

М. Колодин

ВОДА И ПУСТЫНИ

Москва «Мысль» 1981

РЕДАКЦИИ ГЕОГРАФИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Фото **С. Корытникова, А. Лаврова** и фотохроники ТАСС

К 20901-119 129-81. 1905030000
004(01)-81

© Издательство «Мысль», 1981

ИБ № 1484

Колодин Михаил Васильевич

ВОДА И ПУСТЫНИ

Заведующий редакцией **А. П. Воронин**

Редактор **Н. А. Рожкова**

Редактор карт **Е. А. Шемякина**

Младший редактор **Т. Д. Изотова**

Оформление художника **Е. В. Ратмировой**

Художественный редактор **С. М. Полесицкая**

Технический редактор **О. А. Барабанова**

Корректор **В. С. Фенина**

Сдано в набор 22.09.80. Подписано в печать 01.06.81. А 02578. Формат 80×108¹/₃₂. Бумага типографская № 3. Литературная гарнитура. Высокая печать. Усл. печатных листов 6,3. Учетно-издательских листов 6,44. 6,62 усл. кр.-отт. Тираж 7000 экз. Заказ № 1495. Цена 70 к.

Издательство «Мысль». 117071. Москва, В-71, Ленинский проспект, 15

Московская типография № 8 Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. Хохловский пер., 7.

Предисловие

В эпоху научно-технической революция пустыни стали объектом интенсивного сельскохозяйственного и промышленного развития. Освоение пустынь даже на современном этапе научно-технического прогресса — задача сложная и все более ответственная. С одной стороны, она требует повышенных расходов, применения особых методов и технических средств, с другой — тесно связана с вопросами охраны окружающей среды, рационального землепользования, с научным прогнозом нежелательных последствий вмешательства человека в сложившееся в природе равновесие, с вопросами улучшения экологической обстановки.

За годы Советской власти богатства пустыни поставлены на службу народа. Плановое развитие промышленности и сельского хозяйства в условиях развитого социализма позволило превратить некогда безжизненные районы в плодородные, построить крупные благоустроенные города и промышленные центры, связать их транспортными артериями, соорудить на реках пустынь плотины и водохранилища, провести от них мощные каналы, обеспечивающие орошение и обводнение.

Большая часть территории пустынь используется как естественное пастбище, позволяющее развивать наиболее доходные отрасли животноводства — овцеводство и верблюдоводство. На пастбищах Средней Азии и Казахстана содержится до 50 млн. овец и все поголовье верблюдов. Зоны пустынь и полупустынь в общесоюзном производстве сельскохозяйственной продукции дают 100% хлопка-сырца и кенафа, весь каракуль (55% мирового производства), 77% шелка-сырца, 33% баранины, 16% шерсти, 17% растительного масла, много фруктов, винограда и бахчевых культур.

Еще сравнительно недавно пустыни Советского Союза рассматривались только с точки зрения интересов сельского хозяйства. В наше время большое развитие получила горнодобывающая промышленность. И сегодня здесь добывают 30% природного газа, 12% угля, значительное количество серы, сульфата натрия, фосфоритов, йода, брома, калийной и поваренной соли и многие другие полезные ископаемые,

Жизнь и хозяйственная деятельность человека в пустыне немыслима без воды. Недаром гласит восточная пословица: «Где кончается вода, там кончается земля». К сожалению, география размещения пахотнопригодных земель и полезных ископаемых не совпадает с географией водных ресурсов. Человеку приходится улучшать природную карту и подводить воду туда, где она необходима.

Водоснабжение населения, промышленности, пастбищного животноводства и дальнейшее развитие орошаемого земледелия в пустынях Средней Азии и Казахстана требуют решения водной проблемы. Уже построены Каракумский канал им. В. И. Ленина протяженностью более 1000 км, Аму-Бухарский, Каршинский и др. Освоены под орошение такие целинные массивы, как Голодная и Каршинская степи. Сейчас из 28 млн. га, пригодных под орошаемое земледелие, освоено около 7 млн. В недалеком будущем площадь орошаемых земель будет доведена до 11—12 млн. га.

XXVI съезд КПСС поставил задачу: «Добиться всестороннего повышения эффективности использования орошаемых и осушенных земель. Повысить технический уровень и качество водохозяйственного строительства, обеспечить комплексное проведение работ по мелиорации земель и их сельскохозяйственному освоению, осуществить меры по рациональному расходованию воды для нужд сельского

хозяйства, улучшению мелиоративного состояния орошаемых и осушенных земель, поднять ответственность за их выбытие из оборота. Опережающими темпами вести работы по реконструкции существующих мелиоративных систем и улучшению их водообеспеченности, ликвидации засоленности и повышенной кислотности почв».

Как известно, в нашей стране обсуждаются проекты переброски на юг части стока сибирских рек с помощью грандиозного канала. Если это будет осуществлено, то возможно преобразование природы огромной территории, создание в зоне влияния канала новых городов, населенных пунктов, благоустроенных дорог, промышленных и сельскохозяйственных комплексов.

В настоящей книге автор рассматривает традиционные способы добычи воды, которыми жители пустынь пользуются с незапамятных времен, и новые, разрабатываемые и постепенно реализуемые проекты водообеспечения безводных или маловодных пустынных территорий.

Наибольшее внимание автор, как специалист в области опреснения воды, уделяет экономическим аспектам применения опреснительных установок в пустынях мира и значению опреснения в водном хозяйстве некоторых стран. Впервые сделано технико-экономическое сопоставление различных способов получения водных ресурсов с помощью опреснения и показана возможность опреснения воды в больших масштабах для водоснабжения безводных стран и охраны водной среды от загрязнения. В научной литературе еще не давалась столь детальная и квалифицированная оценка технико-экономических показателей и перспектив опреснения воды в решении водной проблемы пустынь. Поэтому мне думается, что предлагаемая работа будет встречена многими специалистами и широким кругом читателей с большим интересом.

А. Г. Бабаев

Президент Академии наук Туркменской ССР,
член-корреспондент АН СССР

ГЛАВА 1

Прогресс человеческого общества и проблема воды в пустыне

Запасы воды на Земле и водообеспеченность стран

Вода — наиболее распространенное и самое необходимое вещество на Земле, и в силу необычных, только ей присущих свойств ничем не заменима. Она используется в быту для хозяйственно-питьевых целей, в производственных технологических процессах (как реагент и растворитель, компонент и рабочее тело, энерго- и теплоноситель и т. д.) и в сельском хозяйстве. В настоящее время на земном шаре ежегодно расходуется около 10 млрд. т всех сырьевых ресурсов, тогда как почти такое же количество воды человечество использует ежедневно.

Рост старых и строительство новых городов, размещение промышленности и расширение площадей орошаемых земель находится в прямой и нередко решающей зависимости от наличия водных ресурсов в данной местности.

В последние годы все чаще высказывается тревога об истощении водных ресурсов — из-за резкого увеличения масштабов потребления воды водоснабжение во многих районах мира решается с большими трудностями. Проблеме обеспечения человечества пресной водой была посвящена специальная конференция ООН по водным ресурсам, состоявшаяся в 1977 г. в Мар-дель-Плата (Аргентина).

Если водная проблема и раньше имела первостепенное значение для стран, расположенных в засушливых, или аридных, районах мира, то в наши дни она стала еще более острой и актуальной в связи с их индустриальным и сельскохозяйственным развитием. Поэтому важно охарактеризовать имеющиеся водные ресурсы, существующие способы их использования и разрабатываемые методы водообеспечения маловодных или безводных пустынных территорий.

Мировые запасы воды на Земле равны почти 1 386 млн. км³, из них пресных вод всего лишь 36 млн. км³, или 2,53% («Мировой водный баланс...», 1974). Из этого количества пресных вод более двух третей (или 1,76%) находится в твердом состоянии — в ледниках Арктики, Антарктики и зоне вечной мерзлоты. В жидком состоянии большая часть запасов пресных вод представлена подземными водами — 10,53 млн. км³, или 0,76% общих запасов. И всего лишь 0,01%, или 134 тыс. км³, мировых ресурсов приходится на пресные воды, находящиеся в зоне активного водообмена — в озерах, болотах, руслах рек, почве и атмосфере, которые и служат человеку источниками пресной воды. Пары атмосферы содержат 12 900 км³ воды, а в руслах всех рек запас ее еще меньше — 2120 км³, но именно атмосферная влага и реки играют особенно важную роль в обеспечении человека пресной водой. Реки в буквальном смысле слова представляют собой кровеносные сосуды, несущие «живую кровь» — пресную воду.

Для геофизических и биологических процессов, происходящих на нашей планете, жизненно важное значение имеют возобновляемые водные ресурсы, представляющие динамическую часть круговорота воды на Земле. Ежегодно почти половина (47,1%) всей солнечной энергии, достигающей земной поверхности, расходуется на испарение 577 тыс. км³ воды («Мировой водный баланс...», 1974). Из всей испарившейся воды на сушу выпадает 119 000 км³, а испаряется с поверхности суши только 72 тыс. км³. Разница в 47 000 км³ расходуется на ежегодный поверхностный сток всех рек земного шара (43 700 км³), ледников и айсбергов (1100 км³), а также подземный сток в океан через береговую линию (2200 км³) («Мировой водный баланс...», 1974). Исходя из приведенной величины речного стока водообеспеченность каждого из 4 205 млн. жителей планеты¹ составляет 10 390 м³/год, или почти 28 500 л/сут. Благодаря круговороту воды на Земле ресурсы речного стока постоянно возобновляются.

¹ По данным Демографического центра ООН, таким было население мира в середине 1978 г. — «Правда», 22 апреля 1979 г.

Источником формирования водных ресурсов являются атмосферные осадки. Для различных географических районов мира количество их колеблется в чрезвычайно широких пределах. Особенно мало осадков выпадает в пустынях. Годовая сумма в экстрааридных областях обычно менее 65—100 мм, в аридных и полуаридных — от 100 до 400 мм. Самое засушливое место на земном шаре — Ливийская пустыня, где в

отдельные годы не выпадает ни капли дождя и годовая сумма осадков не превышает 3 мм, а в центре пустыни — даже 1 мм. Второе по засушливости место — пустыня Атакама в Чили, где годовые осадки едва достигают 10 мм и в отдельные годы вообще не бывает дождей («Мировой водный баланс...», 1974; «Физико-географический...», 1964). Другие аридные районы характеризуются следующим количеством осадков: в пустыне Гоби — 20 мм, на юге Аравийского полуострова — 40, в пустынях Иранского нагорья — 61, в Северной Америке в пустыне Мохаве — 89 мм.

Обширные площади пустынь и полупустынь мира обладают скудными водными ресурсами. А в гумидных районах земного шара атмосферные осадки выпадают в больших количествах и образуют речной сток. Например, годовая сумма осадков в районе Батуми — 2500 мм, в Африке в Камеруне, у горы Килиманджаро, — 9950, а на самом вулкане — 10 470, в Индии у подножия Гималаев — 11 270, а на Северных Гавайях — даже 12 093 мм (Келлер, 1965; «Мировой водный баланс...», 1974).

В местах с благоприятными климатическими и гидрологическими условиями: с обильными осадками, малым расходом воды на испарение и фильтрацию — формируются реки с высоким водным стоком. Самые большие и крупные реки находятся в малонаселенных и необжитых местах (Амазонка несет в год 6307 км³ воды, Ла-Плата — 1358, Конго — 1305, Енисей — 550, Лена — 490, Обь — 395, Амур — 348, Маккензи — 265 и др.) (Келлер, 1965; «Орошение и осушение...», 1974). В густозаселенных районах мира реки немногочисленны и их ресурсы разобраны на нужды водоснабжения и орошения.

О водообеспеченности судят по количеству водных ресурсов речного стока, приходящихся на одного жителя. Сведения о водообеспеченности различных стран приведены в работе М. И. Львовича (1974). Самую высокую водообеспеченность имеют такие страны, как Габон, Конго, Канада и Норвегия, где на душу населения приходится от 328 до 96,9 тыс. м³/год. Самую низкую — Судан, Ливия и АРЕ, где каждый житель располагает от 4,01 до 0,12 тыс. м³/год воды. В СССР на каждого жителя в среднем приходится 16,6 тыс. м³/год воды. Если Сибирь и Дальний Восток очень богаты водными ресурсами, то хуже всего обеспечены водой местного стока население Туркменской (110 м³/год) и Молдавской (220 м³/год) республик (Бабкин, Воскресенский, 1976).

Рост потребления воды в мире

Быстрый рост населения мира, развитие промышленности и орошаемого земледелия порождают еще больший рост мирового водопотребления. За период от наших дней до 2000 г. расход воды на водоснабжение может увеличиться при существующих методах водопользования в 12 раз. Если будет применяться рациональное водопользование — оборотное водоснабжение, повторное использование воды и переход к сухому, безводному производству, тогда возможно, что водозабор возрастет только в 2,5 раза (до 1505 км³/год) (Львович, 1974).

В табл. 1 приведены данные о потреблении воды в мире. В 1975 г. общий расход воды на земном шаре составил 3000 км³/год и к 2000 г. он удвоится. В настоящее время в среднем на каждого жителя планеты приходится 2100 л/сут, которые расходуются следующим образом: 5% — в коммунальном хозяйстве, 21% — в индустрии, 70% — в ирригации и 4% — потери на испарение в водохранилищах.

Но фактический расход воды в отдельных странах колеблется в весьма широких пределах. В индустриально развитых, таких, как СССР, Франция и США, уровень потребления воды на каждого жителя в 1966 г. составил соответственно 3200, 4500 и 6500 л/сут (Фюрон, 1966; Spiegler, 1966; Sporn, 1966; «Использование воды...», 1973). Между тем в развивающихся странах Азии, Африки и Латинской Америки в 1966 г. на все нужды расходовалось 38 л/сут («Le dessalement...», 1965).

Т а б л и ц а 1

Водопотребление на земном шаре, км³/год

(в числителе полное водопотребление, в знаменателе безвозвратное)

(«Мировой водный баланс...», 1974)

Водопотребитель	1900 г.	1940 г.	1950 г.	1960 г.	1970 г.	1975 г.	1985 г.	2000 г.
Коммунальное хозяйство	20	40	60	80	120	150	250	440
	5	8	11	14	20	25	38	65
Промышленность	30	120	190	310	510	630	1 100	1 900
	2	6	9	15	20	25	45	70
Сельское хозяйство	350	660	860	1 500	1 900	2 100	2 400	3 400
	260	480	630	1 150	1 500	1 600	1 900	2 600
Водохранилища	0	1	4	20	70	110	170	240
	0	1	4	20	70	110	170	240
Общее (с округлением)	400	820	1 100	1 900	2 600	3 000	3 900	6 000
	270	500	650	1 200	1 600	1 800	2 200	3 000

Большой расход воды вызывает процесс урбанизация современной жизни. В настоящее время возникли города-гиганты с населением более 10 млн. человек. По данным Международного демографического центра, к концу века вырастут города-сверхгиганты — Мехико, Сан-Паулу и Калькутта с населением 32, 26 и 22 млн. человек. Чтобы обеспечить водой такие колоссальные скопления людей, необходимы огромные количества водных ресурсов, которых на месте уже не хватает, ощущается дефицит воды, так как жажда городов не ослабевает.

Развитие крупной промышленности, в особенности химической, связано с неуклонным ростом потребления воды. Ведь на производство 1 т следующих видов промышленной продукции по общепринятым нормам нужно израсходовать воды, в м³ («Укрупненные нормы...», 1973):

угля	2—6	пластмасс	1 200— 1 650
добычи и переработки нефти	40—150	конденсаторной бумаги	1 200— 3 300
чугуна и стали	100—	синтетических смол	1 500—

	200		2 000
бумаги	430— 770	кубовых красителей и индиго	1 680— 5 000
картона	400— 510	синтетического каучука	2 850
химических удобрений	400— 800	химических волокон (ацетат и капрон)	3 000— 5 700
натуральных тканей	820— 1 620	шелка-сырца	7 250
титана и никеля	800— 3 000	молибденового проката	11 700
синтетических тканей (лавсан и нитрон)	950— 1 900	стрептомицина	55 900

Если сопоставить эти цифры с объемом нынешнего мирового промышленного производства, то нетрудно себе представить масштабы использования воды в индустрии. За 75 лет текущего столетия потребление воды в промышленности выросло с 30 до 630 км³/год, т. е. в 21 раз, а к 2000 г. возрастет до 1900 км³/год (см. табл. 1)

Но наиболее крупным потребителем воды остается сельское хозяйство, особенно орошаемое земледелие. По данным И. А. Шикломанова (1976), площадь орошаемых земель в мире за первую половину века увеличилась с 40 до 96 млн. га, т. е. выросла немногим более чем в два раза. За вторую половину века она возрастет с 96 до 420 млн. га, или более чем в четыре раза, а всего за столетие площадь поливных земель увеличится более чем в 10 раз. Расход воды на орошение с начала века до 1970 г. возрос с 350 до 1900 км³/год, а к 2000 г. увеличится еще до 3400 км³/год (см. табл. 1).

Население и площадь пустынь

Пустыня — место хозяйственной деятельности человека. Если в прежние времена в пустынях и полупустынях велось только экстенсивное отгонное животноводство и земледелие существовало лишь в небольших оазисах, то в наши дни началась промышленная разработка полезных ископаемых и крупное ирригационное строительство в целях освоения новых земель. В аридной зоне возникли крупные центры нефтяной, газовой, химической и горнорудной промышленности, выросли города и новые поселки, проложены нефте- и газопроводы, построены линии электропередач, шоссейные и железные дороги.

Созданы новые рукотворные оазисы и зазеленели большие массивы возделанных полей, которые стали играть заметную роль в производстве зерновых и технических культур. В пустынной зоне расположена треть всех орошаемых земель мира (Зонн, 1976; «Орошение и осушение...», 1974), выращивается 100% хлопка-сырца, производится около 80% шелка-сырца и много другой продукции. На обширных пустынных и полупустынных пастбищах развивается отгонное животноводство. Животноводческие хозяйства дают 100% каракуля, значительную долю мяса, шерсти.

Однако интенсивная эксплуатация природных ресурсов, увеличение плотности населения, рост промышленного производства, применение индустриальных методов

развития сельского хозяйства, небывалые масштабы добычи полезных ископаемых, неблагоприятные погодные условия привели к возникновению во многих районах аридной зоны земного шара «антропогенных» пустынь, площадь которых исчисляется в 9,1 млн. км² (Зонн, 1978).

Современные проблемы изучения и освоения пустынь и меры борьбы с опустыниванием были предметом обсуждения на международных конференциях и симпозиумах. В 1977 г. в столице Кении Найроби проведена конференция ООН, на которой принят согласованный «план действий» по борьбе с опустыниванием (Толба, 1978). На материалах исследований Международной программы Организации Объединенных Наций по окружающей среде (ЮНЕП) и другим Международным организациям ООН (ФАО, ВМО, ЮНЕСКО) составлена всемирная карта опустынивания («Desertification map...», 1977), опубликованная ЮНЕП в Найроби. По ней уточнены площади пустынь и полупустынь, определен уровень опасности процесса опустынивания для всех аридных территорий и подсчитаны их площади.

Американский ученый П. Мейгс определил площадь пустынь мира общей цифрой 48,8 млн. км² (Мейгс, 1955). Позже египетский ученый-эколог М. Кассас также произвел подсчет площади пустынь по биоклиматическим зонам и получил общую площадь в 50,83 млн. км², или 34,1% суши (Зонн, 1976). Согласно последней уточненной карте опустынивания ЮНЕП, пустыни и полупустыни занимают 53,3 млн. км², или 35,8% всей суши, а зона недостаточного увлажнения — 4,1 млн. км².

Т а б л и ц а 2

Распределение по континентам площадей пустынь и орошаемых земель, млн. га

(по данным М. Кассаса и И. С. Зонна)

Континент	Пустыни	Орошаемые земли	В том числе в пустынной зоне
Европа	—	12,8	—
Африка	1 790	8,9	7,9
Австралия	640	1,7	1,6
Северная и Центральная Америка	400	24,4	21,8
Южная Америка	300	6,6	0,6
Азия	1 650	164,6	44,0
СССР	303	11,5	8,5
Итого...	5 083	233,5	84,4

В табл. 2 приведены площади пустынь и орошаемых земель по континентам и площади орошаемых земель в пустынной зоне.

Засушливые зоны подразделяются по биоклиматическим признакам на экстрааридные, аридные и полуаридные. На карте опустынивания ЮНЕП («Desertification map...», 1977) они выделены по величине показателя увлажнения или

аридности C_A , который равен отношению среднегодовой суммы осадков к соответствующей среднегодовой сумме испаряемости.

1) Экстрааридная зона, где $C_A < 0,03$. Возможная годовая сумма осадков менее 65—100 мм, а в некоторых пустынях вообще не выпадает за год ни одного дождя. Зона характеризуется отсутствием растительного покрова и крайне суровыми климатическими условиями. По последним оценкам, площадь зоны исчисляется в 9,0 млн. км².

2) Аридная зона, где $0,03 < C_A < 0,20$. Сумма осадков от 100 до 200 мм. Покрыта скудной растительностью: произрастают эфемерные однолетние травы, а многолетняя растительность сосредоточивается вдоль сухих русел рек «вади», которые заполняются водой и текут только во время дождя. В этой зоне можно заниматься кочевым скотоводством и орошаемым земледелием. Площадь равна 26,8 млн. км².

3) Полуаридная зона, где $0,20 < C_A < 0,50$. Сумма осадков от 200 до 400 мм, более часто встречается многолетняя растительность и имеются отдельные участки с травянистым покровом. Здесь разводят домашних животных и возделывают неорошаемые сельхозкультуры. Площадь составляет 17,5 млн. км².

4) Зона недостаточного увлажнения, где $0,50 < C_A < 0,75$. Сумма осадков от 400 до 800 мм. Эта зона характеризуется более плотной растительностью, к ней относятся тропические саванны, черноземные степи. Здесь возможны богарные посевы некоторых культур, но для высокопродуктивного земледелия необходимо искусственное орошение. Площадь равна 4,1 млн. км².

Из краткой характеристики аридных зон видно, что из-за недостаточного увлажнения земледелие в пустынях возможно только при условии искусственного орошения. Поэтому жизнь и земледелие сконцентрированы в оазисах, а на обширных пространствах пустынь нет ни постоянной растительности, ни постоянных жителей (есть только растения-эфемеры, да скотоводы-кочевники). Но эти обширные пространства обладают высоким экономическим потенциалом. И чтобы освоить богатства пустынь и поставить их на службу человеку, нужны водные ресурсы в количествах, достаточных для обеспечения водой новых городов и новых промышленных разработок полезных ископаемых, развития отгонного животноводства и орошаемого земледелия.

Водные ресурсы пустынь

Специфические климатические условия пустынь — обилие солнечного тепла, малые осадки, высокие температуры воздуха и большой дефицит влажности — не только исключают формирование постоянного водного стока, но и способствуют повышению минерализации подземных вод. Лишь во время дождей образуются временные водотоки, которые быстро пересыхают. Постоянный поверхностный сток формируется за пределами пустынь.

Через некоторые пустыни протекают транзитом крупные реки (Нигер, Нил, Инд, Тигр и Евфрат, Амударья, Колорадо и др.), берущие начало в соседних географических областях, обычно горных районах. В табл. 3 сведены данные о крупнейших реках, протекающих по пустынным и засушливым территориям мира. Их водные ресурсы играют громадную роль в освоении пустынь: в водоснабжении (населения и промышленности) и в орошении.

Помимо речного стока в пустынях еще с древнейших времен широко используются все доступные ресурсы пресных подземных вод. Общие естественные запасы подземных вод во всем мире оценены в 23,4 млн. км³, из них пресных 10,53 млн. км³ и соленых 12,87 млн. км³ («Мировой водный баланс...», 1974). Из приведенных цифр следует, что на суше соленых подземных вод больше, чем пресных, а в пустыне это соотношение еще более изменяется в пользу соленых.

В пустынях идет интенсивное испарение не только выпавших осадков, но и грунтовых вод. Это приводит к повышению минерализации подземных вод, а в случае их близкого залегания от поверхности — к образованию солончаков и шоров. Поэтому, как правило, на большей части территории пустынь подземные воды первого водоносного горизонта имеют повышенную минерализацию и непригодны для хозяйственно-бытовых целей.

Т а б л и ц а 3

Водные ресурсы крупнейших рек, протекающих по пустынным и полупустынным территориям

Река	Средний многолетний		Длина, км	Площадь водосбора, тыс. км ²
	сток, км ³ /год	расход, м ³ /с		
Нигер (Африка)	268,0	8 500	4 160	2 092,0
Инд (Азия)	206,0	6 530	3 180	980,0
Нил (Африка)	84,0	2 664	6 671	2 870,0
Тигр и Евфрат (Азия)	77,0	2 442	3 260	1 048,0
Амударья (Азия)	63,1	2 000	1 437	227,8
Хуанхэ (Азия)	47,0	1 500	4 845	745,1
Сырдарья (Азия)	37,8	1 200	2 137	150,1
Тарим (Азия)	29,0	920	2 030	951,5
Лимпопо (Африка)	26,0	824	1 600	440,0
Карун (Азия)	24,3	770	850	60,0
Муррей (Австралия)	23,6	750	2 575	1 056,7
Колорадо (Северная Америка)	23,4	742	1 450	107,0
Сенегал (Африка)	23,2	735	486	441,0
Рио-Гранде (Северная Америка)	18,0	570	2 880	570,0
Джуба (Африка)	17,2	546	1 600	750,0
Оранжевая (Африка)	15,3	486	1 860	1 020,0
Или (Азия)	14,8	470	1 439	129,0
Гельменд (Азия)	6,8	214	1 150	39,2

Сефидруд (Азия)	4,1	130	720	56,0
Зеравшан (Азия)	2,6	81	781	12,3
Чу (Азия)	2,0	64	1 067	27,1
Дзабхан (Азия)	1,9	60	808	150,0
Мургаб (Азия)	1,6	52	852	46,9
Фарахруд (Азия)	1,5	49	580	25,0

Источники: «Водные ресурсы и водный баланс...», 1967; «Мировой водный баланс...», 1974; Муранов, 1959; «Орошение и осушение...», 1974; Шульц, 1965, 1968; БСЭ, изд. 3.

Пресные подземные воды встречаются вблизи областей питания на подгорных равнинах или в долинах крупных рек, где поступление вод происходит с гор или из рек за счет подрусловой фильтрация.

В подпесчаных линзах могут быть накоплены большие статические запасы пресных вод. Только по восьми крупнейшим линзам Туркменистана статические запасы воды определены в 71 млрд. м³. Естественные ресурсы этих линз равны 482,1 л/с, а прогнозные эксплуатационные оценены в 13 757 л/с («Гидрогеология СССР», 1972). Поэтому эксплуатация подпесчаных линз предполагает разработку вековых запасов воды. Малые линзы пресных вод формируются путем погружения в зону аэрации вод временного поверхностного стока с такыров или предгорий. Магазинирование дождевой воды в подземных коллекторах позволяет сохранить ее от испарения и использовать в отгонном животноводстве.

Минерализованные подземные воды распространены всюду. На равнинах они обычно залегают сплошным зеркалом и лишь в некоторых местах образуются пятна распреснения под большими массивами барханных песков за счет фильтрации атмосферных осадков или дождевой воды временного поверхностного стока, образующегося на горных склонах или на равнинных глинистых водосборах (такырах). Сводные данные о запасах соленых подземных вод в аридных зонах земного шара ними не найдены. В последней работе М. Р. Никитина (1978) и других приводятся результаты оценки ресурсов солоноватых и соленых подземных вод южных районов СССР, которые охватывают все пустынные и полупустынные районы нашей страны. На площади 3,6 млн. км² потенциальные эксплуатационные ресурсы подземных вод равны 5000 м³/с, из них пресных — 2100, слабосоленых (с минерализацией 1—3 г/л) — 700, солоноватых (3—10 г/л) — 1000 и соленых (10—35 г/л) — 1200 м³/с (Никитин и др., 1978). Таким образом, ресурсы минерализованных вод равны 2200 м³/с, или 70 км³/год, что по водности превышает сток такой большой реки, как Амударья.

Слабоминерализованные подземные (дренажные) и поверхностные (сточные) воды могут быть дополнительным источником получения водных ресурсов и использоваться для орошения непосредственно, либо после разбавления пресными водами, либо после опреснения. В 1975 г. объем сбросных вод в мире достиг 1200 км³/год, из них только дренажных вод отводилось в сельском хозяйстве приблизительно 500 км³/год. Так как в пустынях мира находится треть всех орошаемых земель, то из этого количества дренажных вод на аридные зоны приходится около 170 км³/год.

В нашей стране уже проведены опыты, которые подтвердили целесообразность и рентабельность использования минерализованных вод для орошения кормовых и технических культур («Использование минерализованных вод...», 1973; Рахимбаев, Ибрагимов, 1978). Г. С. Нестерова (1972) в обстоятельном и чрезвычайно интересном обзоре обобщила результаты своих исследований и мировой опыт использования минерализованных вод для орошения. Было показано, что не только слабоминерализованные континентальные воды, но и морские можно в определенных условиях с успехом использовать для выращивания кормовых и технических культур.

Обнадеживающие результаты уже проведенных опытов во многих странах мира открывают реальные перспективы использования огромных ресурсов слабоминерализованных вод (подземных и поверхностных) и ресурсов морских вод для орошения аридных земель и освоения пустынь.

ГЛАВА 2

Традиционные способы добычи воды в пустыне

Орошение в древнем мире

Вода — неперенное условие существования человека, поэтому люди из поколения в поколение открывали все новые и новые способы ее добычи. Великие цивилизации и культуры древности были обязаны своим расцветом и могуществом в значительной мере умению и изобретательности человека добывать воду в тяжелых природно-климатических условиях.

Первые цивилизации в древности возникли в долинах рек Нила, Инда, Тигра и Евфрата еще 5—6 тыс. лет назад. Теплый климат, плодородные земли и обилие воды создавали благоприятные условия для поселения людей. В глубокой древности в долине Нила возникло могущественное царство фараонов. Истоки Нила лежат далеко на юге в горах Экваториальной Африки и Абиссинского нагорья. Эта самая длинная река мира на большом расстоянии течет по раскаленной пустыне, принося в нее жизнь. Ежегодно, разливаясь, затопливает поля и удобряет их плодородным илом. Еще на заре истории, чтобы защитить Египет как от избытка, так и от недостатка нильских вод, жителям долины необходимо было укротить реку и распределять воду с помощью сложной системы плотин и каналов.

Согласно преданию, первый египетский царь Менес (около 3400 г. до н. э.) был также и первым строителем дамб для регулирования Нила (Херст, 1954). Во времена фараонов осуществлялся тщательный уход за просительной системой. Был разработан целый кодекс законов водопользования, которого неукоснительно придерживались в Древнем Египте. Пока процветал Древний Египет, оросительные системы поддерживались в образцовом порядке. Позднее, с приходом римлян, а затем и турок, каналы и плотины не ремонтировались, оросительная сеть не очищалась и пришла в упадок.

В плодородной долине Двуречья более 5 тыс. лет назад возникли города и царства Шумер и Аккад, которые достигли высокого искусства в строительстве плотин,

водохранилищ и каналов. Но кроме высокого инженерного искусства древние шумеры знали и приемы поливного земледелия. Они на опыте убедились, что избыток воды на полях представляет собой не меньшее бедствие, чем и ее недостаток.

В 2400 г. до н. э. между городами Умма и Лагаш возникли раздоры из-за совместного пользования водами Евфрата. Лагаш прорыл себе новый канал и подал воду на поля из Тигра, но это привело к катастрофе. Новый канал подавал слишком много воды, уровень грунтовых вод поднялся почти до поверхности, и все поля покрылись солью. Лагашцы вынуждены были бросить эти поля и переселиться на новые земли (Фюрон, 1966).

В древнем Вавилоне правила пользования водой были возведены в закон, и там scrupulously следили за тем, чтобы вода распределялась справедливо и земля орошалась в порядке строгой очередности. До нас дошли отрывки свода законов Хаммурапи (1792—1750 гг. до н. э.), в которых были подробно описаны правила пользования водой (некоторые из них приведены в работе А. П. Муранова, 1959). Суровое наказание ожидало того, кто нарушал законы водопользования или по чьей вине происходил прорыв дамбы.

На протяжении долгой истории на цветущую долину Месопотамии кочевые племена неоднократно совершали набеги и завоевывали ее. Завоеватели не знали орошаемого земледелия и понятия не имели об устройстве ирригационной системы, поэтому каналы и оросительная сеть приходили в запустение, а долина все более и более превращалась в пустыню.

Цветущие цивилизации Хараппа на юге Пенджаба в Индии и Мохенджо-Даро в Пакистане являли собой пример поразительно высокого уровня развития национальной культуры. Мохенджо-Даро нас интересует своей техникой водоснабжения и санитарного благоустройства. В городе существовал водопровод и канализация, имелись общественные купальни и почти в каждом доме была ванная комната, откуда грязная вода по трубам выводилась в выгребные ямы. Эти ямы служили отстойниками, где осаждались твердые частицы, и они периодически очищались. Из ям грязная вода поступала в канализационный коллектор сточных вод и по нему выводилась за город (Гильзенбах, 1964; Фюрон, 1966).

Безнапорные водопроводы и акведуки

Но не всякая пустыня обладает таким бесценным даром, как крупная река, а многие не имеют даже малых рек. И люди еще в глубокой древности научились строить безнапорные водопроводы, представляющие собой облицованные камнем каналы-желобы, уложенные со строгим соблюдением уклона, чтобы вода шла самотеком. В тех случаях, когда невозможно было обойти возвышенность, строители прорубали в ней тоннели, а когда встречались низина или ущелье, то канал укладывался на акведуки.

Точно не установлено, где и какой народ впервые построил водопровод и акведуки. Во многих местах находят их остатки и развалины. Первые водопроводы в Древней Греции относятся к VII—VI вв. до н. э. На острове Самосе при тиране Поликрате (537—522 гг. до н. э.) архитектор Евпалинус из Мегары провел в город воду, пробив через каменную гору тоннель длиной 1200 м. Он точно рассчитал направление и выдержал уклон, чтобы вода по нему шла самотеком. Далее по облицованному камнем каналу вода подходила к городу и затем поступала в разветвленную сеть труб,

подводивших воду к фонтанам, термам и во многие дома богачей. Сточные воды по другим трубам спускались в гавань (Гильзенбах, 1964; Горский, 1962).

Наибольший размах строительство водопроводов и акведуков получило в Древнем Риме. Первый акведук длиной 20 км построен в 312 г. до н. э. В эпоху расцвета Римской империи в город подводили воду уже 14 водопроводов, причем водопровод Аква Марсия имел протяженность 91,6 км (из них 11 км акведуков). Самым большим достижением римской гидротехники считают сооружение тоннеля через гору Аффлиано длиной 5 км. Римскими акведуками в конце II в. н. э. заведовал Секстус Юлиус Фронтинус, который написал историю их сооружения, где он с гордостью говорил: «Разве можно сравнить бесполезные пирамиды или некоторые прославленные, но тоже не приносящие пользу сооружен греков с этими акведуками?» (Горский, 1962).

Столица гигантской рабовладельческой империи жила грабежами и хищениями, причем город-гигант сам ничего не производил, а свозил из колоний все необходимое. Даже воду Рим забирал из всех окрестных источников в радиусе 100 км. В город подавалось огромное количество воды — в среднем 1000 л/сут на каждого жителя. Такое водопотребление не может обеспечить наши дни ни одна столица мира.

Римские императоры соперничали друг с другом в сооружении в городе роскошных терм — общественных бань. Некоторые были настолько величественны и грандиозны, что в них могли одновременно находиться 1600 человек. Кроме 11 терм, было 850 купален, 1350 общедоступных водоемов и колодцев, множество фонтанов. В богатые дома вода подавалась по каменным и глиняным трубам. Сточные воды отводились подземным путем в сборный коллектор, который выводил из города загрязненные воды в Тибр (Гильзенбах, 1964).

До наших дней сохранились остатки акведуков в сирийской пустыне в оазисе легендарной Пальмиры, в Тунисе на землях древнего Карфагена, в Иране недалеко от города Кум и во многих других местах.

Колодцы и кяризы

В пустынных и засушливых районах, где поверхностные водотоки (реки, ручьи, родники) отсутствуют, единственными источниками водоснабжения были шахтные колодцы, вскрывавшие первый от поверхности горизонт подземных вод. Быть может, колодец — древнейшее изобретение человека, позволившее ему добывать воду и вести хозяйство в чрезвычайно суровых условиях пустыни.

Из колодцев добывали и добывают воду не только для питья и водопоя животных, но и для орошения небольших участков земли. Для этого применялись водоподъемники, приводившиеся в движение животными. И такое колодезное орошение существует с древнейших времен и до нашего времени в Пакистане, Индии, Афганистане, Саудовской Аравии и других странах. В пустынной зоне очень много колодцев; общая их численность неизвестна. О роли колодцев в хозяйственной жизни засушливых стран можно судить по такому примеру. В Пакистане из 11,4 млн. га орошаемых земель с помощью колодцев поливается 957,5 тыс. га («Орошение и осушение...», 1974). В последнее время переходят к строительству более совершенных буровых скважин или трубчатых колодцев, оборудованных современными насосами.

В СССР в 1973 г. только на пустынных и степных пастбищах насчитывалось более 70 тыс. шахтных колодцев и около 30 тыс. буровых скважин («Мелиорация земель

СССР», 1975). В нашей стране колодцы служат преимущественно для водопоя скота и лишь в некоторых случаях для водоснабжения населения. Колодезное орошение не практикуется.

Выдающимся достижением народной гидротехники следует признать подземные водосборные галереи, которые в Средней Азии и на Кавказе называют кяризами, в Иране — канатами, в Африке — фоггара (Гильзенбах, 1964; Фюрон, 1966). Обычно их строят на подгорных равнинах, где в конусах выноса содержится вода. Обнаружив в первой шахте водоносный горизонт, от него начинают вести горизонтальную галерею, соблюдая уклон. На равных расстояниях роют вспомогательные вертикальные шахты, которые вначале служат строителям для удаления грунта, а затем остаются для вентиляции.

Горизонтальную штольню роют большого сечения, чтобы человек мог пройти стоя. Если грунт слабый, то его закрепляют, иногда даже каменной кладкой. На поверхности кяриз прослеживается по безукоризненно ровному ряду кучек вынутой земли. Средняя длина кяризов 5—10 км, глубина первой, самой глубокой шахты — 50—100 м, а дебит колеблется от 30 до 100 л/с и более. Каждый метр подземной галереи, пронизывающей водоносный горизонт, обеспечивает расход 0,3—0,6 л/с.

Кяризы были известны в Ассирии, Вавилонии и древней Персии, использовались римлянами в Сирии, затем турками в Малой Азии. Они встречаются в Средней Азии и Закавказье, на Ближнем и Среднем Востоке, Северной Африке и Центральной Азии. Только на Иранском нагорье насчитывается от 80 до 100 тыс. кяризов. Кяризы обеспечивают водоснабжение населения и орошение.

В Афганистане знамениты колоссальные по своим размерам кяризы, существующие с древнейших времен в долинах Газни, Тарнака, Систана, Кандагара и Джалалабада. И теперь еще в долине Тарнака расположены крупнейшие в Афганистане кяризы длиной 30 км и дебитом до 2500 л/с («Водные ресурсы и водохозяйственные...», 1967). В Пакистане в 1965 г. кяризы подали на орошение полей 2097 млн. м³ воды («Орошение и осушение...», 1974).

Велика роль подземных водосборных галерей — канатов — в Иране, где они обеспечивают водой население и почти половину всех орошаемых земель (1,5 млн. га). В Иране за 2500 лет построено 40 тыс. канатов общей длиной 270 тыс. км и суммарным дебитом 560 м³/с, которые дают около трети водных ресурсов страны («Водные ресурсы и водохозяйственные...», 1967; «More water...», 1974). Из прежнего числа канатов в настоящее время осталось действующих только 2 тыс. самых крупных, они дают около 20% всей воды, необходимой для орошения и водоснабжения населения.

В Сахаре от Фигиги в Марокко до Тидикельта в Алжире располагается цепь оазисов. Это так называемая «пальмовая дорога», протянувшаяся на 1200 км. Существуют эти оазисы только за счет воды, подаваемой из подземных водосборных галерей — фоггар, которые имеют длину 5—10 км и глубину до 40 м. Их общая длина только в Алжирской Сахаре превышает 3 тыс. км. В Айн-Салахе общий дебит всех фоггар в начале века был 250 л/с, а в 1947 г. — 108 л/с (Фюрон, 1966).

В Советском Туркменистане в предгорьях Копетдага было более 200 кяризов с общим дебитом 2260 л/с. В 1965 г. действующих кяризов осталось 98, имеющих дебит 1140 л/с. В настоящее время эксплуатируется 54 кяриза, расход которых составляет 1000 л/с («Гидрогеология СССР», 1972).

Наблюдается общая тенденция забвения старого способа водоснабжения и деградация всего кяризного хозяйства. Строительство кяризов и поддержание их в рабочем состоянии — дело дорогостоящее. По данным французского ученого Р. Фюрона (1966), на строительство кяриза средней длины (5 км) затраты рабочей силы составят около 48 тыс. человеко-дней, что, по современным расценкам оплаты труда в СССР, обойдется в сумму не менее 0,5 млн. руб. Дешевле бурение скважин той же производительности, на сооружение которых рабочих рук требуется меньше.

Сбор дождевой воды на естественных и искусственных водосборах

Атмосферные осадки — первоисточник пресных вод в пустыне, и там, где это возможно, человек с давних пор собирал дождевую воду на любой поверхности, образующей сток (глинистой, каменистой и др.). В середине XX в. кочевники-скотоводы Египта, выпасая скот к западу от дельты Нила, обнаружили рассеянные в пустыне цистерны. Эти цистерны емкостью от 35 до 340 м³ построены еще римлянами рядом со скалами, которые служили водосборной площадью. Собранная вода направлялась по канавам к цистернам, где и хранилась определенное время. Цистерны обеспечивали водой пастбища сезонного пользования (Кунин, 1959).

В пустынях Средней Азии и Казахстана довольно значительны ресурсы временного поверхностного стока, образующегося в предгорьях и на глинистых водосборах (такырах) в равнинной части. Предгорный сток в средний по водности год только в пределах Туркменистана оценивается в 542 млн. м³/год (Лещинский, Кирста, 1967). Воды предгорного стока используются для пастбищного водоснабжения путем устройства плотин и запруд, но пока еще в недостаточных масштабах.

Представляют практический интерес водные ресурсы временного поверхностного стока, образующегося на глинистых водосборах-такырах. Они составляют в средний по водности год 704 млн. м³, в том числе на территории Туркменистана — 332, Узбекистана — 99 и Казахстана — 273 млн. м³ (Лещинский, 1974).

В Средней Азии народная гидротехника достигла высокого мастерства в сборе дождевой воды на такырах и разработала приемы ее хранения. Такыры рассеяны среди барханных цепей и имеют площадь 1—5 км² и более. Такыр размером в 1 км² может дать в зависимости от осадков от 5 до 31 тыс. м³ воды (Кунин, 1959; Лещинский, 1974). По данным А. П. Лаврова, в Туркменистане общая площадь такыров равна 19 995 км² и такыровидных почв — 11 004 (Лещинский, 1974).

Такыр почти водонепроницаем и при выпадении даже слабого дождя образует сток. Дождевая вода собирается в понижении и хранится либо в открытых дождевых ямах (каках), где она довольно быстро испаряется, либо в искусственных резервуарах-сардобах емкостью 500—1000 м³. В старину сардобы складывались из обожженного кирпича, некоторые из них сохранились до наших дней в хорошем состоянии и продолжают служить людям. Запас воды в них достаточен для водопоя нескольких отар овец или верблюдов на период использования сезонных пастбищ. В табл. 4 приведены экономические показатели хранения дождевой воды в каках и сардобах.

В других странах тоже существуют народные методы сбора и хранения атмосферных осадков в открытых дождевых ямах, цистернах, обожженных глиняных сосудах и т. п.

Для круглогодичного обеспечения пастбищ водой народная гидротехника разработала приемы искусственного формирования линзы пресных вод или подземного магазинирования воды. Советский ученый В. Н. Кунин (1959, 1960) детально изучил и обобщил народный опыт. Суть его состоит в том, что собранную на такыре воду направляют в вырытый в понижении котлован с поглощающими колодцами или просто в колодцы и через них вода фильтруется и достигает зеркала соленых вод. Дождевая вода на них как на водоупоре образует плавающую линзу пресных вод. Когда вода уже испарится с такыра и открытых дождевых ям (каков), через те же колодцы осторожно сверху отбирают пресную воду. Это так называемые наливные колодцы «чирле», которыми туркмены пользуются с незапамятных времен.

Наливные колодцы «чирле» приходится ежегодно вручную чистить от глинистых наносов, ила, и эту работу полностью невозможно механизировать. Поэтому гидротехники предложили более совершенную схему магазинирования воды в подземном коллекторе: через колодец производится только откачка воды, а погружение — через инфильтрационный котлован, который можно легко очищать от наносов с помощью бульдозера или механической лопаты. Дождевая вода фильтруется в зону аэрации и очищается, под землей она практически не испаряется, и если объем линзы достаточен, то пресная вода сохраняется в течение всего года. В табл. 4 приводятся экономические показатели сбора и хранения дождевой воды в подземном коллекторе на стационаре Каррыкуль Института пустынь АН ТССР в Центральных Каракумах. Сбор воды осуществляется на естественном водосборе (такыре).

Т а б л и ц а 4

Сравнительные экономические показатели добычи воды разными способами в пустыне Каракумы

(по данным Атаева, 1974, 1978)

Способы хранения и добычи воды		Произ- води- тель- ность, м³/сут	Удельные показатели на 1 м³ воды, руб.		
			себесто- имость	капиталь- ные затра- ты	приведен- ные затра- ты
Каки					
емкостью, м³	10 000	9,0	0,12	1,80	0,34
	30 000	15,0	0,19	3,06	0,57
Сардобы *					
емкостью	500	2,5	2,65	71,04	11,53
	1 000	4,0	1,71	44,61	7,28
Шахтные колодцы **					
глубиной, м	30	12,0	0,52	3,56	0,96
	50	12,0	0,59	5,47	1,27
	100	12,0	0,71	8,06	1,72

	200	12,0	0,96	13,04	2,59
Буровые скважины **					
глубиной, м	30	12,0	0,74	2,10	1,00
	50	12,0	0,83	3,04	1,21
	100	12,0	0,98	4,61	1,56
	200	12,0	1,23	7,67	2,19
Подземный коллектор					
(сбор воды на такыре Каррыкуль)		10,2	0,35	10,72	1,69
Водосборная площадка *					
площадью 1 га при объеме сбора воды в год	500 м ³	2,5	9,10	87,28	20,01
	1 000 м ³	4,0	5,51	51,36	11,93

* При минерализации воды в колодце 20 г/л и средней глубине ее залегания 30—50 м.

** В работе 1978 г. А. Атаевым уточнены данные 1974 г. с учетом изменившихся условий.

Но не везде имеются такыры. И если подземные воды сильно засолены, а подтакырных пресноводных линз нет, то для сбора дождевой воды строят искусственные водосборные площадки с асфальтовым покрытием и железобетонной сардобой соответствующей емкости. Из табл. 4 видно, что стоимость добытой в этом случае воды будет намного дороже, чем при сборе воды на естественных водосборах (Атаев, 1978).

Жители приморского города Гасан-Кули, в Западной Туркмении, предпочитают использовать для питья дождевую воду, а не речную из Атрека, где качество воды ухудшается, особенно в летнее время, из-за обмеления реки и нагонов морской воды. Горожане собирают дождевую воду с крыш своих домов и хранят ее в домашних бассейнах (хаузах). Аналогично и в некоторых других местах аридной зоны, например на Бермудских островах, в безводных районах Австралии, на островах Средиземного моря, где речной сток отсутствует, а осадки довольно значительны, жители для своих собственных нужд в питьевой воде собирают дождевую воду на небольших водосборах или крышах своих домов, крытых оцинкованным железом. Собранную воду хранят в водоемах при каждом доме (Кунин, 1959; «Le dessalement...», 1965). Нужно заметить, что собирают немалое количество воды и таким образом-обеспечивается постоянное водоснабжение.

На острове Мальта сумма осадков до 600 мм, т. е. с каждого квадратного метра крыши можно собрать почти 0,6 м³ воды. Если дом имеет крышу 100—200 м², то за год собирается около 60—120 м³, что обеспечивает расход 164—328 л/сут. На Мальте 1 м³ собранной дождевой воды стоит 0,16 долл. («Le dessalement...», 1965).

Подпесчаные линзы пресных вод и их эксплуатация

В Туркменистане под большими массивами барханных песков путем естественной фильтрации атмосферных осадков образовались крупные подпесчаные линзы — Ясханская, Чильмамедкумская, Джилликумская и др. («Гидрогеология СССР», 1972). Статические запасы пресных вод в них довольно большие и определены в 71 км³, однако большинство подпесчаных линз характеризуется малым восполнением статических запасов.

Из всех линз в промышленных масштабах эксплуатируется в Западной Туркмении только Ясханская. Мощность водовмещающих пород составляет от 10 до 80 м, в них заключено 9,5 км³ пресных вод. В 1963 г. построен мощный водозабор с водопроводом длиной 118 км до Небит-Дага, подающий воду городам, нефтепромыслам и предприятиям промышленных районов. Эксплуатация вековых запасов пресной воды рассчитана на многие годы. Утвержденная I очередь водозабора равна 36 тыс. м³/сут, II очередь — 55 тыс. м³/сут (Каграманов, 1978).

Советские ученые разработали оригинальный метод водозабора из таких линз («Гидрогеология СССР», 1972) и впервые в мировой практике осуществила промышленный отбор пресной воды. На схеме промышленного отбора пресных вод водозабор представлен кустами скважин. Каждый куст состоит из трех скважин: первая глубиной 85 м откачивает пресную воду (8), вторая глубиной 110 м откачивает соленую воду (10) и третья глубиной 115 м является разведочно-наблюдательной (9).

Суть отбора пресной воды из линз состоит в следующем. Чтобы в эксплуатационную скважину пресной воды (8) не подсасывалась соленая, вторая скважина (10) производит ее откачку, поддерживая неизменным положение уровней пресной и соленой вод. За положением уровней ведется наблюдение с помощью третьей скважины (9). Всего пробурено 52 куста скважин, обеспечивающих подачу воды в трубопровод до 31 тыс. м³/сут (Каграманов, 1978). Одновременно этот водозабор откачивает и сбрасывает в пустыню слабоминерализованные воды с солесодержанием 5—6 г/л, расход которых может достигать 25—30% производительности водозабора по пресной воде. До последнего времени слабоминерализованные воды вообще не использовались и бесполезно сбрасывались в ближайшие соленые озера в поймах рек.

Подземные воды других линз вскрываются многочисленными шахтными колодцами, но так как дебит колодцев невелик, то их суммарный расход, равен 250 л/с, или 21 600 м³/сут («Гидрогеология СССР», 1972). Сейчас приступили к освоению и эксплуатации пресных вод Чильмамедкумской линзы, откуда берет начало один из строящихся водопроводов для обводнения пустынных пастбищ в Западной Туркмении. Вообще в республике в последнее время ведется строительство на пастбищах более производительных буровых скважин, число которых к концу 1978 г. достигло 289. Экономические показатели добычи воды на пастбищах с помощью буровых скважин представлены в табл. 4.

Перевозка воды

Получить воду в глубине безводной пустыни — дело еще более сложное. Когда подземные воды сильно минерализованы и не пригодны для хозяйственно-бытовых целей и добыть воду указанными выше способами не удастся, то приходится ее привозить издалека. Раньше воду в глубь пустыни привозили на верблюдах и она ценилась дороже золота. Теперь же ее привозят современными транспортными средствами.

В СССР в сельском хозяйстве широко практикуется доставка воды на пастбища автоводовозами, туда, где подземные воды сильно засолены и не пригодны для водопоя животных (минерализация более 10 г/л). В этом случае дальность перевозок оказывает влияние на экономику животноводства, ведь каждый километр повышает стоимость кубометра воды на 10—12 коп. Поэтому существует предельное расстояние, на которое по экономическим соображениям целесообразно подвозить воду от ближайшего источника.

Материалы обследования затрат на воду в колхозах и совхозах Туркменской ССР подтверждают, что в условиях пустыни экономически оправданная дальность перевозок воды на пастбища лежит в пределах 30—50 км, когда стоимость доставки составляет 3,2—5,4 руб/м³ (Атаев, 1974). На перевозку воды в сельском хозяйстве расходуются большие материальные и людские ресурсы. Только в Туркменистане для этой цели используют 250—300 автоводовозов. В Казахстане еще в 1970 г. 10 770 водовозов за год перевозили 6,2 млн. м³ воды (Гасанов, 1976).

Для доставки воды людям применяются любые транспортные средства, включая самолеты и вертолеты. В СССР разведчикам новых месторождений нефти и газа в Каракумах воду подвозят на самолетах. Стоимость доставки воды самолетом в Центральные или Заунгузские Каракумы в зависимости от расстояния колеблется в пределах 160—280 руб/м³, т. е. вода в пустыне стоит столько, сколько в городах лимонад и молоко. В тех местах, где нет посадочных площадок, применяют вертолеты. При выборе трассы газопровода Средняя Азия — Центр вода подвозилась изыскателями-вертолетами и перевозка тонны воды на расстояние до 300 км обходилась в 326 руб. (Колодин, Сейиткурбанов, 1973).

Так же дорого стоит перевозка воды и в других пустынных районах мира. Например, доставка воды по суше на автомашинах в глубь пустыни Саудовской Аравии поднимает стоимость кубометра воды от 23 до 58 долл. («Le dessalement...», 1965).

Для водоснабжения безводных побережий применяются морские суда и танкеры. Например, в нашей стране несколько танкеров до сих пор возят бакинскую воду через Каспийское море на безводное восточное побережье в порты Красноводск и Бекдаш. Перевозка 1 м³ воды обходится в 1,61 и 3,38 руб/м³ (Колодин, Сейиткурбанов, 1973).

Во многих безводных районах мира издавна практикуется подвоз воды на судах. В Эгейском море для доставки воды на Пелопоннесские острова применяются пластиковые суда водоизмещением 500—1000 т. Перевозка воды пластиковыми судами и танкерами обходится в Эгейском море от 0,7 до 2,0 долл., в Карибском — от 3,4 до 8,5 и доставка в африканский Порт-Этьенн (Мавритания) — до 4,4 долл. за 1 м³ («Le dessalement...», 1965).

ГЛАВА 3

Существующие и разрабатываемые проекты водообеспечения пустынных территорий

Передача воды водопроводами

В большинстве пустынных районов, где подземные воды сильно минерализованы и непригодны для хозяйственно-питьевых целей, добывать пресную воду на месте в требуемых количествах уже не представляется возможным, поэтому возникает задача передачи в эти места воды из ближайших источников с помощью водопроводов. В настоящее время строительство водопроводов различной мощности и назначения осуществляется во многих странах мира в широких масштабах.

В СССР для обводнения пастбищ в полупустынных и пустынных зонах строятся самотечные и напорные водопроводные системы. Стоимость воды, поданной на пастбища водопроводами, расположенными в полупустынной зоне, колеблется от 12 до 50 коп/м³, а капиталовложения в сами сооружения изменяются от 286 до 1405 руб/(м³/сут) и в обводнение пастбищ — от 9,8 до 57,1 руб/га (Березин, 1970).

Строительство и эксплуатация водопроводов в пустынной зоне обходится дороже. Вычисленные нами приведенные затраты на водопроводную подачу воды в пустыне превышают в 3—4 раза аналогичные показатели для полупустынной зоны.

В Туркменистане строится первый крупный водопровод Ербентский — от Каракумского канала до поселка Дарваза в сердце Каракумов. По проекту, общая длина всей разводящей сети водопровода составит 2852 км. Магистральный водовод длиной 174 км позволит в центре пустыни создать оазисы — построить благоустроенные и озелененные поселки для животноводов, оросить до 2500 га пустынных земель для выращивания страховых кормов, улучшить водообеспеченность 3,14 млн. га пустынных пастбищ, что должно увеличить поголовье каракульских овец. Около поселка Бахардок будет сооружено водохранилище емкостью 2,5 млн. м³ (Бабаев, Фрейкин, 1977; «Каракумский канал...», 1978).

Помимо пастбищных в СССР построены и строятся мощные водопроводы протяженностью 1749—3334 км, которые ежедневно подают от 50 до 127 тыс. м³ воды. Эти водопроводы представляют собой сложные технические сооружения со всем комплексом устройств по забору, очистке и перекачке воды. Таковы групповые водопроводы Казахстана, которые забирают воду из Иртыша, Ишима, Тобола и других рек и подают ее в центральные и северо-западные маловодные области республики для водоснабжения населенных пунктов и железнодорожных станций, совхозов и колхозов («Водное хозяйство...», 1971).

В табл. 5 приведены технико-экономические показатели по семи крупнейшим водопроводам. Стоимость передачи такими мощными водопроводами лежит в пределах 10,4—22,5 коп/м³. Из таблицы видно, что стоимость воды в большей степени зависит от мощности водопровода, а не от его длины.

Т а б л и ц а 5

Технико-экономические показатели крупнейших групповых водопроводов Казахстана

(«Водное хозяйство...», 1971; Колодин, 1973)

Характеристики	Ишим-ский	Булаев-ский	Нурин-ский	Преснов-ский	Кустанай-ский	Беловод-ский	Павлодар-ский
----------------	-----------	-------------	------------	--------------	---------------	--------------	---------------

Длина, км	1 749	1 754	964	3 334	1 380	2 187	903
Производительность, тыс. м³/сут	50,0	49,0	61,5	127,3	65,8	43,4	20,5
Стоимость водопровода, млн. руб.	38,9	38,2	35,9	66,7	36,7	49,7	21,2
Удельные капзатраты, руб/м³	1,69	2,14	1,60	1,44	1,53	3,46	2,83
Стоимость воды, коп/м³	11,6	12,9	22,5	10,4	10,4	20,4	15,6
Приведенные затраты, коп/м³	32,7	39,7	42,5	28,4	29,5	63,6	51,0
Расход электроэнергии, кВт·ч/м³	1,43	1,49	1,34	1,45	0,47	1,04	1,07
Удельный расход металла, т/(м³/сут)	1,83	1,70	1,63	1,21	0,92	2,08	1,39

Для водоснабжения крупных городов, промышленных или сельскохозяйственных районов потребности в воде возрастают до нескольких миллионов кубических метров в сутки. Подать такое количество воды по обычному трубопроводу невозможно. Поэтому в последние годы в водном хозяйстве многих стран мира получила широкое распространение практика строительства мощных водоводов («Орошение и осушение...», 1974).

Интересно рассмотреть водоснабжение города Лос-Анджелеса — центра Южной Калифорнии в США. Для обеспечения растущего населения города в 1913 г. построен первый водовод-акведук Лос-Анджелес длиной 386 км. Через некоторое время вновь стал ощущаться недостаток воды, и в 1940 г. водовод был удлинен на 547 км и дотянут до озера Моно. Водовод давал более 1 млн. м³/сут воды (Горский, 1962). Население Южной Калифорнии стремительно росло, и потребности в воде также резко возрастали, а водных ресурсов поблизости больше не было. Нужно количество воды могла дать только река Колорадо. Для этого пришлось построить канал-водопровод, названный акведуком Колорадо, общей длиной почти 800 км (Горский, 1962; Фюрон.1966).

Регулирование речного стока и переброска воды каналами

Если необходимо передать в маловодные и безводные пустынные области большие количества воды для водоснабжения населения, промышленности и особенно ирригации, то обычно строят каналы. Уже построенные каналы столь грандиозны, что расходы воды в них сравнимы с расходами некоторых рек. Для переброски столь больших объемов воды необходимо на реках строить подпорные плотины и создавать регулирующие водохранилища, чтобы полнее использовать водные ресурсы речного стока.

Известно, что на реках дождевого и снегового питания в период паводка проходит 50—70% годового стока, а на устойчивую часть стока, питаемого подземными водами, приходится примерно четвертая часть. Так, в СССР из 4350 км³/год общего речного стока, формирующегося на территории страны, на устойчивую часть подземного питания приходится только 1020 км³/год, т. е. около 23% стока (Львович, 1974).

В настоящее время в СССР уже построено свыше 1500 водохранилищ емкостью более 1 млн. м³ с общим объемом 1242 км³, которые способны вместить почти четверть речного стока страны (Бородавченко, 1976; Воропаев, 1979). В США имеется 1400

водохранилищ объемом более 60 млн. м³ каждое. Их суммарный объем равен 900 км³, что превышает более половины всего речного стока страны («Мировой водный баланс...», 1974). В последние десятилетия гидротехническое строительство приняло особенно широкий размах во многих странах мира. Большинство крупнейших водохранилищ объемом более 20 км³ построены после 1963 г. В 1974 г. суммарный полный объем эксплуатируемых и строящихся водохранилищ во всем мире превысил 5 тыс. км³, и к 2000 г. он должен еще более возрасти («Мировой водный баланс...», 1974).

КПСС наметила программу грандиозных работ по улучшению мелиоративного состояния земель. Немалое место в этой программе отводится строительству каналов для улучшения водоснабжения безводных районов и повышения водообеспеченности уже освоенных земель. Построенные в стране каналы общей протяженностью 3700 км перераспределяют ныне объем воды около 40 км³/год (Бородавченко, 1976).

В табл. 6 сведены технико-экономические показатели передачи воды отечественными каналами, заимствованные нами из различных источников (Воропаев, 1979; Герарди, 1975; «Каракумский канал...», 1978; Колодин, 1973; «Орошение и осушение...», 1974; Сапаров, 1978). Наиболее крупные и мощные каналы построены в Средней Азии, где сосредоточены основные площади орошаемых земель.

В Туркменистане построены три очереди крупнейшего в мире гидротехнического сооружения — Каракумского канала им. В. И. Ленина.

В 1978 г. Каракумский канал подавал амударьинскую воду на 1000 км и с завершением IV очереди протянется на 1102 км. До строительства канала в его зоне орошалось водами местного стока 166 тыс. га, а в 1975 г. площадь поливных земель увеличилась до 514 тыс. га, т. е. водами Каракумского канала орошалось 348 тыс. га, которые за период работы канала до 1974 г. дали 2,8 млн. т хлопка. Все производственные затраты на строительство канала и освоение земель полностью окупились, и к 1972 г. чистая прибыль от него составила 1016,1 млн. руб. («Каракумский канал...», 1978; Сапаров, 1978).

Строительство канала продолжается, и в недалеком будущем он протянется на 1400 км до Каспия. Напоит безводный промышленный запад республики и подаст воду на вновь осваиваемые земли туркменских субтропиков, улучшат водообеспеченность старых земель и обеспечит водой население, промышленность и сельское хозяйство в зоне своего влияния.

Канал Иртыш — Караганда обеспечил водой крупный растущий промышленный район Караганда — Темиртау и многочисленные населенные пункты, совхозы и колхозы вдоль трассы. В июне 1973 г. завершилось строительство Каршинского магистрального канала с гигантскими насосами, которые поднимают амударьинскую воду на высоту 132 м. Канал главным образом служит целям ирригации и предназначен для подачи воды на вновь осваиваемые земли Каршинской степи. Канал Северский Донец — Донбасс снабжает водой густонаселенные и промышленно развитые районы страны, а Северо-Крымский канал — засушливые равнины Крыма. Стоимость передачи воды на расстояние 500 км самая низкая (0,27—0,54 км/м³) на каналах самотечного типа, а на машинных каналах с насосной подкачкой воды поднимается до 0,50—1,35 коп/м³.

За рубежом ведется строительство самых различных каналов: ирригационных, водопроводных. Канал Сан-Луис в США будет перебрасывать из Северной Калифорнии в Южную более 4,9 км³/год воды для орошения 1,4 млн. га земель в Центральной долине и для городских и промышленных нужд Калифорнии. Комплекс Сан-Луис включает высотную плотину Оровиль, Калифорнийский водовод длиной 724,2 км и канал длиной 610 км («Орошение и осушение...», 1974). В Австралии предусматривается переброска каналами вод рек Телли, Герберт и Бардекин в засушливые районы юго-востока страны (Петров, 1973).

Т а б л и ц а 6

Технико-экономические показатели переброски воды открытыми каналами

	Длина, км	Максималь- ный расход в голове, м/сут	Полезный объем стока, км ³ /год	Площадь орошения, млн. га	Расход электро- энергии на перекачку, кВт·ч/м ³	Удельные капитало- вложения, коп/м ³	Стоимость передачи воды, коп/м ³	Приведен- ные затраты, коп/м ³
Каракумский								
I очередь Амударья — Мургаб	397	130	1,3/3,5*	0,10	**	2,5	0,27	0,58
II очередь Амударья — Теджен	535	198	2,6/4,7*	0,18	**	6,3	0,54	1,32
III очередь Амударья — Геок-Тепе	837	317	4,3/8,3*	0,24	**	11,7	0,98	2,44
IV очередь Амударья — Казанджик	1 102	580	7,5/13,5*	0,42	**	13,5	1,42	3,11
Большой Ферганский	270	150	2,22	6,30	**	1,2	н/с	н/с
Аму- Бухарский	235	125	1,84	0,14	0,32	9,9	0,50	1,74
Каршинский магистральный	171	175	3,3/5,25*	0,35	0,51	15,6	0,94	2,89
Иртыш — Караганда	455	75	2,17	0,10	0,81	14,8	1,16	3,01
Северо- Крымский	403	215	3,0	0,20	н/с	н/с	н/с	н/с
Северский Донец — Донбасс	125	25	0,59	—	0,75	22,6	1,35	4,17

* Водозабор в голове канала.

** Самотечный канал; н/с — нет сведений.

В Индии один из крупнейших хозяйственных объектов — строительство государственной ирригационной системы Бхакра-Нангал на реке Сатледж, включающей две плотины и сеть магистральных каналов и веток общей длиной 1100 км. Другая важнейшая стройка Индии — Раджастханский канал с расходом воды в голове 529 м³/сут («Водные ресурсы и водохозяйственные проблемы...», 1967; «Орошение и осушение...», 1974; Петров, 1973). Канал начинается у плотины Харик на реке Сатледж, пересекает территорию Пенджаба и проходит по самым засушливым местам пустыни Тар. Длина магистрального канала 680 км, и он оросит общую площадь 1,5 млн. га.

Территориальное перераспределение речного стока

Развитие народного хозяйства Советского Союза требует неуклонного увеличения потребления воды. В 1975 г. по сравнению с 1913 г. промышленное производство выросло в 131 раз и площадь орошаемых земель расширена в четыре раза. За это время население увеличилось в 1,6 раза, а потребление воды — в 6,7 раза (табл. 7).

В настоящее время водопотребление в стране достигло 350 км³/год («Мировой водный баланс...», 1974). По современным оценкам, общие водные ресурсы рек Советского Союза в средний по водности год составляют 4720 км³/год, из них 333 км³/год притекает из зарубежных стран, а 20,8 км³/год утекает за пределы страны (Бабкин, Воскресенский, 1976). Хотя водные ресурсы СССР достаточно велики, но распределены они по территории страны крайне неравномерно.

Большая часть (84%) речного стока формируется в северных и восточных районах и стекает в моря Северного Ледовитого и Тихого океанов. На европейскую часть страны, Казахстан и Среднюю Азию, где проживает 80% населения и сосредоточено до 70% промышленного производства и большая часть, орошаемых земель, приходится лишь 16% речного стока («Водные ресурсы и водный баланс...», 1967; Бабкин, Воскресенский, 1976; «Использование воды...», 1973).

Т а б л и ц а 7

Развитие народного хозяйства и потребление воды в СССР

(«Мировой водный баланс...», 1974; «Народное хозяйство...», 1977)

Показатели	1913 г.	1940 г.	1960 г.	1970 г.	1975 г.	1980 г.
Население, млн. человек	159,2	194,1	212,4	241,7	253,3	266,6
Валовая продукция промышленности (1913 г. = 1)	1,0	7,7	40	92	131	180
Площадь орошаемых земель, млн. га	3,5	6,1	8,0	10,9	14,2	18,
Потребление воды,* км ³ /год	43	88	145	239	290	380

* Без расхода на разбавление сточных вод.

Удовлетворить потребности народного хозяйства в воде за счет водных ресурсов местного стока уже не представляется возможным, и поэтому в СССР в последние годы проводятся исследовательские и изыскательские работы по подготовке проектов территориального перераспределения части стока северных рек в бассейн Каспия (25—35 км³/год) и сибирских рек в бассейн Аральского моря (25—60 км³/год) (Бородавченко, 1976; Воропаев, 1976, 1979; Герарди, 1975 а, б; «Использование воды...», 1973; Львович, 1977).

Развитие водохозяйственной системы Советского Союза в связи с межбассейновым перераспределением водных ресурсов не только требует укрупнения размеров и параметров гидротехнических систем, применения новых технических решений и новых методов управления, но и усиливает взаимосвязь водохозяйственных систем между собой и с окружающей средой, выдвигает совершенно новые задачи рационального природопользования, управления режимом вод суши и качеством вод в речных системах и водоемах.

По-видимому, водохозяйственное строительство в стране по территориальному перераспределению речного стока начинается с более простых отдельных вариантов переброски, которые затем перерастут в более сложные объединенные варианты, и в перспективе их развитие может привести к созданию Единой водохозяйственной системы страны (Воропаев, 1976, 1979; Герарди, 1975 б).

На европейской территории Советского Союза особенно интенсивно эксплуатируются водные ресурсы рек бассейна Каспийского моря, охватывающего 3,6 млн. км² территории страны с населением 80 млн. человек, где производится 30% общей выработки электроэнергии, 60% промышленной и 40% сельскохозяйственной продукции («Использование воды...», 1973). Уже построено несколько оросительных каналов, разбирающих волжскую воду на орошение.

Для восполнения потерь волжской воды и предотвращения отрицательных экологических последствий в настоящее время разрабатываются технические решения подачи в бассейн Волги 25—35 км³/год воды из озер северо-запада европейской территории страны и северных рек. В качестве первоочередных специалисты выдвигают четыре строительных объекта по забору воды из Онежского озера, рек Печоры, Сухоны, озер Лача и Воже. Все эти гидротехнические комплексы могут подать в Волгу от 27 до 37 км³ воды в год. Общая протяженность трасс переброски равна 1500 км, причем большая их часть проходит по руслам существующих рек. Высота подъема воды на различных участках трасс не превышает 70—80 м, а общая установленная мощность всех насосов — около 1000 МВт. Ориентировочная сумма капиталовложений по всем четырем объектам определяется в 2,0—2,5 млрд. руб. (Воропаев, 1979).

В Средней Азии и Казахстане имеется около 27,8 млн. га пригодных для орошения земель и только 131 км³/год водных ресурсов (Бабаев, Фрейкин, 1977; Бабкин, Воскресенский, 1976). В 1975 г. в этом районе орошалось 6,9 млн. га земель. В ближайшей перспективе намечается увеличить площадь орошения.

Из-за разбора воды на орошение и больших безвозвратных потерь приток воды в Аральское море сократился. Уровень моря понижается, и если не будут приняты надлежащие меры, то оно может совсем высохнуть. Только при удовлетворении потребностей ирригации и других отраслей народного хозяйства дефицит в воде с 1985 по 2000 г. может возрасти в пять раз (Герарди, 1975а).

Нужна вода промышленности и сельскому хозяйству Казахстана, где на пустынных и полупустынных пастбищах выпасается почти треть всего поголовья овец страны. Если улучшить водообеспеченность этих пастбищ, то Казахстан мог бы удвоить это поголовье (Бабаев, Фрейкин, 1977). Решение «проблемы воды» для этого большого региона невозможно без использования водных ресурсов великих сибирских рек — Иртыша, Оби и Енисея. Эта идея уже несколько десятков лет изучается и прорабатывается многими научно-исследовательскими и проектно-изыскательскими учреждениями Советского Союза. Рассматривалось 16 вариантов возможных технических решений по забору воды из рек Иртыша и Оби (Герарди, 1975а).

По первоначальным проектным проработкам трасса должна была взять свое начало у слияния рек Иртыша с Тоболом, а водозабор намечалось осуществить из проектируемого Тобольского водохранилища (Герарди, 1975а). Однако, водные ресурсы Иртыша у Тобола равны $68,5 \text{ км}^3/\text{год}$, и отбор из него $25 \text{ км}^3/\text{год}$ воды мог бы привести к нежелательным экологическим последствиям.

В последнее время предлагается в качестве предпочтительного варианта водозабор $25 \text{ км}^3/\text{год}$ из Оби в районе впадения в нее реки Иртыш (Воропаев, 1979). Водозабор может быть осуществлен с помощью Белогорьевского гидроузла на Оби и трех гидроузлов с насосными станциями на реке Иртыш. Последняя потечет вспять и превратится в «антиреку». Из нее вода еще одной насосной станцией поднимется в Тобольское водохранилище емкостью $5,7 \text{ км}^3$, откуда начнется канал переброски. Далее трасса Обь-Каспийского канала (ОКК) пойдет на юг по Иртыш-Тобольской долине, затем по пойме реки Убаган к Тургайскому понижению на водораздел. На этом участке трассы вода поднимется 4 насосными станциями до водораздела на высоту 101 м. Далее канал пойдет по Тургайской ложбине до наливного Тенгизского водохранилища емкостью 14 км^3 . От него к низовьям Сырдарьи, пересечет ее в районе г. Джусалы, затем последует по равнинам южного Приаралья, огибая с юга горы Султануиздаг, и выйдет к низовьям Амударьи в районе Тюямуянского водохранилища, где и закончится трасса канала. В отдаленной перспективе предполагается продлить трассу ОКК через Каракумы к землям древнего орошения на Мессиринском плато в Юго-Западной Туркмении и закончится она в бассейне реки Атрек (Герарди, 1975а).

От магистрального канала переброски крупные ветви протянутся на запад к промышленным центрам Зауралья, Актюбинску, Свердловску, Челябинску, на Мангышлакский полуостров и к бассейнам рек Эмбы и Урала. При подходе к низовью Сырдарьи от ОКК к югу отойдет крупное ответвление к среднему течению Сырдарьи и бассейнам бессточных рек Чу и Таласа. Все насосные станции на ОКК имеют установленную мощность около 1300 МВт.

Общая протяженность канала переброски весьма велика и составит 2273 км. Трасса с севера на юг пересекает районы с различными физико-географическими условиями.

Значительная часть трассы ОКК (990—2273 км) приурочена к полупустынным и пустынным ландшафтным зонам. В пределах Южно-Тургайской полупустынной

провинции канал проходит участок 990—1250 км, далее от реки Ирғиз до Сырдарьи (1250—1735 км) трасса пересекает пустынную область Северного Приаралья и от Сырдарьи до Амударьи (1735—2273 км) следует по типичной пустыне Южного Приаралья (Чибилев, 1979).

В США разрабатывается аналогичный по масштабам проект территориального перераспределения водных ресурсов речного стока и обеспечения США, Канады и Мексики пресной водой и энергией, известный под названием «North American Water and Power Alliance» (NAWAPA), или «Северо-Американский водноэнергетический альянс» (НАВАПА) (Kelly, 1966).

Проект переброски НАВАПА охватывает бассейн, занимающий площадь 3,6 млн. км², где водные ресурсы определены в 808,8 км³/год. Из этого количества по проекту предполагается перебрасывать 174,9 км³/год для обеспечения водой семи провинций в Канаде, 33 штатов в США и трех штатов в Мексике. Перебрасываемый сток распределяется таким образом: для Канады — 30,8 км³/год, для США — 119,5 и для Мексики — 24,6 км³/год (Оуэн, 1977). По замыслу проектировщиков, впадина в Скалистых горах длиной 800 км, простирающаяся между хребтами от северных районов Британской Колумбии до штата Монтана, может служить гигантским водохранилищем-аккумулятором, откуда вода будет подаваться насосными станциями на высоту до 800 м и, преодолевая горные преграды, распределяться по сложной сети каналов, акведуков, водоводов, туннелей и сифонов.

Система НАВАПА будет включать в себя каналы, акведуки и водоводы общей протяженностью 10 800 км и туннели — 2900 км. Суммарная мощность всех гидроэлектростанций в системе достигнет 110 млн. кВт, которые вырабатают в год 876 ТВт·ч электроэнергии. Для перекачки воды будет израсходовано 262,8 ТВт·ч всеми насосными станциями, общая мощность которых составит 53,5 млн. кВт. Оставшееся количество энергии (613 ТВт·ч) используется тремя членами союза, что позволит обеспечить энергетические потребности Канады на 50%, Мексики — на 15 и США — на 4% («Вода как фактор...», 1969; Kelly, 1966).

Проект НАВАПА позволит оросить 16,4 млн. га земель и улучшить водоснабжение населения и промышленности. В результате национальный доход от земледелия, животноводства, горного дела и промышленности возрастет в США и Мексике на 30 и Канаде на 9 млрд. долл. (Оуэн, 1977). Общая стоимость проекта оценивается в 100 млрд. долл., и строительство может быть завершено за 30 лет («Вода как фактор...», 1969; Оуэн, 1977).

Однако осуществление такого грандиозного проекта наталкивается на серьезные противоречия капиталистического общества. Ведь НАВАПА затрагивает интересы трех государств и требует разрешения многих технических, экономических, дипломатических, правовых и социологических проблем. Например, одной из таких проблем будет переселение 60 тыс. человек, проживающих на территории будущих водохранилищ. Другая трудность состоит в различной степени заинтересованности партнеров союза в этом проекте, поскольку недостаток воды прежде всего беспокоит США и Мексику. Большая же часть водных ресурсов принадлежит Канаде, и они уже в недалеком будущем могут потребоваться стране для своего развития.

В табл. 8 приведены сравнительные показатели двух величайших на планете проектов перераспределения и переброски речного стока на предельные пропуски воды.

Проекты близки по своим параметрам, и приведенные цифры говорят о грандиозном масштабе работ.

Т а б л и ц а 8

Некоторые данные по крупным переброскам стока в СССР и США

(«Использование воды...», 1973)

Показатель	Переброска сибирских вод в Казахстан и Среднюю Азию	Переброска вод Аляски и Канады в США и Мексику
Предельный объем перебрасываемого стока, км ³ /год	60	196
Объем земельно-скальных работ, млрд. м ³	20	35
Длина магистрального канала, км	2 300	2 000

В США разрабатывается еще 12 проектов других перебросок речного стока. По одному проектируется переброска 19 км³/год из нижнего течения реки Колумбия в реку Колорадо, а по другому — 21 км³ из Миссисипи и рек восточной части Техаса в безводный штат Нью-Мексико (Львович М. И., 1977). Проекты перераспределения и переброски водных ресурсов речного стока намечается осуществить в бассейнах рек Амазонки и Ла-Платы, Инда, в Пакистане (система Мангла — Тарбела и другие) («Орошение и осушение...», 1974; Петров, 1973).

В последнее время все чаще и чаще проявляются отрицательные последствия так называемого антропогенного воздействия на природу. Человеческая деятельность и ее масштабы столь велики, что ода стала оказывать влияние на ход природных процессов. В нашей стране придается большое значение делу охраны природы. Поэтому проекты переброски части стока северных и сибирских рек тщательно изучаются и рассматриваются новые варианты, которые бы в наименьшей степени наносили ущерб окружающей среде.

Здесь уместно вспомнить слова Ф. Энгельса: «... не будем, однако, слишком обольщаться нашими победами над природой. За каждую такую победу она нам мстит. Каждая из этих побед имеет, правда, в первую очередь те последствия, на которые мы рассчитывали, но во вторую и третью очередь совсем другие, непредвиденные последствия, которые часто уничтожают значение первых» ¹.

¹ Маркс К., Энгельс Ф. Соч., т. 20, с. 495—496.

Поэтому все проектные проработки тщательно изучаются, на составленных математических моделях с помощью ЭВМ просчитываются различные варианты трасс. Выбранная схема должна быть оптимальной не только в технико-экономическом отношении, но и должна удовлетворять требованиям улучшения качества окружающей среды. Однако эти экологические критерии еще недостаточно изучены и не поддаются моделированию и экономической оценке.

Так, в проекте НАВАПА намечающееся заполнение водой гигантской впадины в Скалистых горах может своим дополнительным весом колоссальной массы воды, по мнению геофизиков, вызвать деформации земной коры и непредвиденные последствия. Возможно, как это, так и другие соображения вынуждают специалистов Канады и

США считать, что пока лучше воздержаться от крупных перебросок воды, и правительство Канады по существу заморозило проект переброски части своих вод и вод Аляски через территорию страны на юг в США и Мексику (Львович М. И., 1977; Оуэн, 1977).

Транспортировка айсбергов

Колоссальные запасы пресной воды, заключенные в ледниках Арктики и Антарктиды, находятся вдали от мест обитания людей. По современным оценкам, общин ежегодный сток с суши в океан снега и айсбергов определяется в $1100 \text{ км}^3/\text{год}$ («Мировой водный баланс...», 1974).

Американский океанолог Джон Айзекс предложил использовать айсберги для водоснабжения безводных прибрежных районов Америки, Африки и Австралии (Горский, 1962; Burt, 1956). Для их транспортировки он считал возможным воспользоваться попутными морскими течениями. Например, для водоснабжения южной части Калифорнии предполагалось с помощью буксира ввести антарктический айсберг в южную ветвь Перуанского течения. Вдоль всего побережья Америки почти до экватора айсберг пройдет своим ходом по течению, и лишь у экватора, когда начнет отклоняться от берега на запад, буксир должен перевести его в струю противоположного, Северного течения, омывающего берега Калифорнии.

В Арктике ежегодно откалывается около 15 тыс. айсбергов, и большинство их тает в полярных водах. Более крупные выносятся холодным Лабрадорским течением на юг, и в среднем около 400 айсбергов в год достигают острова Ньюфаундленд. Арктические айсберги невелики по размерам, и самые крупные из них имеют объем в несколько десятков миллионов кубометров.

Антарктические айсберги гораздо больше по размерам арктических. Английские моряки в течение 1951—1953 гг. проследили дрейф гигантского айсберга длиной 146 км и шириной 40 км (Назаров, 1962). В 1958 году советская антарктическая экспедиция обнаружила громадный айсберг площадью 2700 км^2 и высотой надводной части 40 м (Шильников, 1960). Объем пресного льда в нем превышал 850 км^3 , т. е. он заключал в себе воды больше годового стока Енисея или трехлетнего стока Волги.

В наши дни около берегов Антарктиды плавают еще один айсберг-великан длиной 70 км и шириной 40 км, который откололся от материкового льда. В нем заключено не менее 900 км^3 воды. Конечно, гигантские айсберги — явление довольно редкое, но крупные и средние льдины встречаются часто. Только в восточном секторе на площади 2 млн. км^2 , обследованном советскими кораблями и самолетами, обнаружено 31 тыс. айсбергов с общим объемом льда 4165 км^3 , т. е. каждая льдина имела средний объем $0,135 \text{ км}^3$ (Горский, 1962; Шильников, 1960).

До недавнего времени возможность буксировки айсбергов не имела опытных проверок. Нужные навыки дает практика морских нефтепромыслов у полуострова Лабрадор. Для морских буровых установок айсберги представляют страшную опасность. И вот специалисты предложили организовать спасательную службу. Как только локатор на буровой обнаружит идущий на нее айсберг, тотчас высылаются навстречу мощные буксиры, которые толстым нейлоновым тросом охватывают айсберг и отводят его в сторону. Пока что спасателям приходилось иметь дело с айсбергами весом около 1 млн. т. Но для современных технических средств не представляет трудностей буксировка и более крупных.

Французские ученые считают, что транспортировка айсбергов возможна не только к засушливым районам Африки, Австралии и Южной Америки, но и к безводным берегам Аравийского полуострова. Создана франко-аравийская компания «Айсберг транспорт интернэшнл», которая разрабатывает технологию транспортировки ледяных гор. Суть проекта состоит в том, что с помощью искусственных спутников Земли выбирается айсберг подходящего размера с соотношением ширины к длине 1 : 4. Ему придают мореходные качества путем подрезки выступающих углов. В толщу льда вваривают металлические трубы, выполняющие роль кнехтов, к которым крепятся буксирные тросы.

Время транспортирования от Антарктики до Саудовской Аравии составит не менее 7 месяцев. Скорость таяния, особенно в тропических водах, будет сокращать размеры айсберга более чем на 1 м/сут, поэтому без защиты айсберг толщиной 250—300 м почти весь растает. Для предотвращения распада подводные и надводные части льдины предполагают покрывать листами теплоизолирующего материала. В качестве подъемных кранов будут использовать вертолеты. После окончания подготовительных работ флот мощных буксиров приступит к транспортировке. При подходе к Баб-эль-Мандебскому проливу айсберг на глубокой воде раскаленной проволокой разрежут по вертикали на пластины толщиной 40 м, затем эти бруски введут в Красное море и по мелководью подтянут к затону или растопительной станции. Предполагают, что за 1 рейс можно доставить более 100 млн. м³ воды, и расходы по транспортировке составят 88 млн. долл., а кубометр талой воды будет стоить 53,7 цента (Faisal, 1977).

Еще многие вопросы технического и экономического характера данного проекта недостаточно изучены и не проверены, на что обратил внимание международный семинар ученых, который обсуждал эту проблему в Париже летом 1977 г. Но вне всякого сомнения, что в недалеком будущем этот проект будет осуществлен. Человечество не может мириться с тем, что ежегодно более тысячи миллиардов тонн чистой воды уходит в океан и теряется, тогда как в досягаемой близости томятся от жажды обширные пространства пустынь.

Реконструкция оросительных сетей и экономия воды

В больших и малых магистральных и разводящих каналах вода в процессе ее транспортирования теряется на фильтрацию и испарение, поэтому действующие системы имеют коэффициент полезного действия (КПД) около 0,5—0,6. Если рассматривать оросительную систему в целом, т. е. магистральные каналы, межхозяйственные и внутрихозяйственные распределительные сети, поливную сеть и т. д., то общий КПД системы будет еще меньше.

Например, в Киргизской ССР около 50% забираемой воды теряется в каналах, а с учетом потерь в поле лишь третья часть воды продуктивно используется. Так, в оросительных системах Чуйской долины потери воды в руслах каналов составляют 12%, межхозяйственной — 17 и внутрихозяйственной сети — 38%, т. е. всего теряется 67%. В других республиках Средней Азии также велики потери воды в оросительных системах (Карев, Шлык, 1979; «Орошение и осушение...», 1974). А в целом по Союзу в течение 1971—1975 гг. в среднем за год забор воды из источников орошения равнялся 135 км³, а потери только в межхозяйственных сетях составили 27,4 км³, или 20,3% (Карев, Шлык, 1979).

Много воды теряется во внутрихозяйственных распределительных сетях (на них падает треть всех потерь), особенно выполненных в земляных руслах. Большие потери

воды на фильтрацию приводят к подъему уровня грунтовых вод и увеличивают затраты на устройство дренажа. Средняя по стране протяженность оросительных каналов равна 41,2 м/га, в Узбекской ССР — 51,4, в Молдавской ССР — 48,6 и в Таджикской ССР — 47,4 м/га. Расчеты показывают, что переустройство старых оросительных систем только в Средней Азии позволит сберечь воды около 20 км³/год (Карев, Шлык, 1979).

В СССР для более эффективного и экономного расходования водных ресурсов в сельском хозяйстве проводят большие работы по реконструкции оросительных сетей, повышению технического состояния водохозяйственных систем и уровня их эксплуатации, внедрению автоматики и телемеханики, применению новой техники полива и т. д. Для сокращения фильтрационных потерь и повышения КПД систем применяется облицовка каналов, бетонированные лотки, трубы, противофильтрационные экраны и т. п. Такие оросительные системы имеют высокие значения КПД, в них потери воды сокращены в 3—4 раза.

Образцом современной оросительной системы может служить Южноголодноостепская. При строительстве Южного Голодноостепского канала (ЮГК) и орошаемого массива удельная протяженность внутрихозяйственных каналов сокращена до минимума — 21 м/га, почти вся межхозяйственная сеть оснащена бетонированными каналами, внутрихозяйственная — бетонированными лотками и трубопроводами. Применение бетонированных лотков полностью исключило потери на фильтрацию, а подземная укладка трубопроводов повысила коэффициент использования земли и исключила потери воды на испарение.

Для системы Южного Голодноостепского канала фактическое значение КПД (0,80) оказалось даже выше проектного (0,75), а после внедрения автоматизации водораспределения поднимется до 0,88. Интересно отметить, что удельные показатели забора воды на 1 га поливной земли в среднем по Узбекской ССР равны 15 930 м³, а по Голодной степи — 10 570 м³. Из этого количества теряется воды соответственно 5370 и 2200 м³, т. е. на каждом поливном гектаре новой системы экономится 4170 м³ воды (Карев, Шлык, 1979).

Реконструкция старых и строительство новых оросительных систем требуют больших капиталовложений. Но произведенные затраты дадут не только прямой выигрыш в виде сэкономленной воды, но и долговременные выгоды — улучшение орошаемых земель и повышение их плодородия.

Очистка и повторное использование сбросных вод

Сточные и дренажные воды могут быть еще одним источником получения дополнительных водных ресурсов. После очистки их возможно использовать для технического и оборотного водоснабжения предприятий, для орошения. Только в водоснабжении современный уровень сточных вод на земном шаре составляет 470 км³/год, и к концу века он может увеличиться в несколько раз (Львович, 1974).

В соответствии с существующей практикой водопользования в реки и водоемы возвращаются почти все коллекторно-дренажные воды. В пустынях и полупустынях, где развито поливное земледелие, сбрасывается огромное количество коллекторно-дренажных вод, отводимых с орошаемых полей. Если общий объем сбросных вод возрастет с 1200 до 3000 км³/год, то количество дренажных вод в пустынной зоне может увеличиться с 170 до 300 км³/год.

В 1972 г. в СССР объем отведения сточных вод от 85 тыс. предприятий составил 103 км³/год, а с учетом дренажных вод — около 140 км³/год (Бородавченко, Толстихин, 1975; Бородавченко, 1976). В 1966—1970 гг. введено в эксплуатацию 8200 комплексных очистных сооружений, а к 1980 г. такие сооружения должны обеспечить очистку сточных вод всех городов и предприятий в бассейнах рек Волги и Урала (Бородавченко, Толстихин, 1975; Львович, 1977).

Стоимость очистки сточных вод зависит от вида и степени загрязнения, метода очистки и мощности очистных сооружений.

Городские бытовые воды требуют наиболее низких затрат на очистку. На коммунальных очистных сооружениях применяются механические и биохимические методы. Сейчас на мощных установках стоимость простой очистки составляет 1—2 коп/м³, а более сложной глубокой очистки, после которой воду можно выпускать в реки и водоемы, — 3—5 коп/м³. Размер капиталовложений в первом случае определяется в 50—75 млн. руб/км³, во втором — вдвое больше (Воронова, 1976).

Теплоэнергетика вносит преимущественно «тепловое» загрязнение. Но наряду с условно-чистыми водами, имеется значительная часть стоков, которые содержат в большом количестве растворенные вещества. Очистка этих вод обходится сейчас дорого и в будущем будет стоить еще дороже (Воронова, 1976).

Возвратные коллекторно-дренажные воды обычно содержат растворенные соли (3—5 г/л и редко более 10 г/л), органику и взвешенные твердые частицы, небольшие количества ядохимикатов и дефолиантов. К сожалению, нам не удалось найти в литературе данных о повторном использовании дренажных вод после очистки или опреснения. Имеется некоторый опыт в нашей стране и за рубежом непосредственного использования слабоминерализованных вод для орошения («Использование минерализованных...», 1973; Нестерова, 1972; Рахимбаев, Ибрагимов, 1978). Но и самые совершенные методы очистки сточных вод не позволяют полностью освободиться от всех веществ, и в водах остается до 20% самых стойких загрязнителей (Львович, 1977).

Наиболее эффективно задачи обессоливания минерализованных дренажных вод и очистки сточных решает опреснение.

ГЛАВА 4

Опреснение — средство пополнения водных ресурсов и охраны водной среды

Опреснение соленых и солоноватых вод

Если в пустынных районах пресной воды на месте нет и получить ее издалека переброской невозможно, то кроме очистки возможен еще один путь — опреснение громадных ресурсов минерализованных вод (морских, подземных и сточных). Ведь минерализованные воды имеются всюду, и необходимы лишь эффективные и экономичные средства их опреснения.

Опреснение воды — сложный технологический процесс, настоящее заводское производство с соответствующими капитальными затратами, расходами на обслуживание, материалы и энергию. Чтобы опреснение стало массовым средством водоснабжения, необходимо отыскать и разработать высокоэффективные и экономичные методы, пригодные для производства любых количеств воды по цене, сопоставимой со стоимостью природной.

В настоящее время стоимость опресненной воды еще довольно высока и она не может по экономическим соображениям использоваться всюду, во всех отраслях народного хозяйства. Стоимость воды не везде одинакова, ибо она зависит от наличия водных ресурсов и масштабов их потребления, категории потребителей воды и местных условий. Например, стоимость воды для ирригации составляла 1—2 коп/м³, в коммунальном и промышленном водоснабжении в безводной пустынной местности — до 1,0 руб/м³, а в полевом водоснабжении геологов, изыскателей, буровиков в пустыне может превышать 100 руб/м³ (Колодин, 1973; Колодин, Сейиткурбанов, 1973). Поэтому опреснение воды, неприемлемое в одних условиях, может быть экономически выгодно в других.

Раньше опреснители строились преимущественно в пустынных районах, где водные ресурсы вообще отсутствовали и опресненная вода нередко была единственным источником водоснабжения. В последние годы опреснители стали строить и в гумидной зоне земного шара, где потребности в воде из-за быстрого роста населения, развития крупной промышленности резко возросли. Поэтому в течение последних двух десятилетий ведется интенсивное строительство опреснителей во многих странах мира, и их число растет очень быстро.

В США периодически выходят списки опреснителей по странам мира («Desalting plants...»). Согласно списку («Desalting plants ...», 1977)¹, число действующих и строящихся опреснителей в мире на начало 1977 г. достигло 1598 с суммарной мощностью 3 707,8 тыс. м³/сут. От СССР в этом списке учтено лишь семь опреснителей общей мощностью 113,5 тыс. м³/сут.

¹ Desalting plants inventory report, N 6. US Dept. of the Interior, OWR, T., October 1977, 114 pp. Краткие сведения из него помещены в «Desalination», 1978, 26, N 1, p. 93—96.

Несмотря на быстрый рост установок, в 1975 г. доля опресненной воды в коммунальном водоснабжении была менее 1%. Несомненно, что со временем ее значение будет все более возрастать.

Методы опреснения воды

Выбор метода опреснения воды зависит от производственно-экономических условий (от мощности опреснителя и источника энергии) и природно-климатических факторов. При наличии дешевой энергии не предъявляются строгие требования к энергетической эффективности опреснительного процесса. Если же энергия дорогая, то предпочтение отдают тому методу, который обеспечивает опреснение с наименьшими энергозатратами. Удельный расход энергии в разных методах неодинаков, к тому же он в различной мере зависит от содержания солей в исходной воде.

В настоящее время известно несколько способов опреснения воды, т. е. искусственного снижения содержания солей до требуемого уровня. Современные методы опреснения можно разбить на две большие группы: с изменением агрегатного

состояния воды (дистилляция и кристаллизация) и без изменения агрегатного состояния (электродиализ, осмос, ионный обмен, экстракция и др.).

Сущность методов опреснения воды дистилляцией и кристаллизацией состоит в разделении раствора соленой воды на две фазы: водяной пар и раствор — в первом случае, пресный лед и маточный рассол — во втором. Чтобы происходил процесс опреснения, необходимо подводить тепло для кипячения раствора при дистилляции и отводить тепло от раствора при замораживании. И если дистилляционный метод применялся, изучался и совершенствовался два тысячелетия, то кристаллизационный — всего лишь два десятилетия. Этот метод еще находится в стадия лабораторных исследований и опытно-конструкторских проверок (Колодин, 1977), тогда как дистилляционный получил наибольшее развитие и промышленное внедрение (Апельцин, Клячко, 1968; Дыхно, 1974; Слесаренко, 1973).

Дистилляционная техника опреснения воды достигла больших успехов. Долгое время знали только один способ дистилляции: простую выпарку в кипящих испарителях с погруженными трубами (ПТ), где удельные затраты тепла $0,6 \text{ Гкал/м}^3$, не считая расхода электроэнергии $6\text{—}12 \text{ кВт}\cdot\text{ч/м}^3$. Этот старый тип опреснителя доживает свой век. К настоящему времени разработаны новые способы дистилляции, на основе которых созданы различные типы опреснителей: выпарные многокорпусные (ВМ), многокорпусные с тонкопленочной дистилляцией в вертикальных (ВМВ) и горизонтальных трубах (ВМГ), парокомпрессионные (ПК), адиабатные многоступенчатые (АМ) и др.

В последние годы большое развитие получает мембранная технология опреснения воды методами электродиализа (ЭД) и обратного осмоса (ОО). Опреснение воды производится с помощью полупроницаемых мембран. При электродиализе ионы солей удаляются из воды через мембраны под действием электрического тока, а при обратном осмосе молекулы чистой воды продавливаются через полупроницаемые пористые мембраны (своего рода молекулярные сита) под действием высокого давления, а ионы солей задерживаются и остаются в сбрасываемом рассоле.

Электродиализ — второй после дистилляции метод опреснения воды, получивший промышленное применение во всем мире. В СССР и за рубежом выпускают ЭД опреснители различного хозяйственного назначения.

В последние годы уделяется большое внимание исследованию и разработке обратноосмотического или гиперфильтрационного метода опреснения воды благодаря простоте технологического процесса и малым энергозатратам на обработку слабоминерализованных и сточных вод (Дытнерский, 1975; «Обработка воды...», 1978; Слесаренко, 1973; Mears, 1976). Сейчас промышленность освоила производство фильтрующих элементов различной конструкции в зависимости от вида и конфигурации применяемых осмотических мембран. Фильтрующие элементы собираются в пакеты (модули), которыми комплектуются установки в нужном числе, чтобы обеспечить заданную производительность.

Следует остановиться на химическом обессоливании воды, или ионном обмене (ИО). В соленой воде катионы и анионы солей находятся в подвижном состоянии, и их легче заменить на другие ионы, чем удалять из раствора. Есть вещества, называемые сорбентами или ионитами, которые удаляют из раствора либо катионы, в этом случае их называют катионитами, либо только анионы, тогда их называют анионитами. При последовательном пропуске исходной воды через фильтры, загруженные разными

ионообменными смолами (катионитом и анионитом), ионы солей удаляются и заменяются на ионы воды, т. е. происходит обессоливание воды.

Более подробно с особенностями, преимуществами и недостатками различных методов опреснения воды можно познакомиться в специальных трудах и монографиях (Апельцин, Клячко, 1968; Гребенюк, 1976; Дытнерский, 1975; «Обработка воды...», 1978; Слесаренко, 1973; Spiegler, 1966; Vaillant, 1970).

Пустыни мира богаты солнечным теплом, которое можно использовать для опреснения соленых вод. Более 100 лет тому назад предложена конструкция простейшего солнечного опреснителя парникового типа. В Туркменистане и Узбекистане построены гелиоопреснители площадью по 600 м² и производительностью 3 м³/сут и намечается постройка новых (Байрамов, Сейиткурбанов, 1977).

К опреснителям, использующим климатические ресурсы, помимо гелиодистилляции относится метод естественного вымораживания, когда опреснение воды производится за счет естественного холода. Этот метод еще не получил практического применения и пока проверяется на опытных установках в СССР и за рубежом.

Минерализация воды не оказывает существенного влияния на энергетическую эффективность опреснителей, в основе работы которых лежат тепловые процессы (дистилляция, гелиодистилляция, кристаллизация и естественное вымораживание). Эти опреснители могут обрабатывать исходную воду практически с любым солесодержанием — от слабоминерализованных до морских (табл. 9). В дистилляционных опреснителях уровень минерализации определяет лишь затраты на подготовку исходной воды и выбор конструкционных материалов.

С повышением концентрации солей в опресняемой воде в мембранных опреснителях возрастает расход энергии и ухудшаются технико-экономические показатели. Поэтому для них определяется верхний предел минерализации воды, три котором еще сохраняются приемлемые технико-экономические показатели. Мембранные методы опреснения воды имеют определенные экономические преимущества перед дистилляцией при обработке солоноватых вод с минерализацией до 5 г/л (ОО) и до 10 г/л (ЭД) (см. табл. 9).

Т а б л и ц а 9

Примерная схема выбора метода опреснения воды в зависимости от степени минерализации исходной воды и климатических факторов

Метод	Солесодержание исходной воды, г/л			Область применимости метода	
	Слабомине- рализован- ные, до 5	Солонова- тые, 5—10	Соленые, более 10	до 45° сев. и юж. широты	выше 45° сев. и юж. широты
Дистилляция	+	+	+	+	+
Гелиодистилляция	+	+	+	+	—
Кристаллизация	+	+	+	+	+
Естественное вымораживание	+	+	+	—	+

Электродиализ	+	+	÷	+	+
Обратный осмос	+	÷	—	+	+
Ионный обмен	÷	—	—	+	+

Примечания: + — рекомендуется; ÷ — ограничено применение; — — не рекомендуется.

Наиболее существенное значение минерализация воды имеет для ионного обмена. Так как расход реагентов прямо зависит от величины солесодержания, то по экономическим соображениям можно ионным обменом опреснять воду с минерализацией до 2—3 г/л. В СССР и за рубежом проводятся большие исследования по разработке и созданию принципиально новых методов регенерации ионитов, резко сокращающих расход реагентов. Уже предложен ряд способов, повышающих экономичность обессоливания воды ИО (Bolto, 1975; Sharples, Bolto, 1977).

Географический фактор имеет решающее значение для двух методов опреснения воды: гелиодистилляции и естественного вымораживания, для которых область практического применения ограничена вполне определенными климатическими зонами (см. табл. 9). Другие типы опреснителей, работающие на органическом топливе, атомной энергии или на геотермальном тепле, применяются шире и нуждаются в тепловой защите оборудования и трубопроводов, чтобы сократить расход энергии на потери тепла (при дистилляции) и холода (при замораживании). Качество изоляции и толщина покрытия будут зависеть от климатических условий. Так, на дистилляционных опреснителях в тропиках минимальный слой теплоизоляции по мере возрастания широты места усиливается. Для замораживающих опреснителей требования к теплоизоляции будут обратными, но и в полярных районах потребуется теплоизоляция, чтобы защитить трубопроводы от замерзания в них воды.

Таким образом, выбор метода опреснения зависит от производственного назначения опреснителя (промышленное, коммунальное или пастбищное водоснабжение) природных условий, от технико-экономических показателей конкретных опреснительных установок, от существующих методов водоснабжения. На основе экономического сопоставления разных вариантов водоснабжения выбирается определенный метод опреснения воды.

Экономика опреснения воды

Опреснение соленых и солоноватых вод есть своего рода промышленное производство с определенными капитальными вложениями и эксплуатационными расходами, затратами рабочей силы и материалов, топлива и электроэнергии. Чтобы определить народнохозяйственную целесообразность опреснения воды, необходимо подсчитать его технико-экономические показатели (ТЭП). Они должны учитывать не только амортизацию и восстановление производственных фондов водохозяйственного объекта, но и обеспечивать накопления, достаточные для расширенного воспроизводства и отчислений на общенародные нужды.

Коротко остановимся на методике подсчета ТЭП. Экономические показатели опреснителя будут во многом зависеть от интенсивности эксплуатации, т. е. продолжительности его работы или коэффициента эксплуатации γ (0,9 или 0,6,

означающие 330 или 220 суток работы в году), что и предопределил годовую выработку воды (м³);

$$W_r \equiv 365\gamma Q, \quad (1)$$

где Q — номинальная производительность опреснителя, м³/сут.

Стоимость воды будет определяться годовыми эксплуатационными расходами (руб.):

$$I_r = I_t + I_\gamma + I_m + I_z + I_n + I_k + I_d. \quad (2)$$

В правой части уравнения первые пять членов обозначают прямые издержки производства (стоимость топлива, электроэнергии и материалов, годовой фонд зарплаты обслуживающего персонала со всеми начислениями и прочие расходы). Шестой член уравнения (I_k) представляет амортизационные отчисления на ремонт и полное восстановление, которые берутся по нормам («Нормы амортизационных...», 1974). И наконец, последний член I_d — затраты на ликвидацию сбросов рассола с опреснителя. Раньше этот вид расходов не предусматривался, а в последнее время затраты на природоохранные мероприятия должны учитываться.

Отсюда себестоимость опресненной воды будет равняться (руб/м³):

$$C = \frac{I_r}{W_r}. \quad (3)$$

Удельные капитальные затраты на производство пресной воды выражаются отношением (руб/м³):

$$K = \frac{\Pi}{W_r}. \quad (4)$$

где Π — стоимость основных производственных фондов опреснительной установки, руб.

В соответствии с существующей методикой («Типовая методика...», 1969) показателем сравнительной экономической эффективности является величина приведенных затрат по данному варианту (руб/м³):

$$Z = C + E_n K, \quad (5)$$

где E_n — нормативный коэффициент эффективности капиталовложений (в энергетике и водоснабжении принимают равным 0,12). Тот вариант, который имеет минимальные приведенные затраты, обладает экономическими преимуществами.

Ожидаемый экономический эффект от внедрения опреснителя или другого варианта водоснабжения по сравнению с существующим базовым вариантом оценивается по формуле (руб.):

$$\Delta = [(C_1 + E_n K_1) - (C_2 + E_n K_2)] W_r \quad (6)$$

где C_1 и C_2 , K_1 и K_2 — себестоимость и удельные капитальные затраты для базового и сравниваемого вариантов, руб/м³.

Срок окупаемости капитальных вложений в опреснительную установку будет равен (лет):

$$\tau = \frac{K_2}{\Theta}. \quad (7)$$

Материальные и трудовые затраты на производство пресной воды оцениваются следующим образом. Металлоемкость опреснителя, или удельный расход металла на 1 м³ суточной производительности, вычисляется по уравнению

$$m_m = \frac{M}{Q}, \quad (8)$$

где М — вес металлоконструкций и оборудования, т. Аналогично годовой расход натурального или условного топлива, электроэнергии делятся на годовую выработку воды W_r и получают удельные затраты: топлива m_t (кг/м³ или тут/м³)¹ и электроэнергии m_e (кВт·ч/м³).

¹ Единица тепла 1 тонна условного топлива (тут) = 7·10⁹ кал = 7 Гкал;

Величина трудовых затрат на производство опресненной воды подсчитывается следующим образом (чел.·ч/м³):

$$T = \frac{tn}{W_r} = \frac{2100 n}{W_r}, \quad (9)$$

где n — численность обслуживающего персонала, чел.; t — число рабочих часов в году (в среднем 2100 на 1 работающего), ч.

Если вода используется в промышленности или сельскохозяйственном производстве (особенно при орошении), когда затраты на воду входят в стоимость вновь произведенного продукта, то подсчитываются и другие показатели: стоимость валовой продукции, валовой доход, чистый доход и др. (Карев, Шлык, 1979). При использования опреснителей для водоснабжения ограничимся подсчетом ТЭП по вышеприведенным уравнениям (1—9).

Во многих водохозяйственных районах страны (а в безводных в особенности) воспроизводство водных ресурсов не только природный процесс, но и особая сфера общественного производства. Вследствие истощения местных водных ресурсов или их загрязнения приходится производить переброску воды издалека, либо ее очистку, или опреснение на месте, поэтому затраты на воду все возрастают.

В последние годы при оценке водных ресурсов все чаще фигурирует понятие «закрывающие оценки», под которыми подразумевается «приращение минимальных суммарных приведенных затрат по водным объектам на единицу дополнительного располагаемого ресурса в данном районе» (Егоров и др., 1973). В табл. 10 представлены закрывающие оценки водных ресурсов для трех расчетных периодов в дефицитных водохозяйственных районах Средней Азии и Казахстана.

В этом регионе ведется строительство Токтогульского, Чарвакского, Андижанского и других гидроузлов, которые поддержат баланс Сырдарьи до конца II расчетного периода. На этом ресурсы реки будут исчерпаны, включая освобождающиеся ресурсы в результате реконструкции оросительных систем. Последние затраты и определяют закрывающие оценки на II период (10 коп. на 1 м³ сэкономленной воды).

Баланс Амударьи избыточен в I и начале II периода. Во II периоде потребуется более полное зарегулирование Амударьи путем ввода Рогунского, Верхнеамударьинского и, возможно, Даштиджумского гидроузлов, которые определили замыкающую оценку 5 коп/м³. В III периоде возникнет необходимость в переброске части стока сибирских рек в бассейн Арала в объеме до 20—25 км³. Замыкающие оценки сибирской воды экспертно оценены в 15 коп/м³ (Егоров и др., 1973). В этой работе приводятся карты, на которых показаны границы водохозяйственных районов.

Под замыкающими затратами понимается величина предельно допустимых с точки зрения народного хозяйства затрат на единицу прироста дополнительно располагаемого ресурса в рассматриваемом районе на определенном отрезке времени (Некрасов, 1978). Поэтому если дополнительная потребность в воде вызовет дефицит и потребуется строительство опреснителей или другого водного объекта, не указанного на карте или лежащего вне пределов данных районов, то к районным оценкам необходимо добавлять удельные затраты по ним. Точно так же должны добавляться затраты на транспорт воды, очистку и отведение.

Т а б л и ц а 10

Замыкающие экономические оценки воды в дефицитных водохозяйственных районах Средней Азии и Казахстана

(Егоров и др., 1973)

Водохозяйственный район	Средние по расчетным периодам		
	I	II	III
Бассейн Аральского моря			
Верхний Сырдарьинский	5,4	10,7	15,7
Сырдарьинский	5,0	10,0	15,0
Памиро-Алайский	0	3,1	15,8
Амударьинский	0	2,6	15,1
Сурхандарьинский	1,3	5,1	17,4
Каршинский	1,0	9,4	21,9
Каракумский Восточный	0,8	4,0	16,5
Каракумский Западный	2,7	7,9	20,4
Зеравшанский	2,0	5,1	17,6
Хорезмский	1,0	2,5	16,0
Каракалпакский	0,7	4,0	16,5
Бассейн рек Южного Казахстана			
Джамбульский	5,0	5,0	10,0
Таласский	0	0	5,0

Ташуткульский	1,7	1,7	10,0
Фрунзенский	0	0	10,0
Иссык-Кульский	0	0	0
Прибалхашский	0	3,5	3,5
Верхнеилийский	0,1	3,6	3,6
Заилийский	0,1	9,0	9,0
Низовья Или	—	8,5	8,5
Алакольский	0	0*	10,0
Аягузский	5,0	5,0	10,0
Бассейн Иртыша			
Верхний Иртыш	0,3	0,3	1,3
Средний Иртыш	0	0	1,0
Нижнеиртышско-Уральский	0	0	1,0
Экибастузский	0,3	1,0	1,7
Караганда-Целиноград	1,3	1,3	5,0
Джезказган-Атасу	22,0	22,0	26,0
Краснознаменский	30,0*	30,0*	30,0*
Селитинский	20,0*	20, 0*	20,0*
Павлодар-Омское левобережье Иртыша	20,0*	20,0*	10,0*
Средний Ишим	0,4*	7,7	7,7
Пресновский	20,0*	20,0*	5,0
Булаевский	0*	0*	5,0
Ишим-Убаганский	0	0*	5,0
Верхний Тобол	0	12,5	5,0
Кустанайский	28,0*	28,0*	5,0
Бассейн Каспийского моря			
Прикаспийский (с возможным использованием опресненной воды)	30,0*	20	20
Эмба	—	—	15

* Весьма ограниченный ресурс; свободный ресурс отсутствует

Оценка экономических показателей опреснения воды встречает определенные трудности, так как они зависят от многих факторов природного, технического и экономического характера (дебита водоисточника и минерализации исходной воды, типа и мощности опреснителя, размеров капиталовложений и срока службы оборудования, коэффициента эксплуатации опреснителя и численности обслуживающего персонала, стоимости энергии, материалов, расходов по ремонту и замене оборудования и т. д.). Эти показатели зависят от конкретных условий, и в каждой стране они будут иметь свои особенности и различия. Поэтому всякое обобщение будет вносить некоторые условности и ограничения. Нами сделана попытка получения экономических показателей опреснения воды как по отечественным, так и по зарубежным данным.

В нашей литературе нет полных и подробных технико-экономических проработок по различным методам опреснения. Отдельные работы в большей степени посвящены анализу теплотехнических и технологических характеристик дистилляционных опреснителей большой производительности, нежели их экономике (Соболев и др., 1973; Стерман и др., 1968; Токманцев и др., 1973).

Большинство работ М. В. Санина (Санин, Никитин, 1973; «Опреснение и обессоливание...», 1976) в основном построены по зарубежным материалам и лишь по отдельным отечественным опреснительным.. установкам. приводятся неполные расчетные и фактические показатели. В последней наиболее обстоятельной работе. (Никитин, Ахметьев, Санин, 1978) содержатся отечественные и зарубежные данные по экономике опреснения солоноватых подземных вод разными методами (в СССР для опреснителей производительностью 0,2—10 тыс. м³/сут, за рубежом — для 1—50 тыс. м³/сут). Собранные данные представляют определенный интерес, однако в них отсутствуют сведения о затратах энергии на опреснение, и для отечественных опреснительных установок не дан такой важный показатель, как приведенные затраты.

Ранее нами в работах (Колодин, 1973, 1976; Колодин, Сейиткурбанов, 1973) приводились данные по экономике отечественных и зарубежных опреснителей. Конечно, они были также выборочными для отдельных установок и не содержали полных обобщенных и сопоставимых сведений о размерах и структуре капитальных и эксплуатационных затрат, расходе энергии и приведенных затратах для широкого диапазона опреснителей. Чтобы получить необходимые сведения, нами проделана большая работа по сбору и обобщению данных по экономике опреснения воды, имеющих в публикациях отечественной и зарубежной литературы, а также в материалах исследований и разработок научно-исследовательских и проектных институтов.

В СССР наиболее высокого уровня развития получила дистилляционная техника опреснения воды (ОВ). С 1967 г. в г. Шевченко, а затем и в г. Красноводске действуют опреснители производительностью 15 тыс. м³/сут. Сейчас строится ОУ общей производительностью 62,7 тыс. м³/сут с агрегатами по 20,9 тыс. м³/сут и проектируется опреснительный комплекс на 538 тыс. м³/сут с единичными агрегатами по 27 тыс. м³/сут.

В нашей стране преимущественное развитие получили выпарные многокорпусные (ВМ) и адиабатные многоступенчатые (АМ) дистилляционные ОУ. Последние хорошо вписываются в схему тепловых (ТЭС) и атомных электростанций (АЭС) (Дыхно, 1974; Стерман и др., 1968). Комбинированное производство воды, электроэнергии и тепла на многоцелевых ТЭС и АЭС существенно улучшают их ТЭП. Особенно большие

перспективы открываются при использовании атомной энергии для опреснения воды, и чем больше мощность и производительность атомной электростанции (АВЭС), тем выше ее экономичность и ниже стоимость опресненной воды (Корякин, Логинов, 1966; Стерман и др., 1968; Чурин, Клячко, 1968).

Метод опреснения воды электродиализом (ЭД) получил у нас меньшее развитие, чем дистилляция (Д). Разработан ряд проектов ЭД установок производительностью от 720 до 11 520 м³/сут, некоторые из них уже построены и успешно действуют. Для обобщения и определения ТЭП опреснения воды электродиализом нами использованы все имеющиеся фактические данные действующих опреснителей (Гребенюк, 1976; Малиновский, 1972; Никитин и др., 1978; Шишлянников и др., 1972) и расчетные данные проектируемых установок. Эти данные экстраполированы до производительности 100 тыс. м³/сут.

Метод опреснения воды обратным осмосом (ОО), или гиперфильтрацией, несмотря на свои перспективы, в Советском Союзе находится еще в начальной стадии развития. В стране построена и действует установка производительностью 10 м³/сут. В недавно опубликованной работе («Обработка воды...», 1978) приводятся неполные показатели (только себестоимость) для опреснительных установок производительностью 114 м³/сут и ориентировочные данные для 1000 м³/сут.

В некоторых работах производились прикидочные технико-экономические сопоставления традиционных способов водоподготовки на ТЭС и очистки сточных вод методом обратного осмоса в диапазоне производительностей 2400—3000 м³/сут. Серьезных проектных проработок и технико-экономического обоснования обратноосмотической техники опреснения воды на большие мощности в нашей стране не имеется.

Обобщенные технико-экономические показатели отечественных дистилляционных и электродиализных опреснителей в диапазоне производительностей от 1 до 1000 тыс. м³/сут показаны на графике «Материальные и энергетические затраты...» и осредненные данные, снятые с графика, представлены в табл. 11—12. Для характеристики капитальных затрат на опреснение в отличие от удельных величин, вычисляемых по формуле (4), еще определялась сравнительная величина капиталовложений (руб/(м³/сут)), равная частному от деления полной стоимости опреснителя на его номинальную производительность Q. Из приведенных материалов следует, что на отечественных опреснителях мощностью 100 тыс. м³/сут капитальные затраты почти равны, а приведенные затраты на дистилляционных в 1,73 раза больше, чем при ЭД. Это объясняется тем, что при дистилляции расходуется гораздо больше энергии. Действительно, почти к равным затратам электроэнергии в обоих методах в дистилляции добавляется довольно большое количество тепловой энергии.

Т а б л и ц а 11

Осредненные экономические и энергетические показатели опреснения воды методом дистилляции в СССР (ВМ+АМ)

Виды затрат	Производительность опреснителя, тыс. м ³ /сут					
	4	20	100	400	600	1000
Себестоимость, руб/м ³	0,69	0,51	0,33	0,22	0,20	0,19

Капиталовложения, руб/(м³/сут)	460	225	145	124	122	120
Приведенные, затраты, руб/м³	0,88	0,60	0,38	0,27	0,25	0,24
Затраты тепла, Гкал/м³	0,158	0,095	0,067	0,055	0,052	0,050
Расход электроэнергии, кВт·ч/м³	4,35	3,10	2,26	1,77	1,70	1,60

В результате обработки и обобщения материалов по некоторым действующим опреснителям определена структура капитальных и эксплуатационных затрат на опреснение методами дистилляции и электролиза. В структуре капитальных затрат свыше половины (56 и 60%) капиталовложений приходится на опреснительные агрегаты, а на подготовку исходной воды — 4 и 10%. Следующая по величине доля капзатрат падает на строymонтажные работы — 30 и 20%. Затраты на внешние и внутренние трубопроводы, электрооборудование, контрольно-измерительные приборы (КИП) и автоматику в обоих методах равны 10%.

Т а б л и ц а 1 2

Осредненные экономические и энергетические показатели опреснения соленоватых вод электролизом в СССР

Виды затрат	Производительность опреснителя, тыс. м³/сут			
	4	20	40	100
Себестоимость, руб/м³	0,23	0,19	0,18	0,16
Капиталовложения, руб/(м³/сут)	165	150	145	140
Приведенные затраты, руб/м³	0,29	0,25	0,23	0,21
Расход электроэнергии*, кВт·ч/м³	2,25	1,70	1,65	1,60

* Только на процесс опреснения воды.

В структуре годовых издержек производства воды отчисления на амортизацию и ремонт лежат в пределах 33 и 35%. Зарплата с начислениями незначительна на ДОУ (4%), но достигает пятой части (20%) стоимости воды в ЭДУ. Топливная составляющая особенно велика в дистилляционных процессах—61%, а в ЭД—15%. На химреагенты, материалы и прочие расходы приходится 2 и 10%, а при ЭД еще довольно большие затраты (20%) на замену мембран. В отечественных ЭДОУ энергетическая составляющая меньше из-за больших расходов на обслуживание (20%), тогда как за рубежом технологический процесс автоматизирован и расходы на обслуживание меньше (13%), а доля стоимости энергии гораздо выше — 38%.

За рубежом публикуются всевозможные сведения технического и экономического характера о действующих и проектируемых опреснителях, имеются специальные технико-экономические проработки по оценке технических и экономических показателей опреснения воды разными методами, выполненные по контрактам Управления соленых вод США Office of Saline Water — OSW, недавно преобразованное в Office of Water Research and Technology — OWRT с университетами и фирмами (Blesing, Walker, 1972; Clark, 1970; Channabasappa, 1975, 1976; «Colorado

River...», 1973, и др.), а также самостоятельные исследования отдельных ученых (Beushausen et al, 1971; Kurtz et al, 1972; Pugh, Tanner, 1973).

Собранные и обработанные зарубежные данные по экономике опреснения в ценах 1967—1971 гг. представлены на графике «Зависимость стоимости опреснения воды на зарубежных...», а осредненные цифровые показатели сведены в табл. 13. На графике показано изменение стоимости опреснения на установках разных типов: с изменением агрегатного состояния воды (дистилляция и кристаллизация, кривые 1—4) и без изменения (электродиализ и обратный осмос, кривые 5—6). На графике видно, что для опреснения солоноватых вод (с солесодержанием до 5 г/л) мембранные процессы (электродиализ и осмос) более экономичны (кривые 5—6), чем методы с изменением агрегатного состояния воды (кривые 1—4). На рисунке приведены данные для современной технологии при сроке службы мембран 2 и 1 год (соответственно для диализа и осмоса). Если в будущей проектируемой технологии срок службы мембран составит 5 и 3 года, то стоимость опреснения мембранными методами может быть снижена на 30—40%. Показатели стоимости опреснения морских вод и соленых континентальных мембранными методами превосходят показатели стоимости опреснения тепловыми методами (кривые 1—4). Мембранная технология для этой цели еще недостаточно эффективна и уступает в экономике дистилляционным методам.

Зависимость удельных значений капитальных и энергетических затрат на опреснение воды теми же методами в диапазоне производительностей от 100 м³/сут до 1,0 м³/сут показана на графике «Изменение удельных экономических и энергетических...». Из графика видно, что на опреснителях производительностью 100 тыс. м³/сут капиталовложения в 2,0—2,5 раза больше на дистилляцию, чем на мембранные методы, а стоимость опреснения при этом в 1,5 раза дороже, и лишь при увеличении мощности опреснителей до 1,0 млн. м³/сут она сравнивается по стоимости с мембранной технологией.

Структуру капитальных и эксплуатационных затрат можно охарактеризовать следующими осредненными данными. На дистилляционных и электродиализных установках 57 и 61% капиталовложений приходится на опреснительные агрегаты, а подготовка исходной воды составляет 8 и 13%. В обратноосмотических установках подготовка имеет более важное значение, поэтому затраты на этот узел достигают 31%, а общие затраты на опреснительную часть и подготовку составляют 71%. Доля затрат на внешние и внутренние коммуникации, электрооборудование, приборы и автоматику в Д, ЭД и ОО соответственно равны 21, 18 и 15%. Капитальные затраты на покупку земли, проектирование и на другие расходы исчисляются соответственно 14, 8 и 14%.

В структуре годовых издержек отчисления на амортизацию в общих расходах при Д, ЭД и ОО равны соответственно 31, 29 и 25%. Отчисления на ремонт учитываются вместе с обслуживанием и составляют соответственно 16, 13 и 10%. Топливная составляющая наиболее велика в дистилляционных процессах — 47%, затем идет электродиализ — 38 и менее всего при обратном осмосе — 11%, но зато в последнем велики расходы на реагенты и материалы — 34%, которые в первых двух равны 4 и 8%. Для мембранных методов приводятся расходы на удаление рассола (испарение или закачку в скважины), которые составляют от 2 до 5% всей стоимости воды. Прочие расходы для всех методов оцениваются соответственно 2, 3 и 4%.

Нужно заметить, что приведенные в табл. 13 показатели, а также структура капитальных затрат и эксплуатационных расходов определены еще до разразившегося

на западе в 1973 г. энергетического кризиса, искусственно созданного монополиями, когда стоимость основного топлива — нефти — была повышена в 4 раза.

Т а б л и ц а 13

Значения удельных материальных и энергетических затрат на опреснение воды установками разной мощности и разного типа

(по зарубежным данным)

Методы опреснения воды	Производительность, тыс. м ³ /сут					
	4	20	100	400	600	1000
I. Капиталовложения, долл./(м³/сут)						
Дистилляция АМ	510	350	270	230	220	215
ВМ	460	320	260	220	210	205
ПК	400	300	250	—	—	—
Замораживание	290	230	195	—	—	—
Электродиализ *	230	149	120	95	92	88
Обратный осмос *	162	122	100	88	83	78
II. Стоимость воды, центы/м³						
Дистилляция (в среднем)	45	27	15	10	9	7
Замораживание	32	18	10	—	—	—
Электродиализ *	16	14	12	10	9	9
Обратный осмос *	13	11	9	8	7	7
III. Расход энергии, кВт·ч/м³						
Электродиализ *	2,65	2,45	2,35	2,15	2,12	2,10
Обратный осмос *	1,95	1,65	1,52	1,48	1,46	1,44
Замораживание	8,90	8,00	7,60	—	—	—
Дистилляция (в среднем АМ÷ВМ)	2,52	2,27	2,10	1,82	1,76	1,73
Расход тепла, Гкал/м ³	0,062	0,05 8	0,055	0,052	0,051	0,050

* Опреснение солоноватых вод минерализацией 5 г/л.

Это, естественно, отразилось и на стоимости всех видов промышленных изделий, в том числе и на стоимости опреснительных установок, которые соответственно вздорожали (Johnson, 1976). В табл. 14 представлены данные, которые свидетельствуют об инфляции и росте цен на Западе. Так, в 1975—1976 гг. капзатраты на ОУ всех типов в среднем увеличились в 2,0—2,4 раза, а стоимость опреснения воды в основном из-за

вздорожания энергии возросла в 1,9—2,5 раза по сравнению с прежними ценами до 1971 г.

Т а б л и ц а 14

Тенденция роста за рубежом капитальных и эксплуатационных затрат на опреснение воды разными методами на установках производительностью 4—22 тыс. м³/сут

Удельные капитальные и эксплуатационные затраты	Дистилляция	Замораживание	Обратный осмос		Электро-диализ
Минерализация исходной воды, г/л	35,0	35,0	5,0	35,0	5,0
Капзатраты, долл. (м ³ /сут)					
В прежних ценах	510	220	125	330	150
В ценах 1975—1976 гг.	1200	450	280	800	350
Рост в среднем, %	235	204	233	242	224
Стоимость воды, центы/м ³					
В прежних ценах	34—47	29—33	10—12	34—37	11—15
В ценах на 1975—1976 гг.	71—92	58—70	25	71—74	17—47
Рост в среднем, %	192	206	227	204	246

Экономичность опреснительных процессов во многом зависит от расхода энергии. По мере увеличения производительности опреснителя доля амортизации и обслуживания в стоимости воды уменьшается, а топливная составляющая увеличивается, так как удельные затраты энергии с повышением мощности установки понижаются медленно. Это обстоятельство имеет особо важное значение для крупных и сверхмощных опреснителей (свыше 100 тыс. м³/сут). Поэтому важно знать достигнутый уровень фактических затрат энергии на опреснение воды в реальных установках A_d по сравнению с теоретическим минимумом расхода энергии $A_{\min}$. Степень термодинамического совершенства опреснительных установок определяется по формуле (%):

$$\eta = 100 \frac{A_{\min}}{A_d}.$$

Минимальная работа сепарации $A_{\min}$ зависит от температуры источника соленой воды и концентрации солей и ней. В идеальном случае, когда концентрация раствора постоянна, $A_{\min}$ соответствует получению 1 м³ пресной воды из бесконечно большого объема воды при бесконечно большой прокачке воды (Колодин, 1977; «Опреснение соленых...», 1963). В действительности имеет место увеличение солесодержания раствора по мере извлечения пресной воды из конечного объема, и работа на разделение при этом увеличивается. Так, Б. Ф. Додж и А. М. Эшай («Опреснение соленых...», 1963) минимальную работу дифференцированного разделения в идеальном обратимом процессе определяют уравнением (МДж/м³):

$$A_{\text{мин}} = -RT_0 \int_{n_1}^{n_2} \ln a \, dn,$$

где n_1 и n_2 — начальное и конечное число молей раствора; a — активность воды; R — газовая постоянная, Дж/К·моль; T_0 — температура соленой воды, К.

В табл. 15 для морской и солоноватых вод при коэффициенте извлечения пресной воды 0,5 и температуре раствора 298° К приведены значения $A_{\text{мин}}$. Там же даются значения A_d для различных процессов. Из таблицы видно, что имеется большой резерв для совершенствования опреснительной техники. Термодинамическое совершенство процессов опреснения солоноватых и морских вод обратным осмосом оценивается соответственно в 48 и 20%, электродиализом — в 32 и 14%, замораживанием — в 10 и 11% и дистилляцией — в 3 и 4%.

Т а б л и ц а 15

Затраты энергии A_d на опреснение воды разными методами на зарубежных установках производительностью 4—20 тыс. м³/сут, кВт·ч/м³ (Колодин, 1977)

Водоисточник	$A_{\text{мин}}$	Обратный осмос	Электро-диализ	Замора-живание	Дистил-ляция (АМ)
Морская вода	1,109	6,55	7,90	10,2	27,8*
Солоноватая вода	0,795	1,65	2,45	8,0	26,1*
Топливная составляющая стоимости воды, %	—	11	38	43	47,0

* Большую часть составляет тепловая энергия

Хотя термодинамическое совершенство дистилляционных опреснителей еще невелико и затраты энергии самые большие, но именно этот метод получил наибольшее развитие как за рубежом, так и в нашей стране благодаря простоте управления технологическим процессом и возможности использования преимущественно тепловой энергии, которая значительно дешевле электрической.

Подсчет материальных и энергетических затрат на производство кубокилометра опресненной воды

Чтобы оценить перспективы опреснения воды в больших масштабах, необходимо определить материальные и энергетические затраты на производство 1 км³ воды, чтобы можно было сравнить эти показатели с другими способами водоснабжения. Выше нами подсчитаны удельные, экономические показатели, отнесенные к 1 м³ опресненной воды (себестоимость, капитальные и приведенные затраты), и расход энергии на опреснителях мощностью от 4 тыс. до 1,0 млн. м³/сут. Чтобы выработать кубокилометр воды на опреснителях указанной производительности, необходимо определить число установок, способных за год произвести 1 км³ воды при принятом коэффициенте эксплуатации 0,9. Далее для каждого взятого класса производительности опреснителей

вычислялись требуемые материальные и энергетические затраты на производство 1 км³ воды. Мощность отечественных ЭД опреснителей, как и ранее, ограничена производительностью 100 тыс. м³/сут. По ОО расчеты не производились вообще из-за отсутствия исходных данных, несмотря на несомненные преимущества и перспективы данного метода.

Т а б л и ц а 16

Необходимые в СССР экономические и энергетические затраты на производство 1 км³ опресненной воды на установках разного типа и производительности

Методы опреснения и виды затрат	Производительность, $\frac{\text{тыс. м}^3/\text{сут}}{\text{м}^3/\text{с}}$					
	4	20	100	400	600	1000
	0,046	0,231	1,157	4,63	6,944	11,574
Число опреснителей, шт.	757,6	151,5	30,3	7,58	5,05	3,03
Дистилляция (АМ, ВМ)						
Эксплуатационные расходы, млн. руб.	690	510	330	220	200	180
Капиталовложения, млн. руб.	1 490	730	388	221	200	188
Приведенные затраты, млн. руб.	876	601	378	248	225	203
Потребная электрическая мощность, МВт	496,6	353,9	258,0	202,0	194,0	182,6
Потребная мощность источников тепла, Гкал/ч	18 036	10 844	7 648	6 278	5 936	5 708
Расход тепла, млн. тунт	22,57	13,57	9,57	7,86	7,43	7,14
Электродиализ						
Эксплуатационные расходы, млн. руб.	230	190	160	—	—	—
Капиталовложения, млн. руб.	500	455	425	—	—	—
Приведенные затраты, млн. руб.	292	247	213	—	—	—
Потребная электрическая мощность, МВт	256,8	194,0	182,6	—	—	—

В табл. 16 представлены итоговые показатели материальных и энергетических затрат в СССР на производство 1 км³ опресненной воды методами дистилляции (Д) и электродиализа (ЭД). В первом случае минерализация продукта равна 0,05 г/л, во втором — 0,5 г/л. На отечественных опреснителях производительностью 100 тыс. м³/сут капиталовложения почти одинаковы, а приведенные затраты на дистилляционных — в 1,73 раза больше, чем на электродиализных установках.

Это объясняется тем, что при дистилляции расходуется значительно больше энергии. Так, на производство 1 км³ воды на опреснителях равной производительности

Капзатраты, млн. долл.	490	370	303	265	252	238
Суммарные расходы, млн. долл.	128	106	93	75	73	70
Потребная электрическая мощность, МВт	222,6	188,4	173,5	169,0	166,7	164,4

За рубежом имеются достаточно подробные и детальные экономические и технические данные по действующим и проектируемым опреснительным установкам промышленного типа, что нам позволило достаточно полно представить такие методы, как дистилляция, электродиализ и обратный осмос. В табл. 17 представлены итоговые показатели материальных и энергетических затрат, пересчитанных и отнесенных к 1 км³ опресненной воды, выполненных аналогично подсчетам отечественных данных.

В табл. 13 — показатели для трех способов дистилляции. Как видно, дистилляционные адиабатные многоступенчатые (АМ) и выпарные многокорпусные (ВМ) опреснители имеют близкие показатели, и осредненные для них данные положены в основу пересчета, результаты которого и приводятся в табл. 17. В ней также имеются данные о потребной электрической мощности, а для дистилляционных опреснителей — мощности источников тепла и расход топлива. Из сравнения следует, что дистилляция требует больших капиталовложений, вдобавок к почти равным электрическим мощностям еще 7—8 млн. тут на каждый 1 км³ воды.

Опреснение и водоснабжение с помощью энергии солнца и ветра

Во многих пустынях мира запасы пресных вод ограничены, а минерализованные воды имеются всюду и в достаточном количестве (см. главу 1). Для водоснабжения рассеянных на обширных пространствах мелких потребителей воды (отгонное животноводство, семьи скотоводов или небольшие поселения) нужны опреснители небольшой производительности (5—25 м³/сут). Препятствием широкого применения опреснителей, особенно в развивающихся странах мира («Le dessalement...», 1965), является отсутствие энергетической базы, так как местное население не в состоянии покупать современные силовые установки и особенно вздорожавшее жидкое топливо. Поэтому для рассредоточенного опреснения воды целесообразнее использовать местные энергетические ресурсы, такие, как солнце, ветер и геотермальное тепло.

Особенно благоприятны условия для применения солнечного тепла в безводных субтропических и тропических пустынях. Мощность солнечной радиации, падающей на 1 м² земной поверхности на широте Ашхабада, почти равна 1 кВт, и за год поток тепла достигает $7,8 \cdot 10^9$ Дж/м² (1,86 Гкал/м²). Насколько велика мощность падающей солнечной радиации, можно судить по такому примеру. Поток солнечной энергии в пустыне Каракумы, падающий только на площадь в 50 тыс. км² ($3,9 \cdot 10^{20}$ Дж), достаточен, чтобы покрыть все энергетические потребности человечества в 1980 г. ($3,22 \cdot 10^{20}$ Дж) («Энергетика мира», 1976).

Простейший солнечный опреснитель парникового типа давно известен и уже применяется во многих южных странах. Однако опресненная вода все еще дорогая и использовать ее для орошения невыгодно. Ученые Аризонского университета в США и Мексиканского университета в Соноре разработали метод комплексного использования солнечной энергии для производства воды и пищи в теплицах с контролируемой средой, и в 1964 г. на берегу Калифорнийского залива в Пуэрто-Пеньяско построили опытную установку (Hodges, Kassander, 1966; «Saline Water...», 1966).

Солнечный увлажнительный опреснитель действует следующим образом: исходная морская вода насосом (1) прокачивается через трубы конденсатора (2), опреснителя (3) и подается в солнечные водонагреватели (4), откуда горячая вода сливается в бак (5). Нагретая солнцем вода насосом подается в правую башню, где она распылителями (7) разбрызгивается и насыщает влагой вдуваемый воздух. Насыщенный влажный воздух поступает в левую башню, где на пучке холодных труб влага конденсируется. Так работает увлажнительный опреснитель, и он дает в сутки 21 литр воды на каждый квадратный метр водонагревателя, что в 4—5 раз выше производительности парникового опреснителя (Колодин и др., 1967).

Справа изображена гелиотеплица (11) с замкнутой по воде контролируемой средой. Теплица размером более 1500 м² сделана из полиэтилена толщиной 10—12 мм, который поддерживается небольшим избыточным давлением воздуха. Часть теплой неиспарившейся воды насосом (10) подается к брызгалкам (13), создающим внутри теплицы влажную насыщенную атмосферу, при которой резко снижается расход поливной воды. В теплице с замкнутым циклом по воде большая часть влаги, необходимая для транспирации растений, черпается из атмосферы теплицы в процессе постоянного ее круговорота. Добавка опресненной воды, видимо, нужна для компенсации потерь в виде связанной воды продуктивной биомассы и утечек влаги из теплицы. В этих условиях уже выгодно использовать опресненную воду для орошения. Кроме того, теплица работает как парниковый опреснитель, собирая со оводов в желоба (15) дополнительное количество пресной воды. Дозатор (17) добавляет все необходимые удобрения в опресненную воду, которая насосом (16) подается к корневой системе растений. В качестве почвы используется пляжный песок.

Увеличение концентрации углекислого газа в атмосфере теплицы значительно повышает урожайность риса, кукурузы, баклажанов, огурцов и других культур. Для этого выхлопные газы дизельной электростанции, промытые морской водой в газоочистителе, направляют в теплицы. Увеличение содержания CO₂ в атмосфере теплиц с 0,03% до 0,24% повысило вес растений в пять раз, а урожайность в три раза. Была определена оптимальная концентрация CO₂ для разных растений. Так, опыты с рисом при содержании CO₂ 0,24% дали рекордный урожай — 18,9 т/га, что почти в три раза выше максимального зарегистрированного урожая (Ковда, Кунин, 1970).

После первой опытной установки в Пуэрто-Пеньяско, позже в США в штате Аризона сооружены такие же установки площадью 4 га (в Тусоне) и 2 га (в Юме). Затем Аризонский университет спроектировал и построил на берегу Персидского залива более крупную установку, включающую 50 солнечных водонагревателей и 12 теплиц (Петров, 1973). В 1972—1973 гг. здесь с одного гектара получен урожай томатов 370 т и огурцов от 600 до 750 т. Высокие начальные капитальные затраты (250—370 тыс. долл/га) пока ограничивают применение подобных систем («More Water...», 1974).

В пустыне ветры дуют часто, и в некоторых местах энергетический потенциал ветра может достигать весьма высоких значений.

Впервые нами была высказана и подкреплена расчетами идея о возможности использования энергии ветра для опреснения воды (Колодин, 1963). Позже в Институте пустынь АН Туркменской ССР была разработана и сконструирована малая ветроэлектродиализная установка МВУ-0,1 производительностью 100 л/сут. Установка МВУ-0,1 состояла из электродиализного опреснителя, получавшего электроэнергию от небольшого ветроэлектрического агрегата АВЭС-0,1 мощностью 100 Вт.

Результаты лабораторных и полевых испытаний подтвердили принципиальную и техническую возможность опреснения воды с помощью энергии ветра (Гельдыев, 1972). После первых опытов были исследованы ветровые и технические условия, рассчитаны технологические Параметры ветроопреснительных установок (ВОУ) питьевого и пастбищного водоснабжения с электродиализным (ЭД) и обратноосмотическим (ОО) опреснителями.

Для того чтобы ВОУ могла с заданной степенью вероятности обеспечить расчетное водопотребление, необходимо аккумулировать ветровую энергию. Здесь возможны две принципиальные схемы аккумулирования ветловой энергии: А) аккумулирование готового продукта (пресной воды), когда ВД и сопряженная с ним опреснительная установка (ОУ) работают по случайному неуправляемому графику, а опресненная вода запасается в баке-аккумуляторе продукта (БАП); и Б) аккумулирование энергии, например, в электрическом аккумуляторе (АЭ), когда ВД работает по случайному графику и запасается электрическая энергия, а опреснитель производит пресную воду по управляемому графику в соответствии с суточным водопотреблением (Колодин, 1976).

Рассмотрены обе схемы аккумулирования с установкой ВОУ-6 пастбищного типа производительностью 6 м³/сут. Техничко-экономические показатели для 90% обеспеченности водоснабжения подсчитывались по вышеприведенным формулам (1—9). Предполагалось, что схема А более предпочтительна, нежели схема Б, так как имеет определенные преимущества: стоимость БАП гораздо дешевле АЭ и не требует специального помещения и обслуживания. Однако в процессе исследования выяснилось, что раз ВД большую часть времени простаивает и лишь меньшую работает (для ветровых условий Центральных Каракумов коэффициент использования установленной мощности равен 0,33), то установленная мощность ВД должна превосходить потребную в 3 раза. В схеме А, когда ВД и ОУ работают напрямую, производительность опреснителя также должна в 3 раза превышать суточное водопотребление. Все это приводит в схеме А к резкому увеличению (1,7 раза) капитальных затрат и повышению на 10% себестоимости воды по сравнению со схемой Б.

Сопоставление экономических показателей ВОУ-6 с перевозкой воды на пастбища (Атаев, 1974) показало, что если пастбища будут удалены от водоисточника более чем на 30 км, то по всем показателям опреснение соленых вод на месте с помощью энергии ветра выгоднее, чем перевозка воды издалека (себестоимость 1,98—2,18 против 3,20—6,10 руб/м³, приведенные затраты 2,54—3,11 против 3,91—7,28 руб/м³ и трудовые затраты 1,06 против 1,33—2,66 чел.ч/м³). Кроме того, доставка воды на расстояние 30—60 км требует расхода горючего 8,35—16,65 кг/м³, тогда как в случае применения ВД топливо не расходуется.

Опреснение и водоснабжение пустынных территорий

С помощью солнечной и ветровой энергии можно получить небольшие количества воды и обеспечить лишь мелких потребителей. В последние годы встала проблема водообеспечения промышленных центров или отдельных районов, где обнаружены богатейшие месторождения полезных ископаемых и ведется их разработка (Бабаев, Фрейкин, 1977; Петров, 1973).

В этих случаях нужны большие количества пресной воды. И здесь находят широкое применение хорошо отработанные дистилляционные методы, которыми

необходимо уже много энергии. Поэтому опреснение воды в промышленных масштабах возможно там, где имеются доступные и относительно дешевые источники энергии. Обычно в безводных пустынях, где разрабатываются месторождения нефти и газа, возникали и развивались центры промышленного опреснения воды.

Полуостров Мангышлак таит в своих недрах огромные природные богатства, до не имеет источников пресной воды. По мере разработки и освоения природных богатств на полуострове возникли города и поселки нефте- и газодобытчиков. На берегу Каспия на краю безводной пустыни вырос новый, утопающий в зелени город Шевченко, который стал центром области. Без воды полуостров остался бы нетронутым и безжизненным. В результате изучения и проработки различных вариантов водоснабжения полуострова ученые признали целесообразным и экономичным вариант опреснения с забором воды из Каспийского моря (Чурин, Клячко, 1965).

В 1964 г. в г. Шевченко построен первый в стране опреснитель. Начиная с 1967 г. сооружались один за другим крупные опреснители. В начале опреснители работали на мазуте и газе, и лишь после 1973 г. они стали получать энергию от атомного реактора. Опреснители подают воду в Шевченко, Узень, Жетыбай и другие населенные пункты и промыслы. В безводной пустыне вырос современный крупный город, по благоустройству и озеленению не уступающий лучшим городам нашей страны.

Город Шевченко отличается многими особенностями. Это единственный в стране и один из немногих крупных городов мира, который полностью живет на опресненной воде. Город еще очень молод, и при его проектировании и строительстве использовано все лучшее и передовое: Шевченко не только застроен великолепными современными многоэтажными зданиями, но и имеет продуманную и совершенную систему водоснабжения. В городе проложены три водопроводные линии. По первой подается только питьевая вода, по второй — менее качественная техническая вода для ванн, комнат и полива зеленых насаждений. Для канализации используется морская вода. Всесоюзная перепись населения 1979 г. показала, что в Шевченко живет 110 тыс. человек, и благодаря такой разумной и экономной системе водоснабжения каждый житель города расходует столько же воды, сколько жителя таких крупных городов, как Москва, Ленинград и Киев.

В условиях жаркой и безводной местности выращивание садов и парков требует больших материальных затрат. Сейчас площадь зеленых насаждений в городе (личного и общественного пользования) достигла 500 га, или на каждого жителя приходится столько же, сколько и в Москве (36), но больше, чем в других городах мира: Вене (25), Нью-Йорке (8,6), Лондоне (7,5), Париже (6,0), не говоря уже о столице Кувейта Эль-Кувейте, также живущей на опресненной воде.

Государство Кувейт в Персидском заливе славится богатыми месторождениями нефти и полным безводьем. В Кувейте тонна нефти раньше стоила намного дешевле тонны воды, привозимой из Ирака. В 1950 г. здесь построен первый опреснитель, а в 1953 г. — первый опреснительный завод, который работал на попутном газе, сжигавшемся в факелах на нефтепромыслах (Ahmad Adsani, 1973). Затем вводились в строй один за другим еще несколько опреснителей. Сейчас Кувейт — крупнейший в мире производитель опресненной воды. Построенные правительством 24 опреснительных завода общей производительностью свыше 282 тыс. м³/сут — единственные источники пресных вод в стране (Ahmad Adsani, 1973).

В Кувейте намечается программа расширения масштабов опреснения морской воды. Новое строительство ведется в основном в Шуэйбе, а в Шувайхе сносятся старые опреснители и на их место возводят более мощные и совершенные установки. Опреснители полностью обеспечивают водой всю страну, и она даже продается и вывозится на иностранных танкерах, приходящих в Кувейт за нефтью. В городе появляется зелень, но оплачивается она дорогой ценой, так как уход и полив каждого взрослого дерева или пальмы стоит примерно 250 долл. в год (Длин, Зверева, 1968).

Саудовская Аравия — другой крупный нефтедобывающий район Аравийского полуострова, богатый нефтью и бедный водой. Эта обширная страна представляет собой сплошную пустыню, где нет ни одной реки. Атмосферные осадки выпадают в незначительном количестве: в центре страны, в Эр-Рияде, — 81 мм, а на побережье Красного моря в Джидде сумма осадков изменяется в отдельные годы от 34 до 173 мм («Физико-географический...», 1964; Abdul-Fattah et al, 1978). Водные ресурсы в стране представлены временным поверхностным стоком и подземными водами, залегающими на глубине от 75 до 250 м. Дебит 160 родников равен 1,665 м³/с. Для орошения используется 68,7% всех водных ресурсов, получаемых за счет сбора дождевой воды и эксплуатации родников и колодцев. Но такого количества воды для полного обеспечения страны крайне недостаточно. Потребности в воде только шести крупных городов на побережье Красного моря в 1991 г. составят от 714 до 1 840 тыс. м³/сут (Abdul-Fattah et al, 1978).

В планах улучшения водообеспечения страны большое место отводится опреснению морской воды. В 1970 г. в Джидде построен первый опреснитель производительностью 18,9 тыс. м³/сут. В 1973 г. в Эль-Хубаре введена в эксплуатацию еще одна установка мощностью 28,4 тыс. м³/сут. В Джидде в 1977 г. задействовал опреснитель производительностью 37,8 тыс. м³/сут и ведется строительство другой крупной водоэлектростанции мощностью 200 МВт и опреснителя в 75,7 тыс. м³/сут.

Последняя водоэлектростанция строится по новой большой программе, согласно которой в 1975—1985 гг. планируется построить водохозяйственные объекты и сеть из 26 опреснителей (Abdul-Fattah et al, 1978). Среди них 19 должны быть двухцелевыми водоэлектростанциями с общей площадью ТЭС 5745 МВт и суммарной производительностью опреснителей 2 182,3 тыс. м³/сут. На первом этапе строительства будут применяться единичные агрегаты мощностью 20 тыс. м³/сут, а после 1980 г. предполагается закладывать агрегаты производительностью уже 0,25 млн. м³/сут. В Джубейле намечается построить крупнейший в мире опреснитель производительностью 757 тыс. м³/сут. В случае полного завершения намеченной программы Саудовская Аравия превратится в крупнейшего в мире производителя опресненной воды.

В других районах Аравийского полуострова проблема водоснабжения также решается с помощью опреснителей. В Объединенных Арабских Эмиратах (в Абу-Даби) и Омане к 1974 г. введены в строй три установки мощностью по 27,2 тыс. м³/сут.

Много опреснителей построено и строится в других безводных нефтедобывающих и нефтеперерабатывающих районах мира (в Карибском море, в зоне пустынь Северной Африки и странах Средиземноморья).

Для водоснабжения безводной пустынной территории Ливия уже давно практикует опреснение воды. В настоящее время разработана программа строительства мощных установок для опреснения 140 тыс. м³/сут морских и 21 тыс. м³/сут подземных

вод (Hares, Aswed, 1977). В стране проектируется строительство опреснителя мощностью 40 тыс. м³/сут для орошения 1200 га земель (El-Sayed et al, 1976).

В южных районах Италии, и особенно на островах, всегда ощущалась острая нехватка воды, и там применяли малые опреснители производительностью до 10 м³/сут. С ростом потребностей в воде в Италии начато строительство опреснителей промышленного типа. На острове Сардиния опреснение морской воды получило особенно большой размах. В настоящее время общая мощность всех опреснителей, на острове превышает 124 800 м³/сут. А всего в стране к 1976 г. построили 36 опреснителей разного типа общей мощностью 178 тыс. м³/сут (Pinto, Santori, 1977).

Большое значение развитию техники опреснения придается в Испании для водоснабжения засушливых пустынных территорий, особенно Канарских островов, где уже построено несколько опреснителей. В 1978 г. здесь проходил VI Международный симпозиум по опреснению воды.

В связи с растущим водным дефицитом в последние годы к опреснению морской воды прибегают во многих густозаселенных районах, расположенных не в пустынной, а в гумидной зоне земного шара (Гонконг, Нидерланды, Сингапур и др.).

Атомная энергия в решении водной проблемы пустынь

Успехи в освоении атомной энергии открывают широкие возможности производства в больших масштабах дешевой энергии, которую можно использовать для опреснения воды. Особенно выгодно сочетать производство электроэнергии с одновременной выработкой воды на атомных двухцелевых водоэлектростанциях (АВЭС) и трехцелевых водотеплоэлектроцентралях (АВТЭЦ).

Для оценки перспектив и масштабов практического применения атомных опреснительных установок с реакторами различного типа в СССР и за рубежом выполнены соответствующие экономические и проектные проработки, которые подтвердили экономическую и техническую целесообразность опреснения воды с помощью атомной энергии (Стерман и др., 1968; Чурин, 1968; «Nuclear Desalination», 1968; «Nuclear energy...», 1966). В СССР, США и других странах не только разработаны Проекты, но и начато изготовление прототипов опреснительных установок для будущих АВЭС (Barak, Barnes, 1977; «Saline Water...», 1973) и строительство самих станций (Колычев, 1970; Adar, 1977; Edalat et al, 1978).

В Советском Союзе, как уже говорилось выше, для водоснабжения пустынного и безводного полуострова Мангышлак было начато опреснение воды из Каспийского моря. Вначале опреснители получали тепло от обычной ТЭС, работавшей на мазуте и газе. Для производства воды в промышленных масштабах было решено использовать атомную энергию. В г. Шевченко построен атомный реактор БН-350 на быстрых нейтронах тепловой мощностью 1 млн. кВт. Шевченковский реактор должен обеспечивать теплом электростанция и опреснитель — завод приготовления дистиллята (ЗПД). 16 июля 1973 г. первая в мире промышленная атомная водоэлектростанция вступила в строй. Впервые атомная энергия опресняет воду Каспийского моря.

В СССР разработаны проекты еще более крупных АВЭС, предназначенных для энерго- и водоснабжения маловодных или безводных южных районов страны.

Большие работы в этом направлении ведутся также за рубежом, причем все предполагаемые места размещения АВЭС расположены, как правило, в аридной зоне. В США для водоснабжения Южной Калифорнии намечался проект строительства АВЭС в районе Лос-Анджелеса (Mills, 1970; «Nuclear energy...», 1966). Так как земля в этом районе дорогая, то АВЭС предполагалось строить на искусственно намытом острове, она должна была включать два реактора тепловой мощностью по 2,9 млн. кВт, электрическую станцию 1,8 млн. кВт и опреснитель производительностью 570 тыс. м³/сут, состоящий из трех агрегатов по 190 тыс. м³/сут. Стоимость сооружения в ценах 1969 г. равнялась 765 млн. долл., том числе опреснитель — 160 млн., который должен производить воду по 9,8 цента/м³ (Mills, 1970).

Мексикой и США был разработан проект совместного использования атомной энергии для опреснения морской воды в Калифорнии и Соноре. По проекту намечалось построить две крупные АВЭС с реакторами тепловой мощностью 10 млн. кВт, электростанцией — 2 млн. кВт и опреснителем производительностью 3,78 млн. м³/сут, или 43,8 м³/с (Hunter, 1968). Вокруг каждой АВЭС предполагались агроиндустриальные комплексы, включающие заводы по переработке рассолов и производству химических удобрений, орошаемые земли и предприятия по переработке сельскохозяйственных продуктов и др.

По сути каждая из этих АВЭС по водности будет равна такой реке, как Колорадо на территории Мексики. В результате первоначального изучения выбраны пункты Санта-Клара и Сан-Луис. В зависимости от расположения АВЭС (на берегу Калифорнийского залива или в глубине пустыни) будут изменяться капитальные вложения (от 0,85 до 1,2 млрд. долл.) и соответственно стоимость воды (от 3,7 до 6,9 центов/м³) (Hunter, 1968). Для дальнейшей проработки выбраны пункты Сан-Фелипе и район Лагун в дельте Колорадо.

Зачастую осуществление имеющихся проектов АВЭС задерживается развитием опреснительной техники. Если сооружение атомного реактора тепловой мощностью 1—5 млн. кВт не представляет технических трудностей и уже имеется опыт подобного строительства, то создание опреснителя единичной мощностью 0,5—1,0 млн. м³/сут все еще недостижимый предел. Постройка японцами модуля дистилляционного опреснителя производительностью 0,1 млн. м³/сут (Ishizaka, 1975) открывает реальные возможности строительства сверхмощных АВЭС. Резкое вздорожание ископаемого топлива и разразившийся на западе энергетический кризис заставляют пересмотреть первоначальные планы и еще большее внимание уделить использованию атомной энергии для опреснения воды.

Проблемы безотходной технологии опреснения воды

Водная среда — один из важнейших компонентов природы. В условиях научно-технической революции, когда возрастает взаимодействие природных и антропогенных процессов, возникла необходимость управления водами суши, прогнозирования запасов водных ресурсов и водопотребления, планирования распределения и рационального использования вод, контроля и регулирования качества воды в речных системах и водоемах. Все эти задачи, а также функции по охране вод в стране возложены на Министерство мелиорации и водного хозяйства СССР (ММиВХ СССР). Ее Государственная инспекция по охране водных источников осуществляет контроль за рациональным использованием вод, за проведением мероприятий по охране водоемов

от загрязнения, засорения и истощения, а также за работой очистных сооружений и за сбросом сточных вод.

Необходимость этих мер диктуется еще несовершенной практикой современного водопользования. Вследствие неуклонного роста населения, промышленного и сельскохозяйственного производства, особенно развития орошаемого земледелия, увеличиваются объемы сбросных вод.

В бассейне рек Сырдарьи и Амударьи расположены большие массивы орошаемых земель, и в 1975 г. водами этих рек орошалось около 5 млн. га (Герарди, 1975; Колодин, 1978; «Орошение и осушение...», 1974). Увеличивающиеся объемы коллекторно-дренажных вод, сбрасываемых в реки, повышают минерализацию воды, и в некоторые годы в низовьях рек она уже сейчас достигает 1,4—1,5 г/л (Степанов, Чембарисов, 1978).

В бассейне Амударьи большая часть дренажных вод отводится в пустыню в бессточную впадину Сарыкамыш, тогда как в бассейне Сырдарьи наблюдается обратная картина — большая часть дренажных вод возвращается в речную систему и лишь незначительное количество — в Арнасайское понижение. Поэтому менее благоприятна обстановка отмечается в бассейне Сырдарьи, где в низовьях в отдельные годы минерализация речной воды резко увеличивается.

Для поддержания качества воды на должном уровне необходимо осуществлять водоохранные мероприятия, которые требуют дополнительных капитальных затрат. Очистка сточных и дренажных вод может здесь дать двойную пользу: получение дополнительных водных ресурсов и защиту водной среды от загрязнения.

Институтом Средазгипроводхлопок ММиВХ СССР разработано несколько вариантов природоохранных мероприятий и определено до 2000 г., какие объемы опресненной воды необходимо добавлять в реки, чтобы поддерживать минерализацию воды в бассейнах Сырдарьи и Амударьи на нужном уровне.

Известны проекты водоохранных мероприятий и в других странах. США, например, вынуждены были разработать проект по поддержанию качества воды в реке Колорадо (Colorado River..., 1973). Для обширного пустынного края юго-запада США и северо-запада Мексики река Колорадо — единственный водоисточник, ресурсы которого составляют 23 км³/год. Однако сток этой реки полностью зарегулирован многочисленными водохранилищами и используется почти на 100% (сток в океан снизился с 23 до 0,15 км³/год). Согласно договору между использующими ее воды штатами США и Мексики, бассейн разделен на два водоресурсных района: Верхнеколорадский и Нижнеколорадский, каждому предоставлено право на 9,2 км³/год, а Мексика получает гарантированный сток в размере 1,85 км³/год («Мировой водный баланс...», 1974; «Орошение и осушение...», 1974).

Для поддержания качества воды в реке Колорадо на требуемом уровне в г. Юма (штат Аризона) строится опреснительный завод производительностью 378 тыс. м³/сут, который будет ежегодно обрабатывать поступающие из долины Велтон-Мохаве 177 млн. м³ дренажных вод соленостью 3,1—3,6 г/л и 124 млн. м³ опресненной воды соленостью 0,22 г/л сливать в реку ниже плотины Морелос-Дам, поддерживая минерализацию речной воды в обусловленных пределах. Концентрированный рассол вначале предполагалось сбрасывать в пустыню Юма, в пруд-испаритель, а позже

принято решение о строительстве канала, который будет отводить рассол на территорию Мексики, в солончаки Санта-Клара.

В настоящее время разрабатывается программа регулирования качества воды во всем бассейне Колорадо, включающая и способ опреснения загрязненных вод в ее притоках методом ионного обмена (Stamm, Bessler, 1977).

Охрана окружающей среды — это прежде всего социальная проблема, которая в странах капитализма и социализма решается по-разному. Но конкретные мероприятия, в частности водоохранные, не могут быть осуществлены до тех пор, пока не разработаны совершенные методы безотходной технологии опреснения воды либо эффективные способы переработки или ликвидации концентрированных рассолов, сбрасываемых с опреснителей. Ведь любая опреснительная установка извлекает из соленой воды только пресную, оставляя прежнее количество солей в отходящих рассолах, увеличивая их концентрацию. Поэтому как малый, так и большой опреснитель будут наносить урон окружающей среде, различаясь только масштабом производимого загрязнения. Технология опреснения воды в том случае совершенна, если она удачно и эффективно разрешает обе связанные между собой части: собственно опреснительную и природоохранительную, в которой отходящие с опреснителя рассолы будут утилизироваться или нейтрализоваться.

Проблема нейтрализации рассолов с опреснительных установок (ОУ) аналогична стоящей перед промышленностью проблемой очистки, обезвреживания и ликвидации жидких и твердых отходов. Некоторые из разработанных методов могут быть использованы и для нейтрализации рассолов. В настоящее время предложено несколько технических решений переработки, ликвидации и удаления рассолов с опреснительных установок, которые изучаются и опробываются в СССР и за рубежом. Коротко остановимся на основных способах, не вдаваясь в детали и технические подробности.

1. Химическая переработка рассола, когда получается полезная химпродукция и обеспечивается эффективная защита природы от загрязнения. Этот способ может быть применен на мощных ОУ и сверхмощных АВЭС. Химическая переработка рассолов уже практикуется в Японии, где из морской воды получают поваренную соль и другие ценные химические продукты. На специально сконструированных опреснителях намечается получать до 5 млн. т поваренной соли в год.

2. Глубоководный выпуск рассола в море (либо в поверхностные водоемы), применим на ОУ, расположенных на побережье или вблизи от моря, где имеются благоприятные глубины для выпуска, а сооружение завода для переработки рассола по экономическим соображениям нецелесообразно.

3. Термическое обезвреживание или упаривание рассола до сухих солей уже применяется в промышленности для обработки промстоков.

По одной схеме промстоки вначале упариваются (в 20—30 раз) в выпарных установках, затем концентрируются до выпадения поваренной соли в вакуум-кристаллизаторах или кристаллизаторах с погруженными горелками. После них хвостовые рассолы направляются в печи с кипящим слоем, где остаточные соли высушиваются досуха. Поваренная соль используется как товарная продукция, а не находящие сбыта остаточные соли затариваются в полиэтиленовые мешки и складываются в выработанных шахтах.

В своей заключительной части эта схема может использоваться для упаривания и ликвидации рассолов с ОУ, как это показали в своей работе Г. Г. Жабин, А. А. Говерт и С. Б. Милованов («Опреснение и обессоливание...», 1976), Термическое обезвреживание промстоков требует большого количества тепловой энергии, и поэтому оно обходится довольно дорого. Хотя упаривание рассолов и захоронение некондиционных солей является надежным и радикальным способом, но из-за больших затрат он может применяться только в густозаселенных промышленных районах, где требуются высокоэффективные природоохранные мероприятия.

4. Отвод в пустыню — наиболее простой и самый дешевый способ удаления рассола. Если ОУ небольшой производительности находится в пустынной местности, где имеются бросовые земли с естественными понижениями и впадинами, то рассол можно направлять в них. Конечно, неконтролируемый сброс промстоков не обеспечивает защиты природы от загрязнения, поэтому область его применения ограничивается.

5. Сброс в пруды-испарители — более надежный способ удаления рассола. Он применим в условиях пустыни или южных районов, где суммарное испарение превышает 500—1000 мм/год. Когда ОУ размещается вблизи населенных пунктов или сельскохозяйственных угодий, предпочтителен этот способ. Для заданной производительности ОУ выбирается такая площадь и глубина пруда, чтобы его заполнения рассолом хватило если не на весь срок службы, то хотя бы на достаточно длительный срок эксплуатации (10 лет и более). Во избежание фильтрации рассола дно и борта пруда должны иметь гидроизоляцию (битумную или глиняную обмазку, укладку полиэтиленовой пленки и т. п.). После заполнения солями пруд засыпается землей и прикатывается. Такой способ применяется в СССР на некоторых южных заводах и ТЭС.

6. Закачку рассола в поглощающие скважины можно применять вблизи городов и населенных пунктов, где свободных земель для прудов нет, а благоприятные гидрогеологические условия имеются. Условия закачки рассола и ограничения применимости этого способа такие же, что и в случаях подземного захоронения жидких отходов других производств. Однако при закачке концентрированных рассолов возникают неясные вопросы гидрогеологического, технологического и экономического характера.

Некоторые из упомянутых способов нейтрализации рассолов уже применяются на практике, другие проходят опытную и производственную проверку. Пока еще нет проверенных технических решений, четких и однозначных рекомендаций по выбору того или иного способа для конкретных условий. Необходимы дальнейшие научные исследования в этом направлении, разработки принципиально новых и совершенных методов опреснения воды и переработки рассолов, представляющих собой образец будущей безотходной технологии опреснения воды.

Роль и перспективы опреснения воды

Опреснение соленых вод относительно молодая отрасль техники. В начале XX в. опреснители были экзотической редкостью и применялись в небольшом числе для водоснабжения особо ответственных потребителей в отдельных точках пустыни. В середине века опреснение уже практиковалось в промышленных масштабах в некоторых районах аридной зоны мира (Каспийское море, Персидский залив,

Карибское море и т. д.). Во второй половине XX в. опреснение получило широкое распространение и стало заурядным явлением во многих районах мира.

До недавнего времени господствовало мнение, что по экономическим соображениям опреснение воды в больших масштабах не может найти применения для водоснабжения населения и промышленных центров в пустыне, не говоря уж о водообеспечении целых государств («Будущее аридных земель», 1958; Уайт, 1973). Однако прогресс технологии опреснения воды и мировой опыт утверждают обратное, и опреснение получает все более широкое применение не только для целей водоснабжения, но и получения дополнительных водных ресурсов и обеспечения водой всех отраслей народного хозяйства областей или государств в целом (Чурин, Клячко, 1965; Abdul-Fattah et al, 1978; Ahmad Adsani, 1973; «A planning...», 1970).

С начала 60-х годов развернулось интенсивное строительство опреснителей, и число их удваивалось каждые пять лет (табл. 18). Но особенно возрос темп их строительства в наши дни. Например, только за последние два года (1975—1976 гг.) суммарная мощность опреснителей почти удвоилась.

Т а б л и ц а 18

Рост в мире суммарной мощности опреснителей производительностью свыше 100 м³/сут

(Колодин, 1973; «Desalting plants...», 1975, 1977)

На начало года	1960 г.	1965 г.	1970 г.	1975 г.	1977 г.
Суммарная производительность, тыс. м³/сут	240	430	925	1 988	3 708

Теперь опреснители обеспечивают водой не только населенные пункты, города, заводы или промышленные центры, но уже начинают играть заметную роль в водном балансе некоторых стран. Опреснение становится средством получения дополнительных водных ресурсов в засушливых и пустынных районах мира, испытывающих острый дефицит пресных вод.

Чтобы определять место и возможную роль опреснения в получении дополнительных водных ресурсов, следует сопоставить его экономические показатели с показателями других способов.

В табл. 19 приведены отечественные данные для всех упоминавшихся в главе 3 способов получения дополнительных водных ресурсов (за исключением транспортировки айсбергов), заимствованные из литературных источников («Вода как фактор...», 1973; Воропаев, 1979; Колодин, 1973; Львович М. И., 1977; Прокофьев, 1977) и взятые выше из табл. 5.

Т а б л и ц а 19

Экономические показатели получения 1 км³ дополнительных водных ресурсов в СССР

Способы получения водных ресурсов	СССР, млн. руб.	
	Капитальные	Приведенные

	затраты	затраты
Зарегулирование речного стока водохранилищами	45	6
Очистка сточных вод	50—75	11—20
Передача воды каналами из других районов на расстояние 160—200 км	150—225	30—40
Межбассейновое перераспределение речного стока	400—600	75—110
Реконструкция оросительных систем	700—900	75—90
Передача воды водопроводами производительностью 100 тыс. м ³ /сут на расстояние более 1000 км	1 400	280
Опреснение солоноватых вод		
а) Опреснители на обычном топливе мощностью 100 тыс. м ³ /сут		
Дистилляция	388	378
Электродиализ	425	213
Обратный осмос	—	—
б) Атомные водозлектростанции производительностью около 600 тыс. м ³ /сут	487	206
Все затраты на станцию в целом	2730	206

Из анализа данных сводной таблицы можно видеть, что самые дешевые способы получения дополнительных водных ресурсов — более эффективное использование местных источников (путем строительства плотин и водохранилищ) и очистка сточных вод (капитальные затраты 45 и 50—75 млн. руб/км³). Несколько дороже передача воды из других районов каналами (капзатраты 150—225 млн. руб/км³). Более дорогой путь получения водных ресурсов состоит в межбассейновом перераспределении речного стока и реконструкции оросительных сетей (капзатраты 400—600 и 700—900 млн. руб/км³).

Из анализа показателей табл. 19 следует, что опреснение воды на обычном топливе по капиталовложениям сопоставимо с межбассейновой переброской речного стока и дешевле реконструкции оросительных систем, но по приведенным затратам оно превосходит эти способы в два-три раза. Опреснение воды на атомной энергии имеет почти те же показатели, что и на обычном топливе. Капитальные затраты на передачу воды водопроводом самые высокие (1,4 млрд. руб/км³), они превосходят капиталовложения в межбассейновое перераспределение в 2,3—3,5 и в опреснение в 3,3—3,6 раза. Приведенные затраты на водопроводную передачу воды выше в 1,3 раза, чем на опреснение, и в 2,5—3,7 раза превосходят затраты при межбассейновой переброске речного стока. Следовательно, опреснение соленых вод на месте дешевле передачи пресной воды издалека трубопроводом, и для водоснабжения безводной местности опреснение во многих случаях может быть экономически выгодным и уже находит практическое применение (Колодин, 1973; Лейзерович, 1968; Чурин, Клячко, 1965; Spiegler, 1966; Sporn, 1966).

Природная вода из естественных источников во многих случаях остается дешевле опресненной, и она еще долгое время будет служить основой водоснабжения. Однако приведенные выше цифры говорят о том, что опреснение может быть средством решения не только локальных задач водоснабжения, но и возможным источником получения дополнительных водных ресурсов и одновременно приемлемым техническим решением проблемы охраны природы от загрязнения.

Опреснение приобретает заметную роль не только в таких безводных странах, как Кувейт или Саудовская Аравия, где оно заняло подобающее место в водообеспечении и водохозяйственном строительстве, но и в такой стране, как США, которые в своих планах на будущее учитывают возможное место опреснения в водном балансе страны. В этом плане интересно будет здесь остановиться на технико-экономическом прогнозе, выполненном в США по оценке масштабов применения опресненной воды в стране, до 2020 г. («А planning...», 1972).

Ресурсы речного стока в США равны 1645 км³/год. К 2020 г. общее водопотребление, по оценкам, достигнет 3260 км³/год, а забор свежей воды из источников — 1136 км³/год. Казалось бы, водные ресурсы должны удовлетворить потребности страны. Однако из надежных источников (с 95%-ной обеспеченностью) поступает лишь 907 км³/год, т. е. в отдельные годы возможен дефицит воды до 279 км³/год.

Для покрытия образующегося дефицита в прогнозе были рассмотрены все упоминавшиеся выше способы получения дополнительных водных ресурсов (кроме транспортировки айсбергов), в том числе и опреснение. Составленная математическая модель позволила на ЭВМ просчитать множество вариантов применения опреснителей, учитывающих различные технические, экономические и конъюнктурные условия (различный срок службы мембран, удешевление и удорожание топлива до ±40%, уровень инфляции до 10% и т. д.). В табл. 20 представлены сводные итоговые данные из прогноза для базового варианта,

Т а б л и ц а 20

Роль опресненной воды в США в общей потребности получения дополнительных водных ресурсов на прогнозируемые уровни

(«А planning...», 1972)

Параметры	1980 г.	2000 г.	2020 г.
Общая потребность в дополнительном усилении водных источников,			
млн. м ³ /сут	19,79	124,94	260,94
км ³ /год	7,18	45,3	94,7
В том числе опреснение воды,			
млн. м ³ /сут	1,25	9,67	29,32
км ³ /год	0,45	3,53	10,70
Капиталовложения,			
млн. долл.	2 347	34 791	146 991

млн. долл./км ³	326,9	768,0	1 552,2
В том числе в опреснительные установки,			
млн. долл.	96	926	5 498
млн. долл./км ³	213,2	262,3	513,8
Доля опреснения воды в получении дополнительных ресурсов,			
%	6,3	6,7	7,5

В мировом водопотреблении доля опресненной воды пока еще очень мала, несмотря на высокий темп строительства опреснителей и рост их мощностей. Но, учитывая тенденцию развития техники опреснения и растущую остроту проблемы охраны водной среды, надо полагать, что со временем доля опресненной воды будет возрастать.

Водные ресурсы каждой географической области вполне определены, и дальнейшие возрастающие потребности в воде можно будет удовлетворить только за счет очистки и повторного использования сточных вод и опреснения морских и минерализованных континентальных. Возможно, уже в самом ближайшем будущем методы очистки и опреснения воды займут важнейшее место в хозяйственном строительстве многих стран.

Литература

Азизов С. Каршинский магистральный канал. — Гидротехника и мелиорация, 1970, № 7, с. 1—13.

Алексеева Т. И. Географическая среда и биология человека. М., 1977, с. 302.

Апельцин И. Э., Клячко В. А. Опреснение воды. М., 1968, с. 222.

Атаев А. Экономика обводнения пастбищ Юго-Восточных Каракумов. Ашхабад, 1974, с. 104.

Атаев А. Эффективность использования воды временного поверхностного стока пустынь. Ашхабад, 1978, с. 78.

Атлас мирового водного баланса. Л., Гидрометеиздат, 1974, с. 12.

Бабаев А. Г. Проблемы комплексного освоения пустынь и их решение в СССР. — Проблемы освоения пустынь, 1976, № 3—4, с. 3—11.

Бабаев А. Г., Фрейкин З. Г. Пустыни СССР вчера, сегодня, завтра. М., 1977, с. 351.

Багиров Б. Г. Человек и жаркий климат. Ашхабад, 1977, с. 64.

Байрамов Р., Сейиткурбанов С. Опреснение воды с помощью солнечной энергии. Ашхабад, 1977, с. 147.

Беличенко Ю. П., Полянинов Л. Я. Охрана водных ресурсов. М., Россельхозиздат, 1976, с. 133.

Березин В. А. Из опыта обводнения пастбищ в пустынных и полупустынных районах. — Гидротехника и мелиорация, 1970, № 3, с. 87—93.

Боровский В. М., Корниенко В. А. Современные аспекты проблемы Аральского моря. — Проблемы освоения пустынь, 1979, № 2, с. 7—12.

Бородавченко Н., Толстихин О. Водные ресурсы: рациональное использование и охрана. — Коммунист, 1975, № 14, с. 42—52.

Бородавченко И. И. Проблемы использования и охраны водных ресурсов в СССР. — Гидротехника и мелиорация, 1976, № 4, с. 2—12.

Будущее аридных земель. Сб. статей под редакцией Г. Уайта. М., 1958, с. 338.

Викторов А. Е. Опреснение соленых вод в Казахстане. Алма-Ата, 1967, с. 30.

Вода как фактор размещения производительных сил. М., СОПС при Госплане СССР, 1969, с. 132.

Водное хозяйство Казахстана. Алма-Ата, 1971, с. 192.

Водные ресурсы и водный баланс Советского Союза. Л., 1967, с. 199.

Водные ресурсы и водохозяйственные проблемы стран Азии. М., 1967, с. 172.

Воронова О. М. Увеличение стоимости очистки сточных вод и технико-экономические аспекты этой проблемы. — Водные ресурсы, 1976, № 1, с. 139—145.

Воропаев Г. В. Единая водохозяйственная система страны. — Водные ресурсы, 1976, № 6, с. 99—109.

Воропаев Г. В. Гидрологические и технические аспекты территориального перераспределения водных ресурсов в СССР. — Проблемы освоения пустынь, 1979, № 3, с. 30.

Гасанов П. М. Опреснение минерализованных вод в сельском хозяйстве. Алма-Ата, 1976, с. 167.

Геллер С. Ю. Роль опреснения в водохозяйственном балансе засушливых территорий. Изв. АН СССР, сер. геогр., 1964, № 1, с. 24—35.

Гельдыев А. Создание и испытание малой ветроопреснительной установки. — Проблемы освоения пустынь, 1972, № 2, с. 30.

Герарди И. А. Техничко-экономические соображения по переброске части стока сибирских вод в республики Средней Азии и маловодные районы Казахстана. — В сб.: «Влияние межбассейнового перераспределения речного стока на природные условия европейской территории и Срединного региона СССР». М., 1975а, с. 17—30. Ротапринт.

Герарди И. А. Единая государственная система регулирования и межбассейнового перераспределения водных ресурсов. — Гидротехника и мелиорация, 1975б, № 7, с. 22—28.

Гидрогеология и гидрология аридной зоны земного шара. М., 1956, т. 1, с. 372; 1959, т. 2, с. 432.

- Гидрогеология СССР, т. XXXVIII. Туркменская ССР. М., 1972, с. 665.
- Гильзенбах Р. Земля жаждет. 6000 лет борьбы за воду. М., 1964, с. 358.
- Горский Н. Н. Вода — чудо природы. М., 1962, с. 224.
- Гребенюк В. Д. Электродиализ. Киев, 1976, с. 160.
- Длин Н. А., Зверева Л. С. Кувейт. М., 1968, с. 48.
- Дытнерский Ю. И. Мембранные процессы разделения жидких смесей. М., 1975, с. 232.
- Дыхно А. Ю. Использование морской воды на тепловых электростанциях. М., 1974, с. 272.
- Егоров А. Н. и др. Замыкающие оценки водных ресурсов СССР. — Водные ресурсы, 1973, № 5, с. 198—204.
- Ершов А. А., Умаров Г. Я. Солнечная энергетика. М., 1974, с. 64.
- Жуков А. И., Монгайт И. Л., Родзилер И. Д. Методы очистки производственных сточных вод. М., 1977, с. 204.
- Зайцев Д. В. Опреснение воды. М., 1948, с. 112.
- Зонн И. С. Орошение аридных земель мира. — Проблемы освоения пустынь, 1976, № 2, с. 13—17.
- Зонн И. С. Технология и проблема опустынивания. — Проблемы освоения пустынь, 1978, № 3, с. 55—64.
- Зонн И. С. Международное сотрудничество в области освоения аридных территорий и борьба с опустыниванием. — Проблемы освоения пустынь, 1978, № 4, с. 86—93.
- Ивлева Т. Н. Мексика. Водное хозяйство и экономическое развитие. М., 1973, с. 13—117.
- Ионообменные мембраны в электродиализе. — Сб. статей под ред. К. М. Салдадзе. М., 1970, с. 287.
- Использование воды в народном хозяйстве. М., 1973, с. 104.
- Использование минерализованных вод для орошения. М., 1973, с. 250.
- Каграманов Ю. Б. Водопроводно-канализационное хозяйство Туркменской ССР. — ТуркменНИИНТИ Госплана ТССР Ашхабад, 1978, с. 66.
- Каракумский канал и изменение природной среды в зоне его влияния. М., 1978, с. 231.
- Карев В. Б., Шлык В. И. Экономика использования водных ресурсов в орошаемом земледелии. М., 1979, с. 159;
- Келлер Р. Воды и водный баланс суши (перевод с нем.). М., 1965, с. 435.

Ковда В. А., Кунин В. Н. Контролируемая среда — для освоения пустынь, 1970, № 8, с. 88—93.

Ковда В. А. Почвенный покров как компонент биосферы. — Вестник АН СССР, 1973, № 9, с. 16—26.

Колодин М. В. Использование ветровой и солнечной энергии на пустынных пастбищах для подъема и опреснения грунтовых вод. — В сб.: Полезные ископаемые, энергетические ресурсы пустынь и их использование. Ашхабад, 1963, с. 112—125.

Колодин М. В. Сравнение стоимости опреснения соленой воды на месте со стоимостью передачи пресной воды каналами и трубопроводами. — Водоснабжение и санитарная техника, 1973, № 7, с. 4—8.

Колодин М. В. Опреснение воды в пустынях СССР. — Проблемы освоения пустынь, 1976, № 3—4, с. 118—126.

Колодин М. В. Опреснение воды замораживанием. Ашхабад, 1977, с. 244.

Колодин М. В. Использование и охрана водных ресурсов Средней Азии. — Проблемы освоения пустынь, 1978, № 4, с. 41—46.

Колодин М. В. и др. Современные методы опреснения воды. Ашхабад, 1967, с. 181.

Колодин М. В., Сейиткурбанов С. Опреснение соленых вод. Ашхабад, 1973, с. 123.

Колычев Б. С. Атом утоляет жажду. М., 1970, с. 112.

Корякин Ю. Н., Логинов А. А. Атомная энергия и опреснение соленых вод, 1966, т. 20, с. 232—242.

Кульский Л. А. и др. Новые методы опреснения воды. Киев, 1974, с. 190.

Кунин В. Н. Местные воды пустыни и вопросы их использования. М., 1959, с. 283.

Кунин В. Н., Лещинский Г. Т. Временный поверхностный сток и искусственное формирование грунтовых вод в пустыне. М., 1960, с. 160,

Лейзерович Е. Е. Экономико-географические проблемы освоения пустынь (на примере Западной Туркмении). М., 1968, с. 158.

Лещинский Г. Т., Кирста Б. Т. Водные ресурсы пустынь Туркмении. — Сб. работ Ашхабадской гидрометеорологической обсерватории, вып. 5. Ашхабад, 1967, с. 5—18.

Лещинский Г. Т. Ресурсы временного поверхностного стока пустынь Средней Азии и Западного Казахстана. Ашхабад, 1974, с. 187.

Линзы пресных вод пустыни. Методы исследования, оценки ресурсов и эксплуатации. М., 1963, с. 380.

Литвиненко В. С. Народонаселение, общество и опустынивание. — Проблемы освоения пустынь, 1978, № 3, с. 64—73.

Львович М. И. Защита вод от загрязнения. Л., 1977, с. 167.

Львович М. И. Мировые водные ресурсы и их будущее. — Гидротехника и мелиорация, 1971, № 6, с. 92—104.

Львович М. И. Мировые водные ресурсы и их будущее. М., 1974, с. 448.

Львович М. И. Географические аспекты территориального перераспределения водных ресурсов. Известия АН СССР, сер. геогр., 1977, № 2, с. 22—37.

Малиновский И. И. Опытнo-промышленная опреснительная станция в поселке Ново-Николаевке Запорожской области. Материалы семинара «Опреснение соленых вод и использование их в водоснабжении». М., МДНТП, 1972, с. 117—121.

Мальцев Е. Д. Опреснение соленых вод. Метод дистилляции с использованием тепла ядерных реакторов. М., Атомиздат, 1965, с. 92.

Мейс П. Распределение на земном шаре аридных и полуаридных гомоклиматов. — В кн.: Гидрогеология и гидрология аридной зоны земного шара. М., ИИЛ, 1955, с. 337—351.

Мелиорация земель СССР. Под ред. Б. Г. Штепы. М., 1975, с. 272.

Мембранная технология — новое направление в науке и технике. Тезисы докладов Второй Всесоюзной конференции, Владимир, 12—14/IV 1977. Владимир, 1977, с. 500.

Мировой водный баланс и водные ресурсы Земли. Л., 1974, с. 638.

Муранов А. П. Реки Евфрат и Тигр. Л., 1959, с. 140.

Назаров В. С. Льды антарктических вод. М., 1962, с. 82.

Народное хозяйство СССР в 1975 г. М., 1976, с. 846.

Народное хозяйство СССР за 60 лет. М., 1977, с. 710.

Народонаселение стран мира. Справочник. Под ред. Б. Ц. Урланиса. М., 1974, с. 479;

Нестерова Г. С. Возможность использования соленых вод для орошения сельскохозяйственных культур (аналитический обзор). М., ВНИИТЭИсельхоз МСХ СССР, 1972, с. 99.

Никитин М. Р., Ахметьева Н. П., Санин М. В. Ресурсы солоноватых и соленых подземных вод СССР. М., 1978, с. 142.

Нормы амортизационных отчислений по основным фондам народного хозяйства СССР и положение о порядке планирования, начисления и использования амортизационных отчислений в народном хозяйстве. М., 1974, с. 144.

Обработка воды обратным осмосом и ультрафильтрацией. М., 1978, с. 121.

Опреснение и обессоливание воды. Материалы семинара. М., МДНТП, 1976, с. 183. Ротап rint.

Опреснение соленых вод. Пер. с англ. под ред. О. И. Мартыновой. М., 1963, с. 344.

Орошение и осушение в странах мира. Под ред. Е. Е. Алексеевского. М., 1974, с. 527.

Оуэн О. С. Охрана природных ресурсов. Пер. с англ. М., 1977, с. 416.

Петров М. П. Пустыни земного шара. Л., 1973, с. 435.

Прокофьев В. П. Особенности определения экономической эффективности очистки промышленных сточных вод. — Водные ресурсы, 1977, № 4, с. 147—157.

Рагон М. Города будущего. [Пер. с фр.] М., 1969, с. 295.

Рахимбаев Ф. М., Ибрагимов Г. А. Использование дренажных и грунтовых вод для орошения. М., 1978, с. 200.

Рекомендация научной конференции по «Проблеме переброски части стока сибирских рек в Среднюю Азию и Казахстан в свете решений XXV съезда КПСС», Ташкент, 27/IV 1978. Ташкент, ФАН, 1978, с. 11.

Санин М. В., Никитин М. Р. Некоторые аспекты проблемы искусственного опреснения природных вод повышенной минерализации. — Водные ресурсы, 1973, № 4, с. 14—36.

Сапаров Б. Межбассейновая переброска воды с помощью Каракумского канала им. В. И. Ленина. Ашхабад, Туркмен. НИИНТИ Госплана ТССР, 1978, с. 57.

Сборник тарифов за пользование водопроводом в Туркменской ССР (Прейскурант К-01-14). Ашхабад, Госкомитет цен СМ ТССР, 1977.

Сейиткурбанов С., Рахманов М., Акимов М. Солнечные электрические станции и опреснение соленых вод. Ашхабад, Туркмен. НИИНТИ Госплана ТССР, 1978, с. 42.

Слесаренко В. Н. Современные методы опреснения морских и соленых вод. М., 1973, с. 248.

Соболев Е. А. и др. 10-корпусная опытно-промышленная опреснительная установка. — Водоснабжение и санитарная техника, 1973, № 7, с. 30—32.

Соловьев Г. М. Проблема опреснения соленых вод в СССР. — Водоснабжение и санитарная техника, 1967, № 12, с. 13—17.

СССР. Административно-территориальное деление союзных республик на 1/I 1977. М., Президиум Верховного Совета СССР, 1977, с. 710.

Степанов И. Н., Чембарисов Э. И. Влияние орошения на минерализацию речных вод. М., 1978, с. 120.

Стерман Л. С., Можаров Н. А., Губенко В. В. Анализ тепловой экономичности атомных энергетических установок с опреснителями морозной воды высокой производительности, 1968, № 10, с. 41—44.

Типовая методика определения экономической эффективности капитальных вложений. М., 1969, с. 15.

Токманцев Н. К., Чернозубов В. Б., Егоров А. П. Опытнo-промышленная установка мгновенного вскипания. — Водоснабжение и санитарная техника, 1973, № 7, с. 27—29.

Толба М. Опустынивание — общечеловеческая проблема. — Проблемы освоения пустынь, 1978, № 3, с. 7—17.

Уайт Г. Водные ресурсы США. Проблемы использования (перевод с англ.). М., 1973, с. 189.

Укрупненные формы расхода воды и количество сточных вод на единицу продукции различных отраслей промышленности М., 1973, с. 367.

Усманходжаев Б., Кузьмин М. И. Большой Ферганский канал. — Гидротехника и мелиорация, 1969, № 12, с. 12—20.

Физико-географический атлас мира. М., АН СССР и ГУГК ГГК СССР, 1964, с. 49 + 25 листов карт.

Фюрон Р. Проблема воды на земном шаре. Л., 1966, с. 256.

Херст Г. Нил. Общее описание реки и использование ее вод. М., 1954, с. 327.

Чибилев А. А. Особенности рекультивации и фитомелиорации полосы отвода канала Тобольск — Амударья в полупустыне и пустыне. — Проблемы освоения пустынь, 1979, № 3, с. 30.

Чурин А. И., Клячко В. А. Совмещение крупных атомных электростанций с опреснительными установками, 1968, т. 25, вып. 5, с. 394—402.

Чурин А. И., Клячко В. А. Современное состояние проблемы опреснения воды. — Вестник АН СССР, 1965, № 6, с. 34—47.

Шикломанов И. А. Орошение и речной сток. — Водные ресурсы, 1976, № 5, с. 14—25.

Шильников В. И. Айсберги в Антарктике. Информ. бюл. Сов. антарктической эксп., 1960, № 2, с. 30.

Шишлянников Л. А., Шостак Ф. Т., Ергожин Е. Е. Итоги эксплуатации опытно-промышленной опреснительной электродиализной станции «Моинты». — Вестник АН КазССР, 1972, № 2, с. 44—50.

Шульц В. Л. Реки Средней Азии. Л., 1965, с. 691.

Шульц В. Л. Реки Афганистана. Труды Среднеаз. НИГМИ, вып. 42 (57). М., 1968, с. 172.

Энергетика мира. Доклады IX МИРЭК. Детройт, 1974. М., 1976, с. 183.

A planning model to project the potential for desalting in the United States. «Research and development progress report», N 784. US, Office of Saline Water. Washington, 1972. 131 pp.

Abdul-Fattah A. F., Hussein A. A., Sabri Z. A. Desalting in Saudi Arabia — demand, production, management, associated power generation and future plans. — *Desalination*, 1978, v. 25, N 1. p. 9—44.

Adar J. Coupling of standard condensing nuclear power stations to horizontal aluminium tubes multieffect distillation plants. — *Desalination*, 1977, v. 20, N 1—8, p. 143—154.

Ahmad Adsani M. S. The progress of desalting technology in Kuwait. — *Proceedings of the First World Congress on Water Resources*. Chicago, 24—28/IX — 1973, v. 11, p. 275—308.

Barak Z., Barnes W. L. The design, construction, testing and operation of a large scale prototype desalting plant in Israel. «*Desalination*», 1977, v. 20, N 1—3, p. 163—172.

Beushausen J., Klose W., Selfert W. Wirtschaftliche und technische Probleme der Meerwasserentsalzung. Teil 3, Herstellungskosten des entsalzten Wasser. «*Meertechnik*», 1971, Bd 2, N 4, p. 165—171.

Blesing N. V., Walker W. M. Developments in research for the treatment of saline and brackish waters. «*AMDEL Bull.*», 1972, N 13, p. 1—26.

Bolto B. A. Sirotherm desalination. Ion exchange with a twist. «*Chemical Technology*», 1975, v. 5, May, p. 303—307.

Burt J. C. Iceberg water for California? «*Science Digest*», 1956, v. 39, p. 1—4.

Channabasappa K. C. Status of reverse osmosis desalination technology. «*Desalination*», 1975, v. 17, N 1, p. 31—67.

Channabasappa K. C. A comparison of seawater desalination processes and their economics «*Desalination*», 1976, v. 19, N 1—3, p. 535—554.

Clark C. F. Economic analysis of the membrane water desalting processes. «*Research and Development Progress Reports*, N 638. US, Dept. of the Interior, OSW. Washington, 1970. 88 pp.

Colorado River International salinity control project. Special Report, IX 1973. US, Office of Saline Water. Washington, 1973. 142 pp.

Desalting irrigation field drainage water by reverse osmosis, Firebaugh, California. University of California, Desalination Report, N 54. Los Angeles, 1973. 167 pp.

Desalting plants inventory report. Number 5. US, Dept. of the Interior, Office of Water Research and Technology. Washington, 1975. 80 pp.; 1977, 114 pp.

Desertification map of the world (1:25000000). United Nations Conference on Desertification, Nairobi, 1977. A/Conf. 74/2, Nairobi, published by UNEP, 1977.

Drake F. A. Desalting in Hong Kong — the first phase. «*Desalination*», 1976, v. 18, N 1, p. 1—14.

Edalat M., Entessari J., Hamidi H. The Bushehr 200000 m³/D desalination plant. «*Desalination*», 1978, v. 26, N 2, p. 127—140.

El-Sayed Y. M. et al. Desalting saline ground water for agriculture. «Desalination», 1976, v. 19, N 1—3, p. 175—188.

Engineering and Economic Evaluation Study of Reverse Osmosis. «Research and Development progress report», N 509, US, OSW, Washington, 1969. 506 pp.

Faisal M. A. Water supply and weather modifications through the use of transported icebergs from the Antarctic. «Desalination», 1977, v. 20, N 1—3, p. 415—423.

Hares H. E., Aswed M. Desalination in the development of Libya. Problems of implementation and impact on environment. «Desalination», 1977, v. 20, N 1—3, p. 249—256.

Hedayat S. E. et al. Design of a small single-purpose nuclear desalination plant compatible with the local resources in the Middle East. «Desalination», 1977, v. 20, N 1—3, p. 257—266.

Hirshman J. R. Solar distillation in Chile. «Desalination», 1975, v. 17, N 1, p. 17—30.

Hodges C. N., Kassander A. R. Extending use of available supply — a system approach to Power, Water and Food production. — In: «Water production using nuclear energy», Tucson, The University of Arizona Press, 1966, p. 227—233.

Hunter J. A. United States—Mexico—IAEA study of large nuclear-power and water-desalination plants for South-West United States of America and Northern Mexico. — In: «Nuclear Desalination», Amsterdam, Elsevier Publ. Co., 1968, p. 189—224.

Irrigation in Israel. «Irrinews». Newsletter of the International Irrigation Information Center, N 13, October 1978.

Ishizaka S. Development of a 100000 m³/day desalting plant. «CEER. Chem. Econ. and Eng. Rev.», 1975, 7, N 9, p. 14—21.

Johnson W. E. State-of-the-art of freezing processes, their potential and future. «Desalination», 1976, v. 19, N 1—3, p. 349—358.

Kelly R. P. North American Water and Power Alliance. In: «Water production using nuclear energy». Tucson, The University of Arizona Press, 1966, p. 29—37.

Kurtz D. L., Huntsinger R. C., Hatch J. Computerized procedure for estimating cost of desalting systems. «J. Amer. Water Works Assoc.», 1972, 64, N 11, p. 741—745.

Le dessalement de l'eau dans pays en voie de développement, v. 1—3, Nations Unies, ST/ECA/82: New York, 1965. 706 pp.

Lloyd A. I. An integral design for desalination plant using the secondary refrigerant freeze process. «Desalination», 1977, v. 21, N 2; p. 137—146.

Maletic J. T., Sacks M. S., Krans E. S. Desalting saline irrigation water supplies for agriculture. — In: «Nuclear Desalination», Amsterdam, Elsevier Publ. Co., 1968, p. 207—224,

Mears P. Membrane separation processes. Elsevier Publ. Co. Amsterdam — Oxford — New York, 1976. 600 pp.

Mills H. J. Bolsa Island Nuclear Power and Desalting Project facilities (Cost and Description) and Cost of desalted Water. — «Research and Development Progress Reports, N 570. US., Office of Saline Water. Washington, 1970.

More Water for Arid Lands. Promising Technologies and Research Opportunities. National Academy of Sciences. Washington, 1974. 153 pp.

Nuclear Energy for Water Desalination. Technical reports series N 51, International Atomic Energy Agency. Vienna, 1966. 133 pp.

Parsi E. J. Large electrodialysis stack development. «Desalination», 1976, v. 19, N 1—3, p. 139—151.

Pinto A. C. D., Santori M. Desalination activities in Italy. «Desalination», 1977, v. 20, N 1—3, p. 105—117.

Proceedings of the 5th International Symposium on Fresh Water from the Sea. Alghero 16—20/V — 1976, v. 1—3, Athens, 1976.

Pugh O., Tanner M. C. Seawater desalination process cost comparison 1973. «Atom», 1973, N 204, p. 223—232.

Saline water conversion report for 1965. US., Dept. of the Interior, OSW. Washington, 1966. 308 pp.

Saline water conversion Summary Report for 1972—1973. US., Dept. of the Interior, OSW. Washington, 1973. 77 pp.

Schroeder P. J., Chan A. S. and Khan A. R. Freezing processes — the standard of the future. «Desalination», 1977, v. 21, N 2, p. 125—136.

Sharples P. M., Bolto B. A. Desalting in Australia: the development of a new process for brackish water. «Desalination», 1977, v. 20, N 1—3, p. 391—401.

Spiegler R. S. Principles of Desalination. Academic Press. New York — London, 1966. 566 pp.

Sporn F. Fresh Water from Saline Waters. The Political, Social, Engineering and Economic Aspects of Desalination. Pergamon Press. Oxford, 1966. 35 pp.

Stamm G. G., Bessler M. B. Future role of desalting for water quality improvement — Colorado river basin. «Desalination», 1977, v. 20, N 1—3, p. 1—18.

Strobel J. J. Office of Saline Water cooperative studies. «Journal of Amer. Water Works Assoc.», 1971, v. 63, N 5, p. 258—263.

Taylor I. G., Haugseth L. A. Yuma desalting plant design. «Desalination», 1976, v. 19, N 1—3, p. 505—523.

Thomas D. G. Engineering development of hyperfiltration with dynamic membranes. Part IV. Economic analysis. «Desalination», 1974, v. 15, N 3, p. 343—349.

Toyama S. Progress of multistage flash evaporation process in Japan. «Desalination», 1977, v. 20, N 1—3; p. 343—352.

Vaillant J. R. Les problèmes du dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres.
Collection du B. C. E. O. M. «Éditions Eyrolles». Paris, 1970. 343 pp.
