

Э. И. ЧЕМБАРИСОВ.

ГИДРОХИМИЯ ОРОШАЕМЫХ ТЕРРИТОРИЙ

*(НА ПРИМЕРЕ БАССЕЙНА
АРАЛЬСКОГО МОРЯ)*



МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМ. В. И. ЛЕНИНА

Э. И. ЧЕМБАРИСОВ

ГИДРОХИМИЯ ОРОШАЕМЫХ ТЕРРИТОРИЙ

(НА ПРИМЕРЕ БАССЕЙНА
АРАЛЬСКОГО МОРЯ)

УДК 556. 531 (575)

Э. И. Чембарисов. Гидрохимия орошаемых территорий (на примере бассейна Аральского моря). Ташкент: Фан, 1988, 104 с.

Монография представляет собой первое крупное обобщение по минерализации и химическому составу речных и коллекторно-дренажных вод наиболее крупных оазисов Средней Азии. Приведены сведения о засолении вод и почв, особенностях гидрохимического режима рек и коллекторов, формировании и изменении химического состава оросительных вод в пределах бассейнов Сырдарьи и Амударьи. Освещены вопросы прогнозирования качества оросительных вод и возможности их использования для орошения.

Для проектировщиков, ирригаторов, почвоведов и студентов.
Табл. — 20, библи. — 79 назв.

Ответственный редактор
докт. с.-х. наук И. Н. Степанов

Рецензенты:
канд. биол. наук Х. А. Абдуллаев,
канд. геогр. наук Б. А. Бахритдинов

ЭЛЬМИР ИСМАИЛОВИЧ ЧЕМБАРИСОВ

Гидрохимия орошаемых территорий
(на примере бассейна Аральского моря)

*Утверждено к печати Ученым советом биолого-почвенного факультета
ТашГУ, Научно-методическим советом по почвоведению и агрохимии Ми-
нистерства высшего и среднего специального образования УзССР*

Редактор Т. А. Шур
Художник Е. И. Владимиров
Технический редактор Г. П. Негматова
Корректор А. А. Ковалева

ИБ № 4424

Сдано в набор 11.02.88. Подписано к печати 22.03.88. P02069. Формат 60×90^{1/16}.
Бумага типографская № 1. Гарнитура литературная. Печать высокая. Усл. печ.
л. 6,5. Уч.-изд. л. 6,0 Тираж 1010. Заказ 67 Цена 1 р. 20 к.

Издательство «Фан» УзССР: 700047, Ташкент, ул. Гоголя, 70.
Типография Издательства «Фан»: Ташкент, проспект М. Горького, 79.

Ч 1903030000—3832
М 355(04)—88 71—88 © Издательство «Фан» Узбекской ССР, 1988 г.
ISBN 5—648—00058—8

ВВЕДЕНИЕ

Вопросы рационального использования природных ресурсов Средней Азии (особенно водных и земельных) всегда были связаны с гидрохимическими и геохимическими факторами. Если ранее (при благоприятном составе поверхностных вод в низовьях бассейнов) гидрохимии рек данного региона не придавалось должного внимания, то в последние годы практический интерес к ней огромен, особенно в условиях нарастающего дефицита пресных водных ресурсов.

Изучению гидрохимии орошаемых территорий особое внимание стало уделяться после решений Октябрьского 1984 г. пленума ЦК КПСС. Как известно, на этом пленуме была принята «Долговременная программа мелиорации, повышения эффективности использования мелиорированных земель в целях устойчивого наращивания продовольственного фонда страны».

В этой программе отмечается, что сейчас площадь орошаемых земель в СССР равна 19 млн. га. В перспективе намечается увеличить ее в полтора раза. Указано на необходимость повышения научной обоснованности регионального перераспределения и рационального использования водных ресурсов, расширения в колхозах и совхозах поливных участков с использованием местного стока, проявления постоянной заботы об охране окружающей природной среды. Во всех этих научных направлениях значительная роль отводится проведению гидрохимических исследований.

На пленуме также было отмечено, что мелиорация земель создает благоприятные условия для высокопродуктивного земледелия, однако в ряде случаев она отрицательно влияет на естественные процессы: увеличивается минерализация воды в реках, сокращается сток пресных вод в водоемы, воды загрязняются удобрениями и гербицидами, усиливаются процессы засоления и заболачивания земель. Особенно важно это обстоятельство учесть там, где местные водные ресурсы близки к исчерпанию. Это касается бассейнов рек Сырдарьи и Амударьи. Поэтому перед ГКНТ, Академией наук, многочисленными научно-исследовательскими институтами страны была поставлена задача повысить эффективность исследований по этим проблемам. Решение названных проблем позволит ускорить реализацию Продовольственной программы СССР, принятой на майском Пленуме ЦК КПСС 1982 г.

Отмеченные задачи оговорены и в «Основных направлениях экономического и социального развития СССР на 1986—1990 гг. и на период до 2000 года», одобренных XXVII съездом КПСС, причем отмечается, что все перечисленные задачи должны решаться комплексно, с учетом развития научно-технического прогресса.

Данная монография посвящена решению вопросов мелиоративной гидрохимии, или гидрохимии орошаемых территорий Средней Азии (бассейн Аральского моря), причем в ней рассмотрены проблемы гидрохимии не только речных вод, но и коллекторно-дренажного стока, достигшего значительных объемов во всех крупных оазисах данного региона и являющегося резервом для покрытия дефицита пресной воды в различных сферах её использования, особенно в маловодные годы.

Автор книги много лет посвятил изучению гидрохимии поверхностных вод данного региона, участвовал во многих гидрохимических, почвенных и географических экспедициях. Собранный, проверен и унифицированный значительный фактический материал по минерализации и химическому составу коллекторно-дренажных вод* многих орошаемых массивов Средней Азии в фондах различных организаций, занимающихся изучением качества этих вод (Средазгипроводхлопок, Узгипроводхоз, Институт почвоведения и агрохимии АН УзССР, областные управления оросительных и мелиоративных систем УзССР и КазССР и др.). При написании данной работы использовали материалы, собранные за период с 1938 по 1986 г.

В монографии рассмотрены вопросы химического состояния, гидрохимического режима, содержания солей (с учетом их токсичности) коллекторных и речных вод в наиболее крупных ирригационных районах бассейнов Амударьи и Сырдарьи, а также выявлены наиболее предпочтительные пути использования коллекторных вод в народном хозяйстве в настоящее время и в перспективе с учетом ожидаемых изменений их минерализации и химического состава.

В бассейне Амударьи рассмотрены следующие ирригационные районы: 1) Вахшский, 2) Сурхан-Шерабадский, 3) Туркменский прибрежный (Чарджоуский), 4) Туямуонский (Хорезмская и Ташаузская области), 5) Тахиаташский (орошаемая зона ККАССР), 6) Каршинский, 7) Бухарский (Навоийская и Бухарская области), 8) Мургабский, 9) Тедженский; в бассейне Сырдарьи: 1) Ферганская долина, 2) Голодная степь (Сырдарьинская и Джизакская области), 3) Ташкентский, 4) Арысь-Туркестанский, 5) Кзыл-Ординский.

Объемы коллекторных вод в каждом районе были подсчитаны по устьевым створам коллекторов, вытекающим из оазисов, средняя минерализация определена с учетом расходов воды в коллекторах. Большая часть характеристик коллекторных вод приведена за 1984—1986 гг. Прогнозные расчеты выполнены бассейновым ландшафтно-галогеохимическим методом.

В подготовке монографии приняли участие член-корреспондент АН СССР В. А. Ковда, докт. с.-х. наук И. Н. Степанов.

* Здесь и ниже вместо термина «коллекторно-дренажные» воды мы будем употреблять термин «коллекторные» воды.

ГЛАВА 1. СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ГИДРОХИМИИ ОРОШАЕМЫХ ТЕРРИТОРИЙ БАССЕЙНА АРАЛЬСКОГО МОРЯ

Среди географических наук мелиоративная гидрохимия одна из самых молодых. На географическом факультете Киевского Государственного университета данных курс читают с 1974 г. (Горев, Пелешенко, 1984). По-видимому, как самостоятельная научная дисциплина мелиоративная гидрохимия сформировалась к концу 1960-х — началу 1970-х годов на стыке общей гидрохимии (Алекин, 1948; 1970) и мелиоративного почвоведения (Розов, 1956; Плюснин, 1971; Панков, 1974; и др.).

Под мелиоративной гидрохимией мы понимаем научную географическую дисциплину, изучающую химический состав природных вод орошаемых территорий, его изменения во времени и пространстве в условиях антропогенного влияния. Мелиоративная гидрохимия также обосновывает возможность использования минерализованных вод в народном хозяйстве. К главным объектам изучения мелиоративной гидрохимии относятся коллекторно-дренажные воды, стекающие с орошаемых территорий, и речные воды, на которые они влияют.

При этом мелиоративная гидрохимия опирается в первую очередь на научную базу, которую к настоящему времени накопила наука гидрохимия, изучающая химический состав вод различных природных и искусственных объектов в целом: атмосферных осадков, рек, озер, морей, соляных озер, прудов, водохранилищ, подземных вод и др.

К задачам, изучаемым мелиоративной гидрохимией, близки задачи мелиоративного почвоведения, которое занимается изучением происхождения, состава, свойств, географического распространения, рационального использования почв и законов их формирования под воздействием мелиорации.

В то же время мелиоративная гидрохимия как бы входит в состав мелиоративной географии — комплексной географической дисциплины, изучающей закономерности мелиоративных мероприятий, направленных на коренное улучшение и преобразование природных условий, т. е. мелиоративная география осуществляет и обосновывает географическую оценку возможности осуществления способов и приемов мелиорации на той или иной территории.

В более широком плане мелиоративная гидрохимия связана также с гидрологией, гидробиологией, гидрогеологией, геохимией, изучающими различные вопросы формирования и изменения объемов и качества поверхностных и подземных вод.

Коллекторный сток ирригационных районов

В последние 40—50 лет в Средней Азии освоение новых целинных земель под орошение производится только после строительства на них коллекторно-дренажной сети и ввода скважин вертикального дренажа (сток скважин в итоге также поступает в коллекторную сеть).

Коллекторно-дренажные воды (в дальнейшем мы будем называть их коллекторными водами) обычно считаются «отходами» орошаемых массивов и поэтому тщательно не изучались.

Наблюдения за гидрологическим (частично и за гидрохимическим) режимом коллекторных вод ведутся управлениями мелиоративных систем (УМС), подчиняющимися Министерством мелиорации и водного хозяйства соответствующей республики.

В последние 10—15 лет гидрогеологические наблюдения на отдельных (выборочных) коллекторах стали проводить и в рамках Управлений по контролю и охране окружающей среды (УГКС). При этом берутся пробы воды на определение загрязненности.

Несмотря на это, коллекторные воды Средней Азии все еще должным образом не изучаются.

Исследование водного и гидрохимического режима коллекторных вод Средней Азии (по крупным ирригационным районам) явилось основной целью проведенной нами работы.

В настоящей монографии на основе проверки, обобщения и унифицирования собранных сведений освещено современное состояние коллекторных вод Средней Азии, их гидрологический режим (выделены определенные его типы), рассмотрено историческое (начиная с 1925 г.) изменение гидрохимических характеристик коллекторных и речных вод в большинстве ирригационных районов региона (в бассейнах Амударьи и Сырдарьи), выявлены общие гидрохимические закономерности в многолетнем изменении минерализации и химического состава вод, а также предложен принцип «рассредоточенного использования» коллекторных вод внутри ирригационных районов (или на их границах) без предварительного опреснения в настоящее время. Этот принцип предложен как один из вариантов (вероятно, самый дешевый) их утилизации, причем он нисколько не противоречит другому варианту — сбросу части коллекторных вод в Аральское море. В различных частях речных бассейнов оба варианта могут быть использованы одновременно.

В табл. 1 приведены осредненные сведения о коллекторном стоке наиболее крупных ирригационных районов бассейнов Амударьи и Сырдарьи. Установлены также годовой объем этих вод, их средняя минерализация (рассчитана как средняя взвешенная по стоку выходящих из оазисов коллекторов), а также преобладающий состав воды (путем построения и использования графиков между величиной минерализации и содержанием отдельных ионов).

В бассейне Амударьи, включая орошаемую зону Каракумского канала вместе с Мургабским и Тедженским оазисами, в последние годы формируется 17,32 км³ в год коллекторных вод, их средняя минерализация изменяется от 1,8 (Вахшский оазис) до 14,2 г/л (Тедженский массив), а химический состав — от хлоридно-сульфатного — магниево-натриево-кальциевого (ХС — МНК) до хлоридного — магниево-натриевого (Х — МН).

Таблица 1

Коллекторный сток крупных ирригационных районов бассейна Аральского моря в 1984—1986 гг.

Ирригационный район	Длина коллекторной сети, км	Годовой объем, км ³	Минерализация, г/л	Преобладающий состав	Гидрохимическая стадия	Солевой сток, млн. т
Бассейн Амударьи						
Вахшский	1690	2,67	1,8	ХС—МНК	С—К	4,81
Сурхан-Шерабадский	7300	0,95	2,4	ХС—МКН	С—Н	2,28
Чарджоуский	5470	2,31	3,5	СХ—КМН	Х—Н	8,08
Туямуянский	13000	4,71	4,2	СХ—КМН	Х—Н	19,74
Тахнаташский	16746	2,35	4,0	ХС—КМН	С—Н	9,40
Каршинский	5054	1,22	7,7	ХС—МН	С—Н	9,39
Бухарский	7197	1,47	4,2	ХС—МН	С—Н	6,17
Мургабский	8218	1,20	10,5	СХ—МН	Х—Н	12,60
Тедженский	4570	0,44	14,2	СХ—МН	Х—Н	6,25
Бассейн Сырдарьи						
Ферганский	24710	7,47	2,2	ХС—КМН	С—Н	16,43
Голодностепский	16900	2,58	2,7	ХС—МКН	С—Н	6,96
Ташкентский	7920	1,20	1,7	ХС—МНК	С—К	2,04
Арысь-Туркестанский	1528	0,05	6,03	ХС—КМН	С—Н	0,30
Кзылординский	4244	0,2	4,2	ХС—МН	С—Н	0,84

Примечание. При определении состава воды учтено содержание главных ионов, превышающих 10% экв. (когда их сумма принималась за 50% экв). В названии использованы только заглавные буквы ионов, а преобладающие ионы поставлены последними. Средние величины гидрохимических характеристик и объемов коллекторных вод определены бассейновым ландшафтно-галогеохимическим методом.

В бассейне Сырдарьи (без бассейна р. Чу) образуется более 11,5 км³ в год коллекторных вод, их средняя минерализация изменяется от 1,7 (Ташкентский оазис) до 4,2 г/л (Кзылординский и Казалинский массивы). Химический состав вод в данном бассейне более однороден, в большинстве случаев хлоридно-сульфатный—кальциево-магниево-натриевый (ХС—КМН).

Таким образом, современный объем коллекторных вод, стекающих с рассмотренных ирригационных районов Средней Азии (в реки, озера, различные понижения и т. д.), составляет 28,82 км³. Такой значительный объем коллекторных вод (около 1/4 имеющихся поверхностных ресурсов) позволил выделить их в качественно новую составную часть гидросферы данной территории. Действительно, если речные воды Средней Азии имеют минера-

лизацию воды при выходе из гор, равную в среднем 0,3—0,4 г/л, и гидрокарбонатный — кальциевый состав, то минерализация коллекторных вод на выходе из массивов обычно составляет 4,0—4,5 г/л, состав хлоридно-сульфатный — кальциево-магниевонатриевый.

Коллекторные воды оазисов являются результатом улучшения мелиоративного состояния орошаемых массивов, поэтому к ним привыкли относиться с мелиоративных позиций: требовалось только отвести нужное количество минерализованных вод из оазисов. Однако в настоящее время, когда охране окружающей среды и рациональному использованию природных ресурсов отводится все большее внимание, эти позиции должны быть пересмотрены.

В последние годы подобный объем коллекторных вод сказывается все заметнее, в первую очередь ухудшается химический состав речных вод, возрастает их минерализация (Чембарисов, 1983). Эти воды засоляют пастбищные угодья и некоторые озера, например Арнасай.

Следует пересмотреть сложившиеся позиции по отношению к коллекторным водам, подход к ним должен быть эколого-географическим, т. е. учитывающим не только объемы воды, отведенной коллекторами, а также вызванные этим изменения природных ландшафтов в том или ином ирригационном районе.

Особо следует остановиться на проблеме возможности использования коллекторных вод в народном хозяйстве в современных условиях. При этом возможны различные варианты их использования: а) на местах их формирования, б) за пределами бассейнов коллекторов, в) сброс в Аральское море и др. Выбор оптимального варианта должен быть экономически или социально обоснован.

Результаты наших исследований убедительно показали, что существующие минерализация и химический состав коллекторных вод Среднеазиатского региона не служат ограничением для их повторного использования на местах формирования и близлежащих территориях. Главное, чтобы содержание в этих водах остатков ядохимикатов и удобрений не превышало предельно допустимых концентраций. В этом случае коллекторные воды можно использовать в различных сферах народного хозяйства: а) для промывок засоленных почв и солончаков, б) в рыбном хозяйстве, в) для орошения (ограниченно по объему и времени), г) в отдельных видах промышленности, д) для создания водоемов с целью рекреации и др. Такой подход назван нами принципом рассредоточенного использования коллекторных вод. Главная идея его заключается в том, что существующие объемы коллекторных вод в ближайшие годы без предварительного опреснения можно использовать не в одной какой-либо сфере, а одновременно в двух, трех и более сферах. Это даст экономию в миллионы и даже миллиарды рублей, необходимых при осуществлении других вариантов их использования.

Изученность гидрологического и гидрохимического режима коллекторных вод

Гидрологический и гидрохимический режимы коллекторных вод Среднеазиатского региона изучены слабо. Однако данный вопрос чрезвычайно важен для народного хозяйства, особенно для ирригации. Использование коллекторных вод на орошение, промывки и другие хозяйственные нужды невозможно без установления закономерностей их водного и солевого режима. Важно знать не только объемы коллекторной воды, образующейся внутри того или иного ирригационного района, но и характер распределения этого объема воды внутри года (Чембарисов, 1978). В указанной работе на примере наиболее изученных коллекторов Средней Азии, несмотря на различный ход внутригодового изменения минерализации вод, было выделено два типа гидрохимического режима этих вод: 1) минерализация воды меняется обратно пропорционально изменению ее расхода; этот тип наблюдается практически во всех крупных коллекторах Средней Азии; 2) минерализация воды меняется прямо пропорционально изменению расходов воды, т. е. с увеличением расхода воды её минерализация повышается; 2-й тип наблюдается в небольших коллекторах, дренирующих сильнозасоленные территории, например, в Бухарском оазисе.

В данной работе на основании исследования накопившегося за эти годы материала и собственных полевых измерений автору удалось выделить и третий тип гидрохимического режима коллекторных вод, когда минерализация воды почти не зависит от расхода воды в коллекторах. Третий тип наблюдается в большинстве коллекторов старой зоны орошения Голодной степи.

Отмеченные типы гидрохимического режима коллекторных вод выделены в каждом рассматриваемом ирригационном районе.

Многолетние изменения минерализации и химического состава коллекторных вод

В связи с постоянным возрастанием дефицита пресной воды интерес к коллекторным водам Средней Азии в последние годы значительно возрос.

Изучаемый вопрос рассматривался автором ранее (Чембарисов, 1978). Уже тогда удалось выявить постепенное снижение минерализации воды в устьях отдельных хорошо изученных коллекторов (рассмотрены Озерный и Главный Левобережный коллекторы). Этот процесс наблюдается и в других коллекторах Средней Азии и Азербайджана (Решеткина, Сойфер, 1976).

В данной работе на основе собранного нового материала в многолетнем режиме минерализации коллекторов мы выделяем три гидрохимических периода: а) начальный, при котором после

строительства коллектора в его бассейне производят усиленные промывки для ликвидации первичного засоления почв, пород и грунтовых вод; б) центральный, в течение которого основные запасы первичных солей обычно выносятся за пределы бассейна коллектора; минерализация воды в этом периоде по сравнению с первоначальной величиной заметно понижается; в) стабильный, когда в бассейне коллектора производятся только профилактические сезонные ежегодные промывки для предотвращения вторичного засоления орошаемых почв. Солевой режим почв и грунтовых вод стабилизируется на определенных величинах (при отсутствии ввода новых площадей к данному коллектору), поэтому стабилизируется и минерализация коллекторных вод.

Многолетние изменения минерализации коллекторных вод по выделенным периодам должны учитываться при прогнозах их минерализации на перспективу.

Загрязненность коллекторных вод остатками ядохимикатов и удобрений

Коллекторные воды при сбросе их в реки не только вызывают повышение минерализации речных вод, но и загрязняют их остатками ядохимикатов и удобрений, применяемых в пределах орошаемой зоны.

В Среднеазиатском регионе с каждым годом возрастает потребность в минеральных удобрениях. Так, если в 1955 г. на 1 га посевов хлопчатника в Узбекистане приходилось 94 кг азота и 82 кг фосфора, то в 1975 г. — 224 кг азота, 121 кг фосфора и 46 кг калия, а в последние годы эти величины еще больше возросли. Следует помнить, что при нерациональном применении удобрений коллекторные, а затем и речные воды загрязняются азотом, фосфором и калием.

По данным Государственного Гидрохимического института, при орошении вымывается до 13% вносимых удобрений (сульфат аммония). По данным Института гидробиологии АН УССР, вынос азота и калия коллекторным стоком составляет в среднем 30% количества внесенных удобрений, а фосфора — 1 кг с 1 га.

Вода с повышенным содержанием нитратов представляет собой потенциальную опасность для здоровья человека. Под действием некоторых кишечных бактерий нитраты могут переходить в нитриты, характеризующиеся значительной токсичностью.

При применении высоких доз фосфорных удобрений в почвах и водах могут накапливаться тяжелые металлы, содержащиеся в удобрениях в небольшом количестве. Это также вредно для здоровья человека.

В перспективе необходимо разработать новые технологии внесения минеральных удобрений в почвы. В настоящее время удобрения вносят в основном по бороздам при поливах сельскохозяйственных культур; необходимо, чтобы это внесение было

локальным, т. е. непосредственно у выращиваемого растения.

В настоящее время содержание азота, фосфора и калия в коллекторных водах в отдельные месяцы превышает их предельно допустимые концентрации (ПДК), а в речных водах бассейнов Амударьи и Сырдарьи, оно, как правило, ниже ПДК.

Еще большую опасность для здоровья человека и домашних животных представляет вынос в водные источники остатков ядохимикатов. Еще недавно среди применяемых пестицидов значительное место отводилось ДДТ, однако из-за высокой токсичности и значительной стойкости он был запрещен. Сейчас в основном применяют другие виды хлорорганических пестицидов:

Таблица 2

Виды и количество пестицидов, применяемых в УзССР, тыс. т

Препарат	Год						
	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982
Хлорорганические	54,8	55,7	54,0	42,7	38,2	39,2	38,7
Фосфорорганические	7,9	7,7	7,0	8,3	10,3	11,6	8,9
Гербициды	5,4	5,5	6,7	5,5	6,6	7,3	7,4
Дефолианты	29,9	30,5	29,9	30,8	29,5	33,8	29,9
Серные и био-препараты	26,7	27,5	23,2	22,7	28,3	26,6	21,3
Фунгициды	0,2	0,2	0,2	0,5	0,4	0,4	—
Прочие препараты	5,3	6,3	6,5	6,2	8,1	6,9	3,3
Итого	130,2	133,6	127,2	117,8	121,5	115,9	119,5

α -ГХЦГ, γ -ГХЦГ (разновидности гексахлорциклогексана), севин и др. По данным Агропрома УзССР, ежегодно используется более 130 тыс. т различных пестицидов (табл. 2).

Присутствие остатков минеральных удобрений и ядохимикатов в коллекторных и речных водах требует постоянного контроля за их содержанием и миграцией и вызывает необходимость бороться с этим явлением.

По результатам исследований Узбекского НИИ санитарии, гигиены и профзаболеваний (УзНИИСГПЗ), борьба по предупреждению отравлений среди сельского населения должна вестись в следующих направлениях: запрещение применения высокотоксичных пестицидов (метилмеркаптофос, тиофос и др.); проведение обработок ядохимикатами на ограниченных участках; обеспечение санитарно-защитных зон между населенными пунктами и обрабатываемыми полями; ограничение применения авиационного метода обработок в густонаселенных областях и районах; строгое соблюдение всех действующих правил хранения, транспортировки и применения пестицидов; внедрение и широкое

применение биологических методов борьбы с вредителями и болезнями растений.

В Узбекистане в 1983 г. биологический метод (насекомое трихограмма) был применен на площади более 2,5 млн. га, в перспективе его применение расширится.

В качестве действенной меры по снижению опасности выноса коллекторными водами остатков удобрений и ядохимикатов мы предлагаем устраивать на устьевых участках межхозяйственных дрен и магистральных коллекторов малые и большие водоемы. Как показали исследования, проведенные в САНИИРИ (Разаков, Рузиев, 1985) и САНИИ (Горелкин, 1985), в таких водоемах содержание остатков ядохимикатов со временем снижается благодаря самоочищению. Подобные водоемы необходимы не только для самоочищения коллекторных вод, они позволят накапливать воды, которые можно будет использовать внутри хозяйств в различных целях.

Влияние коллекторного стока на речные воды

В последние годы минерализация вод большинства рек Средней Азии стала превышать 1,0 г/л. Это отражается не только на состоянии засоления орошаемых почв, но может сказаться и на здоровье людей, пьющих эту воду (согласно ГОСТу 2874—73 «Вода для питья», её минерализация не должна превышать 1,0 г/л).

Причиной повышения минерализации речных вод с одновременным изменением их химического состава, а в отдельных случаях и загрязнения их остатками ядохимикатов и удобрений является сброс в них коллекторно-дренажных стоков с орошаемых массивов. Данный процесс в том или ином масштабе наблюдается сейчас во всех ирригационных районах Средней Азии, но, к сожалению, не контролируется и протекает стихийно. Поэтому, как будет показано ниже, минерализация воды во многих реках Средней Азии в настоящее время повышена, а в составе солей преобладают легкорастворимые сульфаты и хлориды магния и натрия.

Необходимо прекратить стихийный сброс коллекторных вод в реки. По нашему мнению, в ограниченных объемах сбрасывать коллекторные воды орошаемых массивов в реки можно только в верховьях бассейнов. При этом итоговая величина минерализации смешанной воды (речной с поступившей коллекторной) не должна превышать заданной ГОСТом (или другими требованиями) величины (например, 1,0 г/л по всему течению реки). В реки нельзя сбрасывать загрязненные коллекторные воды, это может отрицательно повлиять на здоровье людей и животных, пьющих эту воду. Загрязненные коллекторные воды необходимо очищать и обезвреживать.

В настоящее время влияние коллекторного стока на изменение расходов и качества речных вод Средней Азии изучается в раз-

личных научных институтах, например, в САНИИ и САНИИРИ. Однако в отличие от САНИИ (разработки основаны на анализе взаимосвязи доли коллекторных вод с общей величиной стока на речных створах) и САНИИРИ (в основу разработок взят балансовый метод) мы рассматриваем этот вопрос с применением собственного ландшафтно-галогеохимического метода, основной особенностью которого является изучение динамики коллекторного стока, попадающего в реки, и минерализации вод во взаимосвязи с изменениями почвенно-мелиоративного состояния орошаемых массивов.

Ландшафтно-галогеохимический принцип исследования многолетнего изменения минерализации и химического состава речных вод на выходе их из орошаемых массивов и изучение динамики почвенно-мелиоративного состояния орошаемых массивов позволили автору не только вскрыть и обосновать существование гидрохимической стадийности в формировании минерализации и химического состава поверхностных (речных и коллекторных) вод в условиях орошения, но и научно обоснованно оценить изменения коллекторных и речных вод Средней Азии на ближайшую и отдаленную перспективы.

По мнению автора, ландшафтно-галогеохимическое изучение проблемы влияния коллекторного стока на речные воды более объективно, чем другие подходы, так как при этом оценивается не только «выходная» вода, но и территория, на которой она формируется.

Использование коллекторных вод

В настоящее время во всех ирригационных районах Средней Азии существует и работает коллекторно-дренажная сеть, которую мелиораторы подразделяют на внутрихозяйственную и межхозяйственную. Смешанные в различной степени грунтовые, почвенные и сбросные воды в итоге через межхозяйственные дрены попадают в наиболее крупные магистральные коллекторы оазисов и выносятся за пределы орошаемых территорий, этим улучшая почвенно-мелиоративное состояние (основная цель дренажа — недопущение вторичного засоления орошаемых земель). Коллекторно-дренажная сеть (а параллельно и сток воды) из года в год растет, поэтому сейчас объемы воды достигли таких размеров, что их не только можно, но и нужно использовать в народном хозяйстве.

Между тем, данная проблема не изучена; имеющиеся коллекторные воды, как уже было отмечено, без всякого учета либо сбрасываются в реки, либо отводятся в различные понижения на местности. Если в первом случае эти воды все же используются повторно в народном хозяйстве (в основном для орошения ниже лежащих массивов), то во втором случае они не используются и выпадают из расчетов водных ресурсов региона. Так, в настоящее

время в низовьях бассейна Амударьи в Сарыкамышскую впадину ежегодно сбрасывается до 4,5—5,0 км³ коллекторных вод со средней минерализацией 4,4—4,6 г/л, а в среднем течении бассейна Сырдарьи в Арнасайскую впадину — 2,1—2,3 км³ со средней минерализацией 4,5—5,0 г/л.

Таким образом, только в этих водоемах имеется 7,3 км³ воды, которую, несмотря на повышенную минерализацию, можно использовать в народном хозяйстве (Чембарисов, 1986). Уже сейчас эти воды без опреснения можно использовать внутри районов их формирования или на близлежащих территориях (см. гл. 4). По мере строительства отводных коллекторов необходимо направить их (вторичные, третичные и другие коллекторные воды) для поддержания водного баланса усыхающего Аральского моря, сохранение которого имеет огромное экологическое и социальное значение для всего региона в целом.

Таким образом, по состоянию изученности проблем мелиоративной гидрохимии в Среднеазиатском регионе можно отметить следующее: 1) вопросы водного, особенно гидрохимического режима коллекторных вод данного региона изучены очень слабо. Это относится как к оценке суммарных объемов этих вод, выносимых за пределы массивов, так и к характеристикам их химического режима: внутригодовому изменению минерализации, смене химического состава воды в зависимости от величины минерализации, изменению минерализации в зависимости от расходов воды и др.; 2) практически не изучена проблема утилизации коллекторных вод в зависимости от их минерализации и химического состава. В настоящее время они без учета и контроля либо сбрасываются в реки, либо отводятся в различные крупные и мелкие понижения, расположенные за границами орошаемых массивов. На орошение используется лишь незначительная часть этих вод. Все отмеченные проблемы гидрохимии коллекторных вод Средней Азии должны быть тщательно изучены.

ГЛАВА 2. ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ И ГИДРОХИМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ КОЛЛЕКТОРНЫХ ВОД КРУПНЫХ ИРРИГАЦИОННЫХ РАЙОНОВ

В данной главе приведены результаты расчетов ресурсов коллекторных вод и характеристики их гидрохимического режима в пределах рассматриваемых ирригационных районов. Вначале приведены общие сведения о формирующихся в пределах оазисов коллекторных водах, затем подробно освещены гидрохимические режимы наиболее крупных коллекторов. Описаны также современные изменения минерализации воды Амударьи и Сырдарьи под влиянием сбросов в них коллекторных стоков и изменения химического состава поверхностных вод в условиях орошения по определенным стадиям.

Формирование коллекторных вод в пределах речных бассейнов

Несколько десятков лет назад в пределах речных бассейнов Средней Азии формировались и текли только речные воды. В настоящее время в пределах орошаемой зоны бассейнов формируются коллекторно-дренажные воды, объем которых только в пределах рассматриваемых ирригационных районов составляет 28,82 км³ в год.

Коллекторные воды — это воды, вытекающие из дрен и коллекторов орошаемой территории (с учетом стока из скважин вертикального дренажа) и чаще всего попадающие обратно в реки и их притоки, или же, реже, сбрасывающиеся в различные природные понижения: озера, впадины, овраги и др.

Коллекторные воды составляют часть так называемых «возвратных» вод. Под возвратными водами обычно понимаются воды, забранные на орошение в верховьях рек и частично вернувшиеся в их русла ниже по течению подземным и поверхностным путем, т. е. они имеют подземную и антропогенную составляющие. Мы изучали водный и гидрохимический режим только поверхностной части возвратных вод.

Коллекторные воды обычно состоят из: а) грунтовой воды, сформированной в пределах орошаемой зоны в более ранние годы и выклинивающейся в русла дрен и коллекторов, б) части оросительной воды, профильтровавшейся через орошаемые поля и выклинивающейся в дрены во время поливов, в) талых и ливневых вод, попадающих в русла дрен и коллекторов в определенные месяцы года, г) аварийных сбросов речных вод из оросителей и каналов, которые иногда попадают в дрены и коллекторы в результате неумелого использования оросительной воды.

Ввиду слабой изученности объема и качества коллекторных вод Среднеазиатского региона, автор данной работы не преследовал цели разделить формирующийся коллекторный сток оазисов на генетические компоненты. Основная цель — установить объем коллекторных вод в рассматриваемых ирригационных районах, изучить закономерности их внутригодового и многолетнего водного и гидрохимического режима, оценить ожидаемые изменения этих характеристик, а также разработать рекомендации по использованию этих вод в народном хозяйстве.

Одним из первых о необходимости учета возвратных вод оазисов Узбекистана писали А. В. Бостанджогло, В. Л. Шульц и др. (1936).

С. И. Харченко и Г. П. Левченко (1972) предложили методику определения возвратных вод с орошаемых массивов. Они считают, что коллекторный сток состоит как из вод, сформировавшихся под воздействием орошения, так и естественных грунтовых вод, которые существовали еще до орошения. Возвратными водами авторы называют лишь ирригационную часть динамических запасов грунтовых вод. К ним они относят также использованные излишки оросительных вод, которые иногда сбрасываются с орошаемых полей поверхностным путем через коллекторы и обычно называются сбросными водами. По расчетам авторов, величина возвратных вод с Таласского орошаемого массива равна 14% от водозабора, а с Кылкумского (бассейн Сырдарьи) — 65%.

По определению В. П. Светицкого (1968), возвратные воды — это часть стока, взятая из водного источника, поступившая подземным путем в естественную или искусственную гидрографическую сеть и далее в эти же источники или в естественные понижения и водоемы, т. е. в понятие «возвратные воды» он не включает поверхностный сток с орошаемых массивов.

Определение термина «возвратные» воды приведено также в работе Ф. Э. Рубиновой (1979). Автор отмечает, что с точки зрения оценки водных ресурсов для нижележащих территорий следует рассматривать возвратные воды в более широком смысле — как сток, сформированный ниже опорных гидрометрических постов под влиянием всего комплекса хозяйственной деятельности.

Анализ материалов исследований формирования возвратных вод в речных бассейнах Среднеазиатского региона (Аткарская, 1970; Видинеева, Исаева, 1979; Духовный, 1981; Исмаилов, Федоров, 1981; и др.) позволил сделать следующие выводы:

- 1) до сих пор в специальной гидрологической литературе нет общепринятого определения возвратных вод;

- 2) существует несколько методик определения величины возвратных вод, что приводит к значительным расхождениям при расчетах. Так, по подсчетам названных выше авторов, сток возвратных вод, формирующийся в Ферганской долине, составляет от 28 до 45% величины водозабора, т. е. отличается в 1,6 раза.

Имеются значительные расхождения в расчетах величин возвратных вод и по другим орошаемым массивам;

3) в литературе отсутствуют сведения по минерализации возвратных вод, без знания которых практически невозможно проведение мелиоративных мероприятий на массивах, а также использование этих вод в различных сферах народного хозяйства, например, повторно для орошения.

В данной работе мы уделили большое внимание обобщению и анализу материала не только по объемам коллекторных вод (как уже было отмечено, составляющих значительную часть возвратных), но и по величине их минерализации с учетом сведений по химическому составу. Приведены средние данные за 1984—1986 гг.

Бассейн Амударьи. В верховьях данного бассейна в пределах Вахшского массива формируется около $2,67 \text{ км}^3$ коллекторных вод (с учетом Центрального сброса) со средней минерализацией $1,8 \text{ г/л}$. Преобладающий химический состав этих вод хлоридно-сульфатный — магниевое-натриево-кальциевый (ХС — МНК). За год с орошаемой территории коллекторами выносятся до $4,8 \text{ млн. т}$ солей, большая часть которых попадает в Вахш.

На территории Сурхан-Шерабадского ирригационного района образуется до $0,95 \text{ км}^3$ коллекторных вод, имеющих разную минерализацию. С точки зрения распределения коллекторных вод по величине минерализации эту территорию можно разделить на 3 подрайона: а) с минерализацией до $0,5 \text{ г/л}$ — верховья бассейна р. Сурхандарьи, б) с минерализацией от $0,5$ до $1,9 \text{ г/л}$ — средняя и нижняя часть бассейна Сурхандарьи, в) с минерализацией от $4,0$ до $8,0 \text{ г/л}$ — территория Шерабадской степи.

Минерализация коллекторных вод для всего ирригационного района в среднем составляет $2,4 \text{ г/л}$. По преобладающему химическому составу эти воды хлоридно-сульфатные — магниевое-кальциевое-натриевые (ХС-МКН). С орошаемой территории данного района в год выносятся до $2,3 \text{ млн. т}$ солей, которые попадают в основном в Сурхандарью и Амударью.

В пределах Туркменского прибрежного (Чарджоуского) ирригационного района формируется $2,31 \text{ км}^3$ коллекторных вод с минерализацией $3,5 \text{ г/л}$. Состав этих вод преимущественно сульфатно-хлоридный — кальциевое-магниевое-натриевый (СХ — КМН). За год выносятся до $8,1 \text{ млн. т}$ солей, которые большей частью попадают в Амударью.

В пределах Туямуюнского ирригационного района (Хорезмский и Ташаузский орошаемые массивы) формируется до $4,71 \text{ км}^3$ коллекторных вод, средняя минерализация их $4,2 \text{ г/л}$. По составу эти воды хлоридно-сульфатные — кальциевое-магниевое-натриевые (ХС-КМН). Большая часть коллекторных вод и солей (до $19,7 \text{ млн. т}$) данных массивов отводится Озерным и Дарьялыкским межреспубликанскими коллекторами в Сарыкамышскую впадину, расположенную за пределами орошаемой зоны данного района.

В пределах Тахиаташского ирригационного района (орошаемая зона КК АССР) в год формируется до $2,35 \text{ км}^3$ коллекторных вод со средней минерализацией $4,0 \text{ г/л}$. Состав этих вод преимущественно сульфатно-хлоридный — кальциево-магниевый-натриевый (СХ-КМН). Коллекторами с орошаемой территории за год выносятся до $9,4 \text{ млн. т}$ солей, большая часть которых отводится в Аральское море и оз. Судочье.

В Каршинском районе в год образуется до $1,22 \text{ км}^3$ коллекторных вод со средней минерализацией $7,7 \text{ г/л}$. Состав их в основном хлоридно-сульфатный — магниевый-натриевый (ХС-МН). За год коллекторами выносятся до $9,39 \text{ млн. т}$ солей, которые с 1982 г., после строительства нового русла Южного коллектора, стали частично попадать в Амударью.

За пределы Бухарского района в год выносятся до $1,47 \text{ км}^3$ коллекторных вод с минерализацией $4,2 \text{ г/л}$. Состав их преимущественно хлоридно-сульфатный — магниевый-натриевый (ХС-МН). За пределы оазиса выносятся до $6,17 \text{ млн. т}$ солей, часть которых с 1981 г., после строительства Главного Бухарского коллектора, также попадает в Амударью.

В пределах дельты р. Мургаб в год образуется до $1,20 \text{ км}^3$ коллекторных вод с минерализацией $10,5 \text{ г/л}$. Количество выносимых солей составляет $12,6 \text{ млн. т}$. В Тедженской дельте формируется до $0,44 \text{ км}^3$ в год коллекторных вод со средней минерализацией $14,2 \text{ г/л}$. Количество выносимых солей — $6,25 \text{ млн. т}$. В обеих дельтах состав вод преимущественно сульфатно-хлоридный — магниевый-натриевый (СХ-МН).

В целом в бассейне Амударьи только в пределах перечисленных ирригационных районов в год формируется до $17,32 \text{ км}^3$ коллекторных вод с различной минерализацией (от $1,8$ до $14,2 \text{ г/л}$), а за пределы орошаемых массивов выносятся до $78,72 \text{ млн. т}$ солей. Значительная их часть, особенно в верхнем и среднем течении Амударьи, вместе с водой попадает в её русло, тем самым изменяя не только ее гидрологический, но и гидрохимический режим.

Бассейн Сырдарьи. Наибольшие объемы коллекторных вод в данном бассейне формируются в пределах Ферганской долины — до $7,47 \text{ км}^3$ в год. Средняя их минерализация $2,2 \text{ г/л}$, преобладающий состав хлоридно-сульфатный — кальциево-магниевый-натриевый (ХС-КМН). За год коллекторами выносятся до $16,43 \text{ млн. т}$ солей, которые большей частью попадают в реки Нарын, Карадарью и Сырдарью.

С орошаемой территории Голодной степи (включая старую и новую зоны орошения) за год выносятся до $2,58 \text{ км}^3$ коллекторных вод со средней минерализацией $2,7 \text{ г/л}$. Состав этих вод преимущественно хлоридно-сульфатный — магниевый-натриевый (ХС-МН). Всего с территории Голодной степи за год коллекторами выносятся до $6,96 \text{ млн. т}$ солей, которые распределяются в двух направлениях: попадают в Сырдарью и частично отводятся в Арнасайское понижение.

На территории Чирчик-Ахангаран-Келесского ирригационного района (Ташкентский оазис) в год формируется до $1,2 \text{ км}^3$ коллекторных вод со средней минерализацией $1,7 \text{ г/л}$. Состав этих вод в основном ХС-МНК. Коллекторами с орошаемой территории за год выносятся до $2,04 \text{ млн. т}$ солей, которые попадают в главные русла оазиса: Чирчик, Ахангаран, Келес и частично в Сырдарью.

В пределах Арысь-Туркестанского района в год формируется около $0,05 \text{ км}^3$ коллекторных вод со средней минерализацией $6,03 \text{ г/л}$. По составу эти воды в основном хлоридно-сульфатные — кальциево-магниевые-натриевые (ХС-КМН). За год с орошаемых полей выносятся до $0,3 \text{ млн. т}$ солей, которые отводятся в различные впадины и понижения на местности.

В пределах Кызылординского массива формируется в год до $0,2 \text{ км}^3$ коллекторных вод со средней минерализацией $4,2 \text{ г/л}$. По составу они в основном хлоридно-сульфатные — магниевые-натриевые (ХС-МН). За год с орошаемой территории выносятся до $0,84 \text{ млн. т}$ солей, которые относятся в различные понижения.

В бассейне Сырдарьи за год формируется $11,5 \text{ км}^3$ коллекторных вод с минерализацией от $1,7$ до $6,03 \text{ г/л}$. За пределы орошаемых массивов выносятся до $26,57 \text{ млн. т}$ солей в год, большая часть их попадает в русла главных рек, изменяя их гидрологический и гидрохимический режимы.

Таким образом, в пределах рассматриваемых ирригационных районов Среднеазиатского региона в год образуется $28,82 \text{ км}^3$ коллекторных вод, которые либо сбрасываются в реки, либо отводятся в различные понижения и впадины (до $10,0 \text{ км}^3$).

Учитывая постоянно нарастающий дефицит воды в данном регионе, необходимо добиться, чтобы специалисты научились использовать эти воды. Во многом это зависит от состава вод и степени их загрязненности. Анализ гидрохимических данных показал, что в коллекторных водах Средней Азии отсутствует губительная для растений сода, но много сульфата натрия и сульфата кальция, т. е. не очень токсичных солей. Материалы по загрязнению коллекторных вод остатками ядохимикатов показывают, что оно сейчас носит локальный характер, а в ближайшем будущем, благодаря развитию биологических способов очистки и применению в сельском хозяйстве биологического метода, по-видимому, сведется к минимуму. Поэтому эти воды следует использовать в народном хозяйстве.

Приведенные выше данные позволяют получить лишь общую характеристику минерализации и объемов коллекторных вод Среднеазиатского региона (бассейн Аральского моря).

С точки зрения классификации водных ресурсов по качеству представляет интерес расчет их объемов по величине минерализации. Мы подсчитали объемы коллекторных вод в зависимости от минерализации:

- 1) до $0,5 \text{ г/л}$ — вода, наиболее благоприятная для орошения;

- 2) от 0,5 до 1,0 г/л — вода, пригодная для орошения;
- 3) от 1,0 до 3,0 г/л — вода пригодна для орошения в ограниченном количестве с соблюдением различных условий;
- 4) от 3,0 до 5,0 г/л — вода не пригодна для орошения, её можно использовать в других целях, например, для промывок засоленных почв;
- 5) от 5,0 до 10,0 г/л — воду можно применять для промывок солончаков, а также использовать в некоторых сферах промышленности;
- 6) более 10,0 г/л — воду можно использовать для сохранения отдельных водоемов, а также для смешения с пресными водами.

Таблица 3

Современное распределение объемов коллекторных вод бассейна Аральского моря по величине минерализации

Ирригационный район	Годовой сток, км³	Минерализация, г/л					
		до 0,5	0,5–1,0	1,0–3,0	3,0–5,0	5,0–10,0	более 10,0
Бассейн Амударьи							
Вахшский	2,67	—	0,01	2,65	0,01	—	—
Сурхан-Шерабадский	0,95	0,2	0,1	0,3	0,3	0,04	0,01
Чарджоуский	2,31	—	—	0,55	1,76	—	—
Туямуюнский	4,71	—	—	—	4,51	0,2	—
Тахиаташский	2,35	—	—	0,2	2,15	—	—
Каршинский	1,22	—	—	—	—	1,12	0,1
Бухарский	1,47	—	—	0,2	1,12	0,07	0,08
Мургабский	1,20	—	—	—	—	0,02	1,18
Тедженский	0,44	—	—	—	—	—	0,44
Итого	17,32	0,2	0,11	3,90	9,85	1,45	1,81
в %	100	1,1	0,6	22,5	56,9	8,4	10,5
Бассейн Сырдарьи							
Ферганский	7,47	0,1	0,2	7,07	0,1	—	—
Голодноостепский (в целом)	2,58	—	—	2,08	0,1	0,4	—
Ташкентский	1,20	0,2	0,4	0,6	—	—	—
Арысь-Туркестанский	0,05	—	—	—	—	0,05	—
Кзылординский	0,2	—	—	0,05	0,13	0,02	—
Итого	11,50	0,3	0,6	9,80	0,33	0,47	—
в %	100	2,6	5,2	85,2	2,9	4,1	—

Из данных табл. 3 видно, что в бассейне Амударьи объем коллекторных вод с минерализацией от 3,0 до 5,0 г/л составляет 56,9% общего объема вод бассейна, а с минерализацией до 0,5 г/л — только 1,1%.

В бассейне Сырдарьи наиболее распространены коллекторные воды с минерализацией от 1,0 до 3,0 г/л (85,2%), наименее — с минерализацией до 0,5 г/л (2,6%). Таким образом, большая

часть ресурсов коллекторных вод бассейна Аральского моря имеет не очень высокую минерализацию (до 5,0 г/л), что указывает на возможность использования их в народном хозяйстве.

Особенности гидрохимического режима коллекторных вод в бассейне Амударьи

Учитывая важное народнохозяйственное значение использования поверхностных вод, мы начали исследование их режима еще в 1977 г. (Чембарисов, 1977, 1978, 1980, 1981).

Рассмотрены водный и гидрохимический режимы коллекторных вод в перечисленных выше ирригационных районах бассейна Амударьи. Для каждого района приведены осредненные данные о коллекторном стоке и его минерализации. Кроме среднегодовой величины минерализации, подсчитано также ее внутригодовое распределение, как фактическое, так и в процентах к среднегодовой величине. При этом средняя величина минерализации коллекторного стока для района определена как средневзвешенная с учетом расходов воды наиболее крупных коллекторов.

Вахшский ирригационный район. В пределах Вахшского массива в 1965 г. оросительной сетью было охвачено 81,4 тыс. га, водозабор для орошения составил 2,6 км³. К 1975 г. орошаемая площадь увеличилась до 101 тыс. га, а к 1984 г. — до 170 тыс. га. В р. Вахш и крупные оросители впадает до 33 коллекторов, которыми за год отводится до 2,67 км³ воды.

Сведения по современной минерализации и гидрохимическому режиму коллекторных вод Вахшской долины приведены в табл. 4. Среднегодовая минерализация этих вод, взвешенная по стоку, равна 1,8 г/л. Расчеты произведены с учетом данных по коллекторам, отводящим большую часть стока: В-8, В-9, В-10, В-12, КВ, В-23, В-Д-6 и В-Д-10. В табл. 4, кроме фактического распределения минерализации по месяцам приведены отклонения от среднегодовой величины в процентах. Эти сведения необходимы для обоснования возможности использования коллекторных вод в народном хозяйстве в различное время года. Установлено, что в коллекторах данного оазиса во всех случаях наблюдается снижение минерализации воды при возрастании расходов. Такое внутригодовое изменение минерализации воды в коллекторах (обратно пропорциональное водному режиму) мы выделяем как 1-й тип гидрохимического режима для коллекторов Среднеазиатского региона.

В среднем внутри года минерализация воды в коллекторах Вахшской долины меняется от 1,37 (сентябрь) до 2,8 г/л (январь). По отношению к среднегодовой величине среднемесячные величины минерализации составляют 75—151%.

Сурхан-Шерабадский ирригационный район. Этот район включает бассейны Сурхандарьи и Шерабада. Недостаточная

Таблица 4

**Внутригодовое изменение современной минерализации коллекторных вод ирригационных районов
бассейна Амударьи**

Ирригационный район	Месяц												Средняя величина минерализации, г/л
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
1. Вахшский	2,80 151	2,71 150	2,01 111	2,08 115	1,75 97	1,41 78	1,48 82	1,37 75	1,38 76	1,40 78	1,59 88	2,20 122	1,80
2. Сурхан-Шерабадский а) северная зона	0,29 85	0,28 82	0,29 85	0,29 85	0,37 109	0,34 100	0,36 106	0,35 103	0,37 109	0,35 103	0,36 106	0,35 103	0,34
б) южная зона	1,49 102	1,40 96	1,35 93	1,53 105	1,53 105	1,24 85	1,29 88	1,30 89	1,33 91	1,36 93	1,71 117	1,75 120	1,46
в) Шерабадская степь	6,35 119	5,65 106	4,90 92	4,70 88	4,30 80	4,60 86	5,31 99	5,41 101	5,91 110	6,13 115	6,63 124	5,25 98	5,35
3. Туркменский	2,89 96	2,87 95	3,00 100	3,17 105	3,15 104,7	2,61 87	2,66 88	2,69 86	2,72 90	3,59 119	4,43 147	4,18 139	3,01
4. Туямунский	4,44 107	4,25 102	4,32 104	4,34 104	3,83 92	4,03 97	3,89 93	4,07 98	4,36 105	4,26 102	4,46 107	4,29 103	4,16
5. Тахияташский	5,16 170	4,90 161	4,36 143	3,80 125	3,04 100	2,11 69	1,89 62	1,98 65	2,60 86	2,82 93	3,08 101	3,96 130	3,04
6. Каршинский	8,00 104	6,44 83	8,15 106	8,00 104	8,10 105	7,21 94	7,94 103	8,50 110	7,12 92	7,84 102	7,19 94	7,03 92	7,70
7. Бухарский	5,51 180	5,05 165	4,40 144	4,29 141	4,10 134	3,87 139	3,00 98,4	3,21 105	3,27 107	2,82 92,5	2,80 92,0	3,32 109	3,05

Примечание. Для каждого ирригационного района в первой строке приведены фактические цифры, во второй — в процентах от средней.

дренированность поливных угодий этих бассейнов обусловила здесь интенсивное строительство коллекторно-дренажной сети, протяженность которой равна 7300 км. Приемником многих коллекторов служит р. Сурхандарья. Большинство коллекторов Шерабадской степи впадают в Амударью.

Орошаемая зона в данном районе делится обычно на 2 части: северную, занимающую территорию верховьев бассейна р. Сурхандарья, и южную, занимающую низовья Сурхандарьи и Шерабадскую степь.

Мы считаем, что формирование минерализации коллекторных вод данного района необходимо рассматривать по 3 отдельным подрайонам: 1) подрайон, включающий коллекторы выше створа Шурчи, 2) подрайон, включающий коллекторы ниже створа Шурчи, 3) подрайон, охватывающий коллекторы Шерабадской степи, впадающие в основном в Амударью (Ангорский, К-2, К-3, ЖК и др.). Установлено, что во всех подрайонах минерализация коллекторных вод разная (табл. 4): в 1-м она равна в среднем 0,34 г/л, во 2-м — 1,46 г/л, в 3-м — 5,35 г/л.

Гидрохимический режим коллекторов оазиса противоположен их водному режиму, т. е. во всех выделенных подрайонах наблюдается 1-й тип гидрохимического режима.

Туркменский прибрежный ирригационный район. В административном отношении находится в Туркменской ССР и расположен в пределах Чарджоуской области. Длина всей коллекторно-дренажной сети превышает 5400 км, через неё за год за пределы орошаемой зоны (в этом районе в основном в Амударью) выносятся в зависимости от водообеспеченности года 2,1—2,3 км³ с минерализацией 3,0—3,5 г/л и до 8,0 млн. т солей.

В пределах района (между створами Керки и Туямуюн) в Амударью впадают справа следующие коллекторы: 1) Ходжамбасский с Колхозным, 2) Мекан, 3) Бурдалык, 4) Фарабский-1 (Ф-1), сейчас он называется Самотечным, 5) Усты; слева: 1) Халачский, или Халачпарвартский, 2) Главный Левобережный коллектор (ГЛК), 3) Дарганатинский. ГЛК — самый крупный коллектор данного ирригационного района, большая часть его стока попадает в Амударью, меньшая — в оз. Катта-Шор.

Расчеты показывают, что средняя взвешенная по стоку минерализация коллекторных вод данного района составляет 3,0 г/л (табл. 4). Внутри года она изменяется от 2,61 (июнь) до 4,43 г/л (ноябрь). С января до сентября минерализация меняется незначительно — в пределах 2,61—3,15 г/л. В октябре—декабре она заметно выше — 3,58—4,43 г/л.

Во всех коллекторах с ростом расхода воды её минерализация снижается, т. е. и в данном оазисе наблюдается 1-й тип гидрохимического режима.

Низовья Амударьи включают 2 ирригационных района: зону Туямуюнского гидроузла и зону Тахиаташского гидроузла.

Туямуюнский ирригационный район. Охватывает территорию

Хорезмской области УзССР и Ташаузской области ТуркмССР.

Основной отвод коллекторных вод с орошаемой территории ведется по межреспубликанским коллекторам Озерному и Дарьялыкскому, сток которых после их слияния (коллектор после слияния также называется Дарьялыкским) попадает с 1961 г. в Сарыкамышскую впадину. С 1961 по 1972 гг. во впадину поступило около $18,0 \text{ км}^3$ воды. В 1976—1977 гг. площадь зеркала озера составляла 1100 км^2 , объем — около $12,0 \text{ км}^3$. Вода Сарыкамышского озера соленая, минерализация от 5,0 до 12,0 г/л (Горелкин, Нурбаев, Видинеева, Кудышкин, 1986). Меньшая минерализация наблюдается со стороны впадения Дарьялыкского коллектора. Состав воды по преобладающим ионам хлоридный — натриевый.

Из других коллекторов данного ирригационного района следует выделить Шават-Андреевский, Диванкульский, Газават-Дауданский. Общая длина коллекторно-дренажной сети в пределах Хорезмской и Ташаузской областей превышает 13000 км.

За пределы ирригационного района по Дарьялыкскому коллектору в последние годы выносятся до $5,4 \text{ км}^3$ воды в год, средняя минерализация 4,9—3,4 г/л. В Амударью сбрасывается незначительное количество коллекторных вод (до $0,19 \text{ км}^3$ в год), основной отвод их, как уже было отмечено, производится в Сарыкамышскую впадину.

Внутригодовое распределение минерализации в устье Дарьялыкского коллектора приведено в табл. 4. По месяцам минерализация меняется незначительно: от 3,83 до 4,46 г/л. Наименьшая минерализация наблюдается в мае — 3,83 г/л, затем она постепенно увеличивается и достигает к ноябрю 4,46 г/л. С ноября до мая минерализация почти постоянная: 4,46—4,25 г/л. Среднегодовая величина минерализации равна 4,16 г/л. Между расходами и минерализацией воды существует обратная зависимость, т. е. и в данном районе наблюдается 1-й тип гидрохимического режима.

Тахиаташский ирригационный район. Отвод коллекторных вод с территории данного ирригационного района ведется обширной сетью, длина которой превышает 16000 км. Среди коллекторов района следует выделить КС-1, КС-3, КС-4, отводящие в сторону Аральского моря до $1,0 \text{ км}^3$ воды в год, и ККС (Кунградский), по которому коллекторная вода сбрасывается в оз. Судочье. Составляющими коллектора ККС являются Правая ветка и Главный Левобережный. Через ККС в оз. Судочье поступает до $0,3 \text{ км}^3$ воды в год.

Объем коллекторных вод в орошаемой зоне с 1970 по 1986 г. увеличился с 0,3 до $2,35 \text{ км}^3$, при этом их минерализация уменьшилась с 5,2—4,3 до 3,0—2,6 г/л. Это говорит о том, что на прилегающих к коллекторам территориях наблюдается рассоление орошаемых почв, несмотря на общую аридизацию низовьев Амударьи в связи с усыханием Аральского моря.

Современное внутригодовое распределение минерализации

коллекторных вод в районе приведено в табл. 4. В среднем за год минерализация воды равна 3,04 г/л, наибольшая минерализация наблюдается в январе (5,16 г/л), наименьшая — в июле (1,89 г/л).

Между водным и гидрохимическим режимами наблюдается обратная взаимосвязь, что характерно для выделенного ранее 1-го типа.

Каршинский ирригационный район. Район представлен сетью коллекторов, объединенных трассой Южного магистрального коллектора, воды которого собираются в Султандагском понижении и далее (с 1982 г.) попадают в Амударью выше г. Чарджоу.

Современное внутригодовое распределение минерализации в устье Южного коллектора приведено в табл. 4. В среднем за год минерализация воды равна 7,7 г/л, наибольшая ее величина отмечена в августе (8,5 г/л), наименьшая — в феврале (6,44 г/л).

В Южном коллекторе наблюдается 2-й тип гидрохимического режима: с ростом расхода воды её минерализация повышается. Это свидетельствует, что эксплуатационный режим его еще не стабилизировался, поэтому из-за высокой степени засоления грунтовых вод и орошаемых почв Каршинской степи минерализация воды в коллекторе может возрасти не только при малых расходах воды, но и при их увеличении.

Бухарский ирригационный район. Отвод коллекторных вод с орошаемых земель этого района начался в 1932 г. За 1956—1985 гг. общая протяженность коллекторно-дренажной сети увеличилась с 1368 до 7100 км, а объем коллекторных вод — с 0,16 до 1,47 км³.

Основная часть коллекторного стока отводится в естественные понижения и впадины, расположенные за пределами орошаемой зоны. Так, в Соленое озеро сбрасывают свои воды Западно-Рометанский, Маханкульский, Гурдюшский и Главный Каракульский коллекторы, во впадину Каракыр—Северо-Бухарский, в Агитминскую впадину — Агитминский коллектор, в оз. Денгизкуль — Денгизкульский коллектор. С 1981 г. часть коллекторного стока через Главный Бухарский (Парсанкульский) коллектор попадает в Амударью.

Сведения о современном внутригодовом распределении минерализации коллекторных вод в районе также приведены в табл. 4. В среднем за год минерализация равна 3,05 г/л, наибольшая её величина наблюдается в январе (5,51 г/л), наименьшая — в октябре (2,80 г/л).

Здесь встречаются оба выделенных типа гидрохимического режима коллекторных вод: 1) обратно пропорциональный водному режиму (коллекторы Бустонский, Накиб, Курак и др.), 2) прямо пропорциональный водному режиму (коллекторы ЦБК, Рахкет и др.). Формирование первого типа происходит под влиянием оросительных поливов, наиболее четко он проявляется в крупных коллекторах с расходом воды от 10—15 до 50 м³/с. Минерализация воды в них, как правило, не превышает 5,0 г/л. Второй тип форми-

руется обычно на сильнозасоленных участках под влиянием промывных поливов и проявляется в небольших коллекторах с расходами воды менее 5,0—3,0 м³/с. Минерализация воды в них может достигать 10—12 г/л и более.

Мургабский ирригационный район. Оазис административно охватывает Марыйскую область ТуркмССР. Отвод коллекторных вод осуществляется тремя системами коллекторов: 1) Кесе-Яб (он впадает в Главный Мургабский коллектор), 2) Джар, 3) Джарсай. Весь сток (1,20 км³ в год) отводится в пески и межбарханные понижения. Средняя минерализация равна 10,5—9,5 г/л, сведения о внутригодовом распределении минерализации воды в коллекторах не найдены.

Тедженский ирригационный район. Оазис административно охватывает Ашхабадскую область ТуркмССР. В последние годы здесь существует три системы коллекторной сети: 1) система коллектора Кара-Векиль, 2) Тедженского Центрального коллектора (ТЦК) и 3) Тедженского Юго-западного коллектора (ТЮЗК). Суммарная величина коллекторного стока, отводимого этими коллекторами, равна 0,44 км³ в год.

Внутригодовой режим минерализации коллекторных вод данного оазиса изучен слабо. В небольших коллекторах (ГВКС, ГКС-2, К-3 и др.) с увеличением расходов воды её минерализация несколько уменьшается, т. е. в данном оазисе наблюдается 1-й тип гидрохимического режима коллекторных вод.

Таким образом, анализ существующего материала по внутригодовому распределению минерализации коллекторных вод бассейна Амударьи показал, что в его пределах наблюдаются все три выделенных типа гидрохимического режима, но наибольшее распространение получил 1-й тип, когда с увеличением расходов воды в коллекторах её минерализация уменьшается.

Особенности гидрохимического режима коллекторных вод в бассейне Сырдарьи

Как и в бассейне Амударьи, изменения расходов и минерализации воды в коллекторах бассейна Сырдарьи изучены слабо. Основываясь на имеющихся данных, формирование расходов и минерализацию коллекторных вод мы рассматриваем в пределах наиболее крупных орошаемых массивов бассейна: 1) Ферганской долины, 2) Ташкентского оазиса, 3) Голодной степи, 4) нижнего течения в пределах Арысь-Туркестанского и Кызылординского оазисов. Первые три массива расположены в основном в пределах УзССР, низовья Сырдарьи — в КазССР.

Значительную часть Ферганской долины занимают Андижанская, Наманганская и Ферганская области УзССР. Поверхностный отток из долины производится только через русло Сырдарьи, так как со всех сторон долина окружена горными хребтами. Поэтому все коллекторные воды, формирующиеся в пределах орошаемой

Современное внутригодичное изменение минерализации коллекторных вод ирригационных районов
бассейна Сырдарьи

Коллектор	Год	Месяц												Средняя величина минерали- зации, г/л
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Ферганская долина														
Ачикульский	1985	2,3	1,99	2,62	2,93	2,55	2,52	2,79	2,81	3,24	3,03	3,20	2,90	2,74
Найнова	1985	1,81	1,71	1,13	1,18	1,43	1,20	1,56	1,68	1,67	1,53	1,62	1,50	1,50
Сары-Джуга	1984	2,05	1,61	2,42	2,09	1,78	1,61	2,37	2,07	2,39	2,22	1,81	2,05	2,03
Центральный	1985	1,30	1,52	1,30	1,55	0,96	0,97	1,55	0,68	1,33	1,53	1,53	1,08	1,23
Голодная степь														
ГПК-С	1983	1,94	2,15	2,78	2,58	1,88	1,30	2,34	2,50	2,10	2,47	2,75	2,68	2,29
Шурузьяк—устье	1983	2,12	2,89	3,55	2,64	2,08	1,70	1,78	3,26	2,45	2,00	2,90	3,24	2,55
ЦГК—устье	1983	4,18	4,92	9,39	6,76	4,33	4,84	4,67	4,78	6,36	5,62	5,62	5,88	5,51
ДГК в Зарбдарском районе	1984	6,75	6,19	6,90	6,94	6,87	6,83	6,23	6,30	6,90	6,92	6,98	6,67	6,61
Блы в Джизакском районе	1984	2,95	2,98	2,92	2,42	2,75	3,75	3,57	3,33	3,23	2,82	2,91	2,87	3,08
Ташкентский оазис														
ГВСК	1984	—	—	—	—	—	1,40	—	—	1,44	—	—	—	1,38
Уртукли	1984	—	—	—	—	—	2,11	—	—	1,91	—	—	—	1,98
Геджиген—Букинский район	1984	—	—	3,08	—	—	2,02	—	—	—	—	—	—	2,55

зоны названных областей, стекают в итоге в составляющие Сырдарьи и в её русло. С 1968 по 1985 гг. протяженность коллекторно-дренажной сети увеличилась с 15,5 до 24,7 тыс. км.

Наиболее крупные коллекторы Андижанской области — Сарыксу, Карагунон, Замбаркуль, Бабагазы, Джуга; в Наманганской области — Каракалпак, Хакулабад, Ходжитал Фрунзе; в Ферганской области — Ачикульский (раньше он назывался Северо-Багдадским), Сох-Исфаринский, Д-2 (МНС), ЖК-4.

В 1984—1986 гг. с территории Андижанской области в среднем отводилось $3,6 \text{ км}^3$ воды в год, в Наманганской области — $1,17 \text{ км}^3$, в Ферганской — $2,70 \text{ км}^3$. В целом с орошаемой зоны Ферганской долины коллекторами отводится до $7,47 \text{ км}^3$ воды в год.

Внутригодовое распределение минерализации воды (в г/л) в некоторых коллекторах Ферганской долины приведено в табл. 5. Как показал анализ, почти во всех коллекторах с ростом расхода воды минерализация, как правило, снижается. Таким образом, большинство коллекторов Ферганской долины имеют 1-й тип гидрохимического режима коллекторных вод (обратно пропорциональный водному режиму).

В Северо-Язъяванском коллекторе с ростом расхода воды ее минерализация также повышается, значит, этот коллектор имеет 2-й тип гидрохимического режима коллекторных вод.

Различие в типах гидрохимического режима коллекторов необходимо учитывать при использовании их стоков.

Рассчитанная путем «взвешивания по стоку» средняя величина минерализации коллекторных вод для всей Ферганской долины равна 2,20 г/л. Внутри года она меняется незначительно: от 1,90 (май) до 2,75 г/л (сентябрь). Это указывает, что оросительные воды оказывают слабое влияние на формирование минерализации коллекторных вод.

Ташкентский оазис. Охватывает бассейны Чирчика и Ахангарана и расположен по правобережью среднего течения Сырдарьи.

Мелиоративное состояние орошаемых земель благоприятное — почвы преимущественно не засолены, однако для предохранения их от засоления на полях проведена коллекторно-дренажная сеть. Основное строительство коллекторов проведено в 1950—1960 гг. В 1972 г. в оазисе насчитывалось 5760 км коллекторно-дренажной сети, а к 1986 г. её протяженность увеличилась до 7920 км.

В последние годы с орошаемой территории оазиса за год выносится до $1,2 \text{ км}^3$ воды со средней минерализацией 1,7 г/л. В начале 1950-х годов величина коллекторного стока была намного меньше: в 1950 г. — $0,08 \text{ км}^3$, в 1951 г. — $0,15$, в 1955 г. — $0,32$.

Среди наиболее крупных коллекторов оазиса (по расходу воды) необходимо выделить следующие: ГВСК, Улавливающий, Геджиген, Ачисай, Каракамыш. Во всех этих коллекторах величина среднегодового расхода воды превышает $1,0 \text{ м}^3/\text{с}$.

Внутригодовое изменение минерализации воды в некоторых коллекторах оазиса приведено в табл. 5. Анализ материалов

показал, что с ростом расхода воды ее минерализация несколько уменьшается. Таким образом, большинство коллекторов Ташкентского оазиса имеют 1-й тип гидрохимического режима коллекторных вод.

Голодная степь охватывает земли среднего течения Сырдарьи по левобережью. В административном отношении сюда входят Сырдарьинская и Джизакская области, границей между которыми на юге служит русло Южно-Голодностепского канала им. Саркисова. Территорию, на которой расположена Сырдарьинская область, называют обычно зоной старого орошения Голодной степи, Джизакскую степь — зоной нового орошения.

Общая длина коллекторно-дренажной сети в Сырдарьинской области к началу 1986 г. достигла 7920 км. Среди коллекторов можно выделить Центрально-Голодностепский (ЦГК), Главный Пойменный (ГПК), Шурузяк, Кызыл-Узбекистан. В 1983—1985 гг. с территории Сырдарьинской области в среднем в год отводилось $2,24 \text{ км}^3$ воды.

По результатам наших расчетов, средняя минерализация коллекторных вод старой зоны орошения Голодной степи, подсчитанная «взвешиванием» фактического материала по стоку трех коллекторов (ГПК, Шурузяк и Кызыл-Узбекистан), составляет в последние годы 2,5 г/л.

Минерализация воды в большинстве коллекторов этой зоны, несмотря на колебания расхода воды внутри года, меняется незначительно. Это свидетельствует, что коллекторы отводят воду с достаточно промытой территории, орошаемые земли которой в настоящее время являются преимущественно незасоленными и слабозасоленными.

Таким образом, режим солей в коллекторах старой зоны орошения Голодной степи можно отнести к 3-му типу гидрохимического режима коллекторных вод, который характеризуется малой изменчивостью минерализации внутри года, независимо от изменения расхода воды.

Джизакская область занимает в основном территорию, которая считается зоной нового орошения Голодной степи. В 1985 г. здесь орошалось 273,3 тыс. га. Общая протяженность коллекторно-дренажной сети орошаемой зоны данной области в 1986 г. составляла 7863 км. С орошаемой территории в год отводится в среднем $0,34 \text{ км}^3$ воды. Большая часть дренажных вод отводится р. Клы и коллекторами Токурсай, Акбулак, Пограничным, Кугайли, Джизакским Главным коллектором (ДГК).

Расчетная средняя минерализация коллекторных вод Джизакской области составила 7,9 г/л, т. е. она в 3,16 раз выше минерализации коллекторных вод старой зоны орошения Голодной степи. Этот факт свидетельствует, что территория Джизакской области более засолена, чем земли Сырдарьинской области. Отмеченное различие в величинах минерализации необходимо учитывать при районировании этих вод.

В данном оазисе наблюдается как 1-й (Клы, ДГК), так и 2-й (Акбулак, Тукурсай и др.) типы гидрохимического режима коллекторных вод.

По имеющимся данным нами были рассчитаны средние «взвешенные» по стоку величины минерализации коллекторных вод за каждый месяц в целом для всей Голодной степи (с учетом старой и новой зон орошения). При расчетах использовались данные по следующим коллекторам: Главному Пойменному, Шурузяку, Кызыл Узбекистану, К-1, Акбулаку, Клы, ЦГК и ЦК-9. Расчеты показали, что в среднем за год взвешенная по стоку минерализация коллекторных вод равна 5,31 г/л. Наименьшая минерализация воды наблюдается в январе (4,10 г/л), наибольшая — в марте (7,80 г/л).

Ниже рассмотренных ирригационных районов в бассейне Сырдарьи можно выделить два крупных оазиса: 1) Арысь-Туркестанский и 2) Кызылординский.

Первый охватывает орошаемые земли бассейна р. Арысь и других малых рек, расположенных в пределах Бугуньского, Кызылкумского и Туркестанского районов Чимкентской области по правобережью Сырдарьи. Эти районы обслуживаются Управлением эксплуатации Арысь-Туркестанского канала (АТК), Шаульдерским и Туркестанским управлениями оросительных систем. По сведениям этих управлений, коллекторная сеть на орошаемых землях не развита, нет ни одного крупного коллектора с постоянным стоком, достигающим Сырдарьи.

С орошаемой зоны Арысь-Туркестанского ирригационного района в год отводится 0,05 км³ воды. Общее направление стока — через русла Чаяновского, Бугуньского, Чушкакульского и Концевого сбросов и через понижения на местности к руслу Сырдарьи.

Средняя минерализация коллекторных вод в районе равна 6,03 г/л. Нами в мае 1987 г. были отобраны пробы воды в оросителях, дренах и коллекторах этого массива. Согласно полученным данным, минерализация в оросителях была равна 0,43—0,57 г/л, в среднем течении р. Карачик — 0,65 г/л, в небольших дренах 0,77—2,21 г/л, а в Чушкакульском коллекторе — 9,63 г/л (при отборе пробы вода в коллекторе не текла). Изменение минерализации воды в коллекторах по месяцам не изучено.

Кызылординский массив является наиболее крупным по течению Сырдарьи до самого Аральского моря. В административном отношении он входит в состав Кызылординской области КазССР и занимает территорию Теренозекского и Джалагашского районов. Существующая коллекторно-дренажная сеть представлена системами Южного и впадающего в него Северного магистрального коллектора. Конечный сток коллекторов направлен по руслу Кувандарьи в сторону Аральского моря, но до него не доходит. Всего здесь отводится до 0,20 км³ в год коллекторных вод, в основном в период вегетации.

Сведения о среднегодовой минерализации воды в коллекторах

данной области с учетом административного разделения территории приведены в табл. 6. Наблюдается повышение минерализации коллекторных вод в нижележащих районах области: от верхних к нижним она постепенно возрастает от 3,41 до 5,02—6,04 г/л. В среднем для всех коллекторов минерализация воды равна 4,2 г/л. Наименьшая минерализация воды наблюдается в коллекторе К-4 (1,78 г/л), наибольшая — в Западном Кармакчинском коллекторе (ЗКК) — 6,77 г/л. Данные об изменении минерализации воды по месяцам не найдены.

Таблица 6

Минерализация воды в коллекторах Кызылординской области в 1986 г.

№	Наименование коллектора и района	Минерализация, г/л	№	Наименование коллектора и района	Минерализация, г/л
1	К-2 (Яныкурганский)	4,58	23	СК-13Е (Джалагашский)	3,51
2	К-4 (Чинлийский)	1,78	24	СК-13Д "	4,68
3	К-5 "	3,93	25	СК-15 "	4,06
4	К-3 "	4,98	26	СК-15Г-ПК-0 "	4,18
5	К-1 "	2,97	27	ЮК-18 "	4,02
6	Коксуйский (Сырдарьинский)	3,96	28	ЮК-ПК-1296 "	5,35
7	Коксуйский — ПК-3 "	4,08	29	ЮК-16 "	4,64
8	Южный "	3,42	30	ЮК-22 "	5,25
9	ЮК-ПК-162 (Теренозекский)	3,87	31	ЮК-22-8 "	4,03
10	ЮК-12-ПК-171 "	3,52	32	ВКК (Кармакчинский)	5,31
11	ЮК-8 "	3,36	33	ЗКК "	6,77
12	ЮК-ПК-542 "	3,86	34	К-2-1 — пост 1 (Каза-линский)	4,78
13	ЮК-12-1 "	2,75	35	К-2-1 — пост 2 "	5,30
14	СК-11-В "	3,53	36	К-2-1 — пост 3 "	4,37
15	СК-ПК-213 "	3,69	37	К-2-1 — пост 4 "	4,77
16	СК-ПК-398 "	4,40	38	К-2-2 — пост 5 "	4,64
17	К-6 "	2,31	39	К-2-2 — пост 6 "	5,05
18	СК-ПК-317 (Джалагаш-ский)	3,78	40	К-2-2 — пост 7 "	5,48
19	СК-12-Б-3 "	3,62	41	К-2-2 — пост 8 "	5,76
20	СК-15Е "	3,56	В среднем:		4,2 г/л
21	СК-15Д "	3,83	Наименьшая—1,78 г/л в коллекто-ре К-4, наибольшая—6,77 г/л в За-падном Кармакчинском (ЗКК)		
22	СК-10Д "	4,15			

Согласно общему анализу имеющегося материала, при росте расходов воды в коллекторах, вызванном попаданием в них остатков оросительных вод, их минерализация несколько уменьшается. Таким образом, в низовьях Сырдарьи характер изменения минерализации воды в коллекторах близок к 1-му типу гидрохимического режима.

В заключение можно отметить, что и в пределах данного бассейна наблюдаются все три выделенных типа гидрохимического режима, но, как и в бассейне Амударьи, здесь наибольшее распространение получил первый тип, когда с увеличением расходов

воды в коллекторах ее минерализация уменьшается. Выявленные особенности в гидрохимическом режиме коллекторных вод следует учитывать при их использовании.

Заканчивая на этом описание современного состояния минерализации коллекторных вод в бассейне Аральского моря, можно отметить следующее:

а) в пределах наиболее крупных орошаемых массивов бассейна минерализация этих вод изменяется от 0,34 до 14,2 г/л, состав их — от сульфатно-гидрокарбонатного — натриево-магниево-кальциевого (СГ-НМК) до хлоридно-сульфатного — кальциево-натриевого (ХС-КН);

б) внутригодовые изменения минерализации в коллекторах целиком зависят от источников питания: при малых расходах воды, когда коллекторы дренируют только грунтовые воды, минерализация их наибольшая, и она существенно уменьшается, когда в период поливов в них попадает менее минерализованная часть оросительных вод. На гидрохимический режим коллекторов влияют также сбросы с орошаемых полей во время их промывок;

в) несмотря на различия в изменении сезонной минерализации, в отдельных коллекторах в Среднеазиатском регионе было выявлено 3 типа их гидрохимического режима: I тип — обратно пропорциональный водному режиму коллекторов; II тип — прямо пропорциональный водному режиму коллекторов; III тип — не зависящий от водного режима коллекторов.

Изучение гидрохимического режима коллекторных вод следует продолжить, при этом нужно участить отбор проб из коллекторов, особенно в период половодья.

Изменение минерализации речных вод в связи со сбросом коллекторного стока

Бассейн Амударьи. Чтобы выявить «очаги» роста минерализации воды Амударьи, мы провели соответствующие расчеты ее изменения по длине реки. В табл. 7 приведены средние величины фактической минерализации вод конкретных гидрологических створов, величина приращения между створами, доля приращения на различных участках в процентах от общего приращения. Проведенные расчеты позволили выявить следующее:

1) наибольшее увеличение минерализации воды Амударьи происходит на пути между створами Керки и Туямуюн за счет сбросов коллекторных вод с территории Туркменского прибрежно-го ирригационного района, с Каршинской степи и Бухарского оазиса. Среднегодовые расходы воды в наиболее крупных коллекторах, впадающих в Амударью, на данном участке равны (в м³/с): в Главном Левобережном — 40,2, Самотечном — 5,1, Дарганатинском — 1,00, Меканском — 1,56, Бурдалыкском — 2,42, Главном Халачском — 11,5, Ходжамбасском — 3,98, Южном — 21,5, Главном Бухарском — 28,7 м³/с, что в сумме составляет около 116 м³/с.

Ориентируясь на эти величины расходов воды и построив одно или несколько «стокохранилищ»* для ее накопления, можно значительно уменьшить сбросы, поступающие в Амударью на данном участке. Воду из «стокохранилищ» можно использовать для

Таблица 7

Выявление „очагов“ повышения минерализации речных вод в бассейне Аральского моря

Река	Створ	Ирригационный район	Средняя минерализация, г/л	Фактическое приращение, г/л	Доля приращения на участке, в % от общего приращения	Номер „очага“ по степени влияния
Бассейн Амударьи						
Вахш и Пяндж	Туткаул Шидз	Орошаемые массивы верховьев	0,40	0,25	20,5	III
Амударья	Керки	Туркменский прибрежный	0,65	0,47	38,5	I
"	Теснина Туямуюн	Туямуюнский	1,12	0,08	6,6	IV
"	Саманбай	Тахиаташский	1,20	0,42	34,4	II
"	Темирбай		1,62			
Бассейн Сырдарьи						
Нарын и Карадарья	Учкурган	Восточная часть Ферганской долины	0,32			
Сырдарья	Кампыррат	Западная часть Ферганской долины	1,10	0,78	49,4	I
"	Каль			0,15	9,5	III
"	Кызылкишлак		1,25	0,55	34,8	II
"	Кзылорда	Ташкентский и Голодностепский	1,80			
"	Казалинск	Кзылординский и Казалинский	1,90	0,10	6,3	IV

Примечание. В бассейне Амударьи общее приращение между верхним и нижним створом равно 1,22 г/л, в бассейне Сырдарьи—1,53 г/л.

промывок солончаков и сильнозасоленных почв, орошения солеустойчивых культур, а также в промышленных и бытовых целях или направить в Аральское море, построив для этого Транскызылкумский коллектор параллельно руслу Амударьи;

2) существенное повышение минерализации речной воды (на 0,42 г/л) происходит также на участке Саманбай—Темирбай.

* Название предложено автором, в отличие от обычных водохранилищ, где накапливаются пресные речные воды.

Однако причиной этого является общее обмеление реки в пределах КК АССР.

С целью сохранения воды Амударьи от дальнейшего засоления необходимо прекратить сбросы коллекторных вод в среднем течении реки, а также увеличить санитарные расходы воды в нижнем течении за счет более полного регулирования речного стока.

Бассейн Сырдарьи. Аналогичные расчеты были выполнены и для данного бассейна (табл. 7). Результаты показывают:

1) почти 50% от общего приращения минерализации воды Сырдарьи происходит в восточной части Ферганской долины. Среди наиболее крупных коллекторов, впадающих в Нарын, Карадарью и Сырдарью (до створа Каль), можно выделить по расходам воды (в м³/с): Бабагазы — 2,75, Замбаркуль — 5,22, Сарыджуга — 2,92, Карагунон — 1,49, Калгандарья — 1,11, Булакбаши — 0,85, Хакулабад — 2,57, Ходжитал Фрунзе — 2,49, Конда-Булак — 1,20, 40 лет Октября — 0,5, Главный Ловчий — 0,85, Старый Зарзоб — 1,00, Северный — 1,53, Центральный — 2,22, Восточный — 1,30, Новый Мамахан — 0,45, Карашахар — 0,72, Каракалпак — 2,04, Урус-Заур — 0,78, К-1 — 0,54 м³/с, что в сумме составляет около 33 м³/с. Ориентируясь на эти величины расходов воды и построив «стокохранилища», можно значительно уменьшить поступление коллекторных вод в Сырдарью за счет их использования в различных сферах народного хозяйства (см. гл. 4);

2) то же можно отнести и к коллекторам, впадающим в Сырдарью в пределах Ташкентского оазиса и Голодной степи, имеющим следующие среднегодовые величины расходов воды (в м³/с): Карасу-2 — 0,54, Сарысу-2 — 0,96, Песчаный — 0,78, Улавливающий — 1,56, Шурузяк — 14,5, ГПК — 3,57 м³/с.

Уменьшения сбросов этих вод можно достигнуть, используя их для промывок засоленных почв, для орошения солеустойчивых культур, в промышленных и бытовых целях, для сохранения отдельных водоемов и т. д. Выполнение этих условий позволит также достичь того, чтобы фактическая минерализация по всему течению реки не превышала 1,0 г/л.

Таким образом, применяя метод «рассредоточенного» использования коллекторных вод (см. гл. 4), можно значительно уменьшить объемы их сбросов в реки, и тем самым предохранить их от дальнейшего засоления.

Выявление стадийности в формировании минерализации и химического состава поверхностных вод в условиях орошения

В каждом речном бассейне под влиянием атмосферных осадков, общих климатических условий, засоленности почв, пород и грунтовых вод складывается определенная минерализация поверхностных вод, подверженная естественным сезонным и годовым колебаниям.

По мере развития орошения у нас в стране (Средняя Азия, Азербайджан, Украина) и в других странах (США, Египет, Пакистан и др.) стал формироваться новый вид поверхностных вод, которые мелиораторы выделяют как коллекторно-дренажные воды. В период, когда объем этих вод был незначителен, им не придавали должного значения, интерес к ним возник лишь в последние годы в связи с нарастанием дефицита речных вод.

Если гидрохимия и геохимия природных вод в естественных условиях изучена достаточно хорошо (Вернадский, 1933—1936; Алекин, 1948; Воронков, 1955; Валяшко, 1958; Глазовская, 1962, 1981; Перельман, 1961, 1982; и др.), то формирование минерализации и химического состава коллекторных вод практически не исследовано.

В настоящее время в различных организациях накопился фактический материал по минерализации и химическому составу этих вод, анализ которого позволит выявить закономерности в их гидрохимическом режиме.

Уже первые исследователи состава природных вод выделили гидрохимическую зональность, которая целиком была связана с общей географической зональностью. В. И. Вернадский (1933—1936) указывал, что ведущим фактором, определяющим состав речных вод, является географическая зона. Действительно, каждая географическая зона характеризуется своими климатическими особенностями, определяющими условия питания поверхностных вод, своеобразием почвообразовательных и геоморфологических процессов, а также живым веществом.

В трудах В. И. Вернадского (1933—1936), А. Е. Ферсмана (1934), Г. А. Максимовича (1955), А. И. Перельмана (1982) и др. показано, что в тундровой, лесной и тропической зонах воды характеризуются интенсивным выносом растворимых солей из поверхностной части земной коры. Наиболее растворимые соли (галит, гипс) здесь в основном вымыты, поэтому речные, озерные, почвенные и грунтовые воды здесь мало минерализованы и характеризуются кислой средой (pH меньше 7).

Степная и полупустынная географические зоны отличаются меньшим выносом солей. Минерализация природных вод здесь выше. Выщелачивается в основном галит. Воды этой зоны в основном нейтральные (pH около 7).

В пустынной зоне, как правило, происходит накопление солей. Для природных вод этой зоны характерны хлоридно-натриевые соленые воды. Воды этой зоны в основном щелочные (pH больше 7).

К настоящему времени хорошо изучены также закономерности миграции легкорастворимых солей внутри речных бассейнов в зависимости от геоморфологических и гидрогеологических условий (Ковда, 1946; Легостаев, 1959; Глазовский, 1987; и др.). Так, в высокогорных частях речных бассейнов (так называемая зона погружения поверхностных вод) минерализация природных вод обычно не превышает 0,25 г/л. Хорошие условия фильтрации по-

верхностной воды создают достаточную промываемость почв, поэтому почвы и грунты этой зоны не содержат легкорастворимых солей.

Ниже по рельефу местности располагается вторая гидрогеологическая зона — зона выклинивания грунтовых вод. Поверхность уровня грунтовых вод в этой зоне уже не свободна, а находится под некоторым напором, вследствие чего подземные воды часто выклиниваются на дневную поверхность и заболачивают понижения. По степени минерализации подземные воды здесь мало отли-

чаются от поверхностных — в среднем 0,3—0,4 г/л. Почвы зоны выклинивания, как правило, незасолены.

Третья гидрогеологическая зона территориально приурочена к нижним частям бассейнов рек, она называется зоной рассеивания грунтовых вод. Поступающие в эту зону из первых двух зон поверхностные и подземные воды расходуются в основном на испарение и транспирацию и как бы рассеиваются по всей площади зоны. Принесенные водой соли остаются на месте и постепенно накапливаются в грунтовой воде, грунтах и почве. В зоне рассеивания грунтовых вод их минерализация может изменяться от 1,0 до 130 г/л и более.

В наиболее крупных речных бассейнах встречается и четвертая — пойменная гидрогеологическая зона. Вследствие тесной взаимосвязи режима поверхностных и грунтовых вод почвы и воды этой зоны менее засолены по сравнению с зоной рассеивания.

Таким образом, распространение солей в речных бассейнах подчинено закономерности, при которой от гор к более низким отметкам местности содержание солей увеличивается; одновременно меняется их состав: воды и почвы горной части бассейнов богаты малорастворимыми гидрокарбонатными солями, а в низовьях бассейнов преобладают легкорастворимые сульфаты и хлориды. Такое распределение солей вытекает из миграционной способности и растворимости отдельных химических элементов (Полынов, 1933, 1953; Перельман, 1982). Среди химических элементов Б. Б. Полынов выделил энергичноносимые, легковыносимые, подвижные, инертные и практически неподвижные.

Оценивая интенсивность миграции химических элементов с помощью коэффициента водной миграции (K_x), А. И. Перельман (1982) составил ряды миграции химических элементов в зоне гипергенеза (табл. 8).

Таблица 8

Ряд миграции химических элементов (по А. И. Перельману, 1982)

Интенсивность миграции	Коэффициент водной миграции	Состав ряда
Очень сильная	$n \cdot 10 -$	S, Cl, B, Br, J
Сильная	$-n \cdot 100$	
	$n - n \cdot 10$	Ca, Na, Mg, F, Sr, Zn, Mo, Se, Au
Средняя	$0, n - n$	Si, K, Mn, P, Ba, Rb, Ni, Cu, Li, Co, Cs, As, Tl, Ra
Слабая и очень слабая	$0, 0n$ и менее	Al, Fe, Ti, Zr, Th и др.

Выше было отмечено, что в бассейне Аральского моря (Среднеазиатский регион) под влиянием деятельности человека изменился не только водный режим рек, но и гидрохимический. Согласно исследованиям А. И. Перельмана (1982) и Н. Ф. Глазовского (1987), реки многих стран мира в настоящее время испытывают значительную техногенную нагрузку в результате поступления в них бытовых и промышленных стоков.

В условиях Средней Азии среди антропогенных факторов, влияющих на речной сток, преобладает сброс коллекторных вод, поэтому можно сказать, что реки Средней Азии испытывают на себе «мелиоративное геохимическое давление» (аналогично «техногенному геохимическому давлению», выделенному Н. Ф. Глазовским), характеризующее количество элемента, выводимого из орошаемого массива в речную воду.

Степень мелиоративного геохимического давления мы предлагаем определять отношением содержания элемента в коллекторной воде к его содержанию в речной воде в верхних створах.

Коллекторные воды, образующиеся на орошаемой территории, по генезису являются в основном грунтовыми водами, которые под влиянием орошения также подвергаются изменениям.

Изменение минерализации и химического состава грунтовых вод под влиянием орошения достаточно хорошо изучено (Барон, 1967; Кац, 1967; Парфенова, 1971; Самойленко, Ходжибаев, 1976, 1979; Хасанов, Арипов, 1983; и др.). Исследователи рассматривают данный процесс как вынужденную конвекцию с развитием диффузии, растворения и выноса солей.

Хорошо изучены также гидрохимические процессы, происходящие внутри орошаемых массивов при поливах и промывках почв (Ковда, 1946, 1984; Морозов, 1956; Панков, 1974; Минашина, 1978; Глухова, 1977; Пакшина, 1980; и др.).

Обобщая результаты названных выше исследований, можно составить схему общего характера рассоления орошаемых территорий по гидрохимическим стадиям (табл. 9).

В изменении гидрохимического режима грунтовых вод на орошаемых территориях выделяются следующие стадии (по Панкову, 1962, и Парфеновой, 1971):

I стадия — формирование минерализации и химического состава грунтовых вод в первые годы орошения. Наблюдается подъем уровня грунтовых вод с некоторым увеличением их минерализации за счет высокой концентрации инфильтрующих растворов;

II стадия — некоторое снижение минерализации при дальнейшем подъеме уровня грунтовых вод за счет разбавления их пресными оросительными водами;

III стадия — при стабилизации режима уровня грунтовых вод в бездренажных условиях постепенное увеличение минерализации вод под влиянием испарения;

IV стадия — снижение минерализации грунтовых вод за счет

искусственного отвода стока (дренажа) за пределы орошаемой территории;

V стадия — относительная стабилизация режима минерализации и химического состава грунтовых вод.

Таблица 9

Общий характер рассоления орошаемых территорий по гидрохимическим стадиям

Стадия	Возможный состав преобладающих ионов	Минерализация грунтовых вод, г/л
Хлоридно-натриевая (иногда хлоридно-кальциевая)	1. Хлоридный-натриевый (X—H) 2. Сульфатно-хлоридный—натриевый (CX—H) 3. Гидрокарбонатно-сульфатно-хлоридный — натриевый (ГСХ—H) 4. Гидрокарбонатно-хлоридный — магниевое-кальциево-натриевый (ГХ—МКН)	Различная, чаще 15—20
Сульфатно-натриевая (иногда сульфатно-магниевая)	1. Хлоридно-сульфатный — натриевый (XC—H) 2. Сульфатный — натриевый (C—H) 3. Сульфатный — кальциево-натриевый (C—КН)	Различная, чаще 8—10
Сульфатно-кальциевая	1. Гидрокарбонатно-хлоридно-сульфатный — кальциевый (ГХС—К) 2. Сульфатный — кальциевый (C—К) 3. Гидрокарбонатно-сульфатный — натриево-кальциевый (ГС—НК)	Различная, чаще 5—6
Предсодовая	1. Сульфатно-гидрокарбонатный — кальциево-натриевый (СГ—КН) 2. Сульфатно-гидрокарбонатный — натриево-кальциевый (СГ—НК) 3. Гидрокарбонатный — натриево-магниевое-кальциевый с содой (Г—НМК) или гидрокарбонатный — кальциевый с содой (Г—К)	Чаще 1—3
Содовая	1. Гидрокарбонатный — натриевый (Г—H)	Чаще 1—0,5
Послесодовая	1. Гидрокарбонатный — натриево-магниевое-кальциевый или сульфатно-гидрокарбонатный — магниевое-натриево-кальциевый (Г—НМК или СГ—МКН) 2. Гидрокарбонатный — магниевое-кальциевый (Г—МК) 3. Гидрокарбонатный — кальциевый (Г—К)	Менее 1

Некоторые из этих стадий обнаружены нами в многолетнем изменении минерализации коллекторных вод.

В результате проведенных исследований нами было выявлено, что формирование минерализации и химического состава коллекторных и речных вод в условиях орошения происходит по выделенным в табл. 9 гидрохимическим стадиям. При этом в зависимости от начальных условий засоления орошаемых территорий, минерализации и химического состава их грунтовых вод на том или ином водотоке может наблюдаться различное количество отмеченных стадий.

Многолетние изменения гидрохимических характеристик речных вод бассейнов Амударьи и Сырдарьи по этапам развития орошения

Река	Створ	Этап орошения				
		начальный (1925—1950 гг.)	появление дренажа (1951—1960 гг.)	развитие дре- нажа (1961— —1970 гг.)	интенсивная мелиорация (1971—1980 гг.)	современ- ный (1981— —1986 гг.)
Б а с с е й н А м у д а р ь и						
Вахш	Туткаул (Чорсада)	0,41 ХГС-НК	0,42 ХГС-НК	0,43 ХГС-НК	0,44 ХГС-НК	0,45 ХГС- -НК
Пяндж	Шидз	Не наблюдалось		0,19 СГ-МК	0,20 СГ-МК	0,20 СГ- -МК
"	Нижний Пяндж	"		0,38 СХГ-НК	0,39 СХГ-НК	0,40 СГХ- -НК
Кафир- ниган	Чинар	0,15 Г-К	0,15 Г-К	0,16 Г-К	0,16 Г-К	0,17 Г-К
"	Тартки	0,20 СГ-МК	0,22 СГ-МК	0,28 СГ-МК	0,35 СГ-МК	0,36 СГ- -МК
Сурхан- дарья	Жданова	0,30 СГ-МК	0,32 СГ-МК	0,35 СГ-МК	0,38 СГ-МК	0,40 СГ- -МК
"	Мангузар	0,57 ГС-НК	0,60 ГС-НМК	0,88 ГС-НМК	1,08 ГС-НМК	1,20 ГС- -НМК
Шерабад	Дербент	Не наблюдалось		1,16 ХС-НК	1,21 ХС-НК	1,38 ХС- -КН
"	Устье р. Майдан	1,48 СХ-КН	1,52 СХ-КН	1,68 СХ-КН	1,85 СХ-КН	2,01 СХ- -КН
Аму- дарья	Керки	0,50 СХГ-НК	0,51 ХГС-НК	0,57 ГХС- -НМК	0,59 ГХС- -НМК	0,65 ГХС- -МКН
"	Теснина	0,51 ГХС-НК	0,52 ГСХ-НК	0,58 ГХС-КН	0,75 СХ-КН	1,12 СХ- -МКН
"	Туямуюн	0,51 ГХС-НК	0,52 ГХС-НК	0,64 ГХС- -МКН	0,75 СХ-МКН	1,20 СХ- -МКН
"	Саманбай (Чатлы)	0,51 ГХС-НК	0,52 ГХС-НК	0,64 ГХС- -МКН	0,75 СХ-МКН	1,20 СХ- -МКН
"	Темирбай	0,51 ГХС-НК	0,53 ГХС-НК	0,65 ГХС-КН	0,77 СХ-КН	1,62 СХ- -МКН
Кашка- дарья	Варганзи	0,26 Г-МК	0,27 Г-МК	0,28 Г-МК	0,30 СГ-МК	0,31 СГ- -МК
"	Карати- кон	0,38 СГ-К	0,49 СГ-НК	1,01 ГС-НМК	1,82 ХС-КМН	2,57 ХС- -МН
Зараф- шан	Дупули	0,22 СГ-МК	0,23 СГ-МК	0,24 СГ-МК	0,24 ГС-МК	0,24 СГ- -МК
"	Навои	Не наблю- далось	0,55 СГ-МК	0,73 ГС-КМ	0,88 СГ-КМ	1,22 С- -МКН
Мургаб	Тахта- -Базар	0,45 СГ-МНК	0,48 СГ-МНК	0,49 СГ-МНК	0,50 СГ-МНК	0,55 СГ- -МНК
Теджен	Пуль-и- -Хатум	Не наблю- далось	1,16 ХСГ-МН	1,20 СГХ-МН	1,25 СХ-МН	1,30 СХ- -МН
Б а с с е й н С ы р д а р ь и						
Нарын	Нарын	0,21 СГ-НК	0,22 СГ-НК	0,22 СГ-НК	0,23 СГ-НК	0,23 СГ- -НК
"	Учкурган	0,28 СГ-МК	0,29 СГ-МК	0,29 СГ-МК	0,30 СГ-МК	0,30 СГ- -НМК
Кара- дарья	Кампыр- рават	0,30 СГ-МК	0,31 СГ-МК	0,32 СГ-МК	0,35 СГ-МК	0,40 СГ- -МК

Река	Створ	Этап орошения				
		начальный (1925—1950 гг.)	появление дренажа (1951—1960 гг.)	развитие дре- нажа (1961— —1970 гг.)	интенсивная мелиорация (1971—1980 гг.)	современ- ный (1981— —1986 гг.)
Чирчик	Учтепе	0,48 СГ-МК	0,49 СГ-МК	0,50 СГ-МК	0,52 ГС-МК	0,53 ГС-МК
	Ходжи- кент	0,17 Г-НК	0,18 Г-НК	0,18 Г-НК	0,19 Г-НК	0,20 Г-НК
	Чиназ	0,34 СГ-МК	0,40 СГ-МК	0,44 СГ-НМК	0,65 ГС-НМК	0,72 ГС-НМК
Аханга- ран	Турк	0,12 СГ-НК	0,12 СГ-НК	0,13 СГ-НК	0,13 СГ-НК	0,14 СГ-НК
	Солдат- ское	0,32 СГ-НК	0,33 СГ-НК	0,44 СГ-НК	0,68 ГС-МНК	0,82 ГС-МНК
Келес	Устье	Не наблюдалось		0,63 ГС-МНК	1,80 С-КМН	1,85 С-КМН
Арысь	Арысь	0,48 Г-НК	0,50 СГ-НМК	0,61 СГ-МНК	0,70 ГС-МКН	0,72 ГС-МКН
Сыр- дарья	Каль	0,40 СГ-МК	0,45 ГС-НМК	0,62 ГС-НМК	1,04 С-МНК	1,10 С-МНК
	Каза- линск	0,49 СГ-МК	0,78 ГС-МНК	1,20 С-КМН	1,40 ХС-КМН	1,90 ХС-КМН

Примечание. Для каждого этапа: в первой колонке—минерализация воды, г/л; во второй—химический состав и стадии засоления.

При изучении изменения химического состава поверхностных вод следует обратить особое внимание на следующий факт: если при длительном орошении изменение минерализации и химического состава коллекторных вод идет по пути снижения минерализации и улучшения их состава (например, от хлоридно-натриевого до сульфатно-кальциевого), то метаморфизация состава речных вод будет проходить, наоборот, от сульфатно-кальциевого к хлоридному-натриевому с соответствующим ростом их минерализации. В определенный период, когда оба процесса стабилизируются, а вода в реках будет определяться только коллекторными водами, их состав и минерализация станут практически одинаковыми.

Для доказательства того, что формирование минерализации и химического состава поверхностных вод в условиях орошения происходит по отдельным гидрогеохимическим стадиям, мы провели анализ и расчеты многолетнего изменения минерализации и химического состава речных вод бассейна Аральского моря в наиболее изученных в гидрохимическом отношении створах, расположенных ниже крупных ирригационных районов (табл. 10).

Таким образом, в условиях орошения речные воды бассейна Аральского моря начинают засоляться по определенным гидрохимическим стадиям, которые закономерно сменяют друг друга, согласуясь с растворимостью и миграционной способностью отдельных химических элементов. При этом следует знать, что в некоторых речных бассейнах в метаморфизации вод в условиях

орошения могут наблюдаться не все отмеченные выше стадии засоления. Во многом это зависит от палеогеохимических и палеогеоморфологических условий формирования почв, пород и грунтовых вод речных бассейнов, поэтому этот фактор также необходимо учитывать при анализе формирования минерализации и химического состава вод в современных условиях.

Ниже будет показано, что формирование состава коллекторных вод (вернее, его изменение) также происходит по выделенным стадиям, но, как уже было отмечено, в данном случае они изменяются по этапам рассоления, а не засоления, как в случае речных вод.

Закономерная смена стадийности в изменении химического состава поверхностных вод в орошаемой зоне, по нашему мнению, должна наблюдаться и в других странах с аридным климатом. В этом случае приведенный здесь анализ может послужить аналогом для проведения подобных исследований за рубежом на примере других речных бассейнов.

Стадийность в изменении химического состава поверхностных вод в условиях орошения была использована нами при прогнозе их качества на перспективу.

ГЛАВА 3. МНОГОЛЕТНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ГИДРОХИМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД

Важность решения прогнозных задач по качеству речных вод возросла в связи с непрекращающимся ростом их минерализации, повышением степени их использования, нарастающим дефицитом оросительной воды во время вегетации (Чембарисов, 1973, 1983, 1985, 1986; Тарасов, Баранов и др., 1982; Войнич-Сяноженцкий, Хосровянц, 1983; Воропаев, Исмайылов, Феродов, 1984; Духовный и др., 1985; и др.).

Большое научное и практическое значение имеет прогноз минерализации и химического состава коллекторных вод, используя которые в народном хозяйстве, можно освободить определенный объем пресных вод для других сфер, где необходима вода более высокого качества.

В данной главе рассматриваются многолетние изменения минерализации и химического состава речных и коллекторных вод. В многолетнем изменении минерализации коллекторных вод выделены: а) начальный, б) центральный, в) стабильный период. Описаны существующие способы прогноза минерализации поверхностных вод (включая бассейновый ландшафтно-галогеохимический метод) и показаны их недостатки и достоинства. Приведены также расчетные данные по прогнозу минерализации в рассматриваемых реках и коллекторах, выполненные бассейновым методом. Обоснованием прогнозов послужило бассейново-историческое изучение многолетнего изменения гидрохимических характеристик поверхностных вод Средней Азии за прошедшие годы (1925—1986 гг.).

Многолетние изменения минерализации и химического состава в поверхностных водах

В предыдущих главах показано, что с 1960-х годов минерализация речных вод бассейна Аральского моря стала повышаться. Основная причина этого — поступление более минерализованных возвратных вод (поверхностным и подземным путем) с орошаемых полей в русла рек. Этот процесс в настоящее время не прекращается.

Для специалистов важно знать, как будет меняться в перспективе не только минерализация воды, но и ее химический состав. Известно, например, что если вода имеет малую минерализацию,

но в ее составе преобладают гидрокарбонатный ион и натрий, то такая вода губительна для растений, так как содержащаяся в ней сода является высокотоксичной.

Многолетние изменения химического состава речных вод были изучены путем составления графиков изменения содержания главных ионов в зависимости от минерализации за отдельные периоды лет, характеризующие определенные этапы развития мелиоративных работ в бассейнах рек. При этом 1925—1950 гг. характеризовались как начальный этап, 1951—1960 гг. — этап появления дренажа, 1961—1970 гг. — этап развития дренажа, 1971—1980 гг. — этап интенсивной мелиорации и 1981—1986 гг. — современный этап. Изменение минерализации и химического состава воды в реках бассейна Аральского моря по этим этапам было приведено в табл. 10.

Минерализация воды в коллекторах орошаемой зоны республик Средней Азии изучается в основном сотрудниками районных Управлений мелиоративных систем. Эти работы были начаты намного позже гидрохимических наблюдений на реках (примерно с 1970 г.), и поэтому материал по минерализации коллекторно-дренажных вод пока еще незначителен.

Ясная картина многолетнего уменьшения минерализации наблюдается на хорошо изученных коллекторах. Так, за 15-27 лет наблюдений (1960—1986 гг.) минерализация воды в Главном Левобережном коллекторе (Чарджоуский оазис) снизилась с 13,0—12,0 до 4,0—3,5 г/л, в Озерном (Хорезмский оазис) — с 10—9,0 до 4,5—4,0 и в более минерализованном Южном коллекторе (Каршинская степь) — с 16—15 до 9,0—8,0.

Различные периоды в многолетнем изменении минерализации в коллекторах впервые выделены Н. М. Решеткиной и С. Я. Соيفер (1976).

По нашему мнению, в работе любого коллектора можно выделить 3 периода:

1) **начальный период**, при котором в бассейне производят усиленные промывки для ликвидации первичного засоления почв, пород и грунтовых вод. Как показал анализ собранного материала, этот период в среднем длится 5—6 лет, при этом в коллекторе наблюдаются наиболее высокие величины минерализации (12—16 г/л и выше);

2) **центральный период**, когда основные запасы первичных солей обычно выносятся за пределы бассейна коллектора (в понижения, озера, реки и т. д.). Минерализация воды в этом периоде понижается до 11—6 г/л в зависимости от первичного засоления почв и пород в бассейне и минерализации грунтовых вод. Нами установлено, что в среднем минерализация воды к этому периоду по сравнению с первоначальной величиной понижается в 0,6—0,8 раза;

3) **стабильный период**, в котором производятся только профилактические сезонные промывки для борьбы со вторичным засоле-

нием. Солевой режим почв и грунтовых вод стабилизируется на определенных величинах (если отсутствует ввод новых площадей к данному коллектору), а значит стабилизируется и минерализация коллекторных вод. Как показывают данные, эта установившаяся величина минерализации коллекторно-дренажных вод на землях слабого и среднего засоления равна 3,5—2,5 г/л. По сравнению со вторым периодом минерализация коллекторных вод уменьшается в этом периоде в 0,5—0,7 раза.

Уменьшение минерализации коллекторных вод по периодам работы коллекторов было учтено нами при прогнозах минерализации на перспективу.

Об изменении химического состава коллекторных вод с понижением их минерализации судили по графикам зависимости содержания главных ионов от минерализации, которые были составлены точно таким же способом, как и для речных вод.

Методы прогноза минерализации поверхностных вод

В настоящее время существует несколько прогнозов минерализации и химического состава речных вод бассейна Аральского моря, составленных различными авторами: А. П. Орловой (1973), К. А. Ракитиным и Л. Н. Побережским (1978), Ф. Э. Рубиновой (1979; 1985), а также в результате собственных расчетов (Чембарисов, 1973, 1981, 1983).

Прогнозы минерализации речных вод, выполняемые САНИИРИ, основаны на балансовом методе. Он базируется на учете расходов воды, а также минерализации речных и возвратных вод в определенном створе реки. Примером расчетов, выполненных по балансовому методу, является прогноз минерализации, составленный для отдельных створов Сырдарьи (Орлова, 1973) (табл. 11).

К. А. Ракитин, Л. Н. Побережский (1978) составили прогноз минерализации речных вод Среднеазиатского региона методом многофакторной регрессии на ЭВМ. При этом решалась основная задача: установление параметров количественной зависимости заданной переменной (в данном случае минерализации) от совокупности определяющих ее факторов. Результаты расчетов, произведенных по методу многофакторной регрессии, также приведены в табл. 11.

При сравнении результатов данного прогноза с расчетами САНИИРИ видно, что наиболее близкие ожидаемые величины минерализации получены для устьевых створов рек, а для створов верхнего и среднего течения рек Сырдарьи и Амударьи эти величины различаются. Объясняется это, по-видимому, тем, что авторы расчетов, произведенных по методу множественной регрессии, учитывали влияние перспективной площади орошения выше каждого створа, чего не сделали специалисты САНИИРИ.

Данный метод, несмотря на его реализацию с помощью ЭВМ, имеет недостатки: 1) при использовании метода не всегда оправдывается гипотеза о сохранении в период экстраполяции характера связи предиктанта и предикторов; 2) период экстраполяции заблаговременности прогноза ограничивается по крайней мере продолжительностью исходной выборки или тем промежутком времени, в течение которого средние значения предиктанта и пре-

Т а б л и ц а 11

Результаты прогнозов минерализации речных вод в бассейнах Амударьи и Сырдарьи на отдаленную перспективу, выполненных различными методами без учета водоохранных мероприятий

Метод расчета	Автор	Прогнозная величина минерализации, г/л					
		Бассейн Амударьи			Бассейн Сырдарьи		
		вер-ховья	среднее течение	низовья	вер-ховья	среднее течение	низовья
Балансовый	А. П. Орлова (1973)	0,54	2,60	3,60	0,58	1,58	3,5
Метод многофакторной регрессии	К. А. Ракитин, Л. Н. Побережский (1978)	1,36	2,15	3,39	0,82	2,17	3,6
Регрессионный анализ	Ф. Э. Рубинова (1979)	—	—	—	0,64	1,65	3,2
Бассейновый	(Э. И. Чембарисов (1973), И. Н. Степанов, Э. И. Чембарисов (1978)	0,65	1,50	2,53	0,70	1,90	3,5

дикторов, а также их среднеквадратичные отклонения не слишком изменятся; 3) при экстраполяции предиктанта необходима поправка на возможные технические мероприятия в бассейне реки, предусмотренные перспективными планами и могущие существенно изменить интенсивность приращения минерализации; 4) совокупность выбранных предикторов не является исчерпывающей.

Автором методов прогноза минерализации поверхностных вод, применяемых в САНИИ Госкомгидромета, является Ф. Э. Рубинова (1979, 1985). Ф. Э. Рубинова (1979) считает, что прогноз изменения минерализации и химического состава речных вод в орошаемой зоне следует строить на прогнозе гидрохимического режима естественных и возвратных вод и их соотношениях. Автор прогнозирует минерализацию речных вод (M_p) по зависимости ее от доли возвратного стока в реке ($\alpha_{\text{воз}}$):

$$M_p = f(\alpha_{\text{воз}}).$$

При этом $\alpha_{\text{воз}}$ определяется из следующего соотношения:

$$\alpha_{\text{воз}} = \frac{y_{\text{воз}}}{y}, \quad (1)$$

где $Y_{\text{воз}}$ — сток возвратных вод в исследуемом створе реки,
 Y_0 — суммарный сток реки в том же створе.

Доля возвратного стока в перспективе определяется по ее связи с другим показателем — степенью изъятия стока $\beta_{\text{из}}$, равного отношению суммарного водозабора выше исследуемого поста ($Y_{\text{вод}}$) к суммарному притоку из области формирования:

$$\beta_{\text{из}} = \frac{Y_{\text{вод}}}{Y_{\text{п}}}. \quad (2)$$

Положительной стороной данного способа является большая точность полученных связей $M_p = f(\alpha_{\text{воз}})$ и $\alpha_{\text{воз}} = f(\beta_{\text{из}})$ за прошедшие годы. Однако ввиду отсутствия исходных данных по минерализации возвратных и коллекторных вод Ф. Э. Рубинова также не смогла использовать эти показатели в своих расчетах.

Результаты расчетов перспективной минерализации, полученные для Сырдарьи по составленным уравнениям регрессии минерализации от определяющих факторов, также приведены в табл. 11. Видно, что эти величины близки к результатам расчетов, полученных А. П. Орловой по балансовому методу. Этого и следовало ожидать, так как в основе обоих методов лежит учет определенных элементов водно-солевого баланса речных русел.

Из описания существующих методов прогноза минерализации речных вод видно, что в настоящее время нет единой общепринятой методики расчета будущей минерализации воды в реках. В большинстве применяемых методов учитывается только перспективный водный баланс в руслах рек, а величины минерализации составляющих этого баланса определяются предположительно (например, минерализация возвратных вод). Такие существенные факторы формирования минерализации речных вод в условиях орошения, как минерализация коллекторно-дренажных и грунтовых вод, а также степень и тип засоления орошаемых почв, в расчетах не учитываются. Между тем, именно эти факторы в значительной мере формируют минерализацию возвратных вод и тем самым могут существенно повлиять на изменение минерализации речных вод в орошаемой зоне в перспективе.

В Ташкентском Государственном университете им. В. И. Ленина (Чембарисов, 1973, 1975) совместно с Институтом почвоведения и фотосинтеза (ИПФ) АН СССР (Степанов, Чембарисов, 1978) дополнительно к существующим способам был разработан еще один метод прогноза минерализации речных вод, названный ландшафтно-галогеохимическим (бассейновым) методом. Позже он был применен и для прогноза минерализации коллекторных вод (Чембарисов, 1983).

Основные теоретические положения данного метода заключаются в следующем:

1) изменения гидрохимического режима рек необходимо рассматривать с учетом степени и типа засоления орошаемых почв в бассейне реки или в пределах отдельного ирригационного райо-

на. При этом одновременно (и также интегрально) учитывается и минерализация грунтовых вод орошаемой зоны, содержание солей в которых отражается на поверхности земли (почв) через степень засоления почв;

2) для анализа формирования минерализации речных вод в рассматриваемых бассейнах из множества гидрологических постов выделяются начальные и замыкающие створы с наличием гидрохимических данных и расположенных выше и ниже орошаемых площадей в бассейне (прогноз минерализации может быть дан и на условно замыкающий створ);

3) большое значение придается исследованию почвенно-мелиоративных условий как в целом по речному бассейну, так и в отдельных его частях. При этом изучаются засоленные почвы на массиве, современные размеры и многолетние изменения площадей, тип засоления и условия отточности солей с орошаемых полей (естественный и искусственный дренаж). Изучаются и другие ирригационно-мелиоративные характеристики: а) изменение модулей коллекторного стока, б) состояние и динамика грунтовых вод, в) объем водозаборов на орошение и промывки, г) динамика орошаемых площадей под различными культурами и др. Особо изучается вопрос изменения минерализации речных вод в связи со строительством водохранилищ и режимом их работы;

4) по мере накопления необходимого материала взаимосвязь геохимического состояния орошаемой территории с минерализацией речных вод рассматривается несколькими способами, дополняющими друг друга: а) путем анализа водно-солевых балансов, составленных за разные годы, б) путем построения графиков связи между различными характеристиками орошения (величина орошаемой площади с учетом засоления, водозабор, модуль коллекторного стока и др.) и минерализацией речных вод в устьевых створах, в) путем определения величин критериев почвенно-мелиоративного подобия и др.;

5) для расчета перспективной интегральной среднегодовой величины минерализации в замыкающих створах рек применяется следующая рабочая формула:

$$M_{ор} = M_{нач} + a F_{эф}, \quad (3)$$

где $M_{ор}$ и $M_{нач}$ — минерализация речной воды ниже и выше орошаемой площади в бассейне или ирригационном районе,

$F_{эф}$ — эффективная, т. е. дренируемая рекой часть орошаемой площади (в условиях Средней Азии это, в первую очередь, площади, занятые хлопчатником, рисовниками и т. д.,

a — коэффициент, учитывающий в интегральной форме солсодачу в различной степени засоленных орошаемых почв (с присущими им грунтовыми водами), модуль коллекторного стока и расходы воды в реке.

Эта формула была одобрена проектировщиками, а сам метод расчета, основанный на взаимосвязи минерализации речной воды

с величиной орошаемой площади различного засоления при одновременном учете минерализации грунтовых вод (формирование минерализации речных вод в орошаемой зоне рассматривается площадным способом за пределами русла) под названием ландшафтно-галогеохимического (бассейнового) вошел в практику. Результаты этих расчетов также представлены в табл. 11. Полученные расчетные величины мало отличаются от прогнозов, выполненных другими методами, особенно для р. Сырдарьи, где влияние орошаемых площадей проявляется сильнее.

Таким образом, ландшафтно-галогеохимический метод, как и другие способы расчетов будущей минерализации, можно использовать для прогнозов и в других реках бассейна Аральского моря. Более подробное изложение и обоснование возможности использования ландшафтно-галогеохимического метода для прогноза минерализации речных вод дано в работах Э. И. Чембарисова (1973), И. Н. Степанова, Э. И. Чембарисова (1978).

В данной работе автор не ставил цели изменить рабочую формулу ландшафтно-галогеохимического метода прогноза. В настоящей главе уделено внимание анализу уже известных методов прогноза и новых предложенных способов (Ходжибаев, Самойленко, 1978; Степанов, 1979; Ходжибаев, Шерфединов, 1982; Трунова, 1982; Войнич-Сяноженцкий, Хосровянц, 1983), а также рассчитаны собственным методом ожидаемые изменения минерализации воды по всей длине Амударьи и Сырдарьи на уровне полного исчерпания их водных ресурсов.

Н. Н. Ходжибаев и В. Г. Самойленко (1976, 1978) в своей 2-томной работе «Гидрогеологомелиоративные прогнозы» описали наиболее употребительные методы расчетов (натурного подобия, вариационно-статистический, балансовый, аналитический) для прогноза многих мелиоративных и гидрогеологических характеристик орошаемых массивов.

И. Н. Степанов (1979) обосновал возможность применения теории натурного подобия при изучении и прогнозировании химического режима коллекторно-дренажных вод на примере отдельных коллекторов низовьев Амударьи.

Н. Н. Ходжибаев, Л. З. Шерфединов (1982), изучая вопросы гидрогеологического прогнозирования в аридных областях, приводят новую логико-математическую модель гидрогеологического процесса орошаемых массивов и на ее основе оценивают изменение гидрохимической обстановки в ряде районов аридной зоны.

Т. К. Войнич-Сяноженцкий, И. Л. Хосровянц (1983) используют несколько математических формул, учитывающих изменение минерализации по длине водотоков за счет боковой приточности, испарения с водной поверхности, за счет диффузионного выщелачивания солей из ложа каналов и др.

Анализируя эти работы, можно отметить, что сейчас в гидрологических расчетах при прогнозе минерализации речных вод на смену балансовому методу приходят новые методы расчетов, ос-

нованные на теории натурального подобия, вариационной статистике, на создании логико-математических моделей и др. Пока эти методы широко не используются, так как для их применения необходим значительный объем «Банка данных», но со временем, по мере накопления необходимого материала, составления рабочих программ и решения их на ЭВМ, эти методы, несомненно, будут применяться более широко.

Следует отметить, что в основе прогнозов, приведенных в работах В. Г. Самойленко, Л. З. Шерфетдинова, Т. К. Войнич-Сяноженцкого, лежит также «площадной» подход, т. е. дренируемый водоток (река, канал или коллектор) рассматривается не изолировано, а в совокупности с окружающей территорией. Это говорит о правильности теоретической основы ландшафтно-галогеохимического метода прогноза минерализации речных вод.

Способы прогноза минерализации коллекторных вод. Одними из первых формулу для прогноза минерализации воды в горизонтальных дренах предложили Н. М. Решеткина, С. Я. Сойфер (1976):

$$C = C_0 \cdot e^{-\lambda t} \quad \text{при } 0 \leq t \leq t_0, \quad (4)$$

где C — минерализация дренажных вод в момент времени t , г/л;

C_0 — начальная минерализация, г/л;

t — время, годы;

t_0 — продолжительность этапа нестационарной миграции солей;

λ — коэффициент, зависящий от параметров среды и дренажа (коэффициент фильтрации покровного слоя, мощность покровного слоя, глубина заложения дрен, междреннее расстояние);

e — основание натурального логарифма.

Очень ценным является тот факт, что авторы выявили 3 этапа в многолетнем изменении минерализации коллекторных вод: 1) нестационарный, 2) квазистационарный, 3) стационарный. Однако для расчетов по предложенной формуле необходимо знать многие почвенно-мелиоративные параметры для каждого конкретного коллектора, величины которых не всегда легко определить. Это затрудняет применение формулы на практике.

Т. А. Трунова (1983) предлагает определять минерализацию коллекторно-дренажных вод по балансовым расчетам, проведенным дифференцированно для различных гидрогеолого-мелиоративных областей орошаемых массивов: «а» — области обеспеченного оттока грунтовых вод в условиях глубокого их залегания, «б» — области подпора и выклинивания грунтовых вод в условиях интенсивного водообмена, «в» — области затрудненного общего притока и оттока грунтовых вод. Оценивая различными способами элементы водно-солевого баланса орошаемых массивов, автор в итоге прогнозирует ожидаемые объемы и минерализацию коллекторно-дренажных вод в орошаемых массивах бассейна Амударьи. Этот способ не лишен некоторых допущений, и для его применения

необходимо выполнить значительный объем камеральных работ.

В данной работе прогноз минерализации коллекторных вод в ирригационных районах бассейна Аральского моря также выполнен ландшафтно-галогеохимическим (бассейновым) методом. Рабочая формула для расчетов разработана автором и уже использована в проектных организациях (Чембарисов, 1983). Она имеет следующий вид:

$$M_{\text{кол}} = a \cdot k \cdot M_{\text{гр}}, \quad (5)$$

где $M_{\text{кол}}$ — минерализация воды в устье дрены или коллектора, г/л;

$M_{\text{гр}}$ — средневзвешенная по площади минерализация грунтовых вод в «бассейне» коллектора, г/л;

a — коэффициент солеотдачи; является интегральным коэффициентом, зависящим, в первую очередь, от минерализации грунтовых вод, степени и типа засоления почв, водоподачи на орошение и промывки, модуля коллекторного стока. Изменяется во времени (в многолетии), но постоянен для определенного периода (этапа) работы коллектора;

k — коэффициент, учитывающий время работы коллектора.

При отсутствии необходимых данных для определения средневзвешенной минерализации грунтовых вод для орошаемого массива расчеты ожидаемой величины минерализации коллекторных вод можно производить по следующей формуле:

$$M_{\text{кол}} = a \cdot k \cdot F_{\text{ор}} \quad (6)$$

Здесь обозначения $M_{\text{кол}}$, « a », « k » те же, что и в формуле (5). $F_{\text{ор}}$ — орошаемая площадь в «бассейне» коллектора или дрены, в га. Она понимается объемно с учетом содержания солей не только в верхнем слое почв, но и в грунтовых водах.

Формула (6) похожа на предложенную нами ранее рабочую формулу для расчета минерализации речных вод (см. формулу 3), но в данном случае не введен элемент $M_{\text{нач}}$, так как минерализация коллекторной воды полностью формируется в пределах своего бассейна.

В настоящей работе расчеты ожидаемой минерализации коллекторных вод в ирригационных районах выполнены по формуле (6), так как собрать необходимый материал для расчетов по формуле (5) не удалось.

При расчетах вначале устанавливали период работы того или иного коллектора, затем определяли величину коэффициента солеотдачи « a » для определенного периода, зная величины орошаемых площадей в перспективе и с учетом ввода соответствующей величины коэффициента « k », определяли ожидаемую минерализацию коллекторных вод. Об изменении химического состава вод в перспективе судили по современным графикам зависимости содержания главных ионов от величины минерализации.

Ожидаемые изменения минерализации и химического состава поверхностных вод в бассейне Амударьи

Изменения минерализации воды в реках. Мы рассчитывали ожидаемую минерализацию речных вод бассейна Амударьи на различных ее участках с учетом влияния на нее почвенно-мелиоративных условий наиболее крупных орошаемых массивов. Расчеты произведены на уровень полного исчерпания водных ресурсов бассейна Амударьи при существующем бороздковом способе поливов.

В пределах громадного бассейна Амударьи выделены 5 расчетных водохозяйственных районов, расположенных последовательно по течению реки от области формирования стока до области его рассеивания.

При выделении районов основное внимание уделялось наличию крупных орошаемых массивов, их мелиоративному состоянию, расчету земель, охваченных коллекторно-дренажной сетью, с которых производится сброс возвратных вод в русло Амударьи или ее составляющих и др. При наличии в водохозяйственном районе нескольких речных бассейнов он подразделялся на несколько подрайонов.

Первый расчетный водохозяйственный район — Верховья бассейна Амударьи, в нем выделены 2 подрайона:

I — А. Орошаемая долина р. Вахш известна как массив давнего орошения, на котором из-за интенсивного подъема уровня грунтовых вод прогрессировало засоление земель. Для борьбы с этим явлением в 1930 г. здесь была построена коллекторно-дренажная сеть, по которой минерализованные коллекторные воды стали отводиться в р. Вахш, благодаря чему к 1960—1965 гг. долина была полностью рассолена. В настоящее время в орошаемом фонде преобладают незасоленные почвы.

В 1980 г. здесь орошалось 169,3 тыс. га, в перспективе орошаемая площадь должна увеличиться до 202 тыс. га.

О начальной минерализации ($M_{нач}$) речной воды судили по створу Туткаул. Рассчитанная по многолетним данным средняя величина $M_{нач}$ для Вахша равна 0,45 г/л. Средняя величина минерализации, рассчитанная у вышележащих створов на составляющих Вахша (р. Кызылсу — Домбрачи, р. Муксу — Давсеар), равна 0,43 г/л. Это подтверждает правильность выбора створа Туткаул в качестве начального.

Среднегодовой расход воды у начального створа изменяется от 515 до 778 м³/с, среднемноголетний составляет 644 м³/с.

Согласно анализу для данного массива (с учетом степени засоления земель, дренируемых рекой, и модуля коллекторного стока) величина интегрального ландшафтного-геохимического показателя в среднем равна 0,00064.

Расчеты показали, что в перспективе минерализация воды в устье р. Вахш несколько увеличится и достигнет 0,51 г/л.

Химический состав воды в реке существенно не изменится: большую часть года вода будет гидрокарбонатно-хлоридно-сульфатной — натриево-кальциевой.

Эксплуатация Нурекского водохранилища, полный объем которого 10,5 км³, а полезный — 4,5 км³, ввиду того, что его ложе сложено скальными породами, не скажется на повышении минерализации воды в реке.

I — Б. Второй подрайон представлен орошаемыми массивами, расположенными в бассейне р. Пяндж. В 1980 г. здесь было орошено 100,1 тыс. га земель, в основном незасоленных и слабозасоленных.

В качестве начального выбран створ Шидз, замыкающего — створ Нижний Пяндж. Начальная минерализация, рассчитанная как средняя из среднегодовых значений, равна 0,20 г/л.

Средняя величина показателя «а», определенная по рабочей формуле ландшафтно-галогеохимического метода, составляет 0,0030.

В настоящее время в устье р. Пяндж средняя минерализация достигла 0,40 г/л, в перспективе при освоении 116 тыс. га орошаемой площади она увеличится до 0,43 г/л.

Химический состав воды в реке существенно не изменится: большую часть года вода будет сульфатно-гидрокарбонатно-хлоридной — кальциево-натриевой.

Второй водохозяйственный район разбит на 3 подрайона, охватывающие меньшие по размерам речные бассейны.

II — А. Первый подрайон — бассейн р. Кафирниган. Здесь большая часть орошаемых земель обеспечена подземным оттоком. Территория хорошо дренирована. Мелиоративное состояние земель благоприятное, лишь на отдельных участках с неглубоким залеганием грунтовых вод орошение ухудшает состояние почвогрунтов и необходим дренаж. В орошаемой зоне преобладают незасоленные почвы.

В 1980 г. здесь было орошено 95,2 тыс. га, в перспективе намечено оросить 130 тыс. га.

При расчетах минерализации речной воды на перспективу средняя величина $M_{нач}$ принята равной 0,17 г/л (по створу Чинар).

Средняя величина показателя «а» для геохимических условий данного бассейна 0,0032.

В перспективе при орошении новых земель минерализация воды в устье р. Кафирниган повысится до 0,43 г/л, в настоящее время она составляет в среднем 0,36 г/л.

Химический состав воды существенно не изменится: большую часть года она будет сульфатно-гидрокарбонатной — натриево-магниевно-кальциевой.

II — Б. Бассейн р. Сурхандарья. Река Сурхандарья почти на всем протяжении является естественной дренажной для поверхностного и подземного стоков. Солевой баланс долины отрицатель-

ный, т. е. преобладают процессы **выщелачивания**, несмотря на то, что в верхних слоях почвы на нижних террасах местами наблюдается накопление солей, особенно в дельтовой части.

В среднем $M_{нач}$, определенная для р. Сурхандарьи по гидрологическим створам, расположенным на ее составляющих (р. Каратаг-Каратаг, р. Тупаланг — устье р. Дашнабад), равна 0,21 г/л.

Средняя величина показателя «а» для геохимических условий данного бассейна оказалась равной 0,0072.

Расчеты показали, что при орошении **новых земель** (до 300 тыс. га, против 200 тыс. га в 1980 г.) минерализация воды в устье р. Сурхандарьи увеличится до 1,55 г/л. В 1980 г. средняя величина минерализации составляла 1,07 г/л.

В перспективе химический состав воды большую часть года будет гидрокарбонатно-сульфатным — магниевом-натриево-кальциевым.

II — В. Бассейн р. Шерабад естественно засолен. По результатам исследований почвоведов Узбекистана, примерно половина новоосваиваемых земель представлена средnezасоленными почвами, другая половина — сильнозасоленными. Мелиоративная обстановка в орошаемой зоне неблагоприятная. Освоение земель возможно только при проведении комплекса мелиоративных мероприятий (строительство дрен и коллекторов, промывки и др.).

В 1980 г. здесь было орошено 81,5 тыс. га, в перспективе орошаемая площадь увеличится до 120 тыс. га.

Ввиду естественного засоления почв и пород минерализация речной воды у начального створа Дербент повышена, в среднем 1,38 г/л.

Для геохимических условий данного бассейна средняя величина показателя «а» 0,0105.

Согласно произведенным расчетам, при орошении **новых земель** минерализация воды в устье р. Шерабад в перспективе повысится до 2,4 г/л, в настоящее время она составляет в среднем 2,0 г/л.

В перспективе химический состав воды большую часть года будет сульфатно-хлоридным — кальциевом-натриевым.

Третий водохозяйственный район — Чарджоуский оазис. Рассматриваемый массив естественно не дренирован. Мелиоративное состояние земель при орошении ухудшается, поэтому необходимо строительство коллекторно-дренажной сети.

В 1980 г. в пределах данного района было орошено 180,3 тыс. га, в перспективе орошаемая площадь достигнет 240 тыс. га.

За начальный створ принят створ Керки, $M_{нач}$ за многолетний период равна 0,60 г/л.

В 1980 г. в пределах данного района было орошено 180,3 тыс. га, в перспективе орошаемую площадь намечено увеличить до 240 тыс. га.

Для геохимических условий данного массива средняя величина показателя «а» 0,00034.

При орошении новых земель минерализация воды в р. Амударье ниже Чарджоуского оазиса возрастет до 0,70 г/л.

Химический состав воды в перспективе будет большую часть года гидрокарбонатно-хлоридно-сульфатным — натриево-магниевым-кальциевым.

Четвертый водохозяйственный район — низовья Амударьи (Хорезмский и Ташаузский оазисы) — характеризуется недренированностью территории, что предопределяет неблагоприятную мелиоративную обстановку. Освоение земель возможно лишь при комплексной мелиорации. Грунтовые воды преимущественно минерализованные, характеризуются неглубоким залеганием уровня и являются основным фактором ухудшения мелиоративного состояния земель.

В 1980 г. здесь орошалось 290 тыс. га, в перспективе намечено освоить под орошение около 440 тыс. га.

Для данных геохимических условий средняя величина показателя «а» равна 0,00040, средняя величина $M_{нач}$ — 0,80 г/л.

При орошении новых земель минерализация воды в р. Амударье ниже данного водохозяйственного района повысится до 1,3 г/л.

Химический состав воды большую часть года будет хлоридно-сульфатным — кальциево-натриевым.

Пятый водохозяйственный район — придельтовая часть Амударьи. Здесь преобладают процессы соленакопления. Глубина залегания грунтовых вод на большей части орошаемой территории небольшая, причем они характеризуются достаточно высокой минерализацией. Территория естественно не дренирована, освоение возможно только при проведении комплекса мелиоративных мероприятий.

В 1980 г. здесь было орошено 245,8 тыс. га, в перспективе орошаемую площадь намечено увеличить до 407 тыс. га.

Для данных геохимических условий средняя величина показателя «а» 0,0022, средняя величина минерализации у начального створа Саманбай в последние годы составляет 1,1 г/л.

В перспективе минерализация воды у замыкающего створа (пост Темирбай) возрастет до 1,7 г/л, в 1980 г. она в среднем была равна 1,5 г/л. При расчетах определялась среднемноголетняя величина минерализации. В отдельные месяцы фактическая минерализация воды в р. Амударье в низовьях бассейна достигнет 1,8—2,0 г/л из-за значительного уменьшения расходов воды в реке.

Химический состав воды ниже данного массива будет в перспективе большую часть года хлоридно-сульфатным — магниевым-кальциево-натриевым.

Ожидаемая минерализация коллекторных вод. Она также рассчитана на уровень полного исчерпания водных ресурсов бассейна Амударьи. При расчетах использовали формулу $M_{кол} = a \cdot k \cdot F_{ор}$. Так как в данном случае расчеты проводились в среднем для коллекторной воды всего массива, а не для конкрет-

ного коллектора, то «к» — принимали за 1 (табл. 12).

Видно, что в перспективе (при существующем способе орошения и без учета переустройства оросительной сети на массивах) во всех оазисах минерализация коллекторных вод будет повышаться пропорционально росту орошаемой площади. Рост минерализации коллекторных вод обусловлен также тем, что в настоящее время незасоленные и слабозасоленные почвы на массивах уже освоены, а земли, выбранные для освоения на перспективу,

Таблица 12

Средневзвешенная ожидаемая минерализация коллекторных вод орошаемых массивов бассейна Амударьи

Ирригационный район	Современная минерализация (взвешенная по стоку), г/л	Коэффициент солеотдачи — «а»	Перспективная	
			орошаемая площадь, тыс. га	минерализация, г/л
Вахшский	1,8	0,0106	202	2,1
Сурхан-Шерабадский:				
а) верховья	0,34	0,0028	141	0,4
б) среднее течение	1,46	0,0182	100	1,8
в) Шерабадская степь	5,35	0,065	120	7,8
Туркменский прибрежный	3,01	0,0167	272	4,6
Туямуюнский	4,16	0,0095	581	5,5
Тахнаташский	3,04	0,0125	407	5,1
Каршинский	7,7	0,0312	415	12,9
Бухарский	3,05	0,011	368	4,3

являются в основном средне- и сильнозасоленными, особенно массивы с серо-бурыми и такыровыми почвами.

Изменение минерализации коллекторных вод можно подсчитать (бассейновым методом) и на вариант с переустройством оросительной сети, но в этом случае необходимо знать величину площади, подверженной переустройству.

Ожидаемые изменения минерализации и химического состава поверхностных вод в бассейне Сырдарьи

В настоящее время речной сток данного бассейна почти полностью используется в народном хозяйстве входящих в него союзных республик. В перспективе (в ближайшие 10—15 лет) водное хозяйство данного бассейна будет развиваться по пути более экономного и рационального использования имеющихся поверхностных водных ресурсов (37,9 км³ в год) с учетом мероприятий, запланированных в рамках научно-технического прогресса в ирригации. Основываясь на этом, а также на произведенном выше бассейново-историческом изменении гидрохимических характеристик поверхностных вод на выходе из орошаемых массивов, рас-

смотрим изменение минерализации и химического состава коллекторных и речных вод на ближайшее десятилетие.

Учитывая, что начиная с 1960-х годов минерализация и химический состав речных вод бассейна Сырдарьи в среднем и нижнем течении в значительной степени определяется минерализацией и составом коллекторных вод, рассмотрим ожидаемые изменения их качества.

Изменение минерализации коллекторных вод. Наибольшие объемы коллекторных вод в бассейне Сырдарьи в настоящее время формируются в пределах Ферганской долины и Голодной степи. В сумме их объем достигает $10,05 \text{ км}^3$. Большая часть вод сбрасывается в Сырдарью, а около $2,0 \text{ км}^3$ отводится в Арнасайскую впадину.

В пределах Ферганской долины минерализация коллекторных вод, сбрасываемых в реку, равна в среднем $2,2 \text{ г/л}$, состав их преимущественно хлоридно-сульфатный — кальциево-магниевонатриевый (ХС-КМН). Немного выше минерализация коллекторных вод, стекающих в Сырдарью с Голодной степи, — в среднем $2,7 \text{ г/л}$; состав вод тот же — хлоридно-сульфатный — кальциево-магниевонатриевый (ХС-КМН).

В ближайшие 10 лет, при современных способах ведения орошаемого земледелия (практически не контролируемые в пределах поля бороздковые поливы и промывки), незначительном изменении суммарной орошаемой площади с учетом сохранения преобладающей степени ее засоления, несмотря на улучшение межхозяйственной оросительной сети, минерализация коллекторных вод в Ферганской долине и в старой зоне орошения Голодной степи сохранится согласно проведенному ландшафтно-галогеохимическому анализу в пределах тех же величин: $2,2\text{—}2,7 \text{ г/л}$, состав коллекторных вод также не изменится. По-видимому, благодаря уменьшению потерь на инфильтрацию, несколько сократятся только объемы вытекающих из массивов коллекторных вод (предположительно с $35\text{—}40$ до $20\text{—}25\%$ от водозабора на орошение).

Ниже Чардаринского водохранилища сбросы крупных коллекторов в р. Сырдарью отсутствуют, поэтому изменение минерализации коллекторных вод в низовьях бассейна в перспективе не рассмотрено.

Изменение минерализации воды в реках. Несмотря на некоторое снижение объемов коллекторных вод в результате проведения мероприятий научно-технического прогресса в ирригации, влияние этих вод на речной сток, по нашему мнению, несколько увеличится за счет сокращения транзитных расходов речной воды. Расчеты, произведенные ландшафтно-галогеохимическим методом, показывают, что в перспективе при полном исчерпании водных ресурсов бассейна среднегодовая минерализация воды в Сырдарье ниже Ферганской долины увеличится до $1,34 \text{ г/л}$ (современная минерализация $1,25 \text{ г/л}$), в створе Кызыл-Орда — до $1,85 \text{ г/л}$, в устье Сырдарьи — до $1,95 \text{ г/л}$ (современная среднегодовая мине-

рализация 1,90 г/л). Состав воды ниже Ферганской долины будет сульфатный — магниевое-кальциевое-натриевый, а в нижнем течении реки — хлоридно-сульфатный — кальциевое-магниевое-натриевый.

По нашему мнению, для прекращения роста минерализации речных вод в Среднеазиатском регионе и снижения ее в нижнем течении рек необходимы не только переустройство и реконструкция старых гидромелиоративных систем, но и запрещение сбросов вытекающих из массивов вод в реки. Эти воды, как показано ниже, можно использовать «рассредоточенным» путем в различных сферах народного хозяйства в местах их формирования.

ГЛАВА 4. ПРИНЦИПЫ РАССРЕДОТОЧЕННОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОЛЛЕКТОРНЫХ ВОД

Проблема использования коллекторных вод может быть решена различными путями. В настоящее время в Средней Азии остро встал вопрос о сбросе коллекторных вод орошаемой зоны в усыхающее Аральское море. Сейчас уже строится один из магистральных Трансхызилкумских коллекторов, по которому будет сбрасываться вода с оазисов правобережья среднего и нижнего течения Амударьи. Этот вариант использования коллекторных вод, по расчетам специалистов, оценен в 1,5 млрд. руб.

Несмотря на сброс воды в Арал, по нашему мнению, определенная часть коллекторных вод может быть использована на местах их формирования. При этом важное значение будет иметь качество этих вод. Именно этот вариант использования коллекторных вод (названный принципом «рассредоточенного использования») рассмотрен в данной главе.

Возможные пути использования коллекторных вод в народном хозяйстве по принципу «рассредоточения»

Исторически сложилось, что в настоящее время в пределах Средней Азии коллекторные воды орошаемых массивов обычно сбрасываются в дренирующие их реки, либо отводятся за пределы оазисов в различные понижения, впадины и т. д. Однако оба процесса не контролируются, и это приводит как к ухудшению качества речных вод, так и к бесполезной потере некоторого ее количества.

Если будет решен вопрос очищения коллекторных вод от остатков ядохимикатов и удобрений (над этой проблемой только в Средней Азии работают Институт микробиологии, Институт химии растительных веществ, Институт экспериментальной биологии растений и др.), эти воды можно будет использовать в различных сферах народного хозяйства. Ограничением при этом будут служить только величина минерализации воды и ее химический состав, обусловленный содержанием естественных солей — гидрокарбонатами, сульфатами и хлоридами кальция, магния и натрия.

Нетоксичные коллекторные воды можно было бы использовать в любых сферах народного хозяйства, если бы они не были минерализованы. Поэтому при составлении рекомендаций по использо-

ванию таких вод необходимо выявить предельно возможные величины минерализации (и состав естественных солей), допускающие их использование в той или иной сфере.

Для Средней Азии наибольший интерес представляет возможность повторно использовать коллекторные воды для орошения. Ниже будет показано, что эти воды можно использовать также для промывок средне- и сильнозасоленных почв и солончаков, для сохранения отдельных водоемов, важных с экологической точки зрения (например, отдельной части Аральского моря), для создания рыбохозяйственных прудов и рекреационных зон, в отдельных сферах промышленности и т. д. Серьезное отношение к этому вопросу специалистов позволит в перспективе не только уменьшить ущерб от произвольно сбрасываемых коллекторных вод, но и даст экономический эффект.

Использование коллекторных вод для орошения. Этот вопрос очень важен для народного хозяйства республик Средней Азии, так как, согласно перспективным планам, в двенадцатой пятилетке (1986—1990 гг.) орошаемую площадь в Узбекистане намечено значительно увеличить. Такое же положение наблюдается и в других республиках. При этом запланировано увеличить заготовку хлопка-сырца, зерна, риса, картофеля, овощей и других видов сельскохозяйственной продукции. Основой этому послужит не только правильно применяемая агротехника на полях, но и наличие оросительной воды. Исходя из этого, вопрос о возможности использования коллекторных вод для повторного орошения рассмотрен отдельно.

По нашему мнению, возможность орошения следует оценивать не только по воде, но и анализировать весь процесс в целом, применяя методы системного анализа к системе: «вода—почва—растение».

Использование коллекторных вод для промывок засоленных почв. Этот путь использования коллекторного стока, по нашему мнению, является одним из основных способов его утилизации в Среднеазиатском регионе. Он возможен даже при наличии определенного количества в воде ядохимикатов, которые, проходя через толщу промываемых почв, могут разлагаться и терять токсичность.

Полевые исследования по влиянию минерализованных коллекторных вод на состояние промываемых почв в последние годы ведутся в САНИИРИ, АзНИИГИМе, ТуркменНИИГИМе, СоюзНИХИ и других организациях. Остановимся на результатах этих исследований.

По данным И. С. Рабочева и др. (1973), в пределах оазисов Туркменистана на промывки солончаков можно использовать воды с минерализацией 12—16 г/л. В. А. Ковда (1977) считает, что для начального растворения и вымыва солей из сильнозасоленных почв и солончаков можно применять воды с концентрацией солей 5—20 г/л. Согласно А. Р. Рамазанову и Ю. И. Широковой (1984),

в зависимости от типа засоления почв и их механического состава для промывок можно применять воды с содержанием хлоридного иона в воде до 4,0 г/л. При этом в зависимости от содержания хлора в почве и минерализации коллекторных вод промывные нормы изменяются от 0,8 до 16,5 тыс. м³/га для суглинистых почв и от 0,3 до 12,1 тыс. м³/га для супесчаных почв хлоридно-сульфатного засоления.

Специалисты ТуркменНИИГИМа (Назармамедов и др., 1984) изучали промывки сильнозасоленных суглинистых почв в совхозе им. Махтум-Кули Каракумского района Марыйской области. Промывки проводили водами со следующей минерализацией: 0,9 г/л (контроль), 3,6 г/л (1-й вариант) и 6,0 г/л (2-й вариант), с общей для всех случаев нормой 24 тыс. м³/га. Установлено, что слабо-минерализованные воды (3,0—3,5 г/л) по промывному эффекту не уступают пресным. Они, как и пресная вода, опресняли солончаково-засоленную почву до степени слабозасоленной. Дренажная вода с минерализацией 6,0 г/л опреснила указанную почву до средnezасоленной.

К. Г. Теймуров и др. (1981) установили, что при промывке слабо- и средnezасоленных почв (до 1,5—1,8% солей) среднего и тяжелого механического состава рекомендуется подавать воду с минерализацией до 5,0 г/л не более 10—12 тыс. м³/га. При промывке сильнозасоленных почв и солончаков (более 2% солей) следует применять воду с минерализацией 10—12 г/л, норма 15—20 тыс. м³/га.

Мелиораторы Азербайджанской ССР разработали «Руководство по проведению текущей промывки почв на мелиорированных орошаемых землях АзССР» (1983). Анализ накопленного материала позволил им предложить дифференцированные промывные нормы для различных зон республики в зависимости от типа и степени засоления почв, например, для Ширванской степи и Южной Мугани — от 3 до 35 тыс. м³/га. Установлено, что с повышением засоления почв промывная норма увеличивается, а с улучшением их химизма (от хлоридного к сульфатному) она существенно уменьшается. Опыт азербайджанских исследователей можно использовать и при промывке почв Средней Азии.

По Н. Ф. Беспалову (1984), проведение промывок засоленных земель в Каршинской степи коллекторными водами с минерализацией 3,5—4,0 г/л оказало рассоляющее действие на почву. В целом для Узбекистана автор советует проводить промывки водами с минерализацией до 6,0 г/л, но при этом общая промывная норма должна быть увеличена на 35—40% по сравнению с промывками речной водой.

Общесоюзных рекомендаций и ограничений (по величине минерализации и составу воды) по вопросу использования минерализованных коллекторных вод для промывок засоленных почв не существует, так как в каждом конкретном случае это зависит не только от содержания солей в промываемой воде, но и от механи-

ческих, физических и химических свойств промываемых почв и пород и состава солей в насыщающих их грунтовых водах.

Учитывая описанные выше примеры, можно сделать вывод, что для промывок оптимальны воды с минерализацией до 5,0—6,0 г/л.

Состав воды с такой минерализацией обычно хлоридно-сульфатный — магниевно-натриевый.

Если же в отдельных хозяйствах при дефиците пресной воды будет решено применять для промывок воду с большей минерализацией, необходимо при этом вести специальные наблюдения за состоянием засоления почв: нужно, чтобы при промывках на участках происходило постоянное и многолетнее рассоление всей промываемой толщи почв и пород.

Подсчеты показывают, что в настоящее время в Средней Азии на промывки засоленных почв используется около 20—22,5 км³ воды в год; этот объем не превышает объема имеющихся коллекторных вод.

Установлено, что коллекторные воды орошаемых массивов Средней Азии обычно имеют минерализацию 3,5—4,0 г/л. Их можно использовать для промывки засоленных почв. При освобождении хотя бы 10—15 км³ речного стока можно освоить около 1,0—1,5 млн. га новых земель (при средней оросительной норме 10 тыс. м³/га).

Использование коллекторных вод для сохранения отдельных водоемов. Комплексный географический бассейновый подход, примененный в данной работе для оценки возможности использования минерализованных коллекторных вод в народном хозяйстве, позволил обосновать применение этих вод для сохранения отдельных водоемов (например, в дельтах Амударьи и Сырдарьи) и создания на их основе водных природных комплексов (ВПК), используемых как в рыбохозяйственных, так и в рекреационных целях.

Под природными комплексами (ПК) или природно-территориальными комплексами (ПТК) обычно понимают как обширные, так и малые природные территории: материки, водные акватории, речные бассейны, горные системы, долины и дельты рек и т. д. Мы в своей работе рассматриваем меньшие по размерам природные комплексы — крупные водоемы.

Изучаемые водоемы (водные природные комплексы) можно создавать на основе существующих озер (например, оз. Судочье, Сарыкамышское, Каратерень и др.) или же залить коллекторной водой существующие впадины и понижения на местности.

Источником для создания ВПК может служить коллекторный сток орошаемых территорий, если по каким-либо причинам его нельзя использовать для орошения и промывок почв.

Пример водного природного комплекса уже существует. Это Арнасайский водоем, куда сбрасывается значительное количество коллекторных вод с большей части Голодной степи. В Арнасайском водоеме минерализация воды не везде одинакова: в проти-

воплотинной зоне, а также в районе впадения коллекторов Акбулак и Клы она повышена до 13—15 г/л, в южной части (бывшее оз. Тузкане) составляет 9—10 г/л, а в западной части — 4—6 г/л (Горелкин, 1985). По химическому составу вода впадины преимущественно сульфатная — натриевая.

Подсчитано, что коллекторами в Арнасайскую впадину сбрасывается до 5,2—5,4 млн. т солей в год. Несмотря на это, здесь образовался благоприятный для окружающей природной среды водный природный комплекс. Эта впадина служит рекреационной зоной для многих жителей близлежащих сел и городов: Фариша, Самарканда, Ташкента.

В последние годы в данном водоеме существенно разрослась гидрофауна, благодаря чему появились в значительном количестве промысловые рыбы: судак, сазан, карась, жерех и др. Таким образом, водные природные комплексы можно использовать и в рыбохозяйственных целях.

Еще одна положительная сторона существования Арнасайского водоема состоит в том, что развитие вокруг водоема растительности привело к закреплению песков на значительной территории, которую теперь можно считать «буферной» зоной, защищающей близлежащие поливные земли (например, Кызылкумский массив) от вредного влияния ветров.

Таким образом, образование ВПК на основе сбора коллекторного стока принципиально возможно, и при этом они являются положительным фактором не только с точки зрения окружающей среды, но и для самого человека. Такие водные природные комплексы можно создать на окраинах Бухарского, Каршинского, Туркменского прибрежного ирригационных районов и в низовьях бассейнов Амударьи и Сырдарьи (Чембарисов, 1985). Во всех этих оазисах за пределы орошаемой зоны отводится значительный объем коллекторных вод.

Однако не следует забывать, что первоначальное наполнение Арнасайской впадины было произведено в многоводном 1969 г., когда в нее было сброшено до 19 км³ пресной речной воды из Сырдарьи. Это явилось основой создания здесь природного комплекса без особого вмешательства человека. Поэтому при создании ВПК нужно не только сбрасывать в водоем коллекторный сток, но и, по-возможности, частично разбавлять его пресными речными водами.

К созданию водных природных комплексов на основе коллекторного стока следует относиться серьезно не только с точки зрения балансовых позиций, но и с точки зрения возможности загрязнения остатками ядохимикатов и удобрений. Поэтому, прежде чем создавать ВПК на основе сбора коллекторного стока в отдельных водоемах, необходимо тщательно проверить качество коллекторных вод, чтобы содержание остатков токсичных элементов в них не превышало предельно допустимой концентрации. Необходимо также следить за ожидаемым изменением биологи-

ческой жизни в водоемах (особенно, если они незначительны по размерам), чтобы предвидеть их возможную эвтрофикацию, т. е. постепенное превращение водоема за счет развития в нем биомассы вначале в пруд, а затем в болото и т. д. Переход от одного биологического типа водоема в следующий (например, от олиготрофного в мезотрофный и далее в эвтрофный — процесс очень длительный, измеряемый сотнями лет. Однако в некоторых случаях он ускоряется настолько, что его можно проследить на протяжении жизни одного поколения. Такая ситуация может возникнуть в том случае, если коллекторные воды будут сильно загрязнены органическими веществами или биогенными элементами (азот, особенно фосфор). Последствия такой антропогенной эвтрофикации могут исключить возможность использования того или иного озера в целях создания на его основе водного природного комплекса. Поэтому подчеркиваем, что создание водных природных комплексов на базе конкретных водоемов должно быть научно обосновано.

При составлении проекта по обоснованию использования того или иного водоема в качестве водного природного комплекса необходимо изучить следующие факторы: 1) географическое положение водоема, 2) климатические условия окружающей водоем территории, 3) морфометрические характеристики водоема, 4) существующий и ожидаемый гидрологический режим, 5) существующую и ожидаемую гидробиологию водоема, 6) существующий и ожидаемый гидрохимический режим водоема, 7) народнохозяйственное значение водоема (современное и перспективное), 8) экономическую оценку мероприятий, связанных с созданием ВПК.

Только после проведения такой комплексной работы можно сделать вывод о рациональности использования водоема в качестве водного природного комплекса.

Проблема Аральского моря. С рассмотренным вопросом полностью связана современная судьба мелеющего Аральского моря. Единственный крупный водоем Средней Азии — Аральское море — издавна привлекал внимание ученых и исследователей.

По расчетам специалистов, раньше при многолетнем уровне воды, равном 53 м (по Балтийской системе высот), объем моря составлял 1,06 тыс. км³, площадь вместе с островами — 66 тыс. км², а средняя глубина — 16 м. Сейчас Аральское море интенсивно усыхает. Основной причиной постепенного обмеления Аральского моря является прекращение поступления в него стоков рек Амударьи и Сырдарьи.

Согласно расчетам В. Л. Шульца и Л. И. Шалатовой (1964), в море по Сырдарье и Амударье поступало 54 км³ воды в год, с осадками — 9,3 км³, а испарялось 67,8 км³/год. Сейчас речной сток до Арала не доходит.

В последние годы море отступило от береговой линии 60-х годов на 35—40 км, площадь освободившегося дна моря превысила 20 тыс. км².

Усыхание Аральского моря приносит значительный вред народному хозяйству Среднеазиатского региона. Если в 50-х годах годовые уловы рыбы в Аральском море достигали 400 тыс. ц, то сейчас они прекратились; прекратился вылов ондатр.

Для уменьшения этих и других потерь необходимо предотвратить дальнейшее усыхание Аральского моря путем увеличения поступления в него воды. Естественно, что при современных нарастающих потребностях ирригации невозможно выявить сбросы в Арал в размере 50—55 км³ в год (столько воды, как уже отмечалось, поступало в него ранее с речным стоком). Однако реально сейчас можно сбрасывать в море ежегодно до 5,0—5,5 км³ коллекторных вод с близлежащих орошаемых территорий КК АССР, Хорезмского и Ташаузского оазисов. Сейчас этот сток до Арала не доходит: около 1,0—1,5 км³ воды теряется в пустынных понижениях Приаралья, а 4,7 км³ отводится в Сарыкамышскую впадину.

Ученые Института географии АН СССР, специалисты САНИИРИ, Узгипроводхоза, Средазгипроводхлопка, Союзгипроводхоза подсчитали, что даже этот небольшой, но постоянный сброс коллекторных вод в Аральское море позволит сохранить определенный его объем. В частности, предлагается разделение моря на Большой и Малый водоемы, отчленение некоторых заливов, создание площадей лиманного орошения, строительство польдерной системы и др.

Специалисты предлагают в перспективе сбрасывать в Аральское море не только сток Дарьялыкского коллектора и коллекторов КК АССР, но и коллекторные воды Голодной и Каршинской степей, Бухарского, Чарджоуского и других оазисов. Однако для этого понадобится строительство крупных «бассейновых» коллекторов, проходящих через многие орошаемые массивы. К строительству одного из таких коллекторов на правобережье р. Амударьи приступили в сентябре 1987 г. («Известия», 21 сентября 1987 г.).

По нашему мнению, это один из наиболее перспективных путей использования коллекторных вод Среднеазиатского региона. До строительства таких «бассейновых» коллекторов их сток можно использовать на различные нужды в местах их формирования.

Использование коллекторных вод в рыбохозяйственных целях. При отсутствии в коллекторных водах ядохимикатов и остатков минеральных удобрений их можно местами использовать для создания рыбохозяйственных прудов и небольших озер. Этот вопрос связан с созданием упомянутых выше водных природных комплексов. Для рыбохозяйственных целей необходимо выполнение всех требований, отмеченных для создания ВПК, а также некоторых дополнительных требований: содержание растворенного кислорода не должно быть ниже 4,0 мг/л, реакция воды не должна выходить за пределы 6,5—8,5 рН и др.

От величины минерализации воды зависит и видовой состав рыб. Так, эвригалинные рыбы (судак, сом и др.) не переносят солености выше 5—8 г/л. В. В. Хлебович (1974) отмечает, что соленость около 5—8 г/л является барьером, при переходе через который меняется ряд существенных биологических свойств на разных уровнях биологической интеграции.

Ихтиологи установили возможность развития определенных видов рыб в зависимости от минерализации воды: карась и щука — до 1,0 г/л, лещ — до 1,5, сазан — до 3,0, плотва — до 5,0, судак и сом — до 8,0.

Создание рыбохозяйственных прудов и озер в Среднеазиатском регионе наиболее удобно в приоазисной зоне Бухарского и Хорезмского ирригационных районов, в Голодной степи и КК АССР.

Использование коллекторных вод в промышленности. Сведения об использовании соленых вод в отдельных видах промышленности имеются во многих публикациях.

М. А. Берштейн, В. Д. Юсупова (1983) подробно описывают возможность использования минерализованных морских и сточных вод в нефтяной промышленности. Вода в этом случае используется в двух целях: 1) для заводнения нефтяных пластов с целью поддержания пластового давления, 2) в роли теплоносителя, в виде горячей воды или пара для термоинтенсификации добычи нефти.

Коллекторные воды, имеющие меньшую минерализацию, чем морские, также могут быть использованы в указанных целях. Наиболее вероятно использование коллекторных вод в нефтеносных районах Средней Азии: Ферганской долине, Сурхандарьинской области, Южном Аламышке, низовьях Зарафшана и др.

Р. А. Крыжановский (1985) отмечает, что во Франции, Бельгии и других странах разработаны методы приготовления бетона на морской воде. По качеству такой бетон не уступает традиционному.

С успехом применяется морская вода для обогащения полезных ископаемых, транспортировки сырья и отходов, для охлаждения. В перспективе она может быть использована на гидроаккумулирующих станциях (ГАЭС), а также при гидродобыче полезных ископаемых.

Г. Е. Радосевич (1978) также описал возможность использования минерализованных вод в нефтяной промышленности в пределах бассейна р. Колорадо.

Таким образом, можно выделить следующие первоначальные пути использования коллекторных вод в промышленности: а) для охлаждения машин и генераторов, б) для их механической очистки, в) для транспортировки сырья и отходов, г) иногда в качестве сырья: например, для получения бетона, д) при добыче нефти и других полезных ископаемых.

Решение вопроса использования коллекторных вод в промыш-

ленности упирается не в то, какова минерализация этих вод (хотя, это тоже важно), а в то, что необходимо изменение традиционно используемых технологических систем, рассчитанных на пресную воду. При строительстве производственных объектов близ крупных коллекторов следует задуматься не только над вопросом утилизации коллекторных вод при нынешней технологии производства, но и над разработкой новой технологии с учетом химических свойств используемой воды.

Использование коллекторных вод для бытовых целей. В городах и поселках, расположенных на окраинах орошаемой зоны, особенно в пустынных условиях, коллекторный сток, по нашему мнению, можно использовать и для коммунально-бытовых целей.

Наиболее простой способ использования этих вод в сельской местности — полив пыльных дорог и улиц, мытье ферм и животноводческих комплексов, очистка санузлов. Можно использовать такую воду и для тушения пожаров, для этого в удобных местах следует выкопать пруды для сбора и хранения коллекторных вод.

Незагрязненные коллекторные воды можно использовать для создания бассейнов или небольших водоемов, предназначенных для купания в жаркое время года.

При применении соответствующей технологии коллекторную воду в сельской местности можно использовать в банях, для водяного отопления, в канализации.

Таким образом, в поселках и городах сельского типа (особенно в пустынной зоне) коллекторной водой можно с успехом заменить пресную во многих сферах. Это позволит использовать освободившийся объем пресной воды для питья или для орошения неустойчивых к солям растений: картофеля, моркови, огурцов, яблонь и др.

Использование коллекторных вод в медицинских целях. Лечебные свойства воды в значительной степени определяются содержанием в ней легкорастворимых солей, т. е. минерализацией. Так, в воде «Нарзан» она составляет 4,0 г/л, в воде «Ессентуки» — около 12,0 г/л, а в воде «Лугела» достигает 52,0 г/л (Новиков, 1977).

Такие воды употребляют не только для питья, но и для лечебных ванн.

По нашему мнению, некоторые тщательно очищенные коллекторные воды Средней Азии можно использовать в лечебных целях: для создания специальных бассейнов, ванн и др. При этом можно использовать и грязи, обычно скапливающиеся в устьях коллекторов. Водо- и грязелечение сейчас широко применяются в физиотерапии. Этими способами лечат болезни суставов, различные воспалительные заболевания, восстанавливают активность мышц и др.

Вопрос использования коллекторных вод и их грязей для лечения должен быть исследован совместно с медиками.

Получение солей из коллекторных вод. Из соленой (морской)

воды можно добывать различные химические вещества и соли. В нашей стране имеются крупные предприятия по переработке морской воды, расположенные на побережьях Черного, Азовского, Каспийского и Аральского морей. На них добывают поваренную соль, соду, бром, магний и другие элементы.

Минерализация коллекторных вод Средней Азии в среднем в 8—9 раз ниже солености обычной морской воды (минерализация морской воды в среднем 35 г/л), поэтому использование коллекторных вод для получения некоторых солей в настоящее время не целесообразно.

Практически воды могут быть использованы для получения солей в перспективе при опреснении коллекторных вод многократного использования (например, после нескольких промывок засоленных почв, после сбросов вод, использованных в промышленности и др.). В настоящее время опреснение коллекторных вод Средней Азии еще не реализовано на практике, но в будущем (по мере создания дешевых опреснительных установок и увеличения минерализации повторно используемых коллекторных вод) оно будет, по-видимому, применяться. При опреснении таких вод будут образовываться относительно пресные воды и рассолы с минерализацией до 40—50 г/л и более. Из этих рассолов (при достаточном количестве) можно будет получать некоторые соли или химические элементы, например, поваренную соль, гипс, магний и др.

Использование коллекторных вод в других целях. В настоящее время во многих орошаемых массивах (в Ферганской и Вахшской долинах, в бассейнах Сурхандарьи и Чирчика, в среднем течении Сырдарьи и Амударьи и др.) коллекторный сток без учета сбрасывается в дренирующие эти оазисы реки. Производится это с целью увеличения стока рек ниже по течению. Однако при некотором повышении расходов воды, как уже было показано, значительно изменяются минерализация, химический состав и степень загрязнения речных вод. Эта проблема сейчас очень актуальна, так как ухудшенное качество речных вод влияет не только на урожайность сельскохозяйственных культур нижележащих массивов и состояние их почв, но и отрицательно сказывается на здоровье людей, проживающих в нижних частях речных бассейнов.

Стихийный, не контролируемый сброс из коллекторов в реки и водохранилища следует прекратить. В них можно сбрасывать только незагрязненные коллекторные воды и только в таком объеме, чтобы минерализация смешанной воды ниже сбросов по всему течению рек не превышала 1,0 г/л. В случае загрязнения коллекторных вод остатками ядохимикатов и удобрений сброс их в реки недопустим.

То же можно отметить и по поводу использования коллекторных вод для водопоя скота и пополнения запасов подземных вод.

В некоторых случаях, если поблизости нет хорошей пресной воды, в пустынных условиях для водопоя скота можно использо-

вать воды с минерализацией до 9,0 г/л (Алекин, 1970). Неоднократно указывалось, что минерализация коллекторных вод в большинстве ирригационных районов Средней Азии не превышает 5,0 г/л, поэтому в условиях отсутствия пресной воды их можно использовать для водопоя скота. Автор многократно наблюдал, как домашний скот (лошади, коровы, овцы, бараны) пьет коллекторную воду. Необходимо только следить за тем, чтобы эти воды не были загрязненными.

Во многих районах Средней Азии население употребляет для питья не только речные, но и грунтовые воды. Поэтому к использованию коллекторных вод для пополнения запасов грунтовых вод нужно относиться очень осторожно, постоянно контролируя содержание в них остатков ядохимикатов и удобрений.

В современных условиях закачивать коллекторные воды в подземные пласты имеет смысл только в районах добычи газа с целью заполнения внутрипластовых пустот. Возможно, это позволит уменьшить влияние землетрясений в подобных зонах.

Ожидаемая эффективность. Использование коллекторных вод по принципу «рассредоточения» в народном хозяйстве, несомненно, даст определенный экономический эффект, а также вызовет существенное оздоровление окружающей среды, т. е. будет и социально эффективно.

По имеющимся сведениям, 1 га орошаемой площади Средней Азии дает ежегодную прибыль в размере 1,8—2,0 тыс. рублей (Золотарев, 1984).

В настоящее время в Средней Азии за пределы орошаемой зоны отводится около 10,0 км³ коллекторных вод. Если эти воды использовать, например, на промывки засоленных почв (или в других рассмотренных выше сферах), то можно освободить равноценный объем пресной воды, который при средней оросительной норме 10 тыс. м³/га позволит освоить около 1 млн. га новых земель под орошение, что, в свою очередь, даст около 1,8—2,0 млрд. руб. прибыли в год. Эти расчеты ориентировочные, однако и они показывают, насколько выгодно использовать коллекторные воды в народном хозяйстве.

Таким образом, были рассмотрены различные пути применения минерализованных коллекторных вод, которые можно разбить на две группы: 1) не связанное с использованием воды непосредственно живыми организмами, 2) связанное с использованием воды живыми организмами (табл. 14).

В недалеком будущем при сохранении существующих способов полива возникнет проблема использования в народном хозяйстве не только первично сформированных в пределах орошаемой зоны коллекторных вод, но и вторично (а может быть, и третично и т. д.) образовавшихся возвратных вод. При этом их минерализация будет постепенно возрастать, а количество сфер возможного использования уменьшаться. Воды многократного формирования, по нашему мнению, следует опреснять, при этом пресную воду использовать по необходимости, а из рассолов получать раз-

Возможные пути использования коллекторных вод в Средней Азии

Сфера использования	Максимально возможная минерализация, г/л	Состав воды
1-я группа сфер:		
1) пополнение водоносности рек и заполнение водохранилищ	до 1,0	Г-К, С-К, С-Н
2) орошение — как крайняя мера в условиях маловодья с учетом химического состава воды, физических и химических свойств почв и соблюдением различных мелиоративных мероприятий:		
а) технических и кормовых культур	до 3,0	С-К, С-Н
б) естественной растительности на пастбищах	до 3,0	С-К, С-Н
в) солеустойчивых культур	до 8,0 — 10,0	С-Н, Х-Н
3) промывка наиболее засоленных почв и солончаков с учетом химического состава воды и содержания солей в почвах	до 5,0 — 6,0	С-Н, Х-Н
4) сохранение отдельных водоемов с созданием проточного режима вод	Любая минерализация и состав	
5) пополнение запасов грунтовых вод		
6) в отдельных сферах промышленности, например в нефтяной, а также для охлаждения машин, их очистки, транспортировки сырья и отходов и др.	"	"
7) использование в коммунально-бытовых целях в поселках, расположенных вблизи устьев коллекторов, для мытья ферм, полива дорог, очистки санузлов, и др.	"	"
8) в технических целях для получения некоторых солей (например, хлористого натрия) из рассолов при опреснении коллекторных вод	40—50 г/л и более	Х-Н
2-я группа сфер:		
9) создание водных природных комплексов для целей рекреации с разведением ценных пород рыб (карася, щука, лещ, сазан и др.) при отсутствии в воде остатков ядохимикатов и удобрений	до 5 — 8	С-Н, Х-Н
10) водопой скота в условиях недостатка пресной воды, при отсутствии в воде остатков ядохимикатов и удобрений	до 3—5	С-К, С-Н, Х-Н
11) грязелечение при опреснении коллекторных вод (а также при доставке грязи из высыхающих озер) и благоприятном составе солей и микроэлементов	40—50 г/л и более	ХС-Н, Х-Н

личные соли. Если же в них будут находиться токсичные вещества, их лучше магазинировать в специально отведенных для этого местах. По-возможности следует очищать эти воды от загрязнителей, а концентрированные рассолы с токсичными веществами захоронять, применяя метод отстекловывания. Подобный метод захоронения в виде стеклянных блоков очень надежен.

Таким образом, приведенные данные позволяют сделать следующие выводы:

1. Существование значительного объема коллекторных вод в Средней Азии ($28,82 \text{ км}^3$) требует должного внимания. Большая часть этих вод без всякого контроля сбрасывается в крупные реки и их притоки, повышая естественную засоленность и вызывая загрязненность речных вод. Некоторая часть коллекторных вод также без контроля отводится в различные впадины и понижения на местности, образуя солончаки и многочисленные малые и большие озера с соленой водой.

2. Коллекторные воды можно и нужно использовать в народном хозяйстве. Исследования показали, что возможность использования коллекторных вод в народном хозяйстве Средней Азии может быть ограничена не величиной минерализации воды (хотя и она имеет большое значение), а в первую очередь присутствием в них остатков ядохимикатов и удобрений.

3. При отсутствии загрязненности коллекторных вод с учетом их современной минерализации и химического состава их можно использовать в следующих сферах: а) для промывки засоленных почв, б) для создания рыбохозяйственных прудов и озер, в) в отдельных сферах промышленности, г) в бытовых целях, д) местами для сохранения отдельных водоемов в медицинских целях, для водопоя скота и пополнения запасов грунтовых вод и т. д.

4. В ближайшей перспективе один из наиболее реальных путей утилизации этих вод — сброс их в Аральское море для сохранения отдельных его частей и предотвращения процессов опустынивания в дельтах Амударьи и Сырдарьи. Вопрос сбора коллекторных вод большинства оазисов Средней Азии в единые русла («бассейновые» коллекторы) с отводом в Аральское море среди водохозяйственных проблем Средней Азии стоит сейчас особенно остро, и его нужно решать одновременно с вопросом использования коллекторных вод на местах их формирования.

5. К использованию коллекторных вод нужно подходить по принципу «рассредоточенного использования». Главная идея заключается в том, что существующие объемы коллекторных вод можно использовать не в одной какой-либо сфере, а одновременно и рассредоточенно в 3 и более сферах, без предварительного опреснения вод. Это может освободить около $10,0 \text{ км}^3$ пресных вод, использование которых для орошения дренированных почв или других нужд может принести прибыль в размере 1,8—2,0 млрд. руб. в год.

Использование минерализованных вод для орошения

В условиях Средней Азии, где дефицит оросительных вод значителен (особенно в маловодье), ирригаторы все в большей степени используют коллекторные воды для орошения без учета влияющих на данный процесс факторов.

Используя результаты исследований по поливам минерализованными водами, а также существующие классификации, формулы и критерии ирригационного качества воды (Можейко, Воротник, 1958; Костяков, 1951; Израэльсон, 1956; Антипов-Каратаев, Кадер, 1961; Алекин, 1970; Минашина, 1973; Рабочев, 1973, 1982; Угланов, 1976; Болдырев, 1976; Глухова, 1974; Ковда, 1977, 1984; Усманов, 1978; и др.), рассмотрим требования, которые необходимо предъявлять к качеству воды для орошения.

Данная проблема серьезно интересует ирригаторов. Несмотря на то, что для ее решения многое сделано и делается специалистами многих стран (СССР, США, Алжир, Тунис и др.), до сих пор не разработан единый критерий пригодности природных вод для орошения. Это осложнено тем, что, как отмечают многие специалисты, классификация пригодности оросительной воды должна учитывать не только минерализацию и химический состав ее, но и климатические условия орошаемой территории, засоленность почв, их дренированность, глубину залегания грунтовых вод, солеустойчивость сельскохозяйственных культур и другие факторы (Ковда, 1977, 1984; Рабочев, 1982; Глухова, Стрельникова, 1983, и др.).

В пределах Советского Союза для поливов сельскохозяйственных культур всегда использовалась вода, минерализация которой обычно не превышала 1,0 г/л, так как почти все речные воды нашей страны имели меньшую минерализацию и благоприятный гидрокарбонатный — кальциевый состав.

По мере повышения минерализации речных вод в некоторых регионах страны (Средняя Азия, Украина, Северный Кавказ и др.) под влиянием орошения, а также в связи со стихийным (хотя и незначительным) использованием в маловодные годы на поливы минерализованных коллекторных или грунтовых вод (3—5 г/л и более) появились работы, в которых делается попытка нормирования требований к качеству воды, используемой для орошения. Появились также публикации, в которых обосновывается возможность орошения минерализованными водами не только солеустойчивых культур, но и технических и кормовых (хлопчатник, рис, сорго, кукуруза и др.) как в пределах современной орошаемой зоны, так и по периферии оазисов в пустынной зоне. Имеются работы, в которых ставится вопрос о целесообразности орошения отдельных площадей на пастбищах (Ибрагимов, 1975).

Вопрос об использовании минерализованных подземных вод для орошения возник уже в 1930-е годы. Одна из первых работ

по использованию минерализованных вод на орошение — статья В. А. Николаева (1926). Автор писал, что «потребность в орошаемых землях неуклонно растет, и вопросы наилучшего использования не только поверхностных, но и подземных вод для нужд ирригации — вопросы уже наболевшие... и будут становиться с каждым годом все более неотложными». К одним из первых публикаций по данному вопросу принадлежат также работы В. А. Ковды (1946—1947), А. Н. Костякова (1951), Н. А. Кенесарина (1957).

Н. М. Решеткина (1953) рекомендовала сочетать орошение поверхностными водами с использованием подземных вод, выкачиваемых с помощью скважин вертикального дренажа.

В 1958 г. вышли в свет публикации И. К. Киселевой, Р. А. Алимова, Г. А. Ибрагимова, в которых описываются результаты поливов сельскохозяйственных культур (в основном хлопчатника) грунтовыми водами с минерализацией 3—5 г/л в Бухарской, Ферганской и других областях УзССР.

В Узбекистане в 1960—1970 гг. эту проблему разрабатывал В. М. Легостаев и его ученики. Основываясь на этих и других исследованиях, ирригаторы Средней Азии пришли к выводу, что для орошения пригодна вода с минерализацией до 5—6 г/л, однако при этом необходимо выполнять определенные условия: поливать водопроницаемые почвы, легкого механического состава. На более тяжелых почвах необходимо увеличивать величину поливных норм, построить дренаж.

А. Р. Рамазанов, А. Р. Ражабов (1980) рассмотрели перспективы использования минерализованных вод для орошения хлопчатника в различных областях Узбекистана, основываясь на результатах многолетних собственных наблюдений. Авторы пришли к следующим выводам: 1) дренажную воду для поливов хлопчатника следует применять только в смеси с арычной (речной) водой; 2) минерализация смешанной воды при орошении легко- и среднесуглинистых почв не должна превышать 3—4 г/л, тяжелосуглинистых и глинистых — 2,0—2,5 г/л; 3) до цветения хлопчатник лучше поливать арычной водой, после цветения — минерализованной.

В 1984 г. Д. Д. Матмуратов, А. Р. Рамазанов, К. А. Саятов представили результаты многолетних наблюдений за орошением риса минерализованными водами в пределах оросительной системы совхоза «50 лет ВЛКСМ» КК АССР. Авторы делают вывод, что дренажно-сбросовые воды рисоводческих совхозов с минерализацией 2,0—2,5 г/л можно повторно использовать для орошения риса, при этом нужно учитывать дренированность территории.

Н. Ф. Беспалов (1984), обобщая многолетние наблюдения на опытных станциях СоюзНИХИ за поливом хлопчатника минерализованными водами, пишет, что допустимая минерализация поливной воды на легко- и среднесуглинистых почвах Голодной степи, Ферганской долины, Каршинской и Шерабадской степей, Бухарской и Хорезмской областей и КК АССР не должна превы-

шать 3—4 г/л и не более 0,5 г/л по хлору, а на тяжелосуглинистых и глинистых почвах тех же районов — соответственно не более 2,0—2,5 и по хлору не более 0,5 г/л.

В 1982 г. САНИИРИ им. В. Д. Журина выпустило «Руководство по использованию дренажных вод на орошение сельскохозяйственных культур и промывки засоленных почв», разработанное Х. И. Якубовым, А. У. Усмановым, Н. И. Броницким. Это одна из первых публикаций, где приведены принципы оценки качества и количества дренажных вод, состава и объема мелиоративных мероприятий при использовании минерализованных вод для орошения и промывки, изложены принципы организации и планирования использования воды, мелиоративного контроля за орошаемой территорией, а также расчетные программы. Этот труд полезен проектировщикам, но он не дает наглядного представления о возможности использования тех или иных вод для орошения конкретных массивов Средней Азии.

В этом плане более полезной является книга Т. П. Глуховой и Г. А. Стрельниковой (1983) «Минерализованные воды Узбекистана как резерв орошения». В ней установлены региональные показатели оценки минерализованных вод для орошения хлопчатника. Авторы рекомендуют использовать на поливы хлопчатника в зависимости от механического состава почв воду со следующей минерализацией: для среднесуглинистых почв 2,5—3,5 г/л, легкосуглинистых — 3,0—4,5 г/л, супесей и песков — 4,5—6,0 г/л. Концентрация хлора в воде не должна превышать соответственно 0,2—0,4; 0,5—0,7 и 0,5—1,0 г/л. При орошении следует учитывать химический состав поливных вод и тип засоления орошаемых почв.

О возможности орошения хлопчатника минерализованными водами (2,0—3,0 г/л) свидетельствуют опыты, проведенные специалистами ТуркменНИИГИМа (О. Назармамедов, Б. Метиев, О. Хадыров, 1984) в отдельных оазисах Туркменской ССР.

В. М. Легостаев (1971) указывает, что согласно литературным источникам, рис сорта «Голубая роза» выдерживает содержание солей в оросительной воде от 0,85 до 3,4 г/л и дает при этом урожай 20 ц/га, а при орошении риса водой, содержащей более 6 г/л солей, урожай снижается.

И. С. Рабочев (1972) отмечает, что в условиях Мургабского оазиса при орошении риса пресной речной водой получен урожай 39 ц/га, при поливе сбросной водой с минерализацией 3—4 г/л — 23,6 ц/га, водой с минерализацией 5—6 г/л — 17,8 ц/га.

З. Ф. Тулякова (1978), обобщив многочисленные опытные данные по поливам риса, пришла к выводу, что допустимой и экономически оправданной с точки зрения урожайности риса является минерализация поливной воды 1,5—2,0 г/л; орошение водой с минерализацией 3 г/л снижает урожайность риса до 20% и более. Вода с минерализацией более 5 г/л непригодна для орошения риса.

Значительные полевые исследования по обоснованию возможности использования минерализованных вод (до 2—3 г/л) для орошения кормовых культур в пределах поливной зоны проведены в Туркменской ССР сотрудниками лаборатории использования минерализованных вод Института пустынь АН ТССР. Под редакцией И. С. Рабочева в 1982 г. выпущены «Рекомендации по использованию минерализованных вод для орошения кормовых культур в Туркменской ССР». Исследования показали, что минерализованные коллекторные воды (до 2—3 г/л) можно применять для орошения кормовых культур: сорго, суданской травы, кукурузы, люцерны и др. Согласно опытам, при орошении минерализованными водами урожай зеленой массы сорго и кукурузы составил 300 ц/га, суданской травы — 350.

Основываясь на результатах рассмотренных выше работ, можно отметить следующее:

1) минерализованные воды, стекающие с орошаемых территорий, при дефиците пресной оросительной воды можно использовать для орошения как технических (хлопчатник, рис), так и кормовых (сорго, кукуруза, люцерна, суданская трава) сельскохозяйственных культур в пределах поливной зоны;

2) при этом максимальная величина минерализации воды не должна превышать 3,0 г/л при поливах хлопчатника, 3,0 г/л — при поливах кормовых культур (сорго, суданская трава, кукуруза, люцерна и др.) и 2,0 г/л — при поливах риса;

3) использовать для орошения минерализованные воды в широком масштабе и ежегодно не следует, так как при этом нужно соблюдать многочисленные требования (выбор почв, легких по механическому составу, увеличение промывок, дополнительное строительство дренажа и др.), а также довольно быстро (в течение 3—4 лет) может произойти засоление орошаемых земель. Кроме того, урожайность сельскохозяйственных культур при поливах минерализованной водой значительно снижается.

При орошении минерализованными водами все большее внимание будет уделяться солеустойчивости выращиваемых культур.

Не все растения хорошо произрастают на засоленных почвах. Физиологи делят растения по их отношению к засолению почв на 2 основные группы: галофиты и гликофиты. К галофитам относятся растения, легко приспосабливающиеся к высокому содержанию солей в почве, к гликофитам — растения пресных местообитаний, обладающие сравнительно ограниченной способностью приспосабливаться к засолению.

Вековой опыт выращивания сельскохозяйственных растений на землях разного засоления позволил специалистам разделить их по степени солеустойчивости. В США в лаборатории по исследованию засоленных почв (Израэльсон, 1956) разработана классификация, в соответствии с которой все растения и деревья делятся на 3 группы (табл. 15): 1-я группа — растения, хорошо выносящие засоленность, 2-я — удовлетворительно реагирующие на

засоленность, 3-я — растения, не выносящие засоления почвы и воды или развивающиеся при весьма малом содержании в них солей.

В перспективе для некоторых хозяйств, расположенных на концевых участках крупных коллекторов, а также в низовьях отдельных речных бассейнов, по-видимому, будет иметь определенное практическое значение вопрос замены типично выращиваемых

Таблица 15

Солеустойчивость сельскохозяйственных культур (по Израэльсону, 1956)

Культуры	Группа растений по солеустойчивости		
	1-я	2-я	3-я
Плодовые	Фиnikовая пальма	Гранатовое дерево, фиговое дерево, виноград, масличное дерево	Грейпфрут, груша, миндаль, абрикос, персик, слива, апельсиновое и лимонное деревья
Полевые и овощные	Сахарная свекла, столовая свекла, сорговые разные, рапс, кормовая капуста, хлопчатник	Люцерна, лен, томаты, спаржа, лисохвост, сорго (зерно), ячмень (зерно), рожь (зерно), овес (зерно), рис, дыни, латук, подсолнечник, морковь, шпинат, тыква столовая, лук, перец, пшеница (зерно)	Вика, горох, сельдерей, капуста, артишоки, картофель, зеленый горошек
Фуражные	Трава солончаковая, бермудская трава, канадская дикая полынь, безостая дикая рожь	Белый и желтый сладкий клевер, горный клевер, ячмень (сено), суданка калифорнийская, люцерна, овсянка, рожь (сено), овес (сено), ежа сборная, овсянка луговая	Шведский, красный и белый датский клевер, клевер Падино, луго-лисохвост

рых сельскохозяйственных культур (того же хлопчатника) на более солеустойчивые, например, на сахарную свеклу, кормовую свеклу и капусту. Этот вопрос не должен быть обойден вниманием специалистов.

По нашему мнению, не следует увлекаться применением для орошения солеустойчивых культур вод с минерализацией выше 5—6 г/л, так как важно не только выявить возможность выращивания той или иной сельскохозяйственной культуры на засоленных почвах, но гораздо важнее сохранить незасоленные почвы орошаемых массивов такими же на неограниченный срок их использования.

Таким образом, можно утверждать, что в любом случае при орошении минерализованными водами необходимо выполнение определенных условий, направленных на уменьшение отрицатель-

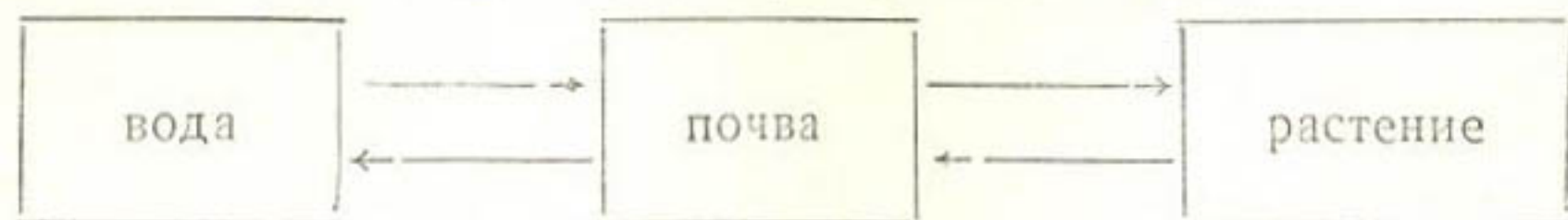
ного действия соленых вод на выращиваемые растения и орошаемые почвы.

Выше было указано, что вопрос возможности использования минерализованных вод повторно для орошения исследовали многие авторы (Рабочев, 1973; Глухова, 1977; Ибрагимов, 1973; и др.). Однако к настоящему времени все еще не выработаны единые (как общесоюзные, так и региональные) требования к качеству ирригационной воды. Причиной этого является отсутствие правильного методологического подхода к решению данной проблемы. В данной работе ставится вопрос о необходимости применения системного анализа для ее решения.

Существующие исследования по разработке требований к качеству воды, используемой в целях орошения, по методологическому подходу можно разделить на 2 группы: 1) исследования, в основу которых положено проведение полевых опытов по поливу минерализованными водами и описание полученных результатов; 2) работы, в которых приведены определенные теоретические разработки по составлению требований к качеству ирригационной воды в виде различных классификаций, формул, критериев и т. д.

Несмотря на научную и практическую ценность многих работ как из первой, так и из второй групп, ни в одной из них не содержится анализ всех факторов (или большинства), участвующих в процессе орошения.

Авторы публикаций по вопросу возможности орошения минерализованными водами (Антипов-Каратаев, Кадер, 1961; Минашина, 1973; Угланов, 1976; Болдырев, 1976; Усманов, 1978; и др.) обычно оценивают только качество воды по ее минерализации и химическому составу. Лишь в последние годы появилось несколько работ, в которых учитываются и другие компоненты, участвующие в процессе орошения сельскохозяйственных культур — орошаемые культуры или почвы (Сойфер, 1982; Айдаров, Корольков, 1980; Глухова, Стрельникова, 1983). К сожалению автор не встретил работы, в которой бы говорилось, что к этому вопросу нужно подходить на основе системного анализа, представляя процесс орошения сельскохозяйственных культур в виде единой системы, состоящей из следующих подсистем:



Выявление действия прямых и обратных связей выделенных подсистем и описание их «деятельности» в целом — сложная задача, и в данной работе эти вопросы не рассматриваются. Ставится лишь вопрос о необходимости применения системного анализа при составлении требований к качеству оросительной воды, создании блочных и математических моделей данной системы, а также при составлении компьютерных программ для выявления

наилучших вариантов поливов минерализованными водами в различных регионах страны.

В целях облегчения создания различных моделей процесса орошения сельскохозяйственных культур приведем описание факторов, которые, по нашему мнению, необходимо учитывать.

Подсистема «вода». При ирригационной оценке воды необходимо учитывать следующие факторы:*

- 1) минерализацию воды, т. е. общее содержание солей в 1 л;
- 2) химический состав воды:
 - а) проявление щелочности и наличие соды;
 - б) содержание ионов натрия;
 - в) содержание ионов магния;
 - г) содержание хлоридного иона;
 - д) величина концентрации ионов водорода — рН;
- 3) температура воды;
- 4) преобладающий состав солей и их токсичность.

Подсистема «почва». При анализе свойств почв, намеченных для орошения, необходимо учитывать:

- 1) механический состав почв, выделяя:
 - а) пески,
 - б) легкие почвы,
 - в) средние,
 - г) тяжелые почвы,
- 2) содержание отдельных солей и ионов в почвах:
 - а) наличие гипсового горизонта;
 - б) наличие карбонатного горизонта;
 - в) долю поглощенного натрия от емкости катионного обмена почвы;
- 3) среду почв:
 - а) щелочные почвы;
 - б) кислые почвы.

Подсистема «растение». При анализе состояния данной подсистемы необходимо учитывать следующие факторы:

- 1) общую солеустойчивость сельскохозяйственных культур, выделяя при этом:
 - а) слабосолеустойчивые растения;
 - б) среднесолеустойчивые;
 - в) сильносолеустойчивые;
- 2) изменение солеустойчивости по фазам развития растений (фаза цветения, бутонизации и т. д.).

Кроме отмеченных «подсистемных» факторов, при оценке пригодности воды для орошения определенного типа почв и конкретного вида выращиваемой сельскохозяйственной культуры необходимо учитывать и общие факторы, влияющие на всю систему «вода—почва—растение» в целом.

* При условии, что в воде не содержатся остатки удобрений и ядохимикатов, превышающие предельно допустимые концентрации (ПДК) для человека и животных.

В первую очередь необходимо учитывать природно-климатические условия расположения орошаемого поля и его геоморфологические особенности. Минерализованные воды легче использо-

Таблица 16

Оценка ирригационного качества воды комплексным методом

Возможные отрицательные проявления	Количественные показатели	Условия применения	Источник
Засоление	$K_1 = \frac{Mg \text{ (мг/л)} \cdot 0,03^x}{Ca^{+2} + Mg^{+2}}$	Если $K_1 < 4$, вода пригодна для орошения любых почв, при $K_1 = 4 - 5$ она пригодна для орошения супесчаных почв и при $K_1 > 5 - 6$ — для орошения песчаных почв	Буданов (1956)
Содообразование	$K_2 = (HCO_3^- + CO_3^{+2}) - (Ca^{+2} + Mg^{+2})$	При $K_2 < 1,25$ мг·экв/л вода считается безопасной для орошения, при $K_2 = 1,25 - 2,5$ мг/экв/л она пригодна для орошения кислых почв, при $K_2 > 2,5$ мг·экв/л вода для орошения не пригодна	Руководство САНИИРИ (1982)
Натриевое осолонцевание	$K_3 = \frac{Na^+ + Mg^{+2} + Ca^{+2}}{Ca^{+2} + Mg^{+2}}$	При $K_3 > 4$ возможно осолонцевание при орошении средних и тяжелых суглинков, если $K_3 > 5 - 6$, то осолонцевание возможно при орошении легких суглинков и супесей	А. М. Можайко и др. (1966)
Магниевое осолонцевание	$K_4 = \frac{Mg^{+2} \cdot 100\%}{Ca^{+2} + Mg^{+2}}$	При $K_4 > 50\%$ проявляется магниевое осолонцевание	И. Сабольч (1961)
Хлоридное засоление	$K_5 = \frac{2Cl^- + SO_4^{-2}}{2}$	При $K_5 = 3 - 7$ мг·экв/л можно орошать почвы с низкой водопроницаемостью, при $K_5 = 7 - 15$ мг·экв/л — почвы со средней водопроницаемостью, при $K_5 = 15 - 20$ — почвы с хорошей водопроницаемостью	Данеги (США), Руководство САНИИРИ (1982)

Примечание. Здесь и ниже содержание катионов и анионов выражено в мг·экв/л.

вать в районах, расположенных в зонах формирования и транзита речного стока (в силу их лучшей естественной дренированности), чем в областях его рассеивания. На территориях с более

жарким климатом использование минерализованных вод также затруднительнее по сравнению с регионами, характеризующимися влажными климатическими условиями.

При поливах минерализованной водой следует также учитывать время работы выделенной системы как внутри года, так и за многолетний период. Особенно важно исследовать «срок возможного орошения» минерализованными водами, так как соли в орошаемых почвах могут накапливаться постепенно (в первые 3—4 года орошения незаметно), а потом это может резко ухудшить состояние почв. Как показал анализ, современные рекомендации не дают ответа на вопрос, в течение скольких лет можно орошать те или иные почвы минерализованными водами.

При выявлении оптимальных вариантов поливов минерализованными водами необходимо также учитывать применяемую при этом агротехнику. Поливы большими нормами, когда происходит смыкание оросительных и грунтовых вод, может привести к быстрому засолению орошаемых почв и потере урожайности сельскохозяйственных культур. Поэтому при поливах минерализованными водами необходимо строго следить за оросительными нормами. И наконец, необходимо рассчитать необходимые затраты и ожидаемую прибыль.

Таким образом, для ответа на вопрос, пригодна ли вода для орошения, необходимо одновременно учесть многие факторы, что возможно выполнить, по-видимому, только с применением сложных математических моделей и современных электроно-вычислительных машин. Пока это не достигнуто, мы предлагаем оценивать ирригационное качество воды комплексным методом, учитывающим природно-климатические, геоморфолого-гидрогеологические, почвенные и другие условия намеченного к орошению участка, применяемую агротехнику. При этом следует использовать наиболее удачные формулы, учитывающие возможные отрицательные проявления действия воды на рост растений и состояние орошаемых почв (табл. 16).

В основе этого метода заложены отмеченные выше подходы системного анализа, однако анализ, обобщение данных и конечные выводы производятся не ЭВМ, а человеком.

В качестве объектов использованы наиболее крупные коллекторы и реки рассматриваемых ирригационных районов в порядке их расположения в бассейнах Амударьи и Сырдарьи.

Оценка современного ирригационного качества поверхностных вод

В пределах Среднеазиатского региона в год формируется 28,82 км³ коллекторных вод с различной величиной минерализации.

В бассейне Амударьи объем коллекторных вод составляет 17,32 км³ в год, из них большая часть (56,9%) имеет минерали-

зацию от 3,0 до 5,0 г/л; 22,5% объема воды характеризуется минерализацией от 1,0 до 3,0 г/л.

В бассейне Сырдарьи минерализация коллекторных вод несколько ниже; здесь отсутствуют воды с минерализацией более 10,0 г/л, большая часть вод (85,2%) характеризуется минерализацией от 1,0 до 3 г/л.

Величина минерализации речных вод при выходе из гор в среднем не превышает 0,5 г/л, а состав их обычно гидрокарбонатный — кальциевый (Г-К), сульфатно-гидрокарбонатный — кальциевый (СГ-К) или гидрокарбонатно-сульфатный — кальциевый (ГС-К). Такая вода в Средней Азии всегда использовалась на орошение различных сельскохозяйственных культур, садов и виноградников, не угнетая растений и не вызывая засоления орошаемых почв. Воду такого качества можно выделить как «наиболее благоприятную для орошения».

В среднем и нижнем течении среднеазиатских рек минерализация воды в силу влияния различных факторов (сбросы коллекторов, русловое выклинивание возвратных вод, испарение и др.) начинает превышать 0,5 г/л, но она тоже используется на орошение. Еще совсем недавно, несмотря на некоторый рост минерализации по длине рек за счет естественных факторов, минерализация в устьях превышала 1,0 г/л. Состав воды при этом по преобладающим ионам оставался прежним, т. е. гидрокарбонатным — кальциевым (Г-К) или сульфатным — кальциевым (С-К), однако доля сульфатного иона несколько возросла. Такую воду можно считать «вполне пригодной для орошения». Однако орошение подобной водой значительных площадей с затрудненными условиями дренированности показало, что такая вода может привести со временем к засолению орошаемых почв. Подобная картина наблюдалась, например, в Голодной степи в первые годы ее интенсивного освоения без строительства коллекторной сети. Поэтому при использовании на орошение воды с минерализацией от 0,5 до 1,0 г/л, несмотря на благоприятный (не содовый) ее состав, необходимо отводить коллекторные воды с орошаемой территории (до создания отрицательного солевого баланса) и проводить ежегодные промывные поливы.

Значительная часть поверхностных вод Средней Азии в последние годы имеет минерализацию от 1,0 до 3,0 г/л, их состав в основном сульфатный — натриево-магниевый-кальциевый, иногда сульфатный — магниевый-кальциевый-натриевый (С-МКН). Такая вода в Сырдарье ниже г. Бекабада и в Амударье ниже Туямуюнского водохранилища. Около 22,5% (3,90 км³) коллекторных вод бассейна Амударьи и 85,2% (9,80 км³) коллекторных вод бассейна Сырдарьи также характеризуются подобным качеством.

Анализ результатов полевых исследований по использованию подобных вод для орошения показал, что хотя их иногда и используют для орошения, однако число требований к ним при этом увеличивается: по-прежнему необходимо сохранение отрицатель-

ного солевого баланса путем строительства дополнительного дренажа, увеличение норм промывных поливов, выбор более легких по механическому составу почв и др. Такую воду следует считать «пригодной для орошения в ограниченном количестве».

Минерализация речных вод в Средней Азии в настоящее время не превышает 3,0 г/л. Объем коллекторных вод с минерализацией от 3,0 до 5,0 г/л довольно значителен: в бассейне Амударьи до 9,85 км³ в год, в бассейне Сырдарьи — 0,33, т. е. всего 10,2 км³ в год. Состав этих вод меняется от хлоридно-сульфатного — магниево-натриевого (ХС-МН) до сульфатно-хлоридного — кальциево-магниево-натриевого (СХ-КМН), т. е. они характеризуются повышенным содержанием токсичных ионов: сульфатного, хлоридного, магния и натрия. Поливы такой водой могут привести не только к общему засолению почв, но и к хлоридному засолению, а также к магниевому и натриевому осолонцеванию. По нашему мнению, такие воды следует считать «неблагоприятными для орошения».

Описанные в литературе отдельные случаи поливов водой с такой минерализацией являются мало обоснованными и очень непродолжительны во времени. По нашему мнению, использовать такие воды для орошения можно только в безвыходных условиях, например, в очень маловодные годы. При этом следует поливать ими участки с наиболее легкими почвами (супесями и песками), а также принять соответствующие меры по улучшению дренированности орошаемых полей.

Объем коллекторных вод с минерализацией более 5,0 г/л достигает в Средней Азии в последние годы 3,73 км³ в год. По составу они в основном хлоридно-сульфатные — магниево-натриевые (ХС-МН) и сульфатно-хлоридные — магниево-натриевые (СХ-МН). Эти воды нельзя без разбавления использовать для орошения.

Градация воды в зависимости от величины минерализации и химического состава в целях возможного использования для орошения представлена в табл. 17. Данные таблицы позволяют в общей форме оценить пригодность воды любого коллектора для поливов сельскохозяйственных культур.

Таким образом, в результате изучения материалов по орошению водами с различной минерализацией в пределах Средней Азии можно отметить следующее:

1) наиболее благоприятными для орошения сельскохозяйственных культур следует считать воды с минерализацией до 0,5 г/л гидрокарбонатного — кальциевого или гидрокарбонатно-сульфатного — кальциевого состава;

2) предельной величиной минерализации воды, которой можно производить поливы, следует считать 3,0 г/л. Состав такой воды может быть как сульфатным — кальциевым, так и сульфатным — натриевым. Однако при использовании на орошение подобных вод необходимо выполнять различные требования, главные из которых заключаются в выборе наиболее легких по механиче-

скому составу почв (пески, супеси) и достижении отрицательного солевого баланса поля путем улучшения его дренированности;

Таблица 17

Ирригационное качество поверхностных вод Средней Азии

Минерализация, г/л	Химический состав и стадия	Качественная оценка воды	Требования к использованию для орошения
До 0,5	От Г-К до С-К	Наиболее благоприятна для орошения	Можно применять для любых сельскохозяйственных культур на любых почвах
От 0,5 до 1,0	От Г-К до С-К	Пригодна для орошения	Отвод коллекторных вод для создания отрицательного солевого баланса, проведение промывных поливов
От 1,0 до 3,0	От Г-К до С-Н	Пригодна для орошения в ограниченном количестве	Сохранение отрицательного солевого баланса путем строительства дополнительного дренажа: увеличение норм промывных поливов, выбор более легких по механическому составу почв
От 3,0 до 5,0	От С-К до С-М или С-Н	Неблагоприятна для орошения	Строительство дополнительной дренажной сети и коллекторов, увеличение норм и числа промывных поливов, выбор наиболее легких почв и солеустойчивых культур
От 5,0 до 7,0	С-М или С-Н	Используемая в исключительных случаях	Выполнение всех перечисленных требований, а также чередование поливов пресной и соленой водой или их смешение (до 1—3 г/л). Следует ожидать заметного засоления орошаемых почв, ухудшения их физических свойств, снижения плодородия и потери урожайности сельскохозяйственных культур
Более 7,0	С-Н или Х-Н	Практически непригодна для орошения (использовать для других целей)	Нельзя применять для орошения, в противном случае почвы быстро засолятся, наблюдается их слитизация, осолонцевание, гибель выращиваемых культур

3) воду с минерализацией более 3,0 г/л не следует без разбавления применять для орошения, так как она может вызвать как общее или хлоридное засоление почв, так и натриевое или магниевое осолонцевание.

**Оценка ирригационного качества воды в некоторых коллекторах
бассейна Аральского моря комплексным методом**

Коллектор	Минерализация, г/л	Расчетные величины коэффициентов				
		K ₁	K ₂	K ₃	K ₄	K ₅
1	2	3	4	5	6	7
Туямуюнский ирригационный район						
Дарьялык	1,74	3,73	—11,13	2,00	48,61	19,15
	3,91	4,25	—22,13	2,28	57,97	45,4
Озерный	1,45	3,07	—10,76	1,66	49,19	13,9
	3,74	4,84	—20,66	2,57	48,28	41,85
Газават-Дауданский	3,49	4,24	—21,33	2,18	46,93	39,79
	5,99	4,68	—33,79	2,51	55,68	71,28
Тахиаташский ирригационный район (орошаемая зона КК АССР)						
КС-1	1,70	2,88	—14,25	1,56	74,62	18,55
	4,60	3,95	—31,3	2,07	61,32	52,00
Кызылкумский	2,99	4,04	—18,8	2,09	54,12	32,08
	6,80	4,53	—41,4	2,47	54,99	83,91
КС-4	1,10	3,44	—7,14	1,82	42,81	10,44
	5,75	4,76	—30,84	2,44	65,66	62,4
КС-3	1,45	4,38	—7,63	2,14	49,75	14,1
	6,15	4,47	—36,87	2,26	63,68	67,05
ККС (Кунградский)	1,44	3,22	—10,71	1,67	47,20	13,96
	4,71	4,43	—28,56	2,29	62,77	54,65
Каршинская степь						
ЮК—створ №18	6,08	4,09	—42,8	2,03	60,85	54,80
	9,83	4,45	—60,38	2,29	68,42	91,25
ЮК выше Дашта	5,83	3,56	—44,39	1,85	51,23	56,23
	11,51	5,79	—57,63	2,82	60,54	118,98
Дашт—створ №8	3,70	4,57	—2,29	1,66	54,81	22,87
	13,16	6,13	—61,4	3,24	67,35	149,04
ЮК—6—створ №3	5,39	3,98	—35,17	1,88	60,66	43,59
	7,08	4,42	—43,54	2,19	61,59	64,89
ЮК—5—створ №61	5,10	5,14	—27,41	2,57	52,43	56,07
	17,43	6,64	—75,07	3,37	70,21	194,41
ЮК—5—створ №11	8,30	3,59	—63,63	2,31	74,07	100,83
	13,28	4,85	—75,64	3,25	77,52	113,31
	4,44	3,36	—34,4	1,77	55,97	39,01
	7,07	4,15	—46,77	2,06	57,98	63,54
Бухарский ирригационный район						
Денгизкульский	3,66	3,61	—25,88	1,86	62,80	33,75
	7,08	4,23	—44,82	2,15	69,08	64,94
Главный Бухарский	3,43	3,18	—30,6	1,82	67,28	37,7
	4,92	3,81	—34,0	1,82	69,59	44,6
Агитминский	1,29	2,39	—12,0	2,17	87,65	13,8
	12,69	6,69	—55,6	4,07	71,93	195,45
Северный	2,04	3,13	—14,2	1,74	73,47	17,8
	3,67	3,06	—30,6	1,49	76,11	28,0
В-9 Северного	2,55	3,68	—15,6	1,86	73,08	20,75
	5,93	3,78	—40,4	1,85	91,06	48,3

1	2	3	4	5	6	7
Маханкульский	1,55 6,60	2,62 3,69	-14,2 -49,8	1,56 1,76	68,54 75,0	15,75 61,55
Главный Каракульский	2,71 8,61	4,33 4,39	-15,6 -53,0	2,38 2,11	56,38 85,05	31,1 84,0
Ферганская долина						
Каракалпак	2,10 2,45	3,56 4,23	-12,54 -13,26	2,01 2,03	48,73 53,46	18,08 24,3
Пишкарар	1,25	2,25	-13,23	1,70	57,75	14,12
Шураккуль	2,25	3,07	-17,96	1,67	62,49	16,99
Абдусамат	1,84	3,61	-11,49	1,69	51,47	13,61
Сох-Исфаринский	2,17	2,68	-20,8	1,32	53,79	16,93
Сарысу-II	0,63 0,79	3,12 3,38	-1,54 -1,06	1,42 1,53	42,62 46,49	2,37 2,83
Северо-Багдадский	1,59 2,14	2,95 2,82	-12,95 -18,79	1,47 1,41	46,34 46,83	12,86 16,75
Северный	0,70 1,06	2,10 2,07	-7,81 -8,38	1,51 1,19	49,60 67,32	4,18 6,37
Голодная степь						
ЦГК—устье	3,19 5,40	4,08 4,67	-20,06 -31,69	2,12 2,39	56,53 59,73	31,23 55,85
Пограничный	2,50 11,97	4,32 5,71	-14,36 -60,55	2,29 2,80	51,15 64,31	24,88 128,03
Арк-1	2,55 15,02	3,93 5,55	-16,59 -79,32	1,90 2,67	51,82 64,99	22,88 159,33
Акбулак верхний	4,79 10,43	4,33 5,64	-28,58 -50,38	2,22 2,75	65,41 69,40	44,02 98,14
Кзылординский массив						
Курайлы	1,85	2,81	-15,2	1,48	52,2	16,2
Наурызбай	2,10 2,50	3,66 3,18	-13,6 -18,4	1,84 1,51	48,9 50,9	18,0 28,0
Северный	3,50	3,50	-25,2	1,83	82,6	33,6
Южный	4,02	3,58	-27,2	1,81	67,9	33,2
Соркуль	4,69	4,05	-28,8	2,15	59,5	54,8
К—2	5,14	4,03	-32,2	2,04	62,2	45,0
К—2—2	5,48	4,17	-28,8	2,09	65,6	48,0
К—1	6,14	7,75	-13,2	3,44	54,3	47,6

Оценку ожидаемого токсичного действия коллекторных вод при их использовании для орошения мы производим по формулам, приведенным в табл. 16. Каждое возможное отрицательное проявление токсичности воды будем оценивать по величине соответствующего коэффициента: 1) K_1 — характеризует опасность общего засоления, 2) K_2 — опасность содообразования, 3) K_3 — опасность натриевого осолонцевания, 4) K_4 — опасность магниевого осолонцевания и 5) K_5 — опасность хлоридного засоления.

По величинам этих коэффициентов было оценено возможное токсичное действие воды наиболее крупных коллекторов во всех

рассматриваемых в работе ирригационных районах. В табл. 18 приведены результаты расчетов K_1 — K_5 в некоторых из них.

Основываясь на результатах полученных расчетов, можно сделать следующие выводы: по величине K_1 , учитывающего только возможность общего засоления орошаемых почв, коллекторные воды рассматриваемых оазисов являются пригодными для орошения супесчаных почв, однако это не полная оценка ирригационного качества вод; более глубокая оценка этого качества показывает, что коллекторные воды практически всех рассматриваемых районов Срединного региона при орошении почв могут вызвать их магниевое осолонцевание и хлоридное засоление.

Поэтому, хотя при использовании таких вод и отсутствует опасность содообразования и натриевого осолонцевания, применять их для орошения в естественном состоянии не рекомендуется. На орошение их можно использовать частично и только в экстремальных условиях, с соблюдением различных условий. Орошение сельскохозяйственных культур в Средней Азии желательно производить только пресными водами с минерализацией до 1,0 г/л.

Один из путей изыскания дополнительных ресурсов пресных вод для продолжения развития орошения в Среднеазиатском регионе — использование в народном хозяйстве более минерализованных вод. Создав водоемы для сбора таких вод, ими можно заменять пресные воды в тех или иных сферах: например, при проведении промывок, в промышленности, в коммунально-бытовом хозяйстве и др. Это позволит выявить объем пресной воды, которую можно использовать для развития дальнейшего орошения.

Использование воды наиболее изученных коллекторов

В процессе исследований перед нами стояла задача более полно изучить гидрохимический режим наиболее крупных коллекторов рассматриваемых массивов. По мере сбора и анализа материала в качестве наиболее крупных коллекторов бассейна Аральского моря были выбраны следующие: 1) Главный Левобережный коллектор (Туркменский прибрежный ирригационный район), 2) Дарьялыкский коллектор (Хорезмский и Ташаузский оазисы), 3) коллекторы ККС, КС-1, КС-3, КС-4 (Тахиаташский ирригационный район), 4) Южный коллектор (Каршинская степь), 5) коллекторы Ачикульский (Северо-Багдадский), Северный, Сох-Исфаринский, Сары-Джуга (Ферганская долина), 6) коллекторы Центрально-Голодностепский (ЦГК), Баяутский, Джетысайский, Шурузяк, Главный Пойменный (Голодная степь). Кроме того, в процессе полевых исследований на территории Гулистанского района Сырдарьинской области в течение 1981—1984 гг. собран значительный материал по гидрохимическому

режиму некоторых небольших коллекторов: ГПК-вход, ГПК-выход, ВКУ-2-3, ВКУ-2, 5, дрены 2-3-1, 2-3-2, 2-3-3, 2-3-4.

Главный левобережный коллектор. Рассматриваемый коллектор расположен в левобережной части Чарджоуского оазиса. Он собирает коллекторно-дренажные воды 5 районов: Карабекаульского, Саятского, Сакарского, Чарджоуского и Денауского. В этих районах в 1984 г. было орошено около 100 тыс. га земель, из которых около 15% сильнозасоленные. Основная ведущая культура здесь — хлопчатник. Удельная протяженность существующей коллекторно-дренажной сети по районам меняется от 23,4 до 28,5 пог. м/га. Оросительная норма в среднем 22 тыс. м³/га.

В настоящее время сброс коллекторного стока производится в р. Амударью и частично в оз. Катташор. Среди коллекторов, впадающих в ГЛК, следует отметить КБ-2, СК-1, Чалтутский, К-1, М-1, М-3, Д-1, Д-2.

В год через Главный левобережный коллектор (ГЛК) в Амударью сбрасывается до 0,8—1,57 км³ коллекторной воды со средней минерализацией 2,53—2,85 г/л. Внутри года минерализация колеблется от 1,78 до 4,15 г/л, при этом с повышением расходов воды она уменьшается (1-й тип гидрохимического режима).

Состав воды большую часть года сульфатно-хлоридный — кальцево-магниевый-натриевый (СХ-КМН), иногда бывает хлоридно-сульфатный — магниевый-кальцево-натриевый (ХС-МКН), при этом содержание хлоридного и сульфатного ионов отличается незначительно.

Воду из ГЛК можно применять для орошения кормовой растительности на пастбищах и в небольших объемах для орошения хлопчатника (с учетом различных перечисленных выше требований), для промывок засоленных почв, для разведения рыбохозяйственных прудов, вдоль русла коллектора, создания водного природного комплекса на базе оз. Катташор, для коммунально-бытовых нужд близ городов Карабекауле, Саяте, Сакаре, Чарджоу, Московске и Дейнау. Есть смысл использовать эту воду в промышленном производстве г. Нефтезаводска, расположенного ниже по течению р. Амударьи.

Объемы потребляемой воды будут зависеть от числа и вида потребителей и норм водопотребления. Например, при полном использовании коллекторной воды на орошение кормовых культур на пастбищах (при оросительной норме 22 тыс. м³/га) можно освоить до 40—70 тыс. га новых земель.

Дарьялыкский коллектор. Длина его превышает 130 км. В 1968—1971 гг. среднегодовой расход воды в устьевой части коллектора (после слияния русла Дарьялыка с Озерным коллектором) изменился от 43,9 до 75,6 м³/с, к 1984 г. увеличился до 147,7 м³/с (или 4,63 км³/год). В настоящее время в Сарыкамышскую впадину сбрасывается 4,5—5,0 км³ воды в год со средней минерализацией 4,4—4,6 г/л. В этой впадине сейчас накоплено

около 19 км³ коллекторных вод со средней минерализацией 10—12 г/л (заполнение впадины началось в 1963 г.).

В 1984 г. на орошение 248,5 тыс. га земель Ташаузского оазиса было подано 6,03 км³ воды, оросительная норма в среднем составила 24,3 тыс. м³/га. Из 262,0 тыс. га обарыченных земель оазиса незасоленные земли занимают 60,9 тыс. га, остальные земли в различной степени засолены, в том числе сильно — 29,45 тыс. га.

В 1984 г. внутри года среднемесячные расходы воды в устьевой части Дарьялыка изменялись от 21,2 м³/с (декабрь) до 300,5 м³/с (август), минерализация воды — от 4,00 (октябрь) до 5,56 г/л (февраль). В целом для данного коллектора характерен 1-й тип гидрохимического режима, когда с ростом расходов воды ее минерализация несколько понижается.

По составу коллекторные воды внутри года большей частью хлоридно-сульфатные — магниевые-кальциевые-натриевые, но содержание хлоридного и сульфатного ионов почти одинаковое.

Воду данного коллектора (без смешения с более пресной водой) можно использовать для промывок сильнозасоленных почв и солончаков в целинной еще не освоенной под орошение зоне, а также для орошения солеустойчивых кормовых культур на легких по механическому составу почвах с одновременным строительством дренажно-коллекторной сети.

Для орошения обычных выращиваемых здесь культур (хлопчатник, рис) эту воду необходимо разбавлять в расчетных соотношениях, чтобы минерализация смешанной воды не превышала 3,0 г/л при поливах хлопчатника и 2,0—2,5 г/л — при поливах риса. Смешанной водой (также с минерализацией до 3,0 г/л) можно орошать и кормовые культуры на пастбищах, но при этом следует очень внимательно следить за изменением степени засоления орошаемых почв, искусственно поддерживая в них состояние постепенного рассоления.

Есть практический смысл построить новое русло данного коллектора с отводом его в Аральское море или в определенную его часть, отделенную от остального водоема. При этом в конечном итоге дарьялыкская вода может служить для разведения в этом водоеме ценных промысловых пород рыб.

Коллекторы Тахиаташского ирригационного района: ККС, КС-1, КС-3, КС-4. Коллектор ККС был построен в 1967 г., длина его более 50,0 км, расположен на левобережье дельты Амударьи, впадает в оз. Судочье.

Коллекторы КС-1, КС-3 и КС-4 расположены в правой части дельты Амударьи. Они были построены в 1964—1967 гг. Длина КС-1 — 114 км, КС-3 — 96 км. В пределах данного ирригационного района до 1953 г. отводные коллекторы отсутствовали.

В 1982—1984 гг. среднегодовой расход воды в рассматриваемых коллекторах изменялся следующим образом: в ККС — от 15,4 до 24,4 м³/с, в КС-1 — от 7,34 до 12,3, в КС-3 — от 4,66 до

7,37, в КС-4 — от 2,37 до 7,30 м³/с. Таким образом, в год в оз. Судочье сейчас сбрасывается до 0,77 км³ коллекторной воды, а в обсохшую часть дна Аральского моря суммарно из трех коллекторов (КС-1, КС-3, КС-4) — до 0,85 км³. В целом с орошаемой территории данного оазиса в 1984 г. было отведено 2,96 км³ коллекторных вод.

В 1982—1984 гг. среднегодовая минерализация воды в отмеченных коллекторах была равна: в ККС — 2,3—2,56 г/л, в КС-1 — 2,0—2,5, в КС-3 — 2,58—2,80, и в КС-4 — 1,92—2,28 г/л, т. е. везде менее 3,0 г/л. По составу большую часть года вода хлоридно-сульфатная — магниевое-натриевая, но бывает и сульфатно-хлоридная — магниевое-натриевая.

Так же, как и в рассмотренных ранее коллекторах, здесь наблюдается 1-й тип гидрохимического режима.

В 1984 г. на территории КК АССР, входящей в данный ирригационный район, было орошено 435,9 тыс. га, водозабор на орошение составил 10,44 км³ в год, оросительная норма в среднем 24,0 тыс. м³/га.

До 95% орошаемых земель КК АССР в различной степени засолены, поэтому нуждаются в постоянных промывках и отводе солей.

С точки зрения минерализации и химического состава воду рассматриваемых коллекторов можно использовать для промывок сильнозасоленных почв и солончаков, частично для орошения хлопчатника, кормовых культур и естественной растительности на пастбищах с соблюдением всех отмеченных выше требований, а также для создания на базе существующих водоемов рыбных хозяйств. Минерализация воды в таких водоемах не должна превышать 5—8 г/л.

Объемы потребляемой воды устанавливаются расчетным путем и зависят как от норм потребляемой воды, так и от числа потребителей. В перспективе необходимо эти воды (по-видимому, совместно со стоком Дарьялыкского коллектора) использовать для пополнения определенной части Аральского моря. При этом нужно отделять такие водоемы или части обсохшего дна моря, чтобы их водный баланс не был отрицательным, т. е. чтобы испарение не превышало поступления воды. В таких водоемах также можно разводить ценные породы рыб.

Южный коллектор. Воды большинства не очень крупных коллекторов Каршинской степи (СВ-1, Северная ветка, ЮК-8, ЮК-7, ЮК-4, ЮК-6, ЮК-5, Дашт и др.) отводятся через Южный магистральный коллектор в Султандагское понижение, а с 1982 г. — в русло Амударьи выше г. Чарджоу. Объем воды в Султандагской впадине в настоящее время составляет около 0,5 км³.

Среднегодовой расход воды в устье Южного коллектора равен 31,3 м³/с, т. е. за год по нему отводится до 0,98 км³ минерализованной воды. Среднегодовая минерализация воды 7,7 г/л, внутри года она меняется от 6,44 (февраль) до 8,5 г/л (август). В целом

для данного коллектора характерен II выделенный тип гидрохимического режима, когда с увеличением расходов воды ее минерализация также возрастает. Причиной этого является вынос легкорастворимых солей из новоосвоенных под орошение земель в Каршинской степи, причем, как показывают результаты солевых съемок, запасы этих солей здесь довольно значительны.

По составу вода Южного коллектора в основном хлоридно-сульфатная — магниевая-натриевая (ХС-МН).

В 1984 г. в пределах Кашкадарьинской области было орошено 431 тыс. га, водозабор на орошение составил 4,58 км³ в год. Плановая оросительная норма в целом по области 14 тыс. м³/га, фактическая — 10,9 тыс. м³/га. Собственные водные ресурсы бассейна Кашкадарьи малы: в среднем за многолетие они составляют 1,11 км³ в год. Поэтому обеспечение орошаемых земель необходимой водой происходит не полностью, так как ее не хватает, несмотря на работу Каршинского магистрального канала (и его Ульяновской ветки), поднимающего воды Амударьи на высоту 132 м.

Основная сельскохозяйственная культура здесь — хлопчатник. Его выращивание невозможно без работы коллекторно-дренажной сети, протяженность которой в 1984 г. увеличилась до 4887 км. Несмотря на это, мелиоративное состояние орошаемых земель тяжелое: в некоторых районах (Гузарский, Каршинский, Шахрисабзский, Китабский) поступление солей превышает их вынос.

В данном оазисе около 70% всех орошаемых земель в различной степени засолены, а 28,5% — средне- и сильнозасолены.

Воды Южного коллектора целесообразно использовать для промывки сильнозасоленных земель и солончаков. Ими можно промывать не только земли, расположенные близко к руслу коллектора, но и перебрасывать их на промывку земель, расположенных на значительном расстоянии, например, в центральной и северной частях Чарджоуского оазиса. На землях, расположенных близко к руслу коллектора, на базе этой воды можно выращивать солеустойчивые культуры (сахарная свекла, кормовая капуста, сорго и др.).

Использовать эту воду на орошение хлопчатника в пределах Каршинской степи можно только после ее разбавления до 3,0—2,5 г/л, т. е. более чем в 2 раза. При этом при поливах необходимо выполнять все описанные выше требования.

При разведении рыб на базе оз. Султандаг необходимо проводить гидрохимические наблюдения и следить за тем, чтобы минерализация воды не превысила 8 г/л. Такая минерализация является универсальным барьером, при переходе через который меняется ряд существенных биологических свойств.

Следует прекратить сбросы Южного коллектора в Амударью, так как расчеты показали, что при этом среднегодовая минерализация вод ниже коллектора повышается на 0,11 г/л.

Наиболее крупные коллекторы Ферганской долины: Ачикуль-

ский, Северный, Сох-Исфаринский, Сары-Джуга. Гидрохимические сведения об этих коллекторах приведены в табл. 19. Видно, что минерализация воды в них меняется от 1,58 до 2,75 г/л, а состав вод по преобладающим ионам в основном сульфатный — натриевый.

В Ферганской долине орошаемая площадь превышает 1200 тыс. га. Доля засоленных почв в орошаемой зоне составляет 58—60%, или около 700—720 тыс. га. Засоление почв преимущественно сульфатное. Большая часть засоленных почв долины на-

Таблица 19

Некоторые сведения о крупных коллекторах Ферганской области (1985 г.)

Коллектор	Створ	Расход, м³/с	Объем, км³	Минерализация, г/л	Состав воды	Административное положение (район)
Ачикульский	№ 60	61,3	1,93	2,75	ХС-КМН	Фрунзенский
Северный	№ 46	15,1	0,47	1,58	ГС-НМК	
Сох-Исфаринский	№ 70	9,58	0,30	2,27	ХС-МКН	Кировский
Сары-Джуга	№ 79	3,24	0,10	1,68	ХГС-МКН	Кувинский

ходится на ее левобережной части, где расположены и рассматриваемые коллекторы.

Бассейны указанных коллекторов расположены в Ферганской области. В среднем по этой области величина фактической оросительной нормы в 1985 г. составила 17 тыс. м³/га, а промывной — 4,2 тыс. м³/га. За 1 год на промывку в среднем подается около 1,3 км³ воды.

В настоящее время практически все крупные коллекторы Ферганской долины (в том числе и перечисленные выше) сбрасывают свой сток в р. Сырдарью или ее составляющие (Нарын и Карадарью), что приводит к значительному повышению минерализации речной воды при выходе ее из Ферганской долины.

Сброс коллекторных вод в реки можно уменьшить. Для этого часть коллекторного стока следует аккумулировать в районе его формирования, построив множество малых «стокохранилищ» в устьях всех крупных коллекторов, а также более крупное «стокохранилище» на месте солончаков Центральной Ферганы (наиболее засоленная часть Ферганской долины).

Подсчитано, что за год в этих «стокохранилищах» можно аккумулировать до 3,0—3,5 км³ воды со средней минерализацией 2,4—2,5 г/л. Эти воды целесообразно использовать для промывок сильнозасоленных земель и солончаков, освобождая при этом определенный объем более пресной речной воды для нижележащих оазисов.

В маловодные годы воду из «стокохранилищ» можно использовать для орошения хлопчатника, риса и кормовых культур, но

только на легких по составу почвах с соблюдением всех перечисленных выше требований.

Коллекторные воды можно также утилизировать на нефтяных скважинах для создания давления на нефтяные пласты путем строительства водоотводов от крупных коллекторов к существующим скважинам.

Можно применять коллекторные воды и в коммунально-бытовых целях (например, для канализации) в близлежащих к коллекторам населенных пунктах.

Таким образом, выдерживая принцип «рассредоточенного» использования коллекторных вод в данном оазисе, можно значительно сократить их сбросы в р. Сырдарью.

Наиболее крупные коллекторы Голодной степи: Баяутский, Джетысайский, Центральнo-Голодностепский, Шурузяк, Главный пойменный. Средняя минерализация воды в рассматриваемых коллекторах изменяется в настоящее время от 2,29 (ГПК-С) до 5,51 г/л (ЦГК). Состав воды в большинстве коллекторов хлоридно-сульфатный — кальциево-магниевый-натриевый (ХС-КМН), а в Джетысайском и ЦГК — хлоридно-сульфатный — магниевый-натриевый (ХС-МН) (табл. 20). Центральный Голодностепский коллектор образуется ниже слияния Джетысайского и Баяутского коллекторов.

В настоящее время коллекторные воды Голодной степи без всякого учета сбрасываются в р. Сырдарью и Арнасайскую впадину.

К использованию воды перечисленных выше коллекторов нужно подходить дифференцированно. Воду из Шурузяка и Главного Пойменного коллектора целесообразно использовать для промывок засоленных почв, освобождая при этом объемы пресной речной воды, которые можно использовать в нижележащих орошаемых массивах бассейна Сырдарьи. Эту воду можно также частично использовать для орошения хлопчатника, риса, кормовых культур в следующих вариантах: при смешении с речной водой и без смешения. В обоих случаях необходимо соблюдать необходимые требования (выбор почв с легким механическим составом, наличие необходимой дренажной сети, создание отрицательного баланса и др.). Конкретный объем используемых вод должен определяться расчетным путем для каждого коллектора.

Воду из Баяутского, Джетысайского и Центральнo-Голодностепского коллекторов лучше всего использовать для промывок солончаков или для орошения солеустойчивых культур на пустующих целинных землях (с выбором участков легкого механического состава).

Воду Центральнo-Голодностепского коллектора можно использовать и для создания водного природного комплекса (ВПК) на базе Арнасайского водоема. Для этого необходимо добиться, чтобы минерализация воды во всех его зонах не превышала 8 г/л (биологический барьер для ценных пород рыб).

Минерализация коллекторных вод Шурузяка и Главного Пой-

менного коллектора выше, чем в р. Сырдарье на данном участке. Поэтому необходимо сократить или полностью прекратить сброс этих вод в реку.

При пользовании коллекторными водами в их нижних участках необходимо построить различные по объему «стокохранилища». Величина используемого для различных целей объема коллекторных вод зависит не только от расходов воды в коллекторах,

Т а б л и ц а 20

Некоторые сведения о крупных коллекторах Голодной степи

Коллектор	Минерализация, г/л		Среднегодовой расход		Сток, млн. м ³ 1983 г.	Состав воды	Впадение
	1965 г.	1983 г.	1970 г.	1983 г.			
Шурузяк	3,25	2,55	18,93	14,46	0,46	ХС-КМН	В Сырдарью
Главный Пойменный (ГПК-С)	3,08	2,29	11,15	3,57	0,11	ХС-КМН	"
Центральный Голодностепский (ЦГК)	3,86	5,51	22,9	51,80	1,63	ХС-МН	В Арнасайскую впадину
Баяутский	3,32	3,09	—	4,12	0,13	ХС-КМН	В ЦГК
Джетысайский	4,82	4,17	—	6,04	0,19	ХС-МН	В ЦГК

но и от существующих отраслевых норм водопотребления. Так, существующая плановая оросительная норма в старой зоне орошения Голодной степи составляет 9,9 тыс. м³/га, промывная норма — 6,5 тыс. м³/га.

Проблема использования коллекторных вод в народном хозяйстве в перспективе, по нашему мнению, не потеряет своей актуальности, несмотря на постоянное развитие способов орошения и мелиорации (в рамках общего научно-технического прогресса), направленных на уменьшение безвозвратных потерь внутри орошаемых массивов и увеличение коэффициентов полезного действия оросительных систем, в перспективе отвод коллекторных вод из оазисов, несомненно, сохранится, по крайней мере в ближайшие 25—35 лет. Поэтому приведенные рекомендации по унифицированию коллекторных вод можно использовать и в будущем.

Охрана качества поверхностных вод

Качество речных вод Средней Азии под влиянием орошения и сбросов промышленных стоков, к сожалению, постепенно ухудшается: растет минерализация воды в нижнем течении рек, на отдельных участках водотоков в определенные дни и месяцы увеличивается содержание токсичных элементов и остатков ядохимикатов. Несомненно, эти процессы требуют не только фиксации

подобных фактов, но и разработки тщательных охранных мероприятий, направленных на сохранение чистоты наших рек.

Формы борьбы за улучшение качества речной воды могут быть следующими: 1) инженерно-техническими, 2) административными, 3) научно-исследовательскими (Степанов, Чембарисов, 1978).

К инженерно-техническим формам борьбы следует отнести выполнение следующих мероприятий: а) повторное (многократное) использование коллекторно-дренажных вод внутри зоны их формирования; б) отведение сильно минерализованных (более 10 г/л) остатков этих вод в специальные бессточные впадины или озера или в специально построенные искусственные резервуары, которые можно назвать «солеприемниками» или «солехранилищами»; в) прокладка по берегам рек магистральных коллекторов с целью перехвата и транспорта за пределы массивов (например, в Аральское море) минерализованных возвратных вод; г) гидроизоляция каналов и коллекторов, где это необходимо, и др.

Административные формы борьбы включают: а) уточнение некоторых республиканских, краевых, областных и районных границ для проведения их с границами крупных, средних и малых бассейнов или групп бассейнов; б) увеличение числа начальных и замыкающих створов. Расположение их должно быть таким, чтобы получить данные, характеризующие состояние орошаемых массивов или режим работы промышленных объектов, сбрасывающих отходы в реки. Створы следует располагать выше и ниже орошаемых и намеченных к орошению массивов; в) значительное расширение, укрепление кадрами, обеспечение новейшей отечественной и зарубежной химико-аналитической аппаратурой отделов и лабораторий, занимающихся изучением качества речных вод; г) фиксация при полевых работах всех имеющихся в речных бассейнах малых, средних и больших загрязнителей; д) создание автоматической системы управления (АСУ) всеми водными объектами в бассейне, а также имеющимися промышленными предприятиями для расчета количества, качества и времени сбросов.

Научные исследования по борьбе за улучшение качества речных вод заключаются в дальнейшем исследовании следующих проблем применительно к каждому региону нашей страны: а) прогноз качества поверхностных вод на ближайшую и отдаленную перспективы при различных условно заданных технических вариантах; б) создание дешевых и качественных опреснительных установок и микроопреснителей; в) обоснование повторного (местами полного) использования минерализованных коллекторно-дренажных вод внутри орошаемых контуров. В пределах каждого массива (и даже хозяйства) необходимо создать полевые резервуары (малые водохранилища) для того, чтобы хранить в них пресную (до 1,0 г/л) воду, а также резервуары — «солехранилища» для приема наиболее соленых поверхностных вод. Минерализованными водами можно частично орошать солеустой-

чивые галофитные растения (просо, джугару и др.), а также использовать их на промывки засоленных почв. Очень сильно засоленные воды (рассолы) можно использовать для лечебных целей; г) оценка ущерба, наносимого человеку увеличением минерализации и ухудшением качества речных вод; д) дальнейшая разработка методов прогноза изменения минерализации и химического состава воды рек, а также работающих, строящихся и проектируемых каналов под влиянием орошения.

Многие предлагаемые здесь мероприятия можно использовать для охраны качества поверхностных вод в любой стране или природном регионе.

Для улучшения качества речных вод Средней Азии можно предложить следующее:

1. В бассейне р. Сырдарьи очагами интенсивного выноса легко-растворимых солей в реки являются коллекторы Ферганской долины, отдельные коллекторы Голодной степи и Ташкентского оазиса. Необходимо уменьшить поступление сбросов этих коллекторов в реки. Объемы возможного сброса каждого коллектора (Сохский, Ачикульский, ГПК, Уртукли и др.) необходимо ограничивать заданной величиной минерализации, наблюдаемой в реке после впадения этих коллекторов. Можно, например, ограничиться тем, чтобы расчетная минерализация речной воды по всему течению Сырдарьи не превышала 1,0—1,5 г/л. Вокруг Арнасайского водоема, куда сбрасывают свои стоки многие коллекторы Голодной степи, необходимо создать рекреационную зону отдыха для населения прилегающих к нему областей. Подобные водоемы при благоприятном качестве сбросных вод можно широко использовать для разведения рыбы и водоплавающей птицы. Подобные водные природные комплексы со своим растительным и животным миром можно создать и на базе других водоемов, служащих приемниками коллекторно-дренажных стоков. Необходимо увеличить поступление пресного поверхностного стока в дельту р. Сырдарьи за счет более четкого планирования водопользования в верхней и средней частях бассейна.

2. В бассейне р. Амударьи на минерализацию речной воды наибольшее влияние оказывают Вахшский, Сурхан-Шерабадский и Чарджоуский оазисы. Поэтому необходимо ограничить поступление минерализованных стоков из следующих коллекторов: В-9, В-10, К-13, В-7, В-Д-6, В-Д-10, Ангорского, К-2, Ж-К, К-5, Самотечного, Бурдалыкского, Ходжамбасского и Главного Левобережного. В последние годы в р. Амударью стали поступать стоки Южного коллектора с территории Каршинской степи и Главного Бухарского коллектора с территории Бухарской области. Величину этих стоков также необходимо ограничить, чтобы расчетная величина минерализации речной воды по течению Амударьи не превышала 1,0—1,5 г/л. Воду Дарьялыкского коллектора, по-видимому, лучше сбрасывать не в Сарыкамышскую впадину, а в Аральское море для уменьшения его усыхания. Отдельные водое-

мы бассейна Амударьи (озера Катташор, Сарыкамыш, Султан-даг, Денгизкуль, Соленое и др.) необходимо использовать для разведения рыб и водоплавающей птицы, а также в качестве зоны отдыха для местного населения.

Научно-исследовательским и проектным организациям Средней Азии (Средазгипроводхлопок, САНИИРИ, Саогидропроект, Гидрорыбпроект, Узгипроводхоз и др.) необходимо составить такие проекты, чтобы в них содержались конкретные сведения о том, какую часть коллекторно-дренажных вод можно использовать для орошения и промывок, а какую необходимо отводить в водоемы для создания в них природных комплексов, благоприятных для развития растительного и животного мира. Проблема сохранения определенной части Аральского моря должна быть решена особо.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящее время водный сток рек Средней Азии почти полностью разбирается на нужды народного хозяйства региона, главным образом на орошение сельскохозяйственных культур. В бассейне Сырдарьи, например, уже сейчас не осталось резервов пресной речной воды, а в бассейне Амударьи такое положение наступит в ближайшие 5—10 лет. Поэтому очень важно изыскать и изучить новые источники водоснабжения с целью использования их в народном хозяйстве.

Одним из источников частичного покрытия перспективных потребностей в воде являются коллекторно-дренажные воды орошаемых массивов, которые в настоящее время в данном регионе достигли значительных размеров, но очень слабо изучены как в гидрологическом, так и в гидрохимическом отношении. Именно гидрохимические характеристики будут играть важнейшую роль при выяснении возможностей использования в различной степени минерализованных коллекторно-дренажных вод в народном хозяйстве.

В данной монографии раскрыты вопросы гидрохимии коллекторно-дренажных вод в большинстве крупных ирригационных районов* Средней Азии и обоснованы гидрохимические критерии (по минерализации и химическому составу) оценки возможности их использования в различных сферах народного хозяйства данного региона без их опреснения (этот вариант использования минерализованных коллекторных вод назван автором принципом «рассредоточенного использования»). Это являлось главной целью проведенных исследований.

В качестве объектов исследований выбраны наиболее крупные ирригационные районы, в том числе в бассейне Амударьи: 1) Вахшский, 2) Сурхан-Шерабадский, 3) Туркменский прибрежный, 4) Туямуюнский (включая Хорезмский и Ташаузский оазисы), 5) Тахиаташский, 6) Каршинский, 7) Бухарский, 8) Тедженский и Мургабский; в бассейне Сырдарьи: 1) Ферганская долина, 2) Голодная степь, 3) Ташкентский, 4) Арысь-Туркестанский, 5) Кызылординский и Казалинский массивы, расположенные в низовьях бассейна.

* К наиболее крупным ирригационным районам относились те массивы, орошаемая площадь которых превышала 100 тыс. га.

Таким образом, рассмотрены практически все крупные ирригационные районы Средней Азии, расположенные в настоящее время по руслу рек Амударьи и Сырдарьи, начиная от верховьев бассейнов до низовий. Кроме того, рассмотрены Каршинский и Бухарский ирригационные районы, в гидрографическом и водохозяйственном отношении связанные с бассейном Амударьи.

Опишем основные результаты проведенных исследований и полученные выводы.

1. Современный объем коллекторных вод, стекающих с территорий рассмотренных в работе наиболее крупных ирригационных районов Среднеазиатского региона, в последние пять лет в среднем равен $28,82 \text{ км}^3$ в год. Наличие такого значительного объема коллекторных вод (около $1/4$ имеющихся поверхностных ресурсов) позволило выделить их в качественно новую составную часть гидросферы данной территории, к изучению которой нужно подходить не только с мелиоративных, но и с эколого-географических позиций: т. е. следует не только следить за отводом воды с орошаемых территорий, но и определить, какое действие коллекторный сток оказывает сейчас и может оказать в перспективе на компоненты природных ландшафтов: речной сток, окружающие оазисы озера и другие водоемы, пастбищные и другие угодья и др. Одна из наиболее существенных мер по охране окружающей среды от отрицательного влияния коллекторных вод — их рациональное использование как внутри районов их формирования, так и за его пределами, например, для сохранения определенной части Аральского моря.

2. Современное распределение коллекторных вод в пределах ирригационных районов бассейна Амударьи следующее (в числителе приведена величина среднего годового объема воды, в км^3 ; в знаменателе — величина среднегодовой минерализации, в г/л): а) в Вахшском — $2,67/1,8$; б) в Сурхан-Шерабадском — $0,95/2,4$; в) в Туркменском прибрежном — $2,31/3,5$; г) в Туямуюнском — $4,71/4,2$; д) в Тахиаташском — $2,35/4,0$; е) в Бухарском — $1,47/4,2$; ж) в Каршинской степи — $1,22/7,7$; з) в Мургабском — $1,20/10,5$; и) в Тедженском — $0,44/14,2$.

3. В пределах ирригационных районов бассейна Сырдарьи коллекторные воды имеют следующие характеристики: а) в Ферганской долине — $7,47/2,2$; б) в Голодной степи — $2,58/2,7$; в) в Ташкентском оазисе — $1,20/1,7$; г) в Арысь-Туркестанском — $0,05/6,03$; д) в Кызылординском и Казалинском — $0,2/4,2$.

4. Подсчитано распределение имеющихся объемов коллекторных вод по величине минерализации (в г/л) по следующим градациям: 1) до 0,5; 2) 0,5—1,0; 3) 1,0—3,0; 4) 3,0—5,0; 5) 5,0—10,0; 6) более 10,0 г/л. В бассейне Амударьи эти воды в настоящее время распределены следующим образом: до 0,5 г/л имеет 1,1% всех вод, от 0,5 до 1,0 г/л — 0,6%, от 1,0 до 3,0 г/л — 22,5%; от 3,0 до 5,0 г/л — 56,9%, от 5,0 до 10,0 — 8,4%, более 10,0 г/л — 10,5%. Таким образом, в бассейне Амударьи большая часть коллекторных вод имеет минерализацию от 3,0 до 5,0 г/л.

5. В бассейне Сырдарьи коллекторные воды по величине минерализации распределены следующим образом: до 0,5 г/л имеют 2,6% всех вод, от 0,5 до 1,0 г/л — 5,2%, от 1,0 до 3,0 г/л — 85,2%, от 3,0 до 5,0 г/л — 2,9%, от 5,0 до 10,0 — 4,1%, т. е. минерализация коллекторных вод данного бассейна в среднем несколько меньше, чем минерализация коллекторных вод бассейна Аму-дарьи.

6. Коллекторные воды отличаются от речных не только по величине минерализации, но и по составу солей. При повышенном содержании токсичных ионов, при использовании этих вод для орошения, может произойти: а) общее засоление почв, б) содовое засоление (что особенно опасно для растений), в) хлоридное засоление, г) магниевое засоление, д) натриевое засоление (осолонцевание орошаемых почв). Проведенный анализ сведений по полному химическому составу коллекторных вод рассматриваемых ирригационных районов показал следующее. В бассейне Аму-дарьи: 1) в Вахшском и Сурхан-Шерабадском районах в коллекторных водах преобладает нетоксичный сульфат кальция, 2) в коллекторных водах Туркменского прибрежного, Тахиаташского районов, в Мургабском и Тедженском оазисах преобладает токсичный хлорид натрия, 3) в Туямуюнском, Бухарском районах и в Каршинской степи преобладает малотоксичный сульфат натрия. В бассейне Сырдарьи в водах большинства ирригационных районов преобладает малотоксичный сульфат натрия, в Ташкентском — нетоксичный сульфат кальция. Таким образом, только воды верховьев бассейнов характеризуются значительным количеством в них сульфата кальция (гипса), коллекторные воды остальных ирригационных районов несколько токсичны, коллекторные воды с содовым засолением в Средней Азии отсутствуют.

7. Минерализованные коллекторные воды предложено использовать в одиннадцати сферах народного хозяйства, которые были разбиты на две группы: 1-я группа сфер не связана с использованием воды непосредственно живыми организмами, 2-я группа сфер связана с использованием воды живыми организмами. Этот перечень неполон. В недалеком будущем, когда объемы коллекторных вод увеличатся, они могут заменить и другие сферы народного хозяйства, где в настоящее время используются пресные воды. Это станет возможным не только из-за наличия коллекторных вод, но и благодаря смене технологии в отдельных сферах, использующих пресную воду.

8. При современном ведении орошаемого земледелия в пределах речных бассейнов будут формироваться не только первичные коллекторные воды, но и вторичные, а может быть, и третичные возвратные воды. При этом их минерализация будет постепенно возрастать, а количество сфер возможного использования уменьшаться. Воды многократного возврата следует опреснять, при этом пресную воду использовать по необходимости, а из рассолов получать различные соли. Если же в таких водах будут находить-

ся токсичные вещества, то их лучше всего магазинировать в специально отведенных для этого местах, например, на землях, непригодных для орошения.

9. Коллекторный сток необходимо использовать, согласуясь не только с величиной минерализации воды, но и с орографическими и другими природными особенностями речных бассейнов. В горной части бассейнов коллекторные воды лучше сбрасывать в реки и водохранилища для пополнения их водоносности, строго наблюдая за изменением минерализации воды (предел 1,0 г/л) и содержанием токсичных веществ (например, в Вахшской долине, в долине р. Сурхандарьи и др.). В среднем течении рек сброс коллекторных вод необходимо максимально уменьшить, используя их для создания водных природных комплексов и разведения рыб, в промышленных целях, в коммунально-бытовых целях, частично для поливов и промывок сильнозасоленных почв, пополнения запасов грунтовых вод и др. (например, в Голодной степи, Туркменском прибрежном районе и др.). Отработанный сток необходимо опреснять, используя пресную воду по необходимости, а рассолы (при невозможности их использования) магазинировать в специально отведенных местах. В нижнем течении рек коллекторный сток предпочтительно использовать для орошения солеустойчивых культур, промывок солончаков, сохранения водоемов, важных с экологической точки зрения. При возникновении «отработанных» вод, их необходимо опреснять, а соли (если они не будут представлять технического интереса) магазинировать. Эти пути использования наиболее предпочтительны в Бухарском оазисе, в Тахнаташском ирригационном районе, в низовьях бассейна Сырдарьи. При практическом использовании стоков малых и больших коллекторов в их концевых участках необходимо построить специальные резервуары для сбора воды, широко использовать перекачку воды насосами из одного русла в другое, подвоз воды специально оборудованной техникой в места ее потребления и т. д. Нужно перестраивать психологию специалистов на более широкое использование минерализованных коллекторных вод. Специалисты должны осознать замену используемых пресных вод в той или иной сфере на минерализованные воды. Задача эта непростая, при этом нужно менять не только психологию и настрой специалистов, но и технологию производства.

10. Очень серьезно и осторожно следует относиться к использованию минерализованных вод для орошения сельскохозяйственных культур. Орошаемая площадь в бассейнах Амударьи и Сырдарьи в перспективе будет существенно увеличена. Это будет достигнуто не только за счет уменьшения существующих оросительных норм, введения новых перспективных способов поливов, переустройства оросительных сетей, но и частично за счет использования для орошения минерализованных вод. Эта задача тоже непростая. Для ее практического решения необходимо провести районирование имеющихся земель по физическим и химическим

свойствам, а также в каждом хозяйстве или даже в целом в ирригационном районе нужно создать два типа водохранилищ: 1) для сбора и хранения пресной воды, 2) для сбора и хранения соленой воды. Это позволит чередовать использование той или иной воды в зависимости от задачи и имеющихся условий.

11. При использовании определенной части коллекторных вод Средней Азии для повторного орошения, несмотря на то, что они в преобладающей части малотоксичны, обладают значительным кальциевым резервом и содержание солей в них в среднем не превышает 3,5—4,0 г/л, нужно постоянно следить не только за урожайностью сельскохозяйственных культур, но и за состоянием орошаемых почв. При выборе участков для использования минерализованных вод для орошения необходимо пользоваться комплексным методом, предложенным в монографии, не забывая о том, что нужно давать ирригационную оценку не только используемой воде, а всей системе: почвам, воде, растениям.

12. В настоящее время в пределах бассейна Аральского моря формируется 28,82 км³ минерализованных коллекторных вод, которые частично впадают в русла крупных рек, частично аккумулируются в отдельных естественных понижениях, а частично теряются в песках и пустынях за границей современных оазисов. Между тем показано, что эти воды можно и нужно использовать.

Использование коллекторных вод в народном хозяйстве, несомненно, даст экономический эффект. Правильно подсчитать этот эффект необходимо вместе с экономистами. Сейчас можно отметить следующее: использование коллекторных вод даст новый импульс развитию многих отраслей народного хозяйства, позволит создать зоны отдыха и охоты, снимет напряжение в орошаемом земледелии, позволит создать водные природные комплексы в пустынной территории и др.

Подсчеты показывают, что использование в народном хозяйстве 28,82 км³ коллекторных вод позволит получить экономический эффект 2,0—2,5 млрд руб. в год.

Проблема сохранения определенной части Аральского моря с помощью коллекторного стока должна быть решена особо.

В заключение отметим, что проблемы охраны качества речных вод и использования минерализованных коллекторных вод бассейна Аральского моря должны решаться одновременно как в целом по речным бассейнам, так и в рамках отдельных хозяйств.

Только такой подход (географическо-бассейновый) к решению данных гидрохимических проблем позволит выявить наиболее рациональные пути использования минерализованных вод и сохранить окружающую природную среду от их влияния.

СПИСОК ОСНОВНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- Айдаров И. П., Корольков А. И. Использование вод повышенной минерализации для орошения земель//Сб. научн. трудов В/О «Союзвод-проект», № 53, 1980.
- Алекин О. А. Основы гидрохимии.— Л.: Гидрометеониздат, 1970. 444 с.
- Антипов-Каратаев И. Н., Кадер Г. М. К мелиоративной оценке поливной воды, имеющей щелочную реакцию//Почвоведение, 1961, № 3.
- Аткарская Т. Н. Возвратные воды орошаемых земель Ферганской долины//Метеорология и гидрология, 1970, № 10, С. 63—71.
- Барон В. А., Парфенова Н. И. Методические рекомендации по прогнозу режима уровня и минерализации грунтовых вод в условиях орошения.— М.: ВСЕГИНГЕО, 1973.
- Беспалов Н. Ф. Использование минерализованных вод для орошения и промывки в Узбекистане//Использование минерализованных вод в сельском хозяйстве.— Ашхабад: Ылым, 1984. С. 46—53.
- Бостанжогло А. В., Шульц В. Л., Стрижинский А. П. Исчисление выклинивающихся вод в бассейнах Юго-Западного Узбекистана//Ирригация и гидротехника, 1936, № 7.
- Буданов М. Ф. Влияние орошения минерализованными водами на почвы//Тр. Укр. НИИГиМ.— Киев, 1956, вып. 77/3.
- Валяшко М. Г. К познанию основных физико-химических закономерностей в развитии соляных озер. Первый опыт естественной классификации озер по хим. составу рассолов//Прикл. химия, 1939, т. 12, № 7.
- Вернадский В. И. История минералов земной коры. Том II. История природных вод. Ч. 1, вып. II.— Л.: ОНТИ—Химтеорет, 1934. 402 с.
- Видинеева Е. М., Исмакова Г. И. О гидрохимическом режиме и русловом солевом балансе Центрального Голодностепского коллектора//Тр. САРНИГМИ, вып. 60.— М.: Гидрометеониздат, 1979. С. 121—130.
- Воронков П. П. Формирование химического состава поверхностных вод степной и лесостепной зон Европейской территории СССР.— Л.: Гидрометеониздат, 1955. 350 с.
- Воропаев Г. В., Исмаилов Г. Х., Федоров В. М. Моделирование водохозяйственных систем аридной зоны СССР.— М.: Наука, 1984. 312 с.
- Горев Л. Н., Пелешенко В. И. Мелиоративная гидрохимия.— Киев: Вища школа, 1984.— 256 с.
- Глазовская М. А. Геохимические основы типологии и методики исследования природных ландшафтов.— М.: Изд-во МГУ, 1964.
- Глазовская М. А. Общее почвоведение и география почв.— М.: Высшая школа, 1981. 400 с.
- Глазовский Н. Ф. Современное соленакопление в аридных областях.— М.: Наука, 1987. 192 с.
- Горелкин Н. Е. Гидрометеорологический, гидрохимический режим и прогноз водно-солевого баланса Арнасайской озерной системы: Автореф. дис. ...канд. географ. наук.— Ташкент, 1985. 20 с.
- Горелкин Н. Е., Нурбаев Д. Д., Видинеева Е. М., Кудышкин Т. В. Прогноз водного и гидрохимического режима озера Сарыкамыш//Природные ресурсы пустынь и их освоение. Тезисы докл. V Всесоюзн. науч. конф.— Ашхабад: Ылым, 1986. С. 55—57.
- Глухова Т. П. Почвенные процессы при орошении минерализованными водами.— Ташкент: Фан, 1977. 128 с.
- Глухова Т. П., Стрельникова Г. А. Минерализованные воды Узбекистана как резерв орошения.— Ташкент: Фан, 1983. 136 с.
- Духовный В. А., Прохоренко Н. И., Соколов В. И. Возвратный сток в бассейне Сырдарьи//Гидротехника и мелиорация, 1983. № 3.
- Духовный В. А., Виленик В. Б., Умарходжаев Д. К. и др. Научно-технический прогресс и мелиорация земель в Средней Азии.— Ташкент: Мехнат, 1985. 144 с.
- Ибрагимов Г. А. Использование минерализованных вод на орошение хлопчатника.— Ташкент: Фан, 1973. 130 с.

- Ибрагимов Х. Г. Орошение подземными водами участков на пастбищах Казахстана//Использование подземных вод для орошения в комплексе с поверхностными водами. IX Международ. конгресс по ирригации и дренажу.— М.: ЦБНТИ Минводхоза СССР, 1975. С. 17—27.
- Исмаилов Г. Х., Федоров В. М. Определение функции возвратных вод для моделей распределения водных ресурсов//Теория и практика управления водными ресурсами суши.— М.: Наука, 1985. С. 85—89.
- Израэльсон О. У. Теория и практика ирригации.— М.: ИЛ, 1956. 320 с.
- Ковда В. А. Происхождение и режим засоленных почв.— М.; Л.: Изд-во АН СССР, т. 1, 1946, 573 с.; т. 2, 1947, 375 с.
- Ковда В. А. Аридизация суши и борьба с засухой.— М.: Наука, 1977. 272 с.
- Ковда В. А. Проблемы борьбы с опустыниванием и засолением орошаемых почв.— М.: Колос, 1984. 302 с.
- Костяков А. Н. Основы мелиорации.— М.: Сельхозгиз, 1951.— 622 с.
- Крыжановский Р. А. Ресурс будущего (Морская вода. Эффективность освоения).— М.: Мысль, 1985. 172 с.
- Легостаев В. М. Мелиорация засоленных земель.— Ташкент: Госиздат УзССР, 1959. 154 с.
- Матмуратов Д. Д., Рамазанов А. Р., Саятов К. А. Минерализованные воды — дополнительный источник для орошения риса.— Нукус: Каракалпакстан, 1984. 114 с.
- Максимович Г. А. Химическая география вод суши.— М.: Географгиз, 1955.
- Минашина Н. Г. Об использовании минерализованных вод для орошения//Гидротехника и мелиорация, 1972. № 3. С. 31—37.
- Можейко А. Н., Воротник Т. К. Гипсование солонцеватых каштановых почв УССР, орошаемых минерализованными водами, как метод борьбы с осолонцеванием этих почв//Тр. УкрНИИ почвовед., т. III, 1958.
- Морозов А. Т. Водно-солевой баланс орошаемых территорий. Автореф. доктор. диссертации. Изд-во АН СССР, 1954.
- Назармамедов О., Метнев Б., Хадыров О. Использование коллекторно-дренажных вод для орошения сельскохозяйственных культур и промывок засоленных земель.— Ашхабад: ТуркменНИИТИ, 1984. 48 с.
- Новиков Ю. В. Воде быть чистой.— М.: Московский рабочий, 1977. 126 с.
- Орлова А. П. Прогноз качества воды р. Сырдарьи//Тр. САНИИРИ, 1973, вып. 138. С. 57—67.
- Пакшина С. М. Передвижение солей в почве.— М.: Наука, 1980. 120 с.
- Паиков М. А. Мелиоративное почвоведение.— Ташкент: Укитувчи, 1974.
- Парфенова Н. И. Закономерности формирования гидрохимического режима грунтовых вод и балансовые методы прогноза в условиях орошения//Междунар. высшие гидролог. курсы ЮНЕСКО при МГУ, 3 сессия.— М.: Изд-во МГУ, 1971.
- Перельман А. И. Геохимия ландшафта.— М.: Высшая школа, 1975.
- Перельман А. И. Геохимия природных вод.— М.: Наука, 1982. 152 с.
- Полынов Б. Б. Процессы засоления и рассоления и солевой профиль почв. //Тр. Комис. по ирригации, 1933, вып. 1.
- Полынов Б. Б. Кора выветривания.— Изб. тр. Изд-во АН СССР, 1956.
- Рабочев И. С. Влияние минерализованных вод на солевой режим почв и урожай сельхоз. культур.— Ашхабад: Ылым, 1973. 28 с.
- Радосевич Г. Е. Проблема борьбы с засолением воды в Колорадо в связи с освоением нефтяных и угольных месторождений в ее верховьях.— М.: ЦБНТИ Минводхоза СССР, 1978, С. 25—27.
- Разakov Р. М., Рузиев И. Б. О переброске вод крупных коллекторов и естественных солеводоприемников в Аральское море//Охрана речных вод от загрязнения.— Ашхабад: Ылым, 1985.
- Ракитин К. А., Побережский Л. Н. К прогнозу минерализации воды рек Сырдарьи и Амударьи//Тр. ин-та «Средазгипроводхлопок», Ташкент, 1978, вып. 9. С. 3—14.
- Рекомендации по использованию минерализованных вод для орошения кормовых культур в Туркменской ССР.— Ашхабад: Ылым, 1982. 20 с.

- Решеткина Н. М., Сойфер С. Я. Прогноз минерализации стока горизонтальных дрен//Хлопководство, 1976, № 3.
- Рубинова Ф. Э. Изменение стока р. Сырдарьи под влиянием водохозяйственного строительства в ее бассейне//Тр. САРНИГМИ.—М.: Гидрометеиздат, 1979, вып. 58 (139). 135 с.
- Рубинова Ф. Э. Изменение стока р. Амударьи под влиянием водных мелиораций в ее бассейне//Тр. САНИИ.—М., 1985, вып. 106 (187), 115 с.
- Руководство по использованию дренажных вод на орошение сельскохозяйственных культур и промывки засоленных земель.— Минводхоз СССР, САНИИРИ.—Ташкент, 1982. 76 с.
- Руководство по проведению текущей промывки почв на мелиорированных орошаемых землях Азербайдж. ССР.—Баку: Б. и., 1983. 68 с.
- Светицкий В. П. Вопросы методики исследований возвратных вод//Изв. АН УзССР, сер. техн. наук, 1967, № 3.
- Сабольч И. Влияние мелиорации (орошения и осушения) на почвообразовательные процессы Западной части Венгерской низменности.—Будапешт, 1961. 120 с.
- Сойфер С. Я. Классификация минерализованных вод по степени их пригодности для орошения//Гидротехника и мелиорация, 1982, № 6.
- Степанов И. Н. Почвенные прогнозы.—М.: Наука, 1979. 82 с.
- Степанов И. Н., Чембарисов Э. И. Влияние орошения на минерализацию речных вод.—М.: Наука, 1978. 120 с.
- Тарасов М. Н., Баранов В. С., Кобилева Э. А. и др. Прогнозирование выноса солей и минерализации коллекторных вод, отводимых с рисовых оросительных систем//Гидрохим. материалы, т. IXXX, Л.: Гидрометеиздат, 1982. С. 28—43.
- Трунова Т. А. Иригационный возвратный сток, его качество и использование в бассейне Амударьи//Сб. ин-та «Средазгипроводхлопок», Ташкент, 1984. С. 17—31.
- Тулякова З. Ф. Рис на засоленных землях.—М.: Колос, 1978. 239 с.
- Угланов И. Н. Графический способ оценки качества оросительной воды//Гидротехника и мелиорация, 1976, № 1.
- Усманов А. У. К вопросу методологии оценки качества дренажных вод в целях использования их на орошение//Тр. САНИИРИ, 1978, вып. 156.
- Хасанов А. С., Арипов К. М. Гидрохимический и гидродинамический режим грунтовых вод Узбекистана.—Ташкент: Фан, 1983. 180 с.
- Харченко С. И., Левченко Г. П. Методика определения возвратных вод с орошаемых земель//Тр. ГГИ, 1972, вып. 199. С. 3—67.
- Хлебозич В. В. Критическая соленость биологических процессов.—Л.: Наука, 1974. 235 с.
- Ходжибаев Н. Н., Самойленко В. Г. Гидрогеолого-мелиоративные прогнозы.—Ташкент: Фан, т. 1, 1976, с. 360; т. 2, 1979. 144 с.
- Ходжибаев Н. Н., Шерфединов Л. З. Вопросы гидрогеологического прогнозирования в аридных областях.—Ташкент: Фан, 1982. 178 с.
- Чембарисов Э. И. Уменьшить минерализацию//Сельское хоз-во Узбекистана, 1973, № 5.
- Чембарисов Э. И. Общая характеристика изученности минерализации и химического состава коллекторных вод Средней Азии//Тр. САРНИГМИ, вып. 52 (133).—М.: Гидрометеиздат, 1977. С. 34—41.
- Чембарисов Э. И. Гидрохимический режим коллекторных вод некоторых оазисов Средней Азии//Тр. САИГИМС, Вопросы гидрогеологии ноосферы.—Ташкент: 1978, вып. 3. С. 61—67.
- Чембарисов Э. И. Исследование изменения почвенно-мелиоративных условий орошаемых территорий по минерализации и химическому составу речных и коллекторных вод//Тез. съезда географ. общества УзССР.—Ташкент: Фан, 1980. С. 42—43.
- Чембарисов Э. И. Поверхностные водные ресурсы бассейна Аральского моря, их рациональное использование и охрана//Географ. основы природопользования в УзССР, Ташкент: Фан, 1983.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
Глава 1. Современные проблемы гидрохимии орошаемых территорий бассейна Аральского моря	5
Глава 2. Гидрологический и гидрохимический режим коллекторных вод крупных ирригационных районов	15
Глава 3. Многолетние изменения гидрохимических характеристик по- верхностных вод	42
Глава 4. Принципы рассредоточенного использования коллекторных вод	58
Заключение	96
Список основной литературы	101