرعة وتيرة التلوث البيئي لمياه الشواطئ البحرية ، يعزى أساسا إلى الزيادة في السكان و نمو المدن الساحلية دون بناء خطوط أوشبكات إمدادات المياه والصرف الصحي ومعالجة المياه العادمة للمرافق الصناعية والمناطق الحضرية تستدعي دراستها بعناية وإيجاد الحلول لها.

كما ان النقص المتزايد للمياه العذبة في الجمهورية اليمنية ، نظرا لعدم وجودها أو قلتها في المناطق القاحلة والمناطق الصحراوية ، الغنية بالموارد الطبيعية الواحدة للتنمية يجعل من الضروري البحث عن مصادر إضافية لمياه (هناك نقص في المياه التقليدية في أراضي أكثر من 40 بلدا ، معظمها في المناطق القاحلة ، وأيضا في المناطق الجافة ويشكلون نحو 60 في المئة من مجموع مساحة سطح اليابسة على سطح الكرة الأرضية وهذا يفرض البحث عن حلول يتعاون دولي كما يتوجب القيام بحملات توعية).

من المعروف أن جسم الانسان يتكون بنحو 64 ٪ من المياه ، أقلها في العظام والدهون - 25-30 ٪ وفي العضلات والأعضاء الداخلية حوالي 70-80 ٪ في الدم - تصل إلى 90 ٪ ، واللحباب نحو 99.5 ٪ [ديميترييف ، فرومين ، 2004] . وإذا فقد جسم الانسان 6-8 ٪ من المياه يصاب بشبه غيبوبه ، وفقدانه 10 ٪ من المياه ، مما تسبب الهلوسة ، ويفقد قدرة الإبصار. وفقدانه 12 ٪ من المياه تؤدي إلى وفاته. استخدام الانسان للمياه الملوثة خطيرا جدا على صحته وحياته.

في اليوم الواحد بسبب الأمراض المنقولة عن طريق المياه مثل الكوليرا والتيفوئيد والزحار (الاستنثري) وغيرها في العالم يتوفى نحو 50.000 شخصا ، في حين أن معظمهم من الأطفال تحت سن الخامسة. وهكذا ، في عام 1974م وعام 1977م لوحظ انتشار وباء الكوليرا في تنزانيا حيث نقلت العدوى عن طريق المياه. وكان زيادة هذا الوباء خلال موسم الأمطار ، ويرجع ذلك إلى الظروف التي تساعد على بقاء الضمة الكوليرية (تصل إلى اسبوعين في المياه العذبة وأكثر من ثمانية أسابيع في المياه المالحة).

نسبة حصة البلدان النامية من الأمراض الناجمة عن استهلاك المياه الغير صالحة للشرب والطبخ ، تصل إلى 75 ٪ من الحالات.

ان نوعية مياه الشرب يجب أن تمتثل للمعايير الصحية قبل وصولها إلى شبكة التوزيع ، وفي خزانات المياه الخارجيه وداخل شبكة الإمدادات للمياه.

فالمياه الصالحة للشرب وفقا لتحديد التركيب الكيميائي يجب ان تحدد المعايير التالية: - تعميم المؤشرات ومحتوى المواد الكيميائية الضارة الموجودة بكثرة في المياه الطبيعية في أراضي

ووفقاً لتقرير وزارة الزراعة اليمنية ، ان ما يستخدم بفعالية فقط 40-50 ٪ من المياه ، والنصف الآخر من المياه يهدر ببساطة.

قال احد الخبراء اليمنيين : في اليمن ينخفض مستوى المياه الجوفية باستمرار في بعض المناطق يصل إلى ستة أمتار في السنة، فهذا يعتبر احتمال مخيف. يلاحظ ان هذه الآثار السلبية تزايدت من السبعينات حيث في حينها بدأت عملية حفر الآبار العميقة ؛ مضخات كبيرة ضخمت كميات ضخمة من المياه الى السطح. ووفقاً لتقديرات الأمم المتحدة فإن مصادر المياه في العاصمة صنعاء ستستنفذ تماماً بحلول عام 2010 [Kiyver, 2006].

قنوات المياه المستمرة في اليمن شبه منعدمة. باستثناء الوديع والغويل والجداول الصغيرة ، التي يكون منشؤها في الجزء الجبلي من البلاد ومعظمها تجف في موسم الجفاف، أهم الوديع: وادي مور – حرض- زبيد - سهام -وادي رسيان وهذه تصب جميعها في البحر الأحمر، أما الوديان التي تصب في خليج عدن والبحر العربي فأهمها : وادي تين وادي بناء وادي حضرموت. المصدر الرئيسي لإمدادات المياه للمناطق السكانية هي الآبار الارتوازية (المياه الجوفية). وفي الوقت الحالي ، متوسط نصيب الفرد الأيزيد عن 250 متر مكعب سنوياً من المياه المتجددة. وحسب التوقعات: نصيب الفرد من كمية موارد المياه المتجددة بعد 30 عاماً ، سينخفض الى 76-100 متر مكعب في السنة ، وهذا يعتبر أقل بكثير من الاحتياجات الفيزيولوجية. كمية المياه من هطول الأمطار في الجمهورية اليمنية في السنة نحو 60 مليار متر مكعب ، كثيراً منها يتعرض للتبخر وجزء يصب في المحيط ، وجزء يغذي المياه الجوفية، هذه الأخيرة هي المصدر الرئيسي لامدادات السكان بالمياه.

الموارد المائية في اليمن توزع وتستخدم بشكل غير متساو. 90 ٪ من سكان اليمن يستهلكون أقل من 90 متر مكعب من المياه في السنة للشخص الواحد. مشكلة النقص الحاد في المياه تتمركز في غرب اليمن. فالإحتياطي من المياه ، في الجزء الغربي من اليمن يقدر بنحو 35 مليون متر مكعب ، وحتى مع الحفاظ على المعدل الحالي لاستخدام المياه ، فإن هذه الموارد ستستنفذ تماماً في الـ 50 السنة المقبلة. و الوضع الأسوأ في المناطق المكتظة بالسكان، فعلى سبيل المثال في حوض صنعاء حوالي 10 ٪ من عدد السكان في عام 1994م ضحك نحو 224 مليون متر مكعب من المياه الجوفية ، في حين أن التجديد لم يزيد عن 42 مليون متر مكعب ، بمعنى ان الاستهلاك تجاوز التجديد أكثر من خمس مرات. بالفعل في السنوات المقبلة ، في العاصمة صنعاء ، حيث بلغ المتوسط السنوي لمعدل النمو السكاني 8 ٪ ، ويتوقع أن تستهلك المياه الجوفية كاملاً. المنطقة الوحيدة الغنية بموارد المياه الجوفية في اليمن هي حضرموت ، الواقعة في الجنوب الشرقي من البلاد وعلى بعد حوالي 500 كم من العاصمة وفيها قلة من عدد السكان. هنا موارد المياه المتجددة تصل إلى 280 مليون متر مكعب سنوياً ، ومع المعدل الحالي لاستخدام المياه ، مخزونها يكفي لعدة آلاف من السنين. الأسباب الرئيسية للآزمة المياه التي توجد حالياً في اليمن هو استمرار الطلب المتزايد على المياه نتيجة لتزايد عدد السكان في البلاد [المعجم الكبير، ...، 2003] ، والتوسع الزراعي ، مما يتطلب الري الصناعي ، وانعدام الرقابة من جانب الجهات المختصة لعملية استخراج واستهلاك المياه الجوفية.

القدرة على التحكم في استخدام المياه الجوفية معقدة بسبب وجود نحو 45 ألف من الآبار الارتوازية الخاصة ونحو 200 بئراً. المحاولات التي قامت بها الحكومة بفرض او صرف تراخيص لاستخدام الآبار والآبار الارتوازية الخاصة ولكي تكون تحت سيطرة الدولة لكنها لم تتجح نتيجة للعيوب في الهيكل الإداري والتلظيمي للحكومة. في العالم لا يوجد بلداً مثل اليمن في استنزاف وتدهور وتدمير المياه الجوفية وعاصمتها صنعاء حسب تقديرات الخبراء في السنوات القادمة ستصبح بدون مياه.

موارد المياه الجوفية المتجددة الآن تقدر بنحو 1.2 مليار متر مكعب في السنة. كمية الاستهلاك السنوي للمياه الجوفية نحو 8.2 مليار متر مكعب ، وهذا يفوق تقريباً بسبع مرات المياه الجوفية المتجددة سنوياً. وتشير التقديرات إلى أن مستوى طبقة المياه الجوفية في معظم مناطق البلاد تنخفض بنحو 1 -- 6 متر في السنة. وهكذا ، في قاع بون بالقرب من عمران ، فإن مستوى المياه الجوفية خلال السنوات العشرين الماضية قد انخفض بنحو 60 متراً ، منها 30 متراً انخفض في السنوات الخمس الماضية. معدل استنزاف احتياطي المياه الجوفية المتزايد بسرعة ، يعزى ذلك جزئياً إلى النمو السكاني السريع وتكثيف مختلف أنواع النشاط البشري في استهلاك المياه.

التي أجريت من قبل المنظمات الخاصة أو الحكومية بشأن هذا الموضوع. فعلى سبيل المثال ، البحوث التي أجريت مؤخراً لحوض مدينة صنعاء (المياه الجوفية) تظهر انخفاضاً في مستوى المياه ، التي تتراوح ما بين 6 -- 7 متر في السنة ، في حين بلغ إجمالي عدد الآبار في حوض صنعاء إلى 13000. وفي الوقت نفسه فإن مخزون المياه السطحية لم يعد يستطيع تلبية الطلب المتزايد عليه ، كما أنها مهددة من جانب التلوث. وهنا يجب أن يأخذ في عين الاعتبار أن حماية المياه الجوفية من التلوث يبدأ بحماية المياه السطحية من بعض الأنشطة البشرية التي تؤدي إلى عواقب غير مرغوب فيها فيما يتعلق في الهيدرو كيميائية وجودة المياه ، التي تعتبر ضارة على المياه والبيئة. ونتيجة للطلب المتزايد على المياه، فإن احتياطي المياه السطحية تقريباً اخذاً في النضوب وتزايد ضخ المياه الجوفية التي إذا ما قورنت مع غيرها من مصادر المياه العذبة في خواصها [أحمد شمسان ، صحيفة الثورة ، 17 تشرين الثاني / نوفمبر ، 2003 ، No 14251].

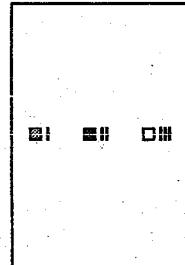
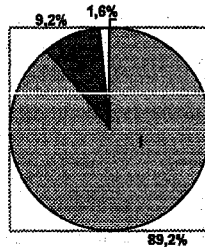
ويعتقد معظم الخبراء أن المناطق الساحلية في الجمهورية اليمنية ، لا تزال واحدة من أنظف المناطق في العالم. ومع ذلك ، فإن ليس من الصعب لأي شخص بإيجاد انتهاكات في مجال البيئة ، التي هي سهلة التحديد وخاصة في تلك المناطق الساحلية ، التي تقع بالقرب من المدن الكبرى وأماكن الترفيه التي تعتبر مصدراً لمختلف النفايات. وأكثر أنواع النفايات ، التي تزايد باستمرار ، وبأشكال مختلفة هي النفايات البلاستيكية. بعض أنواع البلاستيك يمكن فصل دون أن تتحلل في عرض البحر لمدة 450 سنة. وبالرغم أن معظم البلدان قد اعتمدت قوانين محددة لمنع تلوث البيئة البحرية من المواد البلاستيكية ، إلا أن هذه المواد باستمرار تدخل البيئة البحرية، والتلوث عبر النفايات البلاستيكية لا يزال يمثل مشكلة خطيرة للبيئة.

وحتى هذا اليوم ، واليمن في حاجة ماسة إلى اتخاذ إجراءات جادة لمعالجة هذه المشكلة قبل أن تستفحل في الافق.

البيئة في حوض البحر الأحمر مهددة بالطرق الخاطئة في التخلص من النفايات البتروكيميائية. الهيدروكربونات النفطية هي من أخطر مصادر تلوث المياه الساحلية والتلوث من النفط والمنتجات الصناعية البتروكيميائية تهدد النباتات والحيوانات البحرية.

3. الوضع الراهن لتأمين المياه في الجمهورية اليمنية

نصيب الفرد من استهلاك المياه في الجمهورية اليمنية مايعادل 2 % فقط من متوسط المعدل العالمي. بمعنى أن نصيب الفرد في اليمن من المياه نحو 223 متر مكعب ، بينما في الشرق الاوسط وشمال افريقيا - متوسط نصيب الفرد نحو 1250 متر مكعب. اليمن تعاني من العطش. ما هو سبب هذا النقص الحاد في المياه؟ وكما قال أحد موظفي مؤسسة المياه اليمنية جمال محمد عبده ، «... في اليمن اعتادوا على مشكلة نقص المياه. هذه المشكلة هي في المقام الأول مع المعالم الطبيعية من بلدنا. ولكن الأهم ، كيف سكاتنا يستخدمون المياه المتاحة لهم». المستهلك الرئيسي بطبيعة الحال ، هي الزراعة كما هو مبين في (الشكل 2) حيث لا يزال تطبيق نظم الري القديمة ، التي هي بالفعل غير مجدية .



الشكل 2. قطاعات توزيع المياه في الجمهورية اليمنية ، %
(الأول -- والزراعة ، وثانياً -- الصناعة ، ثالثاً -- المرافق العامة)

في المقارنة من حيث القيمة المدرجة لمؤشر التأثيرات البشرية على أراضي الجمهورية اليمنية تعتبر منخفضة جدا لا يمكن أن تؤدي إلى عواقب بيئية خطيرة. غير أن ارتفاع معدل النمو السكاني يمكن أن تسبب مشاكل خطيرة في تأمين مياه الشرب ، لأنه حتى الآن حصة السكان من المياه النظيفة --- 69 ٪ .

الجدول 3. ديناميكا الآثار البشرية على أراضي الجمهورية اليمنية.

السنة	السكان	PD, نسمه كم ²	K*	السنة	السكان	PD, نسمه كم ²	K*
1950	4461000	8,45	0,004	1993	13892189	26,3	0,018
1960	5483000	10,4	0,006	1994	14394750	27,3	0,019
1970	6628000	12,6	0,007	1995	14861612	28,1	0,020
1980	8527396	16,2	0,010	1996	15348787	29,1	0,021
1985	9841522	18,6	0,012	1997	15857186	30,0	0,022
1990	12023220	22,8	0,015	1998	16387963	31,0	0,023
1991	12888524	24,4	0,017	2000	18349000	34,8	0,026
1992	13379284	25,3	0,018	2003	20356700	38,6	0,030

على الرغم من الانخفاض النسبي في القيمة لمؤشر التأثيرات البشرية على أراضي جمهورية اليمن ، قد تنشأ مشاكل بيئية خطيرة ، ربما بالفعل نشأت بصدد الاستخدام الجائر لمختلف المبيدات لمكافحة الآفات في مجال الزراعة.

العامل الرئيسي في تلوث الهواء في الوقت الحاضر في اليمن هو الإنسان، اما المصادر الطبيعية لتلوث الهواء هي قليلة ومحدودة ، لكن اتجاهها تدريجياً إلى زيادة التعرية بفعل الرياح والغبار في المناطق الصحراوية. من اهم المصادر الرئيسية لتلوث الهواء، وتدهور الوضع البيئي هي : الإنتاج الصناعي، والنقل ، والمخلفات المنزلية للسكان.

الغالبية العظمى من محطات توليد الكهرباء ومصانع الاسمنت وغيرها من المعامل الصناعية التي مصدر تشغيلها يعتمد على النفط والديزل والمازوت. نتيجة للاحتراق الوقود يبعث في الجو كميات كبيرة من ثاني أكسيد الكبريت ، أول أكسيد الكربون وغيرها من الغازات السامة والضارة .وبالإضافة إلى ذلك ، هناك مصانع الاسمنت هي مصدر لتلوث الغلاف الجوي بكميات كبيرة من غبار الأسمنت. حيث لا توجد انظمه اواجهه لتتظيف الغازات المنبعثة في الجو نتيجة حرق هذه الأنواع من الوقود في معظم الصناعات، كما لا توجد آلية الرصد المنهجي لتكونها. هذا ما يحدث في عاصمة اليمن صنعاء ، ناهيك عن غيرها من المدن القريبة من محطات الطاقة الحرارية في مأرب وهي تعمل على الغاز الطبيعي.

وقد ساهمت مصانع الطوب في هذا التلوث ، فهي تعمل على الديزل والمازوت، وبالإضافة إلى انبعاثات الغازات السامة إلى الغلاف الجوي اضافة للغبار الطوبي ، والتي تظل معلقة في الهواء لفترة طويلة. وفي الوقت الحاضر ، في اليمن أكثر من 350 ألف مركبة اوسياره، أكثرها تعمل على البنزين الذي يحتوي على كمية كبيرة من عنصر الرصاص وهو من المعادن الثقيلة ،وبشكل خطراً على الكائنات الحية. عوادم السيارات تحتوي على الانترديد الكبريتي، واكسيد النيتروجين، وأول أكسيد الكربون، وغيرها من العناصر الضارة على الكائنات الحية.

ووفقا لمجلس حماية البيئة اليمنية ، نتيجة لاستخدام وقود الديزل والنفط من جانب المستهلكين - في المدن الرئيسية في اليمن يتصاعد في الهواء في الدقيقة 200 كيلوجراما من أول أكسيد الكربون ، و 20 كجم من أكسيد النيتروجين، و 20 كجم من المواد الهيدروكربونية ، وأكثر من 3 كجم من ثاني أكسيد الكبريت (الانترديد الكبريتي) ، ولا يقل عن 10 كيلوجراما من المواد الصلبة العالقة. أكبر تلوث في الهواء، تشهدها مدينة صنعاء ومدينة الحديدة.

على الرغم من محدودية الاحتياطي للموارد المائية ، لا يزال حفر الآبار غير المقتن قائم مما يؤدي الى الزيادة في استنفاد الاحتياطي للموارد المائية. في هذا السياق لا تأخذ في عين الاعتبار الأعمال والدراسات

اهم الموارد الاقتصادية الرئيسية في الجمهورية اليمنية : الزراعة ، الغابات، صيد الأسماك، الثروات المعدنية، الصناعات الاستخراجية والتحويلية، الخدمات العامة، التجارة، الفنادق، المطاعم، النقل والاتصالات، العقارات.

نسبة الأراضي الزراعية بالنسبة إلى المساحة الكلية 2.9 % فقط ، في حين أن نسبة من الأراضي الزراعية والأراضي المزروعة بشكل دائم --1545 هكتاراً، نسبة الأراضي الزراعية المروية -- 33 % . في الجمهورية اليمنية إنتاج الطاقة الكهربائية بنطوي على استخدام أنواع الوقود الأحفورية. في اليمن لا توجد الطاقة النووية ، والطاقة الحرارية الأرضية والطاقة الشمسية وطاقة الرياح والطاقة الكهرومائية. تبلغ كمية الطاقة التي تنتجها محطات الديزل الكهربائية نحو 375 ميجاوات، ومحطات الكهروحرارية -- 435 ميجاوات ، وهو ما يمثل على التوالي 46.3 % و 53.7 % من إجمالي الطاقة الكهربائية. مشكلة تأمين الطاقة للسكان في الجمهورية اليمنية تزداد أكثر حدة، لأن معظم السكان يعيشون في المناطق البعيدة عن شبكة الكهرباء المركزية ، فقط 16 % من السكان يحصلون على الكهرباء من مولدات الديزل الخاصة وهي نو طاقة منخفضة.

2. الوضع البيئي في الجمهورية اليمنية.

نتيجة لاستخدام التكنولوجيا الحديثة يحدث تشوه للبيئة ، هناك انتهاكات محلية وإقليمية وعالمية ناتجة عن استخدام للتكنولوجيا فهي تؤثر بشكل مباشر أو غير مباشر على البيئة. كل هذا يتطلب حساب حجم الطاقة المستخدمة لكل وحدة من مساحة الأرض ، وفقاً (المؤشر التكاملي) للتأثيرات الصناعية [كوتليكوف وآخرون، 1995م] متفق مع [لوسوف، 1996م]. مؤشر التدخل البشري (K) وتحسب على النحو التالي :

$K^* =$	استهلاك الطاقة لكل وحدة من أراض البلد المتوسط العالمي لاستهلاك الطاقة	(1)
---------	---	-----

في بحثنا هذا نقيم ديناميكية الآثار البشرية على أراضي جمهورية اليمن ، وايضاً على بعض المدن (المناطق) في الجمهورية، في البدايه تم إيجاد علاقه ترابط بين مؤشر الآثار التي يتسبب فيها الإنسان (K) في عشر بلدان آسيويه والكثافة السكانية (PD) :

$$K^* = 0,33(PD^*)^{1,27} = 0,33(PD/41,6)^{1,27} \quad (2)$$

حساب أبعاد حجم الكثافة السكانية (PD*) نرفقها بالصيغة التالية :

$$PD^* = PD / 41.6 \quad (3)$$

حيث PD - الكثافة السكانية الفعلية ، نسمة . كم² ؛ 41.6 - المتوسط العالمي للكثافة السكانية (نسمة في كم²).

وأعقب ذلك تم تقييم للديناميكا الآثار البشرية على أراضي الجمهورية اليمنية من عام 1950م الى عام 2003م (جدول رقم 3). وكما يتبين من البيانات للفترة من عام 1950م إلى عام 2003م ، فإن مؤشر التأثيرات البشرية على أراضي جمهورية اليمن قد زاد 7.5 مرة ، بسبب الزيادة السريعة في السكان.

حسب توقع الديموغرافيون في عام 2010م ، في اليمن سوف يعيش 24793712 نسمة ، وفي عام 2015م -- 33118000 نسمة. وفي هذه الحالات ، فإن الحسابات المرفقة في الصيغة (2) ، تبين أن في عام 2010م قيمة K* سيساوي - 0.038 ، وفي عام 2015. -- 0.056.

الشكل 1 - المعدل السنوي لهطول الامطار في معظم المدن الرئيسية في اليمن في عام 2002 .

المدينة	كمية الامطار، مم	المدينة	كمية الامطار، مم
تعز	1119,7	صنعاء	83,4
أب	556,8	سيئون	72,0
حجه	317,5	صعده	66,5
سقطره	239,7	عدن	57,1
نمار	201,8	مارب	22,8
المكلا	85,2	الحديدة	18,9

يبلغ متوسط الكثافة السكانية في الجمهورية اليمنية، -37 نسمة في الكيلومتر المربع، ولكن توزيعهم غير متساوي .

أكثر من 3/2 السكان يتركزون في الجبال الشمالية من اليمن والشریط الساحلي (تهامه). كثافة السكان في بعض المناطق اليمنية تصل الى 235 نسمة في الكيلومتر المربع، وأكثر المناطق ازدحاماً في الجنوب تقع على الاودية الرئيسية وعلى الساحل.

أكبر تجمع ريفي يمني يعتبر في حضرموت، حيث في عام 1994م بلغ عدد السكان في الريف أكثر من 718 ألف نسمة. كما ان محافظة عدن وضواحيها تعتبر إحدى المدن المكتظة بالسكان، في عام 2003م بلغ عدد السكان 568.7 ألف نسمة، وأقل تجمع سكاني في محافظة المهرة حسب احصاء عام 1994م بلغ عدد السكان 56.5 ألف نسمة.

أما المناطق القريبة من صحراء الربع الخالي تقريباً لا يوجد سكان (حضر) دائمين بل في الغالب يسكنها البدو الرحل. في الوقت الحاضر في الجمهورية اليمنية يتواجد أكثر من 100 ألف من البدو الرحل موزعين في الشرق والشمال والشمال الشرقي وايضاً في سقطره وفي المناطق الجبلية تتواجد مجموعات شبه البدو الرحل.

المؤشر الديموغرافي العام مبين في الشكل 2.

الشكل 2- المؤشر الديموغرافي العام في الجمهورية اليمنية.

السنة	القيمة	اسم المؤشر
2000	18349000	عدد السكان
2015	33118000	عدد السكان المتوقع الى عام 2015
2050	102379	عدد السكان المتوقع الى عام 2050
1994	14587807	عدد السكان (حسب تعداد 1994)
2000-2005	4,1	المتوسط السنوي لمعدل نمو السكان (%)
1998	29,5	الكثافة السكانية (نسمة/كيلومتر مربع)
2000	25,0	النسبة المئوية للسكان الحضر
1995	5	عدد المدن التي يزيد عدد سكانها عن 100.000 نسمة



الشكل 1. خريطة الموقع الجغرافي للجمهورية اليمنية.

التضاريس

الجزء الأكبر من مساحة اليمن عبارة عن سلسلة جبلية تقع في الغرب، وأقليم الهضاب يمتد موازياً للمرتفعات الجبلية ويبدأ بالانخفاض التدريجي وينحدر السطح نحو الشمال والشرق انحداراً لطيفاً باتجاه (حضرموت)؛ وأقليم السهل الساحلي يمتد بشكل متقطع على طول السواحل اليمنية حيث تقطعه الجبال والهضاب التي تصل مباشرة إلى مياه البحر على سبيل المثال سهل (تهامة). السهل الساحلي عبارة عن شريط ضيق يبلغ عرضه من 20-30 كم، وأحياناً يصل إلى 80 كم، على طول البحر الأحمر وخليج عدن، سهل تهامة يمتد من سواحل البحر الأحمر إلى سفوح الجبال. سطح السهل معقد بكثرة الأودية، وعرض القاع في المناطق القريبة من الجبال 49 متراً تقريباً، وتزداد كلما اقتربت من شاطئ البحر إلى 200 متر. سطح السهل يتميز بالصخور الرسوبية وبالأودية السطحية شديدة الانحدار وتساعد على سرعة ترسب مياه الأمطار المتساقطة بسهولة، حتى وإن كانت كمياتها قليلة. وفي الوقت نفسه تكون ظروفًا مواتية لتجديد موارد المياه الجوفية وخاصة خلال الأمطار الغزيرة.

المناخ

مناخ اليمن يختلف من منطقة إلى أخرى، في المناطق الجبلية شبه جاف ويميل للاعتدال وفي الصحراء الجنوبية حار جداً، الرياح الصيفية والشتوية كثيراً ما تجلب العواصف الرملية، ويبلغ متوسط درجة الحرارة في شهر حزيران / يونيو - 27⁰ مئوية، ومتوسط درجة الحرارة في كانون الثاني / يناير - 14⁰ [العالم كله... 1998م].

المناخ على سواحل البحر الأحمر صعب التحمل وأكثر الموسم الساخن من أيار / مايو إلى أيلول / سبتمبر وخلال هذه الأشهر تهطل كميات قليلة من الأمطار، وهي تطفئ الجو قليلاً. ويبلغ متوسط درجة الحرارة في الصيف 37⁰ مئوية. و من تشرين الأول / أكتوبر إلى آذار / مارس - فصل الشتاء حيث يبلغ متوسط درجات الحرارة 20⁰ مئوية.

المناخ داخل اليمن ملائماً ولا سيما في المرتفعات حيث تقع العاصمة صنعاء ومع ذلك هنا كمية الأكسجين في الجو أقل من المناطق الساحلية بنحو 20 ٪ ففي صنعاء متوسط درجة الحرارة في كانون الأول / ديسمبر 11⁰ مئوية، في تموز / يوليو - 20⁰ مئوية، وفي عدن أكثر الأشهر «الباردة» كانون الثاني / يناير (متوسط 26⁰ مئوية)، الأكثر حرارة - يونيو / حزيران (متوسط 33⁰ مئوية)، الأمطار نادره الهطول على مدار السنة في عدن، [ذليل عملي... 1991م].

تقدر كمية الأمطار المتساقطة في الجمهورية اليمنية حوالي 60 مليار متر مكعب في السنة وأكثرها تهطل في المناطق الجبلية. أكثر الأمطار تهطل في شهر أغسطس، والأشهر الجافة من نوفمبر إلى يناير. في الشكل 1 - مبيان كمية الأمطار المتساقطة (لعام 2002م) في المدن اليمنية الرئيسية.

الامراض الجلدية وغيرها من الامراض بين السكان. هذه مشكلة بيئية خطيرة جدا في اليمن وذلك لصغر مساحتها وطول الخط الساحلي على البحر الاحمر وبحر العرب ويقدر حوالي 2000 كلم. والاسباب الرئيسية لازمة المياه في الجمهورية اليمنية تكمن في (1) تزايد الطلب على المياه الناتج عن النمو السكاني (معدل النمو السكاني في اليمن يحتل المرتبة الخامسة في العالم ، يتقدم جميع البلدان الاسيويه الاخرى -- 4,1 ٪ في السنة) (2) التوسع الزراعي مما يتطلب الري الاصطناعي (3) عدم التحكم في استهلاك الخدمات العامة وعمليات استخراج المياه الجوفية.

اما صعوبة معالجة مشكلة توفير المياه في الجمهورية اليمنية ، فتعزى إلى الاسباب التالية : 1. عدم وجود المياه السطحية مثل (البحيرات، والانهار). 2. عدد السكان (18349000 نسمة في عام 2000م). 3. ارتفاع متوسط معدل نمو السكان (4,1 ٪ في الفترة 2000م—2005م). 4. انخفاض النسبة المئوية من سكان الحضر (25 في المائة في عام 2000م) نسبة كبيرة من "هجرة سكان الارياف". 5. انخفاض مستوى التنمية الاقتصادية (الناتج المحلي الاجمالي ، بتقدير القوة الشرائية في عام 2000م بلغت 14400 مليون دولار امريكي). 6. صغر كمية الطاقة المنتجة (في عام 1999م ، انتاج الطاقة السنويه --- 240 مليون كيلو وات / ساعة). 7. التوزيع غير متكافئ لهطول الأمطار على أراضي الجمهورية اليمنية، وعدم ربطها مع المناطق الأكثر استهلاكاً للمياه.

وفما يتعلق بمشاكل التأمين المائي التي تم توضيحها وتحليلها مسبقاً في الجمهورية اليمنية من الممكن تحديد الاسباب الرئيسية لشحة المياه العذبة ، والقيام بما يلزم من تدابير لحماية البيئة ووضع نظام اداري للموارد المائية.

1. وصف الجغرافيه الطبيعيه لليمن

تقع اليمن في الجزء الجنوبي الغربي من شبه الجزيرة العربية، بين 12° و 20° شمالاً خطوط العرض و 41° و 54° خطوط الطول شرق خط غرينتش، وتشرف على مضيق باب المندب الذي يعد من أهم الممرات المائية في العالم ، وهو يربط البحر العربي بالبحر الأحمر. ومما يضاعف من أهمية موقع اليمن انتشار جزرها البحرية في مياهها الإقليمية على امتداد بحر العرب وخليج عدن والبحر الأحمر. تأسست الجمهورية اليمنية في 22 أيار / مايو ، 1990م بعد توحيد شطري اليمن (الجمهورية العربية اليمنية -اليمن الشمالي) و(جمهورية اليمن الديمقراطية الشعبية - اليمن الجنوبي). يحده اليمن من الشمال المملكة العربية السعودية ، ومن الشرق عمان، ومن الجنوب بحر العرب وخليج عدن ، ومن الغرب البحر الأحمر. **الجزر اليمنية**

توجد في المياه الإقليمية اليمنية عدة جزر ولها تضاريسها ومناخها وبيئتها الخاصة واغلب هذه الجزر تقع في البحر الأحمر من أهمها: جزيرة كمران وهي أكبر جزيرة في البحر الأحمر، وجزيرة ميون وتمتلك موقعاً استراتيجياً هاماً في مضيق باب المندب البوابة الجنوبية للبحر الأحمر، وجزر أرخبيل حنيش في البحر العربي واهمها أرخبيل سقطرى وتعتبر جزيرة سقطرى أكبر جزر هذا الأرخبيل والذي يشمل إضافة إلى جزيرة سقطرى جزر سمحة ودرسة وعيد الكوري وتتميز جزيرة سقطرى بكثرة تنوعها الحيوي حيث تقدر نباتات سقطرى على الياسة بحوالي 680 نوعاً.

مساحة اليمن تقدر بحوالي 527.000 كيلومتر مربع، وعاصمتها صنعاء----- (شكل 1)

المقدمة

قال تعالى في كتابه العزيز... بسم الله الرحمن الرحيم [وجعلنا من الماء كل شيء حياً]

[قل اريتم ان أصبح ماؤكم غوراً فمن يأتيكم بماء معين] صدق الله العظيم.

وفكرة ان الماء هو اساس الحياة ،قالها الفيلسوف اليوناني فالس في اوائل القرن السادس قبل الميلاد. لكن ، للأسف ، من المفهوم لعبارة (ل. ج. هندرسون) ان المياه "ستكون هي الأكثر وفرة والأكثر اهمية لجميع المواد" ، لا يتفق مع الموقف غير المسؤول لأعمال الانسانيه [تالاكانتسوف ، 1991].

هذا السلوك الغير مسؤول يؤدي الى تزايد من تفاقم مشكلة المياه على سطح الكرة الارضية ، والمشكلة بشكل عام يمكن تصورها على النحو التالي : التناقض بين الاحتياجات الاجتماعية المتزايدة للمياه ذات الجودة العالية من ناحية ، واستمرار تدهور نوعيتها وتناقص كميتها من جهة أخرى.

اذا كان اليوم مايقارب 1,7 مليار نسمة ، (اي 40 ٪ من سكان العالم) في اكثر من 80 بلدا يعانون من عجز مزمن وعجز مطلق في المياه ، ومنهم ما لا يقل عن 400 مليون شخص يعيشون في مناطق تعاني من شدة ندرة المياه ، فيحلول عام 2025م حوالي ثلثي البشريه سيعانون من نقص المياه.

ووفقا لبيانات اليونسكو في عام 2050م الى 7 مليار نسمة في 60 بلدا (التوقعات للتشاؤميه) ، أو 2 مليار شخص في 48 بلدا (التوقعات المتفائلة) سوف تواجههم مشكلة شحة المياه. وهذه الحاله يمكن ان تزداد الى الاسوء ، لان عدد سكان العالم يتزايد حاليا بحوالى 80 مليون شخص في السنة ، في حين ان استهلاك المياه على مدى العقدين الماضيين ازداد بمرتين من سرعة النمو السكاني. لذا أزمة المياه تتفاقم بسبب زيادة الرفاه ، وزيادة نسبة اللحوم في النظام الغذائي ، فضلا عن التغييرات في توزيع الأمطار على سطح الأرض.

وتفيد الاحصائيات الاوربيه بان المستوى المتوسط لاستهلاك المياه العذبة للشخص الواحد للأغراض المنزلية في اليوم يبلغ (200-300 لتر) ، وهو يتجاوز الحد الأدنى للأستهلاك (بمعدل 10-15 مره). فالمياه العذبة تدريجياً ستصبح من الموارد الطبيعية النادرة. ففي خلال القرن العشرين ، ارتفع استهلاك المياه بسبع اضعاف ، في حين ازداد عدد السكان ثلاثة اضعاف و ليس من قبيل الصدفة ان تعلن الامم المتحدة عام 2003م (السنة الدولية للمياه العذبة). و في الجمهورية اليمنية يعتبر تأمين الاقتصاد الوطني والاحتياجات المنزلية للسكان من المياه هي احدى المشاكل الحرجه والحاده [خالد عبده سعيد علي المريش ، 2002 ، 2003 ، 2004 ، 2006 ، 2007 ؛ فرومين ، خالد عبده سعيد علي المريش ، 2005 ، 2006].

اذ يبلغ في الوقت الحالي متوسط نصيب الفرد في اليمن 223 متر مكعب سنوياً من موارد المياه المتجدده. اذا ظل معدل النمو السكاني الحالي في المستقبل في اليمن ، فيعد عقدين من الزمن نصيب الفرد ان يتجاوز 150 متر مكعب في السنة. ووفقا للتنبؤات الحاليه ان نصيب الفرد من المياه المتجدده تقريبا بعد 30 سنه سينخفض 76-100 متر مكعب في السنة ، اي اقل من الاحتياجات الفيزيولوجيه.

في الوقت الراهن ، متوسط الاستهلاك للفرد الواحد في اليمن حوالي 1250 متر مكعب من الماء سنوياً ، ولايستخدم الفائض من هذه الموارد الطبيعيه فحسب، بل ايضا تدمر وبلا رحمة الموارد نفسها. ان عمليه ضخ المياه الجوفية في جميع انحاء اليمن يزيد بمقدار (1.5مره) عن كمية المياه المتجدده، وهذا يشكل تهديدا خطيرا لامدادات المياه في مناطق كثيرة، وخاصة في معظم المدن الكبرى [خالد علي عبده سعيد علي المريش ، فرومين ، 2006].

قطب 35 ٪ من عدد سكان اليمن يحصولون على المياه الصالحة للشرب هذه النسبه في المناطق الحضرية تكون حوالي 74 ٪ وفي المناطق الريفية -- حوالي 14 ٪. ونتيجة لذلك فان الآثار المترتبة على استخدام المياه الملوثة جدا مأساويه. نحو 70 ٪ من وفيات الاطفال في سن الرضاعة يعزى بسبب امراض مختلفة ، نقلت عن طريق شرب المياه الملوثة.

واحدى المشاكل التي تواجهها اليمن في تأمين المياه الصالحة للشرب هي هجرة سكان الريف الى الحضر وتمركزهم على ضواحي المدن الكبيره وبناء مساكن عشوائيه حيث لا تتوفر شبكات المياه والصرف الصحي.

نحو ثلاثة ارباع من المياه السطحيه غير المعالجه في المدن الساحليه تصب في البحر، وهذا يلوث الاحياء البحريه ويؤثر على الحياة بما في ذلك الاسماك التي تعتبر احدى المصادر الغذائية للسكان، كما يسبب

4	المقدمه
5	1. وصف الجغرافيه الطبيعيه للجمهوريه اليمنيّه
8	2. الوضع البيئي في الجمهوريه اليمنيّه
10	3. الوضع الراهن لتأمين المياه في الجمهوريه اليمنيّه
15	4. اتجاهات تنمية التأمين المائي في الجمهوريه اليمنيّه
23	5. الاستنتاج (المخارج والطلول)
24	6. المصادر

خالد عبده سعيد علي المريش، جريجوري تيميتيفيتش فرومين: تأمين المياه في الجمهورية اليمنية : الوضع الحالي وطرق تحسينه – سانت بطرس بوج: مطبعة النشر في جامعة الأرصاد الجوي والهيدرولوجيا الحكوميه روسيا الاتحاديه ، نوفمبر 2008م.

الناقد: أ.د. برفسور/ جيرمن سيميونوفيتش ارسينوف

عنوان التواصل : 195196 ، سانت بطرس بوج ، مالاختينسكي براسبكت ، 98.

e-mail: frumin@rshu.ru, khalidmurish@yahoo.com

عدد الصفحات 84 ، عدد الجداول ، عدد الأشكال 6 ، عدد المصادر 19 .

© خالد عبده سعيد علي المريش
© جريجوري تيميتيفيتش فرومين
© جامعة الأرصاد الجوي والهيدرولوجيا الحكوميه
روسيا الاتحاديه

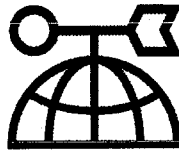
ISBN 5-230-09885-6

وزارة التعليم والعلوم روسيا الاتحادية

جامعة الأرصاد الجوي والهيدرولوجيا الحكوميه
روسيا الاتحادية

خالد عبده سعيد علي المريش، جريجوري تيميتيفيتش فرومين

تأمين المياه في الجمهورية اليمنية : الوضع الحالي وطرق تحسينه



سانت بطرس بوج

2008