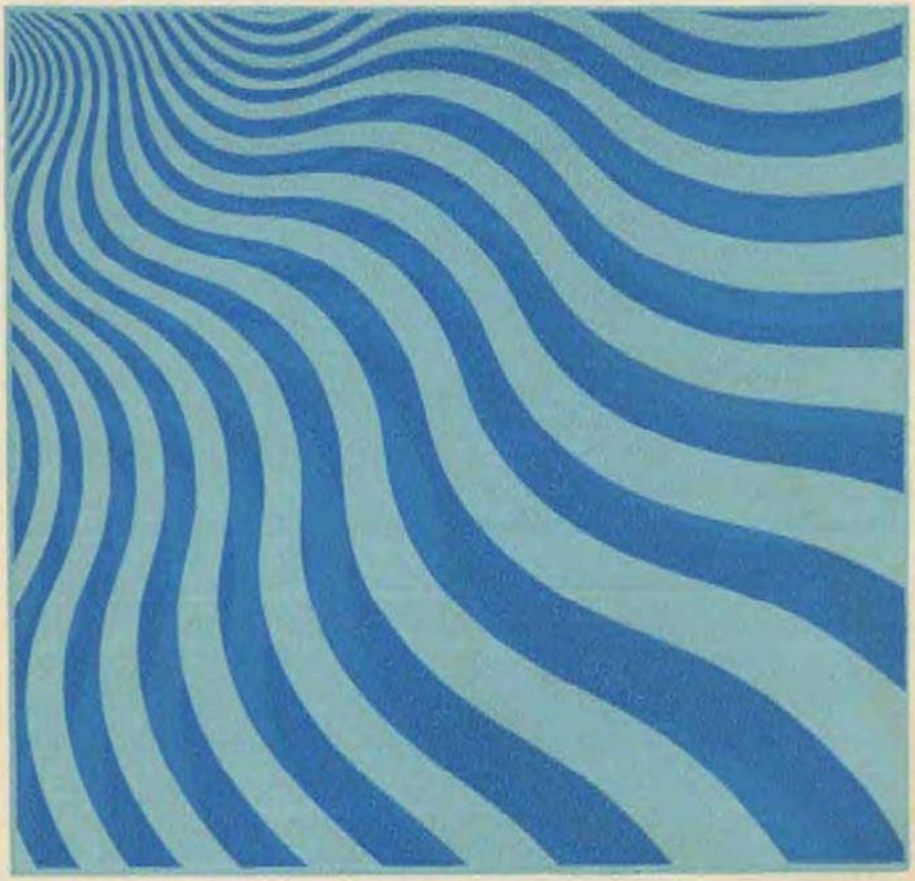
И. Н. СТЕПАНОВ
Э. И. ЧЕМБАРИСОВ

Влияние орошения на минерализацию речных вод



Издательство «Наука»

АКАДЕМИЯ НАУК СССР
ИНСТИТУТ АГРОХИМИИ И ПОЧВОВЕДЕНИЯ

И. Н. СТЕПАНОВ,
Э. И. ЧЕМБАРИСОВ

ВЛИЯНИЕ ОРОШЕНИЯ НА МИНЕРАЛИЗАЦИЮ РЕЧНЫХ ВОД



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»
МОСКВА 1978

УДК 631.67

Степанов И. Н. и Чембарисов Э. И. **Влияние орошения на минерализацию речных вод.** М., «Наука», 1978.

В связи с освоением новых территорий на засоленных землях и интенсивным расширением орошаемых площадей происходит увеличение минерализации в реках, дренирующих эти орошаемые площади.

В работе рассматривается связь орошаемых площадей с минерализацией рек на примере отдельных бассейнов Средней Азии, Казахстана и Западной Сибири в историческом аспекте, находится связь между площадями орошения, природно-мелиоративными факторами и величиной минерализации речных вод и на основе этого предлагается формула для определения существующей и перспективной минерализации.

Табл. 17, илл. 37, библ. 234 назв.

Ответственный редактор

член-корреспондент АН СССР
В. А. КОВДА

Степанов Игорь Николаевич, Чембарисов Эльмир Исмаилович

ВЛИЯНИЕ ОРОШЕНИЯ НА МИНЕРАЛИЗАЦИЮ РЕЧНЫХ ВОД

Утверждено к печати Институтом агрохимии и почвоведения АН СССР

Редактор издательства М. Е. Анцелович
Художник В. Самохин. Художественный редактор И. К. Капралова
Технический редактор Т. С. Жарикова. Корректоры: Е. И. Кореневская, Л. И. Харитонова

ИБ № 7234

Сдано в набор 27.01.78. Подписано к печати 05.05.78. Т-09508. Формат 70×108$^1/_{16}$.
Бумага типографская № 1. Гарнитура латинская. Печать высокая.
Усл. печ. л. 11,2. Уч.-изд. л. 11,1. Тираж 1100 экз. Тип. зак. 4030
Цена 1 р. 70 к.

Издательство «Наука», 117485, Москва, В-485, Профсоюзная ул., 94а
2-я типография издательства «Наука», 121099, Москва, Г-99, Шубинский пер., 10

40303—208
С———801—78
055(02)—78

© Издательство «Наука», 1978 г.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время существует необходимость прогнозирования минерализации и химического состава вод рек различных бассейнов на ближнюю и дальнюю перспективы.

Перед авторами стояла задача — на примере древних и новых орошаемых массивов хорошо изученных бассейнов рек проследить характер и степень изменения минерализации их вод. Предпосылкой для этого служит известный факт, что минерализация речных вод возрастает по мере последовательного вовлечения в орошение новых земель. Для выявления более тесных зависимостей между орошаемыми площадями и минерализацией рек рекомендуется изучение их в бассейнах, различающихся по следующим признакам: 1) степени и характеру засоления (преимущественно незасоленные, слабозасоленные, среднезасоленные, сильнозасоленные; хлоридные, сульфатные и т. п.); 2) литологическому строению подстилающих горных пород и почв (преобладают суглинки, пески, их переслаивание и т. п.); 3) естественной дренированности (степени отточности грунтовых вод); 4) водности рек и объему забираемых на орошение вод.

Чтобы решить поставленную задачу, мы приняли условно бассейны рек с орошаемыми массивами за элементарные водосборы, на которых изучали причины изменения минерализации на начальных (выше орошаемых полей) и замыкающих (ниже орошаемых полей) гидрологических створах за длительный (20—50 лет) промежуток времени. Это позволило установить закономерности увеличения минерализации рек на замыкающих створах под воздействием окружающей среды, главным образом за счет темпов роста орошаемых площадей, так как последние коррелируют с забором поливных вод из рек и с возвратными водами.

Такой анализ позволил установить с первого момента освоения бассейнов под орошение поэтапно до наших дней связь минерализации речных вод (M) с орошаемыми массивами (F) в виде функции $M=f(F)$.

При этом учтены качество орошамых земель, включая зону аэрации (степень дренированности, засоление почв, поливные и грунтовые воды), расходы воды дренирующих их рек, изымаемые из них в верхнем течении для орошения объемы воды, а также расходы и химический состав возвратных вод.

Типизация бассейнов по этим признакам позволила применить дифференцированно разработанную расчетную формулу для различных по природным условиям бассейнов[1]. По формуле можно определить прогнозную минерализацию речных вод для эквивалентных изученным бассейнам существующих и вновь осваиваемых массивов. При этом мы

[1] Или отдельных крупных составных частей бассейнов рек, которые можно рассматривать как условно изолированные элементарные водосборы.

учитывали, что на этих массивах будут применяться технически более совершенные способы орошения и мелиорации, но базирующиеся на промывных режимах.

В первой главе описан общий методический подход к изучаемой проблеме и произведено обоснование выбора в Средней Азии шести «опытных» бассейнов (Сырдарьи, Чирчика, Зеравшана, Кашкадарьи, Сурхандарьи, Чу), на которых изучались корреляции орошаемых площадей с минерализацией речных вод. При этом авторы руководствовались предложениями В. И. Вернадского (1960), Б. Б. Полынова (1956) и других ученых о зависимости минерализации и химизма речных вод от свойств почвенного покрова и о комплексном, бассейновом методе изучения связей между ними.

Б. Б. Полынов (1956, с. 427) отмечал, что «питание рек минеральными элементами находится в прямой зависимости от процессов образования, развития и режима почв».

Все галогеохимические изменения в бассейнах рек, вызванные многолетней активной деятельностью человека (загрязнение промышленными отходами, вымывание солей из почв и пород при орошении, внесение удобрений, применение пестицидов и т. д.), в конечном счете отразятся на интегральном показателе всех бассейновых процессов — на свойствах речного стока в замыкающем створе, т. е. в нижнем течении реки.

Это связано с тем, что бассейны многих рек представляют собой изолированные, полузамкнутые территории с единственным устьевым выходом, через который проходят жидкие, твердые и ионно-солевые потоки, стекаемые со всего бассейна (Муравейский, 1946). Поэтому в работе была использована идея контроля за состоянием всех происходящих в бассейне галогеохимических процессов на замыкающих устьевых створах основных бассейнов (или их составных частей). Эта мысль могла быть проверена на примере Средней Азии, где имеются многолетние в определенной степени достоверные ряды наблюдений за химическим составом рек и динамикой орошаемых площадей. Зная количественные данные по ежегодному приросту орошаемых площадей и изменению минерализации речных вод за многие годы, авторы вывели формулу, которая позволяет прогнозировать результат подобных многолетних взаимоотношений для других бассейнов со сходными натурными условиями.

В главе 2 показано влияние естественных и искусственных факторов на повышение минерализации в выбранных бассейнах. Доказано, что до орошения минерализация воды во всех замыкающих (устьевых) створах была близка к таковой в верхнем течении (в начальных створах). Приращение минерализации по длине реки, т. е. от начальных до замыкающих створов, за счет естественных стабилизированных факторов было незначительно. Увеличение минерализации речных вод началось с момента появления крупных с промывным режимом орошения массивов, и оно прогрессировало с их ростом в определенных закономерных соотношениях. Это позволило для бассейнов с разными природно-мелиоративными признаками (гидрогеологической обстановкой, степенью засоления, литологическими свойствами пород и почв) выявить количественные зависимости: площади орошаемых массивов — их ландшафтно-геохимическое состояние — минерализация вод дренирующих рек.

В главе 3 обосновывается предложенная авторами формула для определения минерализации речной воды в замыкающем створе ($M_{зам}$) в зависимости от орошаемой площади[1] (F), начальной минерализации

[1] F — понятие объемное, включает не только площадь земной поверхности, но и толщу почв и пород до первого водоносного горизонта включительно.

($M_{нач}$) и ландшафтно-геохимического показателя a, характеризующего мелиоративные условия орошаемого массива (засоление почв и подстилающих пород, водность реки, из которой производится водозабор на орошение, минерализация этой воды, площадь и режим орошения).

Коэффициент a может быть подобран после почвенной и гидрогеологической типизации бассейнов для условий хорошей, средней и плохой дренированности орошаемых массивов, а также с различной степенью засоленности почв и пород и водностью рек.

Показано, что принимаемая за расчетную величину орошаемая площадь (F), по существу, рассматривается объемно с учетом почвенного и гидрологического галогеохимического строения слагающих ее толщ и омывающих возвратных вод. Дано понятие об эффективной площади орошения ($F_{эф}$), под которой понимаются массивы с ирригационной сетью и водохозяйственными объектами, активно и регулярно участвующие в подпитывании инфильтрационными водами подземных естественных потоков и образующие своеобразную водонасыщенную почвенно-грунтовую толщу — ноогидросферу [1]. $F_{эф}$ вместе с ирригационной сетью являются основными очагами формирования химического стока возвратных вод.

В главе 4 приводятся примеры использования бассейнового способа расчета для прогноза минерализации больших и малых рек, коллекторов и крупных каналов. В частности, произведен расчет прогнозной минерализации для проектируемого Обь-Каспийского канала.

В главе 5 показана возможность применения бассейнового способа расчета и анализа мелиоративной ситуации на примере отдельно взятых речных систем: р. Куры (Кура-Араксинская низменность, Азербайджан), р. Колорадо (западная часть США). Выполненный авторами анализ показывает, что бассейновый способ — это сложный комплексный анализ изучаемой территории во всем его природном объеме, для которого нужны достоверные количественные характеристики орошаемой площади, ее природно-мелиоративного состояния, расходы воды дренируемой орошаемый массив реки, а следовательно, степень влагообеспеченности, оттока вод и прочее, степень и характер засоления почв, минерализация грунтовых и подземных вод, их глубина залегания, скорость движения и другие данные, служащие доказательством эффективности орошаемой площади в смысле образования и выноса солевых масс, объемов и качества речной (поливной) воды до орошения и после орошения.

В главе 6 указаны необходимые прикладные и научные мероприятия, которые обеспечили бы улучшение качества воды в реках, каналах и коллекторах.

В книге, помимо публикаций, использованы материалы институтов «Средазгипроводхлопок», «Узгипрозем», «САНИИРИ», «САРНИГМИ», в/о «Союзводпроект», институтов почвоведения Академий наук среднеазиатских республик, с которыми нам приходилось работать в связи с выполнением совместных заданий.

Авторы понимают, что в работе даны предварительные сведения по такой сложной проблеме, которые требуют дополнений, обсуждения, дальнейшей проверки. Однако они надеются, что книга окажется полезной в разработке почвенно-мелиоративных и гидрологических прогнозов и в осуществлении мероприятий по охране речных вод от дальнейшего загрязнения солями, выносимыми из орошаемых массивов.

---

[1] Ноогидросфера в понимании авторов — это верхняя толща почв, грунтов и грунтовых вод, в которой последние (т. е. воды) являются почвенным горизонтом, возникшим в результате орошения.

За помощь в работе авторы благодарят чл.-кор. АН СССР В. Р. Волобуева, академика ВАСХНИЛ И. С. Рабочева, О. П. Щеглову, Н. Т. Кузнецова, В. С. Муратову, Л. И. Шалатову, Е. М. Видинееву и инженеров института «Средазгипроводхлопок» К. А. Ракитина, Ю. С. Гуляйко, а также И. А. Герарди, И. С. Зонна, Н. И. Коронкевича, В. П. Светицкого Ф. Э. Рубинову, М. И. Геткера, Т. П. Лапшину, И. Л. Хосровянца, А. К. Кияткина.

Авторы признательны сотрудникам кафедры гидрологии МГУ М. Г. Ершовой, М. Б. Заславской, И. М. Кисину.

Авторы выражают особую благодарность чл.-кор. АН СССР В. А. Ковде за руководство данной работой в течение ряда лет, за ценные советы и замечания.

ГЛАВА 1

БАССЕЙНОВЫЙ МЕТОД КОМПЛЕКСНОГО ГЕОГРАФО-ГАЛОГЕОХИМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

Бассейновый подход к анализу природно-мелиоративной обстановки

Природа анализируется различными методами, позволяющими оценить наиболее важные и хорошо изученные ее элементы. Например, природа орошаемых массивов рассматривается на фоне геолого-геоморфологических структурных единиц, редко привязываемых к бассейну в целом. Орошаемые массивы авторы изучают с учетом всех факторов, связанных с бассейном той или иной реки, озера или моря.

Процессы засоления и рассоления почв Б. Б. Полынов (1933) анализировал только с учетом взаимодействия бассейнов с дренирующими или подпирающими их грунтовыми и речными потоками. По его мнению, при «углублении речной сети верхние горизонты грунтовых вод... могут постепенно уменьшить свою мощность, совершенно иссякнуть. Наоборот, при повышении базиса эрозии и заполнении толщи водой... поднимают свой уровень и таким образом повышают свою жизнедеятельность» (Полынов, 1933, с. 575).

Помимо влияния русла реки и уровня грунтовых вод необходимо учесть воздействие на процессы засоления и рассоления тектонического опускания и поднятия, изменение климата, базиса эрозии. Оценка этих явлений возможна при совокупном рассмотрении природы бассейна в неразрывной связи с другими факторами, отражение которых может быть получено в замыкающем створе в минерализации и химическом составе речной воды.

В. А. Ковда (1946, 1947, 1973), развивая отмеченные представления Б. Б. Полынова, следующим образом описывает взаимосвязь рек с территорией бассейна: «Долины рек врезаны на десятки, а иногда и сотни метров по отношению к поверхности окружающих водоразделов и равнин. Вследствие этого грунтовые воды окружающей суши имеют выраженный уклон и сток в сторону долин. Во многих случаях даже глубокие напорные подземные воды выклиниваются... в поймах. Это еще раз подтверждает, что долины рек, дельты... являются «геохимическими ловушками» веществ, вовлеченных в местные и общий геохимические потоки» (Ковда, 1973, кн. 2, с. 319). Особое внимание В. А. Ковда уделяет оценке условий естественного оттока грунтовых вод в водоприемники, в частности в реки. На этой основе им предложен принцип мелиоративного районирования, при котором выделяются важнейшие элементы бассейнов: поймы, террасы, водоразделы, различающиеся степенью дренированности и своеобразием биогеохимических циклов. Этот же принцип применяли В. Л. Шульц (1935), Л. В. Дунин-Барковский (1960), М. М. Крылов (1960), А. А. Худайбердыев (1958), Т. В. Звонкова (1964) и др.

Другие авторы (Владимиров, 1960; Роговская, 1959; Кац, 1956; 1976; Шевченко, 1958) считают, что мелиоративную ситуацию создают гидрогеологические условия речных бассейнов: приток и отток грунтовых вод, направленность водно-солевого баланса и т. д.

Наибольшего внимания заслуживает точка зрения Н. М. Решеткиной (1957), Н. Н. Ходжибаева (1975) и др., которые придерживаются мнения, что для правильного понимания мелиоративной ситуации оро-

шаемого массива нужно знать территорию бассейна в целом: от зоны питания потоков грунтовых вод до зоны их расходования включительно, т. е. элементы природной среды бассейна в их совокупности и взаимосвязи.

Несмотря на некоторые расхождения во взглядах, в основе большинства построений различных авторов лежат речные бассейны. Последние рассматриваются объемно с учетом зональных различий от областей питания до области аккумуляции; в таких бассейнах главные русла рек в большинстве случаев (кроме низовьев) являются естественными дренами, водный и гидрохимический режим которых отражает общее состояние природной и мелиоративной обстановки ландшафтов. Представления некоторых авторов о том, что в замыкающем створе минерализация речной воды изменяется только в результате русловых процессов, не верны, так как здесь учитывается влияние всех водных потоков, как поверхностных, так и подземных, от зоны транзита до зоны выклинивания, от крупных и мелких водоразделов до террас и пойм.

Ф. А. Макаренко (1950) убедительно доказал, что в речных бассейнах верхняя зона подземного стока, ограниченная на глубину уровня местного эрозионного вреза, полностью определяется режимом подземного питания рек и их химическим составом в межень.

В бассейнах, где выходы артезианских вод не участвуют в питании, реки целиком отражают химический состав вод грунтовой зоны стока, питаясь в межень исключительно этими водами. Основываясь на этом, Ф. А. Макаренко предлагает называть «гидрохимические фации рек» в периоды меженного питания последних также «гидрохимическими фациями грунтовых вод» и грунтовой зоной подземного стока. При этом он рекомендует районировать химический состав грунтовых вод данными по гидрохимическому режиму рек. Он пишет: «В анализе речной воды мы имеем готовую среднюю характеристику химического состава грунтовых вод». При этом воды транзитных рек должны исключаться, зато воды малых рек «вполне отражают местную зональность грунтовых вод». По его мнению, создание сети стационарных гидрохимических пунктов на малых реках позволит правильно предсказывать изменения химического состава почв и грунтовых вод бассейнов, возникающие под воздействием сельскохозяйственного освоения.

Представления Ф. А. Макаренко получают признание у почвоведов и гидрохимиков (например, П. П. Воронков, 1963, 1970), которые используют их для определения путей и характера миграции продуктов выветривания и почвообразования. В. А. Ковда (1973) следующим образом оценивает связь почвообразования с грунтовыми водами и речным стоком: «Как ни медленно движение почвенно-грунтовых вод, все же они являются могущественным фактором местного и общего перераспределения продуктов выветривания и почвообразования. Чем выше дренированность местности и чем сильнее выражена циркуляция почвенно-грунтовых вод, тем естественнее вынос легкорастворимых продуктов с этими водами в реки, озера, моря».

Таким образом, выявлена четкая связь между галогеохимическими потоками, рождающимися на поверхности речных бассейнов и самим речным стоком. Эта связь осуществляется через грунтовые воды и может быть установлена путем анализа гидрохимического стока в замыкающем створе. Любое направленное хозяйственное воздействие (ирригация, мелиорация, применение удобрений) также сказывается через грунтовые воды на гидрохимическом режиме рек в замыкающем створе. Это положение было принято нами в качестве основополагающего.

Опираясь на опыт предшественников, мы в качестве основной структурной природно-мелиоративной единицы также взяли бассейн. Рассматривая природу любого бассейна, мы, как и предыдущие авторы, а также Г. Н. Каменский (1949), В. Л. Шульц (1965) и др., выделили

те же постоянные категории: 1) области питания, состав поверхностных и грунтовых вод которых сравнительно постоянен и находится в динамическом равновесии с вмещающими их горными породами и почвами; 2) области транзита — территории, где происходит преимущественно пассивное перемещение поверхностного и подземного стока; 3) области аккумуляции, с концентрацией солей вследствие замедления стока поверхностных, грунтовых и возвратных вод, усиления испарения.

В настоящее время естественная зональная миграция воды и химических веществ в ноогидросфере нарушается человеком, а местами настолько изменена, что образованы новые зоны выноса, транзита и аккумуляции воды и солей (Степанов, 1975а). Нарушения естественных участков неумеренным выпасом скота, распашкой склонов, рубкой деревьев и кустарников и т. д. уменьшают или ускоряют темпы миграции воды и химических веществ.

Более активное вмешательство человека: строительство промышленных объектов, сбрасывающих в природные воды большое количество загрязнителей, орошаемые земли, с которых выносятся в реки колоссальные массы солей, создает новые центры формирования зон активного выноса воды и химических веществ. Эти центры, «вписываясь» в те или иные ландшафтные пояса, образуют свои взаимозависимые зоны транзита и аккумуляции.

В настоящей работе не рассматриваются зоны формирования, транзита и аккумуляции воды и веществ промышленных и гражданских объектов, так как эта проблема требует самостоятельного изучения и не входит в нашу задачу[1]. Отметим лишь, что в общем геохимическом круговороте ноогидросферы промышленные и гражданские стоки в условиях Средней Азии имеют меньшую долю (20—30%), чем воды с орошаемых полей (70—80%). Промышленные и бытовые стоки регулируемы и в ближайшей перспективе существенно не увеличатся.

Ландшафтно-геохимические связи почвенного покрова со стоком рек

Для выяснения закономерных связей в бассейне между площадями орошения и выносимыми из них солями ставится задача: определить пути их миграции от орошаемого поля до местного, а затем — регионального базиса денудации, и на этой основе разработать прогноз возможных изменений минерализации воды по пути следования, особенно в условиях транзита и концентрации солей (т. е. в реках).

Видимо, происходящие в реках колебания химического состава вод можно использовать в качестве показателей протекающих во времени и пространстве изменений водно-солевых режимов орошаемых массивов. Эти взаимосвязи можно выразить количественно, так как имеются достоверные исходные величины (площади орошения, их оценка по степени засоления, объем оттока грунтовых вод, минерализация и расход воды).

Изучаемые явления сложны и зависят от многих факторов, но особенно от способов мелиорации. До недавнего времени орошение не рассматривалось широко в связи с проблемами охраны окружающей среды, ограничивались лишь борьбой с вторичным засолением для практических целей. Считалось, что природа обладает высокой погло-

[1] Промышленные сточные воды и возвратные воды орошаемых полей создают единый ноосферный геохимический поток. Однако промышленность вносит в ландшафт чуждые ей химические элементы, часто токсичные, вызывающие гибель растений и животных, тогда как орошение активизирует миграцию элементов, извечно присутствующих в этих ландшафтах, но в консервированном виде. При этом могут принять участие в круговороте веществ вносимые на поля минеральные и органические удобрения.

щающей емкостью, и поэтому все изменения, вызванные человеком в одной ее части, будут скомпенсированы в другой — более глубокой и обширной, не затронутой хозяйственной деятельностью. Однако опыт интенсивного использования ресурсов природы показал, что последствия нерационального или непродуманного использования порой трагичны.

В первые годы широкого развития орошения многим ирригаторам трудно было представить, что выносимые с полей вместе с возвратными водами соли вскоре (через 30—60 лет) заполнят толщи почв и пород периферийных частей долин, а затем под влиянием все расширяющихся орошаемых площадей переместятся в виде токсичных галогеохимических потоков в реки и водоемы, уничтожая их обитателей и делая невозможным дальнейшее использование воды человеком.

Некоторые ученые и инженеры предвидели отрицательные глобальные последствия орошения и мелиорации и предлагали комплексные методы их исследования. Они стремились к биогеохимическому и биосферному пониманию природно-мелиоративной обстановки, когда все факторы, влияющие на нее, учитываются во взаимосвязи. Особенно большое значение придавалось почвенному покрову как регулятору водно-солевого баланса бассейнов.

В. И. Вернадский (1967, с. 345) одним из первых указал на влияние почвенного покрова бассейнов на химический состав вод дренирующих их рек (служащих базисом эрозии). Он писал, что почва захватывается круговоротом воды, обтекается, выщелачивается ею; вода непрерывно растворяет и уносит в бассейн реки составные элементы почв: «...почва резко определяет таким образом в самой основной его части состав речной воды, куда в конце концов собираются все поверхностные воды. Реки несут свои воды в море, и состав морской воды, его солевой части, в конце концов и главным образом обусловлен ими, т. е. обусловлен химической работой почвы...»

Учение В. И. Вернадского оказало большое влияние на работы гидрохимиков, гидрогеологов и гидрологов. Так, О. А. Алекин и Л. В. Бражникова (1964) указывают, что химический состав речных вод Земли в первую очередь обусловливается свойствами почвенного покрова, через который в виде водной вытяжки просачиваются атмосферные осадки, затем поступающие в эти реки.

Развитием идей В. И. Вернадского является теория биорексистазии Эрхарта (Erhart, 1956 — по Ф. Дюшофуру, 1970), которая показала тесную связь между процессами почвообразования (денудации) и природой морских осадков в течение влажных (биостазия) и сухих (рексистазия) периодов. В период биостазии лесные почвы хорошо промачиваются атмосферными осадками, и из них выносятся через реки в моря щелочные и щелочноземельные основания; в почве остаются наиболее устойчивые элементы (глины, окислы железа и алюминия), на склонах образуются остаточные карбонатные коры с конкрециями; речные и морские воды в это же время обогащаются растворенным кальцием, что благоприятствует образованию скоплений извести. В период рексистазии лесная растительность деградирует, поверхностные воды эродируют почвы, образовавшиеся в предшествующий период, растворяют известь и гипс, отлагая их в жаркие и сухие сезоны в озерах и лагунах; при этом образуются гидроморфные коры.

Средний годовой сток химических веществ, поступающих с речной водой в Мировой океан, составляет 3,5 млрд. *т*; средний химический снос с бассейнов рек Земли равен 26,4 *т/год/км*^{2} (цит. по В. А. Ковде, 1973, с. 112).

В водах рек, дренирующих сухие степи и пустыни, взвешенные вещества преобладают над растворенными, а в реках луговых степей и лесов, напротив, растворенных веществ больше, чем взмученных твердых минеральных частиц (Clark, 1924; Твенхофел, 1936).

Кларк сравнивал количество материала, вынесенного в растворе реками, дренирующими некоторую область, с площадью последней и рассчитал таким образом величину ежегодной химической денудации этой области. Он подсчитал, что в результате химической денудации понижение уровня суши происходило со скоростью около 30,5 *см* за 30 000 лет.

П. П. Воронков (1963а, б, в; 1970) одним из первых отечественных ученых разработал и применил на практике идею бассейнового способа определения и прогнозирования минерализации и химического состава речных вод. Если до него последовательность и темпы выноса химических элементов из почв и горных пород определялись лабораторными методами (промывки монолитов, почвенных колонок и т. д.), то П. П. Воронков впервые отождествил элементарные природные ландшафты со стоковыми площадками и проводил на них натурные наблюдения.

По различиям в минерализации и химическом составе речных вод в истоках и устьевых створах бассейнов, почвы которых прошли различные стадии рассоления, П. П. Воронков (1963) установил последовательность их развития. Он различает следующие стадии рассоления почв и горных пород: первичная хлоридная, следующая за ней сульфатная, гидрокарбонатно-натриевая (имеющие начальный, средний и завершающий этапы) и конечная гидрокарбонатно-кальциевая, свидетельствующая о завершении процессов выщелачивания бывших засоленных почв и пород.

П. П. Воронков (1963б, в) обстоятельно изучил условия формирования химического состава рек, проследив путь воды от водораздела через склоны до русла. При этом вода скатывается по поверхности почвы, продвигается в подпочве и глубоко в грунтах, выполняя определенную галогеохимическую работу, влияющую на химический сток дренирующих бассейн рек. Воронков различает следующие категории геохимического взаимодействия склоновых вод с почвами и породами: 1) почва с поверхности насыщена влагой, поэтому талые и дождевые воды стекают по ней, не производя заметного изменения химического состава; 2) поверхность почвы до глубины эрозионного вреза микроручейка омывается талыми и дождевыми водами; вынос минеральных веществ мал; 3) толща, заключенная между дневной поверхностью и уровнем тальвега, способствует максимальному выносу солей, отчего поверхностные воды становятся минерализованными.

По генезису химического состава вод П. П. Воронков различает реки: 1) местного стока (преимущественно небольшие реки), питающиеся растворами почво-грунтов водосборов; 2) приточных вод, формирующих свой химический состав за счет вод различных притоков, впадающих в самостоятельные реки.

В зависимости от сферы влияния природных вод, растворяющих и выносящих соли в реки, Воронков (1970) различает их типы: 1) поверхностно-склоновые; 2) почвенно-поверхностные; 3) почвенно-грунтовые, охватывающие толщу от нижней границы эрозионного вреза микроручейковой сети склонов водосбора до пород, подстилающих временные водоносные горизонты, дренируемые русловой сетью; 4) грунтовые, составляющие толщу от нижней границы временных водоносных горизонтов до первого от поверхности постоянного водоносного слоя. Зная вещественный состав речных вод в различные времена года, можно установить химические особенности той части почв и горных пород, которые омывались поверхностно-подземными водами бассейна.

Работы П. П. Воронкова позволили нам полнее представить механизм галогеохимического взаимодействия природных вод с почвами и породами и использовать его идеи о связи химического состава вод бассейнов с дренирующими их малыми и крупными речными потоками.

Методика П. П. Воронкова позволяет выявить стадийность выноса из почв и пород подвижных солей.

М. И. Львович (1963, 1971, 1974), Н. Т. Кузнецов (1963, 1968), Н. И. Коронкевич (1976) и др. в течение ряда лет развивают важное теоретическое направление, в котором почвенному покрову уделена главенствующая роль в формировании не только химического состава рек, но и их режима. Зная структуру и свойства почвенного покрова того или иного бассейна, можно определить режим и ионно-солевую характеристику вод рек, дренирующих этот бассейн. По мнению М. И. Львовича (1974), почвы занимают после климата второе место среди гидрологических факторов. Они играют роль посредника между климатом и водным режимом, в том числе речным и подземным стоком. Ни одно явление, связанное с круговоротом воды, не минует почву.

Все почвы и виды воды на Земле (атмосферная, почвенная, грунтовая, речная, биологическая и др.) едины и взаимосвязаны. Например, при воздействии на почвенную влагу преобразуется речной сток. Путем агрономического, лесохозяйственного, ирригационного и мелиоративного воздействия на почвы можно в существенных пределах управлять водным балансом, ухудшая или улучшая водный компонент среды (Львович, 1974). Эти идеи М. И. Львовича были положены в основу наших представлений для выявления связей между компонентами ландшафтов бассейна и речным стоком. Для показа галогеохимической связи территории бассейнов с дренирующими их реками приведем несколько примеров.

Галогеохимическая связь между почвами и природными водами выявлена в 1947 г. Пальманом. Он различает и классифицирует химическую природу почв (фильтра) и просочившихся через них атмосферных осадков (фильтрата), содержащих выщелоченные из почв элементы (цит. по Ф. Дюшофуру, 1970, с. 235).

Г. В. Лопатин (1952) дал оценку выноса реками механических и химических веществ из различных бассейнов. По его данным, интенсивность механической денудации колеблется от 30 до 160 *т/км*^{2}, а химической — от 11 до 55 *т/км*^{2}.

По мнению Ф. А. Макаренко, В. П. Зверева (1970), химическая денудация земной коры, сток растворенных веществ с территории континента осуществляется: 1) поверхностным солевым стоком, химический состав которого определяется выветриванием и 2) подземным химическим стоком, которые участвуют в перераспределении соответственно $161 \cdot 10^6$ и $279{,}6 \cdot 10^6$ *т* растворенных веществ в год. В пределах СССР показатель подземной химической денудации изменяется от 0,05 *см* на северо-востоке страны до 4 *см* за 1000 лет, в высокогорьях, в среднем составляя 0,5 *см*.

В. М. Боровский (1961) связывает увеличение токсичных солей в речной и морской воде со смывом их с суши и главным образом с вымыванием из почв, предполагая, что в прошлом засоленные почвы были распространены шире.

И. С. Рабочев (1964) указывает, что в почвах постоянно происходит движение воднорастворимых солей как в вертикальном, так и горизонтальном направлениях, и в итоге эти соли выносятся в водотоки.

По данным В. И. Вульфсона (1964), годовое поступление растворенных и коллоидных веществ с речной водой в океан таково (в миллионах тонн): ионный сток 2543, органические вещества 720, минеральные коллоиды 175, микроэлементы 36, неорганические биогенные вещества 18, итого 4267.

Однако не все вещества бассейнов рек Земли поступают в Мировой океан. На Земле около 20—30% внутриматериковых бессточных областей, в которых сток растворенных веществ завершается в глубоких понижениях, аккумулируясь там в засоленных гидроморфных почвах,

пластах солей и минерализованных озерах. По Мартону (1950), в таких бессточных областях Земли, занятых в основном пустынями, в настоящее время концентрируется около 1100 млн. *т* солей; из них в Арало-Каспийском регионе (по данным В. А. Ковды, 1973) — около 70 млн. *т*.

Из почв и горных пород через грунтовые воды в речную сеть, по Б. Б. Полынову (1956), в растворенном виде выносятся следующие элементы: Ca>Na>Mg>K. Однако имеются отклонения. Например, в бассейнах, сложенных гранитами, миграционный ряд имеет вид: Mg>Ca>Na>K. Величины выноса ионов из различных горных пород Средней Азии (граниты, глины, известняки и т. д.) в реки определены М. А. Глазовской (1964), И. Н. Степановым (1975а), И. Н. Степановым, И. Н. Ивановой, Л. Ф. Камаловым (1968).

Б. Б. Полынов (1947) по степени подвижности химических элементов в водной среде при миграции с возвышенных участков в реки выделил следующие группы:

Энергично выносимые: Cl, Br, J, S	10 *n*
Легковыносимые: Ca, Na, K, Mg	1 *n*
Подвижные: SiO_2, P, Mn	0,1 *n*
Слабоподвижные: Fe, Al	0,01 *n*
Инертные: SiO_2 (кварц)	0 *n*

Н. М. Страхов (1962) выявил, что с усилением механической денудации возрастает химическая, и наоборот. В реки в первую очередь выносятся растворенные вещества, по составу сходные с коренными породами водоразделов, а затем твердые минеральные частицы. Материал денудации переносится в водах рек в виде следующих четырех групп веществ.

I. Легкорастворимые соли: хлориды и сульфаты ($NaCl$, KCl, $CaCl_2$, $MgSO_4$, $MgCl_2$, $CaSO_4$). Они присутствуют в речных водах только в виде истинных ионных растворов и никогда не образуют коллоидных растворов и механических взвесей.

II. Карбонаты щелочноземельных металлов ($CaCO_3$, $MgCO_3$, Na_2CO_3), а также кремнезем SiO_2.

III. Соединения железа, марганца, фосфора и некоторые редкие элементы. Для них характерна малая растворимость в воде, поэтому они образуют как истинные растворы, так и коллоидные. Коллоиды образуют гуматы железа.

IV. Минералы глин, алевритов, песков и других пород.

По мнению Н. М. Страхова, форма миграции элементов зависит от их физико-химических свойств и физико-географических условий, в которых они активизируются.

А. И. Перельман (1955) разработал представление о коэффициенте водной миграции, который отражает отношение среднего содержания химического элемента в речной воде к среднему его содержанию в почвах и горных породах, дренируемых рекой. Это позволило установить темпы выноса химических элементов из различных речных бассейнов.

В. А. Ковда (1973) предложил группировку соединений по их педогеохимической подвижности, связанной с условиями геохимии почв (табл. 1).

Идеи этих авторов, отражающие геохимическое сопряжение почв, пород и грунтовых вод бассейнов со стоком рек, позволили нам по многолетним данным наблюдений на гидрологических створах выявить связь постоянно растущих орошаемых площадей (из которых интенсивно вымываются соли в результате поливов и промывок) с химическим составом вод рек, дренирующих эти площади (естественным путем или с помощью дренажной сети).

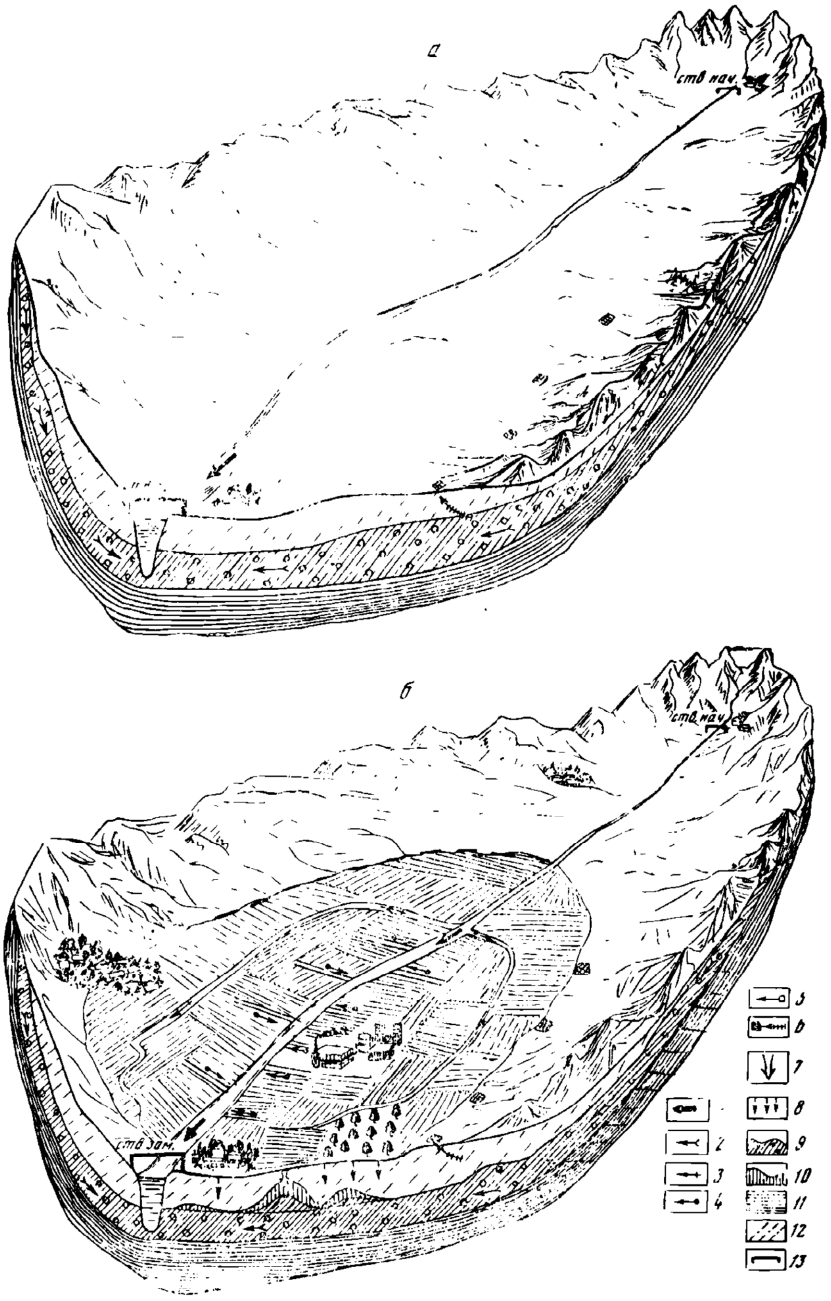


Рис. 1. Характер взаимодействия поверхностных и грунтовых вод в речных бассейнах при отсутствии (*а*) и наличии (*б*) орошения

1 — направление движения речных вод; *2* — то же, грунтовых вод; *3* — то же, воды в каналах; *4* — то же, воды в коллекторах; *5* — сброс промышленных стоков; *6* — карасу; *7* — участки со смыканием поверхностных и грунтовых вод в результате орошения; *8* — участки без смыкания поверхностных и грунтовых вод; *9* — естественный поток грунтовых вод; *10* — ноогидросферный (искусственный) поток грунтовых вод; *11* — водоупор; *12* — зона аэрации; *13* — гидрологические створы (нач.— начальный, зам.— замыкающий)

Модель, отражающая взаимодействие вод в естественных условиях и при орошении. На рис. 1 показано взаимодействие гидрологических, гидрогеологических, почвенных и литологических элементов речного бассейна без учета и с учетом деятельности человека. Возникшие в результате орошения изменения в химическом составе воды фиксируются

Таблица 1. Педогеохимическая подвижность главных продуктов почвообразования

Группы подвижности	Химические соединения	Относительная подвижность
I. Очень высокая	Нитраты, хлориды, иодиды, бромиды, сульфаты, карбонаты, бораты, силикаты, фосфаты щелочей и частично щелочных земель	100
II. Высокая	Гипс, углекислые магний и кальций, гуматы и алюминаты щелочей, железные и алюминиевые квасцы	50—10
III. Умеренная	Бикарбонаты, фульваты и фосфаты марганца, железа, гидрозоли кремнезема и гумуса	0,5—1
IV. Низкая	Гидроокислы алюминия, железа, марганца, гуматы тяжелых металлов	0,1—0,001
V. Ничтожная	Кварц (SiO_2), рутил (TiO_2), циркон ($ZrSiO_4$), гранат, глинные минералы, сульфиды	$<$0,0001

по данным многолетних анализов проб воды в замыкающем створе русла реки. Химический состав вод речных долин на замыкающем створе отражает основные водно-солевые и почвенно-геохимические процессы, происходящие в пределах водосборного бассейна [1].

Величина выноса речными и подземными водами растворенных веществ из почв и горных пород того или иного бассейна является важнейшим показателем протекающих в нем галогеохимических процессов, характеризует направленность и интенсивность взаимодействия воды с почвами, породами и атмосферными осадками. При этом отмечаются два случая взаимодействия: а) в естественных условиях, б) на территории орошаемого бассейна.

В первом случае, когда в бассейне орошение отсутствует или незначительно и ведется без мелиораций (без промывок, строительства коллекторов и дрен, вертикального дренажа и др.), можно проследить влияние на минерализацию естественных факторов: атмосферных осадков, водности года, впадающих притоков, половодья, межени и т. д. В этом случае между природными водами бассейна и руслом реки устанавливаются гидродинамическое и галогеохимическое равновесия, т. е. питающие реку воды обеспечивают ее определенным объемом жидкого, ионно-солевого и твердого стока в пределах колебаний, вызванных влиянием естественных факторов. Эти колебания незначительны в многолетнем ряду и, как правило, не дают экстремальных значений (например, резкого повышения минерализации или изменения химического состава).

Иная картина в бассейне наблюдается при орошении (см. рис. 1, *б*). С его развитием определенный объем [2] речного стока на створе, расположенном выше орошаемого массива, забирается и по каналам направляется вниз по уклону для использования на поливы и для промывок почв от солей. При этом в бассейнах, сложенных легкими по механическому составу породами (супесями, средними и легкими суглинками) и характеризующихся хорошей естественной дренированностью, часть стока в виде возвратных вод вскоре снова попадает ниже орошаемого массива в русло реки, изменяя минерализацию последней

[1] На выположенных равнинах, где развиты «сухие дельты» (Тедженская, Мургабская, Мешедская, Чуйская и др.), нижняя часть бассейна отбивается по погребенным долинам, по данным гидрогеологов определяются место и условия оточности грунтовых вод, а также их конечная минерализация. Количество и состав «слепых» древних русел, которые периодически во время паводков «оживают», или коллекторов, отводящих воду из орошаемых массивов таких дельт, являются интегральными показателями почвенно-галогеохимических процессов.

[2] Объем изымаемого стока зависит от размеров орошаемых площадей.

(если между возвратной и оставшейся речной водой соизмеримы соотношения объемов). Очевидно, процесс увеличения минерализации рек окажется тем выраженнее, чем большая территория бассейна будет отведена под орошение, что можно проследить по устьевым створам.

При улучшении мелиоративной обстановки (увеличение коэффициента полезного действия — КПД оросительных систем, гидроизоляция, подпочвенное орошение и т. п.) влияние поливных и промывных вод на гидрологическую и биогеохимическую среду бассейна будет последовательно уменьшаться, что также скажется на минерализации и химизме речной воды в замыкающем створе. Однако желаемого уменьшения минерализации речной воды может и не произойти, даже если в течение многих лет на орошаемых массивах будет опреснена верхняя толща в 5—20 *м*, лежащая выше грунтовых вод (зона аэрации). Минерализация речной воды будет расти или оставаться прежней за счет оттока в дрены напорных и даже безнапорных высокоминерализованных грунтовых вод.

Представление об активной (эффективной) орошаемой площади. Орошаемые площади, имеющие отток в речные долины и устья рек, являются важным поставщиком солей в водосборную сеть, хотя степень проявления этого у них различна: одни из них весьма активны, другие менее, третьи вообще не участвуют в данное время в образовании и выносе в ноогидросферу солей; большие площади выполняют аккумулятивную роль, накапливая в толще почв, грунтов и на их поверхности массу солей. Чем точнее будет отражено многообразие орошаемых массивов с точки зрения их геохимической активности, тем понятнее станет картина формирования солевого стока грунтовых и речных вод. Тем не менее в настоящее время для выполняемого количественного анализа мы выделяем предварительно две категории сельскохозяйственных полей: 1) с регулярным промывным режимом орошения, 2) с непромывным режимом орошения.

Первые активно воздействуют на гидрологическую, гидрогеологическую и биогеохимическую среду бассейна, так как это вызвано промывным режимом орошения, часто на фоне дренажа (в целях влагозарядки, промывок почв от солей и опреснения грунтовых вод). Здесь происходит смыкание оросительных вод, профильтровавшихся через засоленную почву, с грунтовыми и их совместное продвижение вниз, к основному руслу реки. В результате вместе со стоком возвратных вод транспортируются в реки и вымытые из почв и пород соли, коллоиды, органические вещества (Ковда, 1946; Волобуев, 1948; Рабочев, 1971; Панин, 1968, и др.).

Участие оросительных вод в водообмене бассейна активизируется при его искусственном дренировании, когда отток возвратных вод усиливается строительством коллекторов и дрен, направленных в реки. Доказано, что орошение меняет гидрогеологический тип режима на равнинных пространствах бассейна (Кенесарин, 1959; Кац, 1968; Ходжибаев, 1970), а также является новым, самым мощным и активным биогеохимическим фактором в пустынях и полупустынях, за короткий срок коренным образом меняющих их облик (Ковда, Степанов, 1973).

Такие регулярно орошаемые и дренируемые рекой массивы бассейнов, в которых сомкнувшиеся оросительные и грунтовые воды совместно движутся к руслу реки, названы нами эффективными орошаемыми площадями — $F_{эф}$. Определение их величины при расчетах можно проводить по данным областных управлений оросительных систем. Для некоторых случаев следует проводить дополнительные исследования для выявления эффективных орошаемых площадей, которые могут различаться по режимам увлажнения, а также по характеру (водохранилища, естественные водоемы, заливные луга, рисовники и др.). В этом отношении богатый материал дает гидромодульное районирование.

Другая категория орошаемых полей является неэффективной, так как при орошении поливная вода не достигает грунтовых вод, а теряется на транспирацию и физическое испарение. Их участие в системе бассейн — русло реки менее значительно и ограничивается верхней одно- или двухметровой толщей, где создаются изменения лишь в режиме влагозапасов. Они имеют непромывной режим орошения, и поливные воды выполняют своеобразную геохимическую функцию: осаждают в свободных капиллярах на небольшой глубине (10—60 *см*) вымываемые и приносимые растворенные соли и твердые тонкие органо-минеральные частицы.

Такие площади названы нами также геохимически пассивными. Однако степень пассивности их относительная: со временем эти площади могут принять участие в солеобмене между бассейном и речной сетью.

Распределение солей по вертикальному профилю. Этому вопросу посвящено очень много публикаций. Но большинство из них ограничивается рассмотрением процессов солеотдачи и аккумуляции различных химических соединений в верхней метровой толще почв и пород. Хорошо известно, что миграция солей на орошаемых массивах не ограничивается верхней метровой толщей; она охватывает огромные мощности — до регионального водоупора, а в случае наличия напорных высокоминерализованных вод следует учитывать и их долю в солевом балансе почв.

В нашу задачу не входило рассмотрение динамики солей по вертикальному профилю. Все же для полноты представлений об изучаемых объектах мы предлагаем с галогеохимических позиций различать следующие толщи по вертикальному профилю на орошаемых массивах (при рассолительном эффекте).

1. Толща-донор. Зона активной солеотдачи. Из верхних 1—2 *м*, реже 3 *м* вымываются соли нисходящими потоками фильтрующихся промывных вод.

2. Толща-рецептор. Лежит под верхней толщей и принимает в свою капиллярную порозность часть менее растворимых солей, выпадающих здесь в осадок.

3. Репродуктивная толща. Лежит ниже толщи-рецептора, на глубине до 50—100 *м*; вовлечена в галогеохимический кругооборот в результате просачивания промывных вод, работы вертикального дренажа, развития трещиноватости и суффозии.

Распределение солей по вертикальному профилю мелиорируемой территории осложнено восходящими и горизонтальными (боковыми) солевыми потоками, создающими сложную многокомпонентную галогеохимическую зональность.

Пространственное распределение солей. Как видно на рис. 1, *А*, в естественных условиях речные воды питаются стоком поверхностных и подземных вод (атмосферные осадки, ледники и снежники не показаны). Часть подземных вод выклинивается у подножий гор, образуя «карасуки», но более значительная — питает основную, дренирующую бассейн, реку. Подземные воды в данном случае выполняют гигантскую геохимическую работу в течение тысячелетий, растворяя и вымывая миллионы тонн солей из горных пород и транспортируя их в реки. На аллювиальных плоских равнинах этот процесс перемещения водно-солевых масс усложняется (Кунин, 1948).

Поэтому невозможно разделить и оценить значение грунтовых и речных вод. Их действия тесно переплетены и связаны, и речная вода является осредненным показателем геохимической деятельности воды в бассейне, что неоднократно отмечалось в работах В. И. Вернадского, Б. Б. Полынова, В. А. Ковды, А. И. Перельмана, В. Р. Волобуева, И. П. Герасимова и Е. Н. Ивановой и др.

Создавая орошаемые массивы с промывным режимом (рис. 1*б*), человек увеличивает мощность потока подземных вод за счет смыкания с ними оросительной воды на больших площадях бассейна. При этом резко возрастает геохимическая роль вновь созданных потоков[1], так как они омывают, разрушают и растворяют новые засоленные толщи почв и грунтов, ускоряют отток минерализованных грунтовых вод. С увеличением орошаемых площадей геохимическая роль такого сдвоенного потока (верхнего — ирригационного, нижнего — грунтового) резко возрастает. Вначале его действие ограничивается орошаемыми массивами и прилегающими к ним территориями, а затем, по мере увеличения орошаемых площадей, влияние сдвоенного потока переходит на реки, минерализация и состав солей в воде которых неизменно из года в год будут расти и изменяться в зависимости от мелиоративного состояния орошаемых массивов[2]. Хотя основу речной воды составляют дождевые и снеговые осадки, «но затем она питается родниковой водой и... водой, выщелачивающей земную поверхность — почвенный покров» (Вернадский, 1967).

Пространственная миграция солей довольно хорошо изучена отечественными учеными (Б. Б. Полынов, Н. М. Страхов, В. А. Ковда, М. А. Глазовская, В. Р. Волобуев, И. С. Рабочев, А. И. Перельман, С. В. Зонн, Н. Н. Ходжибаев и др.). Образную упрощенную картину их миграции, транзита, аккумуляции и рассеяния передал В. А. Ковда (1973): «По мере удаления грунтовых вод от источников питания (активных орошаемых площадей) постепенно возрастает их минерализация. При этом они растворяют все новые порции солей, имеющихся в водовмещающих толщах грунтов, и все более расходуются на испарение, транспирацию, гидратацию. Дальнейшее движение грунтовых вод сопровождается химическими осадками, выпадением в толщи менее растворимых соединений и увеличением в воде более растворимых солей».

Элементы, окислы и соединения имеют примерно следующий порядок осаждения из грунтовых вод в почвах и породах. Близ места своего образования аккумулируются окислы тяжелых металлов и кремния. Несколько далее, особенно в кислой восстановительной среде, активна миграционная способность соединений двухвалентных железа и марганца. Однако при доступе кислорода они выпадают в осадок раньше других компонентов. Более высокая миграционная способность бикарбонатов кальция и магния приводит к выпадению их из растворов позже и за пределами зоны осаждения полуторных окислов и вторичных глин. Доломит вписывается в зону аккумуляции $CaCO_3$ или выше ее. Растворимость и миграционная способность гипса и других сернокислых, хлористых и азотнокислых солей высокие; насыщение ими растворов происходит позже и они осаждаются далеко от места образования. Такие высокорастворимые соединения, как хлориды и нитраты щелочей и щелочных земель, могут выноситься реками в моря и океаны.

В определенных гидрогеологических условиях возникают геохимические барьеры (Перельман, 1975), учет которых крайне необходим при бассейновом методе анализа. Важно также уяснить роль трещинных вод и т. п.

Закономерности перемещения галогеохимических областей под влиянием человека. В естественных условиях, там, где не орошались и еще не орошаются земли, картина миграции химических соединений

---

[1] Авторы понимают, что процесс этот значительно сложнее, чем здесь показано. Местами формируются линзы, движение воды и солей в которых подчинено законам не гидродинамики, а гидростатики. Однако при длительном орошении начинают преобладать потоки.

[2] При условии, что будут применяться современные или улучшенные, но близкие к ним приемы орошения.

представляется в следующем виде. Территории истоков рек (возвышенности, горы со снегами, ледниками, заболоченными пространствами и мерзлотой) — области абсолютного выноса ионно-солевого стока, склоны — области транзита и понижения — области аккумуляции. Выявление этих областей, а также области рассеяния имеет важное значение для орошаемого земледелия и мелиоративного строительства, так как выявляет направление стока растворенных веществ, места их замедленного движения и осаждения. Это позволяет наметить пути освоения почв в согласии с естественным ходом галогеохимических явлений: если они совпадут, то мелиоративный эффект выбранных мероприятий окажется максимальным. Перемещение солей в естественных полуаридных и аридных условиях, за небольшим исключением, очень замедленно; миграция веществ из области выноса через области транзита в понижения длится тысячелетиями.

Описанная схема перемещения солей широко известна. В различных природных условиях эти миграционные пути солевых масс меняются, но существо процесса — вынос солей из более влажных, возвышенных территорий в нижние, засушливые — сохраняется. Этот процесс происходил в различные геологические эпохи. Никакая природная сила не могла изменить его направленность. Однако при создании орошаемых массивов резко изменился естественный ход миграционных процессов. В настоящее время зарождаются новые области выноса, а в будущем они получат такое развитие, что превысят площади естественных областей выноса, т. е. гор и возвышенностей.

Как видно из рис. 2, в Средней Азии областями выноса становятся орошаемые и обводняемые территории пустынь и полупустынь, т. е. тех территорий, которые до недавнего времени являлись областями солевой аккумуляции. Например, Ферганская и Вахшская полузамкнутые впадины, которые до орошения являлись областями неполной аккумуляции солей, в результате орошения, промывок на фоне дренажа и отвода возвратных вод за пределы оазисов превращены человеком в области выноса химических соединений. Причем почвы Ферганской впадины в результате многовекового орошения потеряли с оттоком возвратных вод не только значительную часть солей, но и важнейшие питательные вещества (азот, фосфор, калий), отчего их плодородие понизилось. Непродолжительный вынос солей из Вахшской долины и других новоосваиваемых массивов еще не привел к обеднению почв питательными веществами, и они, в отличие от ферганских, сохранили свое плодородие.

Вся описанная картина смещения областей выноса и обеднения почв массивов орошения солями и питательными веществами фиксируется гидрохимической службой на устьевых створах. Примером может служить р. Сырдарья. В естественных условиях Сырдарья, проходящая сотни километров по горным долинам, в том числе и засоленным (приток Нарын в Центральном Тянь-Шане), при выходе на равнины имеет такую же минерализацию, как у истоков. При дренировании той же рекой нескольких сотен километров орошаемых массивов минерализация воды резко увеличивается и меняется ее химический состав. Воды Сырдарьи до орошаемых массивов содержат 0,2 *г/л* солей, а после прохождения реки через эти массивы количество солей возрастает до 1,1 *г/л* (Чембарисов, 1973; Степанов, 1975б). Рис. 2, *Б* подтверждает это.

В недалеком будущем ныне пассивные в геохимическом отношении пустыни станут ареной активных галогеохимических преобразований. Однако это обстоятельство не должно вызывать опасений, так как научный прогноз позволит выявить качество и количество возможных изменений природной среды, их скорость и направление, а значит, наметить пути управления ими. Правильное использование водно-земельных ресурсов позволит не только устранить заболачивание и засоление

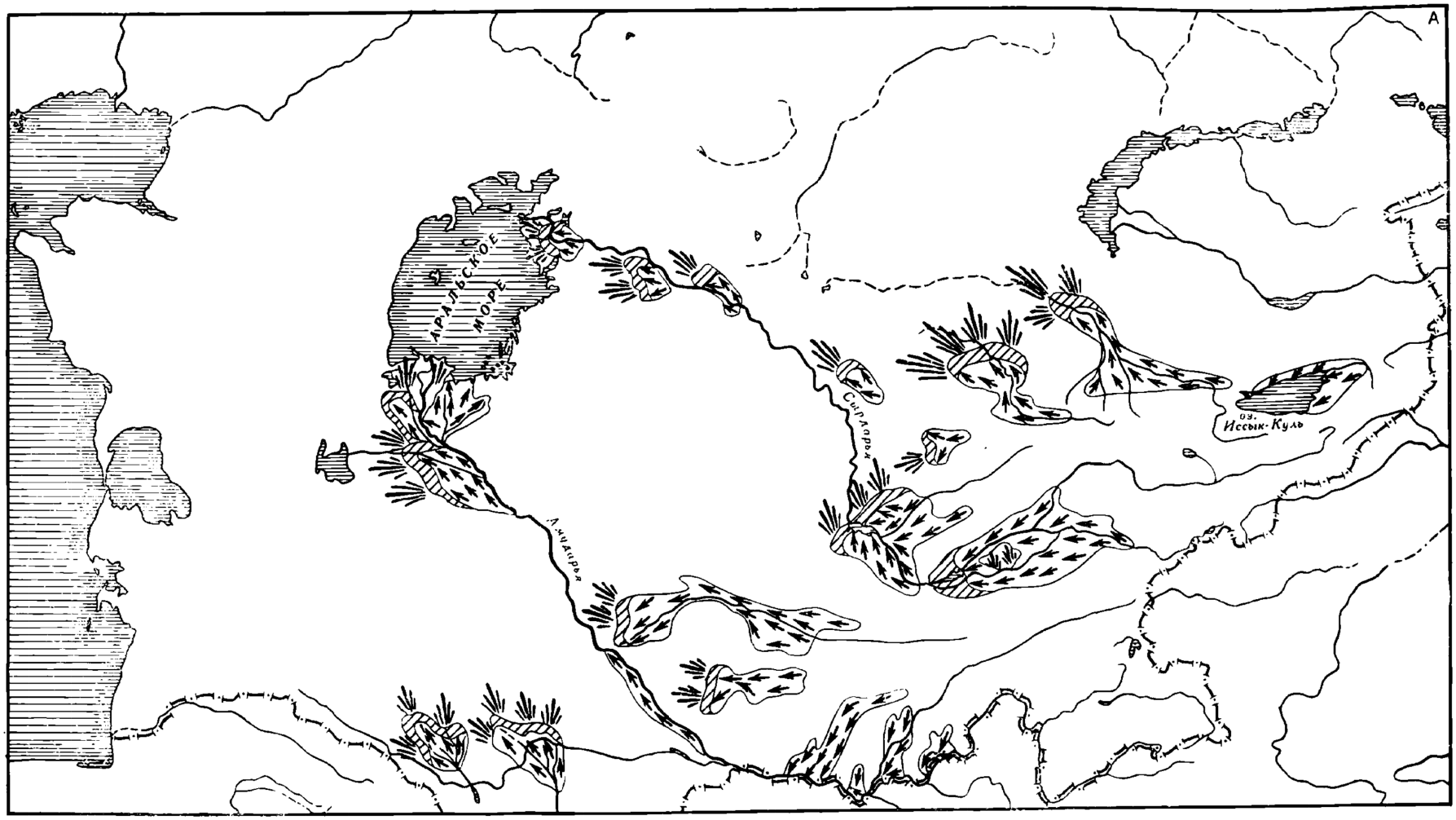


Рис. 2. Особенности расширения галогеохимических областей в речных бассейнах Средней Азии под влиянием орошения (при условии, что методы орошения и мелиорации останутся прежними)

А — в условиях современного незначительного орошения, *Б* — в условиях перспективного орошения Области: *1* — выноса солей; *2* — транзита солей; *3* — аккумуляции солей.

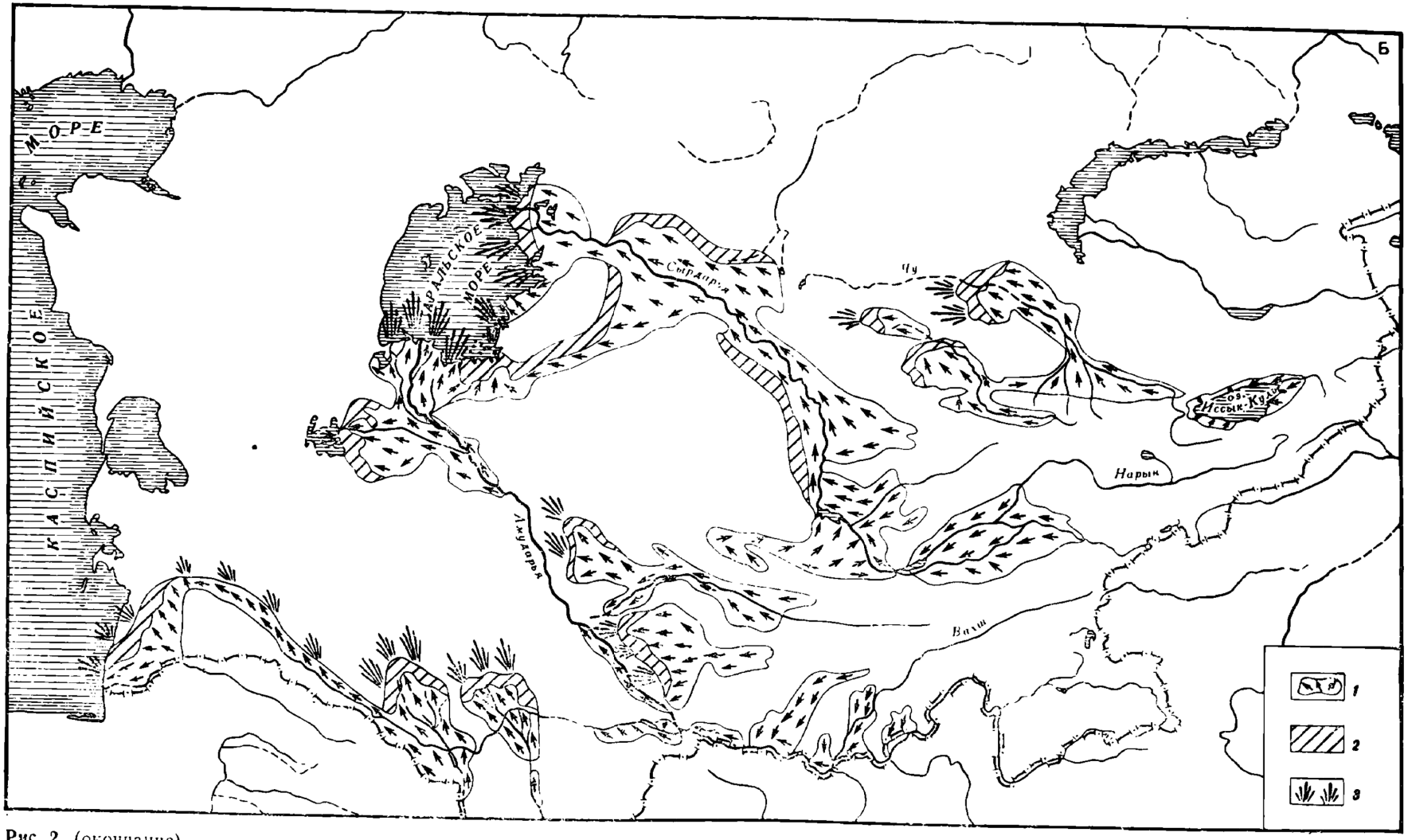


Рис. 2. (окончание).

пустынь, но и превратить пригодные для орошения площади в цветущие оазисы с рациональным размещением хлопковых плантаций, городов, пастбищ, сенокосов и заповедников. В учете всех предполагаемых изменений должен сыграть большую роль предлагаемый авторами бассейновый метод комплексного анализа геохимических процессов в бассейнах рек.

Активизация миграции солей во времени под влиянием человека. Выявление закономерности миграции солевых масс в биосфере позволяет вслед за В. А. Ковдой (1976) различать следующие временные этапы распространения и действия выносимых из орошаемых почв химических веществ.

1. *Этап локального влияния орошения.* На первом этапе освоения орошаемых земель распространение и действие солей локальное. Оно заключается в периодических их выпотах на орошаемых массивах, залежах. Соли отрицательно влияют на территорию самого объекта, часть из них, заполняя поры, осаждается в подпочвенных слоях.

2. *Этап ландшафтно-регионального действия солей.* После 10—20-летнего освоения орошаемых земель соли распространяются на прилегающие к ним территории: речные долины, террасы, нижние части конусов выноса и др., образуя приоазисную зону вторичного засоления. Эта полоса может примыкать к орошаемым полям или за счет выклинивающихся возвратных вод отстоять от них на 10—15 *км*. Влияние солей, особенно токсичных, сказывается уже на большей площади.

3. *Этап регионально-бассейнового распространения солей.* После 20—50-летнего освоения орошаемых земель соли поступают в глубокие горизонты почвы в верхнем и среднем течении рек бассейнов, из которых они транспортируются грунтовыми водами в основные дренирующие реки, а через воды этих рек (естественным путем и посредством поливных вод) — в дельты и эстуарии. Влияние орошения здесь уже сказывается на более значительных расстояниях (на сотни и тысячи километров) от источника солеобразования (орошаемых полей).

4. *Этап глобального влияния солевых масс.* Орошением охвачены обширные площади; колоссальные количества солей выносятся через грунтовые воды, коллекторы, русла рек в моря и океаны, увеличивая их минерализацию и изменяя состав. Такое положение уже наблюдается в отдельных бассейнах (например, Аральское море), но повсеместно на Земле при существующих темпах и способах развития ирригации наступит через 50—100 лет. Конечно, человек найдет эффективные методы, чтобы предотвратить этот глобальный процесс или резко его локализировать.

Условия применения бассейнового способа расчета будущей минерализации речных вод. В работе рассматривается так называемый бассейновый способ изучения природных явлений для прогноза возможного изменения минерализации речных оросительных и коллекторно-дренажных вод. Многие компоненты этой задачи можно охарактеризовать количественно. Так, например, расходы воды, ее минерализацию и химический состав учитывают на гидрологических створах. При этом на начальных створах (расположенных выше орошаемой площади) наблюдаются естественные колебания этих величин, а на замыкающих створах (расположенных ниже орошаемых площадей) фиксируется влияние хозяйственной деятельности человека. Ареалы распространения засоленных почв и пород, глубины залегания и минерализация грунтовых вод, площадь территорий с различной степенью дренированности и другие необходимые показатели устанавливаются по специальным картам.

Для определения прогнозируемой минерализации речных вод находится связь прошлой и современной динамики регулярно орошаемой площади (F) с изменениями минерализации речной воды (M), которая

выражена функцией $M=f(F)$. Особенность функции связана с современными методами орошения и мелиораций, которые базируются на выносе в реки растворимых солей промывными и оросительными водами из толщ почв и подстилающих их пород (до регионального водоупора, имеющего глубину залегания 10—50—100 *м* и более).

Лишь с изменением способов и режимов промывок и орошения в связи с переходом в будущем на технические более совершенные методы ирригации и мелиорации, что произойдет, вероятно, через 30—50 лет, условия питания возвратных вод [1] и речного стока орошаемыми массивами и оросителями могут заметно измениться, и предложенную функцию можно будет использовать для контроля стадийного уменьшения минерализации речных вод по мере вывода полей из промывного режима орошения, а также повышения КПД каналов.

Однако, как бы ни были совершенны приемы ирригации и мелиорации, освоение засоленных земель будет всегда сопровождаться удалением и транспортом почвенных солей через грунтовые воды в крупные дренирующие артерии (реки или грандиозные коллекторы) [2], а поэтому учет влияния орошаемых площадей на минерализацию рек (или коллекторно-дренажной сети) еще многие годы будет актуальной задачей. Лишь научная разработка и применение «сухого» способа обессоливания почв решит проблему очистки рек и водоемов от загрязняющих их солей. До тех пор, пока не будет найден такой метод мелиорации, контроль за состоянием минерализации и химизма рек орошаемых бассейнов целесообразно проводить по предложенному способу.

Выбор опытных бассейнов рек

Задачи, которые должны решаться на опытных бассейнах. Работа не посвящена изучению минерализации речных вод всех бассейнов Средней Азии или одной какой-либо крупной реки (например, Сырдарьи) от истоков до устья. Основная задача — вывод и апробация формулы бассейнового способа прогноза минерализации на примере нескольких наиболее типичных и хорошо изученных элементарных бассейнов.

Прогноз минерализации речных вод не является самоцелью. В работе предпринята попытка обоснования необходимости рассматривать бассейны рек и их отдельные части, особенно орошаемые, в качестве опытных стоковых площадок-моделей, на которых можно изучать динамику почвообразовательных процессов (солевой, питательный, водно-воздушный режимы и др.).

Пятьдесят-шестьдесят лет назад постановка такой проблемы не имела смысла, так как площади орошения были незначительны и их влияние на речной сток не могло быть зафиксировано гидрохимиками. В настоящее время можно провести созданный человеком в различных природных условиях невиданный по размаху эксперимент, в котором вместо монолитов могут быть использованы орошаемые территории, а вместо воронки для сбора лизиметрических вод — русла рек [3]. Наряду

[1] Термин «возвратные воды» носит дискуссионный характер. Под возвратными водами авторы понимают воды, изъятые из рек на орошение и промывки, и вновь частично вернувшиеся в реки ниже по течению поверхностным или подземным путем, а также по коллекторам и дренам. Такая формулировка близка по содержанию определениям В. П. Светицкого (1969), С. Н. Харченко (1973) и др.

[2] Если возвратные воды аккумулировать в изолированных впадинах, то через некоторое время они повлияют на грунтовые воды окружающих территорий, а через них— на речной сток.

[3] За последние 70 лет резко возросла площадь орошаемых земель на нашей планете Если в начале XX в. их было около 40 млн. *га*, то сейчас примерно 200 млн. *га*, а к 2000 г. ожидается 300 млн. *га*. В СССР орошаемых земель более 12 млн. *га*, из них 5 млн. *га* в Средней Азии; в дальнейшем здесь планируется оросить 13 млн. *га* (Герарди, 1973; Шикломанов, 1976).

с почвенными, гидрогеологическими, геохимическими и другими обследованиями это позволит определить не только солеотдачу той или иной почвы (что дают современные опыты на лизиметрах и площадках), но и проследить пути выноса, миграции, концентрации, рассеяния и аккумуляции солевых масс на различных участках бассейнов рек и орошаемых массивов.

Для проведения такого эксперимента имеются все необходимые материалы: гидрологическая служба располагает достоверным многолетним рядом наблюдений за химическим стоком родников, мелких, средних и крупных рек, а в последние годы — каналов и коллекторов, а почвоведы, мелиораторы, агрономы и географы — данными по характеру и темпам освоения орошаемых земель за эти же годы.

Настоящая работа является первым специальным опытом подобных исследований и поэтому не претендует на исчерпывающую полноту. Для первого приближения в целях выяснения взаимосвязей в системе орошаемые массивы — химический состав речных вод нами выбирались наиболее изученные в мелиоративном и гидрологическом отношении территории.

Условия, определяющие выбор речных бассейнов для анализа. До выбора опытного бассейна для анализа связи минерализации речных вод с орошаемыми площадями нами было произведено природно-мелиоративное районирование Средней Азии и юга Казахстана. В качестве основной рабочей единицы районирования (на уровне провинции) был выбран бассейн с присущими ему гидролого-гидрогеологическими, геоморфологическими и ландшафтно-геохимическими характеристиками.

Именно на этой стадии районирования осуществляются научно-теоретические и производственные разработки, касающиеся мелиоративного освоения территорий. Более детальное расчленение бассейна на области питания, транзита, рассеивания, выклинивания и т. п. также осуществлялось с учетом бассейнового современного и древнего распределения стока, как поверхностного, так и подземного, и связанных с ними галогеохимических потоков.

Бассейны рек, выбираемые для анализа влияния орошения на минерализацию дренирующего водотока, должны иметь разнообразные почвенно-мелиоративные и гидрогеолого-мелиоративные характеристики. Это позволяет обнаружить влияние орошения на минерализацию речных вод в условиях умеренного и хорошего оттока естественных водно-солевых потоков, влияние степени засоления почв и подстилающих горных пород, а также их механического состава (супеси, суглинки, глины); учитывать воздействие глубины и минерализации грунтовых вод, степень и характер дренированности (удельная протяженность дренажно-коллекторной сети, наличие вертикального дренажа). Обязательным условием при выборе бассейна служило наличие сведений по учету земельных фондов примерно с начала XX в., а также официально зафиксированных данных по химическому составу речных вод в начальных (выше орошаемых площадей) и замыкающих (ниже орошаемых площадей) створах.

Мелиоративные параметры, необходимые для бассейнового способа расчета влияния орошения на минерализацию речных вод. Для обоснования бассейнового способа расчета минерализации речной воды произведен анализ показателей, входящих в расчетную формулу, в частности, эффективной орошаемой площади. Представления о ней исходят из теории гидромодульного районирования, базирующейся на размерах поливных норм.

С. Н. Рыжов (1948) уделял много времени изучению размеров поливных норм в целях эффективного использования ирригационных вод. Его опыты показали, что увеличение поливной нормы сверх оптималь-

ных величин вызывает переувлажнение почв, вымывание из них не только солей, но и питательных веществ, что в итоге снижает урожай. Расчетный активный слой, т. е. необходимая для хлопчатника глубина промачивания почвы, по мнению С. Н. Рыжова, не должен опускаться ниже 50 *см*, реже 100 *см* (в зависимости от фазы вегетации), а при близких грунтовых водах — не ниже 70 *см*.

Однако работами В. Р. Шредера (1963) была доказана необходимость увеличения поливных норм в целях создания промывного режима при вегетационных поливах с тем, чтобы образовался нисходящий ток влаги и солей. На засоленных почвах установлен размер поливных норм от 1,5 до 3 тыс. $м^3/га$ за один полив. При таких нормах уменьшается или полностью устраняется реставрация засоления в течение вегетации, но при этом резко возрастают расходы воды.

В различных природно-хозяйственных зонах в зависимости от культуры орошаемого земледелия, вида возделываемых сельскохозяйственных растений, наличия источников пресной поливной воды, засушливости года и т. д. площади с различными поливными нормами колеблются и их часто трудно учесть. Поэтому, как указывалось выше, нами выделены две категории земель: 1) эффективные орошаемые площади ($F_{эф}$) — территории с промывным режимом орошения, с близким залеганием грунтовых вод, имеющих отточность, активный вынос солей, кривые депрессионного спада и образующие бугры депрессий. Это преимущественно хлопковые и рисовые поля с оптимальными нормами полива, промывным режимом орошения; 2) орошаемые пассивные площади ($F_{пас}$) — территории с непромывным режимом орошения, с депрессией искусственной ирригационно-водонапорной системы. Это преимущественно площади садов, виноградников, приусадебных участков, залежей, расположенные на незасоленных почвах (отсюда отсутствие рассолительного эффекта), часто с глубокими грунтовыми водами, которые не смыкаются с поливными.

При таком понимании изучаемой проблемы бассейновый способ расчета — это дальнейшее развитие работ по гидромодульному районированию (Рыжов, 1948; Легостаев, Коньков, 1950; Еременко, 1957; Меднис, 1973; Воропаев, 1970, и др.), а также концепций Н. Н. Ходжибаева (1975) по гидрогеолого-мелиоративному прогнозу, основанных на капитальных исследованиях О. К. Ланге (1948), Г. Н. Каменского (1949), В. А. Ковды (1946, 1947), М. М. Крылова (1959), Н. М. Решеткиной (1957), В. А. Гейнца (1950), А. И. Шевченко (1961), Н. В. Роговской (1959), Л. В. Дунина-Барковского (1960), Д. М. Каца (1956). В частности, нами приняты и используются предложенные Н. Н. Ходжибаевым (1970) понятия о естественных потоках грунтовых вод, об искусственной водонапорной системе, состоящей из бугров и депрессий (результате ирригационно-мелиоративного воздействия на бассейн), о депрессионных кривых.

Выбранные для анализа речные бассейны характеризуются принятыми в мелиоративной гидрогеологии параметрами: формой рельефа и типом отложений, различными группами потоков грунтовых вод, депрессионными кривыми спада, подпора и кривыми переменного характера. При этом отбирались речные бассейны преимущественно с отрицательным солевым балансом, т. е. с процессом естественного рассоления: Ферганский, Чирчика, Зеравшанский (Самаркандский оазис), Кашкадарьи, Сурхандарьи, а также один бассейн — Чуйский — со смешанным солевым балансом. Территории с положительным солевым балансом, т. е. прогрессивно засоляющиеся (устьевые части рек, «сухие дельты»), нами не рассматривались.

Орошаемые эффективные площади, в свою очередь, разбиты на территории по степени засоления (незасоленные, слабо-, средне- и сильнозасоленные) и по механическому составу (супесчаные, суглинистые, гли-

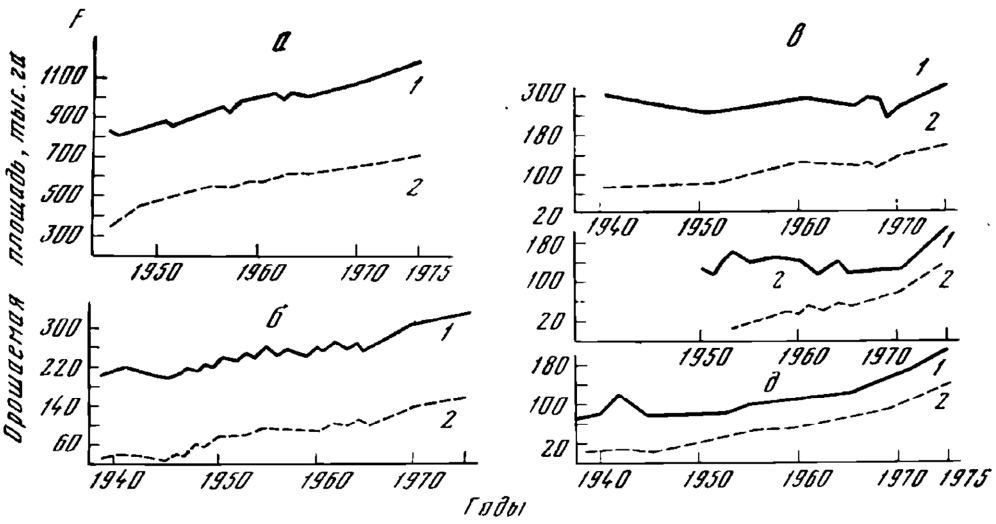


Рис. 3. Рост орошаемых площадей в бассейнах рек

а — Сырдарьи (Ферганская долина), *б* — Чирчика, *в* — Зеравшана, *г* — Кашкадарьи, *д* — Сурхандарьи. *1* — вся орошаемая площадь, *2* — площадь, занятая хлопчатником

нистые), что позволило при расчетах получать для каждого типологического бассейна свой корреляционный коэффициент между ними и минерализацией — показатель *а*.

Рост всей орошаемой площади в бассейнах за последние тридцать лет обусловлен в основном расширением эффективных площадей. Из рис. 3 видно, что изменение орошаемых территорий из года в год во всех бассейнах почти одинаково. Это свидетельствует о том, что увеличение минерализации речных вод в первую очередь связано с эффективными площадями.

В табл. 2 приведены сведения, необходимые при расчетах будущей минерализации бассейновым способом, а также характеристика главных факторов, вызывающих ее изменение. Поверхностные водные ресурсы и сведения о водозаборе позволяют судить об объеме воды, которая подается или может быть подана на орошаемые поля. Наименьшими водными ресурсами характеризуется бассейн Кашкадарьи — 1,11 $км^3$ (или 35,2 $м^3/с$), а наибольшими — Сырдарьи в пределах Ферганской долины — 25,1 $км^3$ (или 797 $м^3/с$). На орошение в выбранных бассейнах в последние годы забирается до 93% водных ресурсов.

Развитию орошения способствует существование значительного фонда пригодных для этого земель. В различных бассейнах он колеблется в широких пределах, например, от 471 тыс. *га* в верхнем и среднем течении Кашкадарьи до 3 млн. *га* в бассейне р. Чу.

Почвенный покров бассейнов в зоне орошения, представленный в основном темными, типичными и светлыми сероземами, часто гидроморфными, характеризуется определенной засоленностью. Наиболее засолены бассейны рек Сырдарьи (в пределах Ферганской долины), Кашкадарьи, Сурхандарьи и Чу. Средне- и сильнозасоленные земли в этих бассейнах составляют 11—20%, в остальных бассейнах они занимают не более 2—3%. Это различие в засолении существенно влияет на повышение минерализации речных вод, поэтому отобранные бассейны были разделены на две категории: первая — бассейны с преобладанием незасоленных и слабозасоленных почв, вторая — бассейны с преобладанием засоленных почв. К первой категории были отнесены бассейны рек Чирчика и Зеравшана (Самаркандский оазис), ко второй — остальные бассейны.

Материалы В. В. Егорова (1951) по Кура-Араксинской низменности показывают, что между этими двумя категориями земель (первая с засолением почв 0,5%, вторая — более 1%) может существовать тесная,

Таблица 2. Водохозяйственное использование рек, выбранных для опробирования бассейнового способа прогноза минерализации *

Бассейн реки	Поверхностные водные ресурсы, $км^3/год$	Водозабор на орошение, $км^3/год$	Земельный фонд, пригодный для орошения, тыс. *га*	Орошаемая площадь**, тыс. *га*	Распределение земель по степени засоления **, %	Тип засоления почв (преобладающий)	Длина коллекторно-дренажной сети, *км*	Минерализация коллекторных вод, *г/л*
Сырдарья (Ферганская долина)	25,10	22,7	1539	800 1521	н. з. + сл. з. — 79,6 ср. з. — 16,7 с. з. 3,7	Сульфатно-натриевый	19 000	0,4—4,5
Чирчик	8,68	7,8	722	331 625	н. з. + сл. з. — 98,2 ср. з. + с. з. — 1,8	Гидрокарбонатно-кальциевый	5 760	0,3—1,0
Зеравшан (Самаркандский оазис)	5,20	4,7	910	334 579	н. з. + сл. з. — 97,2 ср. з. + с. з. — 2,8	Гидрокарбонатно-магниевый	2 517	До 1,0
Кашкадарья	1,11	1,0	471	238 336	н. з. + сл. з. — 89,0 ср. з. + с. з. — 11,0	Хлоридно-натриевый	1 307	Нет данных
Сурхандарья	3,59	3,0	529	213 421	н. з. + сл. з. — 77,8 ср. з. + с. з. — 22,2	Хлоридно-сульфатный	4 592	0,4—2,0
Чу	3,75	3,3	3000	490 650	н. з. + сл. з. — 14,4 ср. з. + с. з. — 85,6	Содово-сульфатный	2 250	3,0—5,0

* Использованы материалы Всесоюзного объединения «Союзводпроект», институтов «Средазгипроводхлопок», «САНИИРИ».

** Числитель — 1975 г., знаменатель — в перспективе.

*** Степень засоления: н. з. — незасоленные, сл. з. — слабозасоленные, ср. з. — среднезасоленные, с. з. — сильнозасоленные.

устойчивая взаимосвязь. Эта связь отражается и на соотношении минерализаций грунтовых (дренажных) и оросительных вод, найденном В. А. Ковдой (1971): $C=C_1/C_2$, где C — мелиоративный индекс, отражающий отношение суммарной минерализации грунтовых вод вторичнозасоленных массивов или дренажных и речных вод ниже орошаемого массива (C_1) к минерализации опресненных вод орошаемых полей или к речной воде выше орошаемого массива, в точке водозабора (C_2).

Разнообразен тип засоления орошаемых земель: от гидрокарбонатно-кальциевого до содово-сульфатного и хлоридно-натриевого. Этот фактор также имеет значение при миграции солей из орошаемых массивов: в бассейнах, где преобладает сульфатно-натриевое или хлоридно-натриевое засоление, наблюдается наибольший вынос легкорастворимых солей.

Грунтовые воды оказывают значительное влияние на миграцию солей, так как при орошении они частично меняют направление и начинают поступать в реки, пройдя сложный путь взаимодействия с орошаемыми почвами и подстилающими их мелкоземистыми толщами. При этом глубина залегания грунтовых вод в верховье бассейнов не превышает в среднем 20—25 *м*, а в низовье реки они часто даже выходят на поверхность, образуя заболоченные и засоленные пространства. Минерализация грунтовых вод при этом постепенно увеличивается от 0,5—1,0 до 3—5, участками до 15—20 *г/л* (рис. 4).

На увеличение минерализации и изменение химического состава речных вод влияет и коллекторно-дренажный сток. Во многих бассейнах уже сейчас объем коллекторно-дренажных вод соизмерим с транзитным речным стоком; имея высокое содержание солей (2—3 *г/л* и более), воды коллекторов, смешиваясь с пресной речной водой, увеличивают ее минерализацию. Общая протяженность коллекторно-дренажной сети в изучаемых бассейнах составляет около 28 тыс. *км*. Линейная схема коллекторов в отдельных бассейнах приведена на рис. 5.

Выбор гидрохимических створов. Каждый выделенный для расчета минерализации речной воды бассейн, имея свой собственный геохимический тип взаимодействия поверхностных и грунтовых вод с почвами и породами орошаемых массивов, ограничен сверху и снизу гидрологическими створами (рис. 6). На верхнем створе ведутся наблюдения за фоновой (естественной) минерализацией речных вод, которая меняется под влиянием естественных факторов. В нижних створах фиксируется минерализация, сложившаяся в результате суммарного взаимодействия на нее остальных факторов, как при отсутствии орошаемых полей, так и с учетом влияния хозяйственной деятельности человека. В тех бассейнах, где главная река складывается из двух притоков, о фоновой минерализации судят по двум расположенным на них створам.

В бассейне Сырдарьи в качестве начальных створов использованы Учкурган на р. Нарын и Кампыррават на Карадарье. В Зеравшане — Дупули, в Чирчике — Ходжикент, в Кашкадарье — Варганзи, в Сурхандарье — устье р. Дашнабад (на р. Туполанг) и р. Каратаг (на р. Каратаг), в р. Чу — створ Бурулдайский мост.

Замыкающими створами выбраны: Кызылкишлак (дополненный сведениями по створу Бекабад), Навои, Чиназ, Каратикон, Мангузар и Фурманово (дополненный сведениями по створу Амангельды).

По указанным створам собран весь имеющийся гидрохимический материал. Основу его составили сведения гидрологических ежегодников, в которых помещены данные о химическом составе и минерализации речных вод с 1938 г. Однако исследования гидрохимического режима рек часто прерывались, а иногда и вовсе прекращались. Местами в отдельные годы на створах отбиралось в среднем по 4—5 проб, что явно недостаточно для полного анализа гидрохимического режима рек.

Анализируемые нами данные были дополнены материалом других организаций, производивших гидрохимические наблюдения до 1938 г.

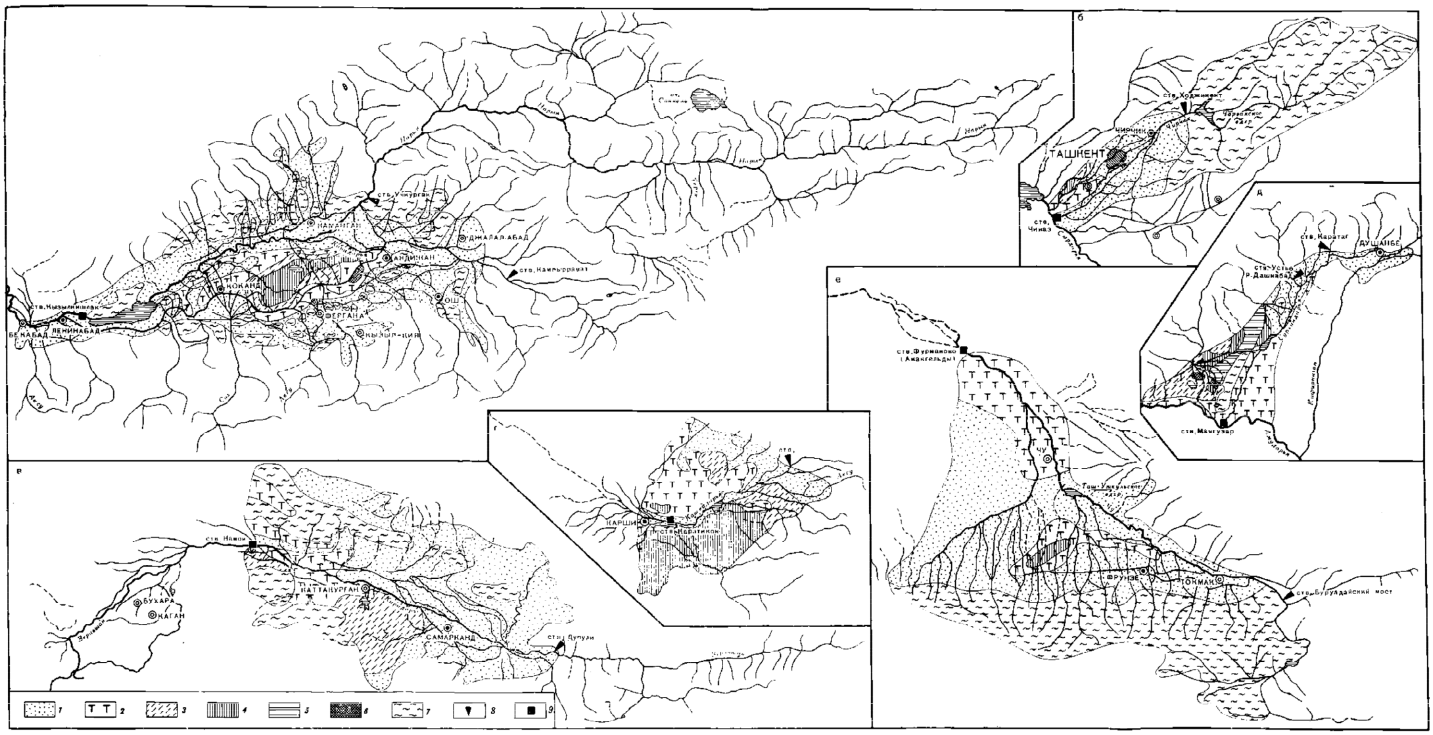
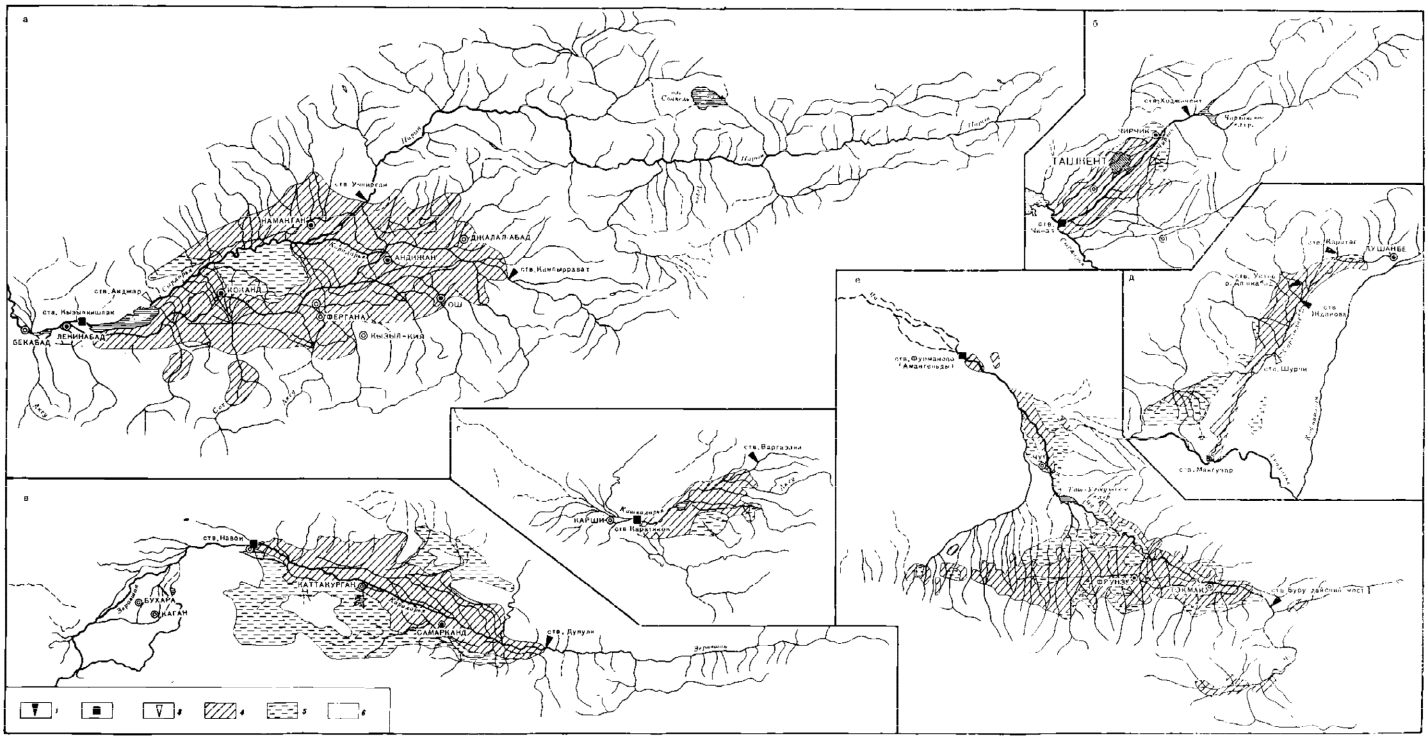


Рис. 4. Распределение минерализации грунтовых вод в бассейнах рек

а — Сырдарьи (Ферганская долина), *б* — Чирчика, *в* — Зеравшана, *г* — Кашкадарьи, *д* — Сурхандарьи, *е* — Чу. Минерализация, г/л: *1* — до 1; *2* — от 1 до 3; *3* — от 3 до 5; *4* — от 5 до 10; *5* — от 10 до 20; *6* — от 20 до 30; *7* — пресные воды горных территорий; *8* — напальные створы; *9* — замыкающие створы


а
б
в
г
д
е
ТАШКЕНТ
ЧИРЧИК
ЧАРВАК
ЧАРВАКСКАЯ ГЭС
ЧИРЧИКСКАЯ ГЭС
ЧАНГАЛЯКСКАЯ ГЭС
ЧАНГАЛЯКСКОЕ ВОДОХРАНИЛИЩЕ
ЧИРЧИК
ЧАНГАЛЯК
ЧАНГАЛЯКСКИЙ ГЭУ
ЧАНГАЛЯКСКИЙ ГЭУ
ЧАНГАЛЯКСКИЙ ГЭУ

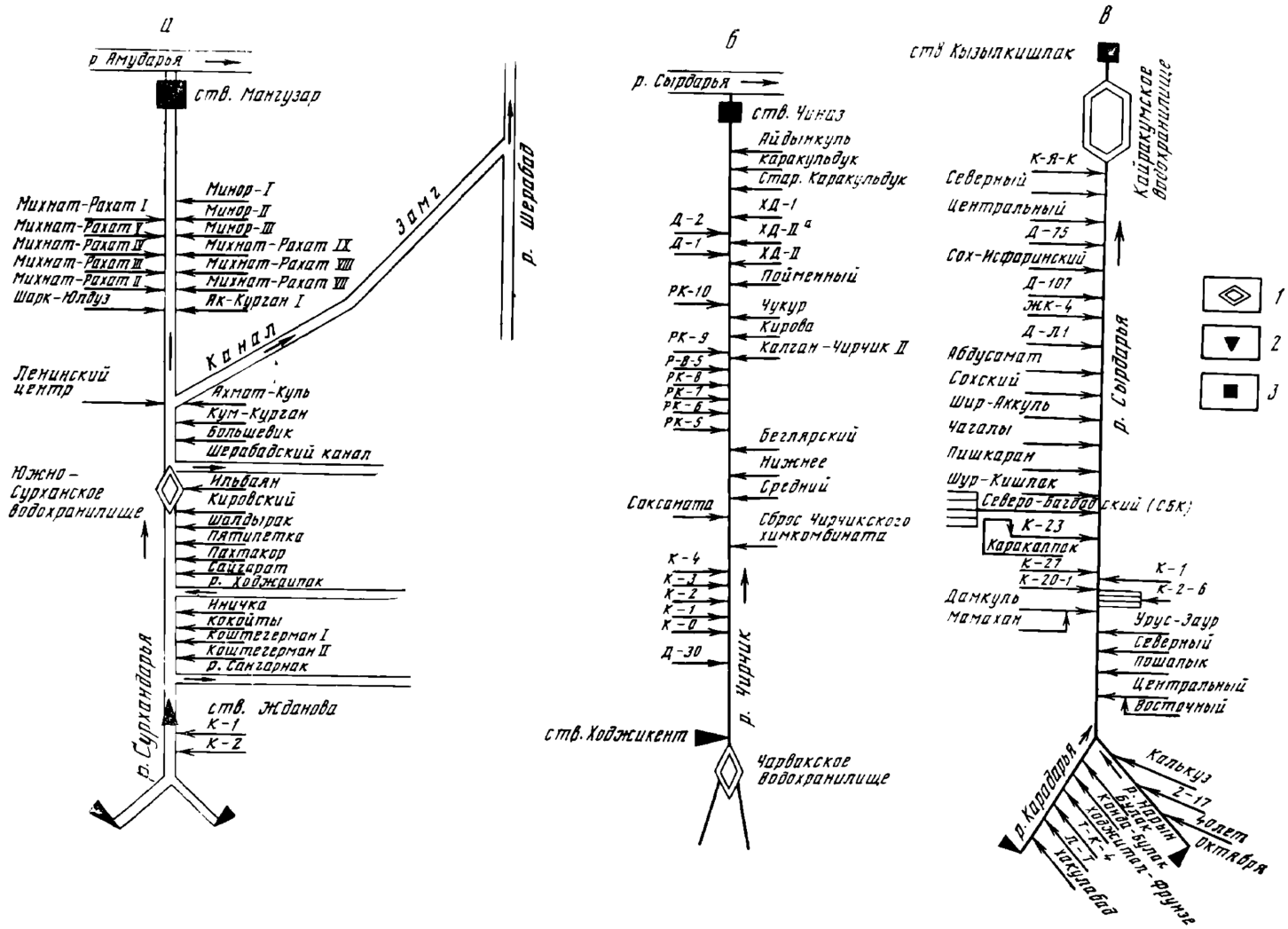


Рис. 5. Линейная схема коллекторов в бассейнах рек

а — Сырдарьи (Ферганская долина), *б* — Чирчика, *в* — Сурхандарьи. *1* — работающие водохранилища; *2* — начальные створы; *3* — замыкающий створ

и позже. Например, использованы сведения Гидрометрической части работавшей в Средней Азии в 1910—1913 гг., а также современные данные почвенных, гидрологических и гидрогеологических институтов. Нами обработаны материалы химического анализа около 4 тыс. проб воды, что позволило проследить изменение минерализации и химического состава речных вод за 1910—1975 гг. бассейновым способом, в основном по начальным и замыкающим створам.

ГЛАВА 2

ОЦЕНКА ОСНОВНЫХ ПРИРОДНЫХ И ИСКУССТВЕННЫХ ФАКТОРОВ В БАССЕЙНАХ РЕК И ИХ ВЛИЯНИЕ НА МИНЕРАЛИЗАЦИЮ РЕЧНЫХ ВОД

Формирование минерализации речных вод в естественных условиях

Выявление связей орошения с минерализацией речных вод окажется неполным без предварительного анализа взаимоотношений склоновых и речных вод в бассейнах в естественных условиях, до начала орошения. Определение природного фона изменения минерализации и химизма в пределах бассейнов от верховья до устья позволит выявить наложенные специфические особенности влияния орошения на состав воды в реках. Необходимо определить долю участия в химическом стоке рек важнейших источников питания: атмосферных осадков, снега и льда, родниковых вод и т. п.

Атмосферные осадки — важнейший источник поступления солей в реки. Однако непосредственно в русло реки попадает незначительная часть их; основная масса солей поступает вместе с осадками на склоны бассейнов, проникает через почвы в грунтовые воды, а с грунтовыми водами в реки. Соли атмосферных осадков распределяются в ландшафте неравномерно: некоторые из них стекают непосредственно в реки с поверхностным стоком, другие закрепляются в почве и используются растениями, часть достигает грунтовых вод, трансформируется и пополняет запасы рек.

При сравнении плотного остатка атмосферных осадков (40—60 *мг/л*) и речных вод (200—500 *мг/л*) мы обнаруживаем, что растворенных веществ в атмосферных осадках в несколько раз меньше, их доля участия в химическом стоке рек составляет 25%. В половодье роль атмосферных осадков заметно увеличивается, а в межень главное место принадлежит растворенным солям горных пород.

В различных широтных (или высотных) областях бассейнов рек доля участия твердых и жидких атмосферных осадков неодинакова. В высоких широтах и в высокогорьях атмосферные осадки выпадают в виде снега и града и влияют на химизм речных вод в своей зоне; в теплых условиях осадки выпадают в жидком виде, более обогащены солями, чем твердые осадки, а потому иначе влияют на химический состав речной воды. Значительные объемы дают талые воды, их минерализация и химический состав еще более отличаются от таковых твердых и жидких осадков (рис. 7). Поэтому ранневесеннее резкое увеличение минерализации речных паводковых вод И. Н. Степанов и Ш. М. Агаев (1963) объясняют активным выносом солей из начинающего таять снегового

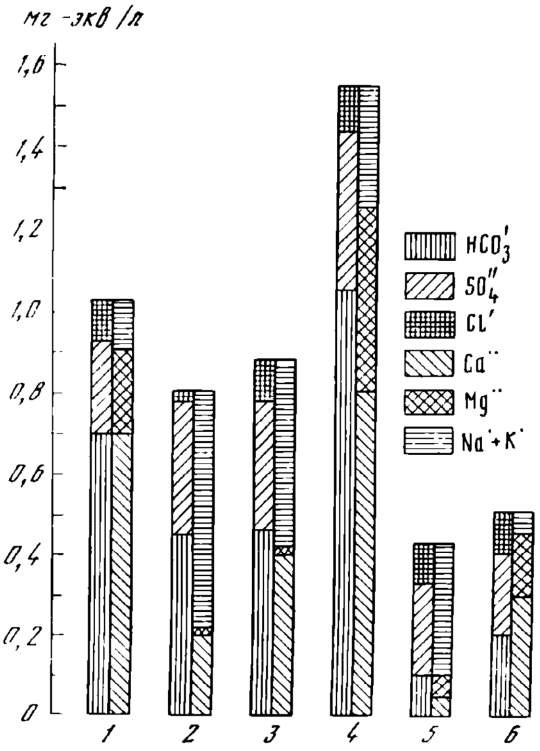


Рис. 7. Содержание легкорастворимых солей в пробах снега, льда и атмосферных осадков Западного Тянь-Шаня (Майдантальский хребет, ущелье р. Текеч, абс. высота 3000 *м*)

1 — весенний дождь;
2 — весенний снежник;
3 — лед ледника;
4 — талая вода снежника;
5 — снег, пролежавший два месяца;
6 — свежевыпавший снег

покрова высокогорий и низкогорий, а также поступлением в реки жидких атмосферных осадков, содержащих повышенное количество солей.

На химический состав атмосферных осадков огромное влияние оказывают территории, через которые транзитом проходят воздушные потоки: моря, пески, солончаковые равнины, степи. Химические анализы показывают, что воздушные потоки, проходя через Каспийское море, менее обогащаются воднорастворимыми солями, чем при транзите через Туранскую солончаковую равнину. По мере удаления от морских побережий солевой состав осадков увеличивается, в основном за счет ионов HCO^- и SO_4^{2-}, причем сульфат-ионы, как правило, преобладают над ионами хлора, и соотношение их не превышает единицы. При прохождении воздушных потоков над морями их влага содержит хлора больше, чем сульфатов. При более значительном удалении воздушных масс в глубь материка, натрий, преобладающий в атмосферных осадках приморских районов, начинает замещаться кальцием.

Судя по литературным источникам и личным наблюдениям, величина и характер минерализации атмосферных осадков весьма изменчивы во времени и в пространстве. По данным П. В. Денисова (1956), максимум плотного остатка для осадков Северного Тянь-Шаня [1] наблюдался осенью (65 *мг/л*), минимум — в январе (28 *мг/л*). Соотношение основных катионов и анионов в течение всего периода остается постоянным: $Ca > Na > Mg$ и $HCO_3 > SO_4 > Cl$.

По нашим наблюдениям, северные воздушные массы всегда приносят в Азию осадки с повышенным содержанием кальция, а западные и юго-западные — натрия. Воздушные массы, претерпевшие значительную трансформацию во время продвижения через Туранскую низменность, насыщены преимущественно солями кальция.

Минерализация дождевой влаги выше, чем снеговой. Однако в снеговой воде калия, хлора и сульфат-иона больше, чем в дождевой, а гидрокарбонатов, кремнекислоты и кальция обычно меньше.

[1] Минерализация атмосферных осадков Тянь-Шаня колеблется в более широких пределах, чем те, на которые указал П. В. Денисов, местами они превышали 200 *мг/л*. Среднее значение минерализации для снега 40 *мг/л*, для дождя 60 *мг/л*

Среди катионов в осадках, выпадающих на передовых хребтах, содержание натрия или несколько выше, или равно содержанию кальция. Во внутренних районах Тянь-Шаня и на его северных хребтах выпадают осадки со значительным преобладанием кальция. Среднее содержание кальция, так же как и натрия, колеблется в пределах 6—12 *мг/л*. Количество калия составляет 25—40% от содержания натрия, содержание магния в снеге и дожде одинаково и редко превышает 1 *мг/л*. Среди анионов всегда преобладают гидрокарбонаты, которых в среднем содержится 30 *мг/л*, количество сульфат-ионов равно 6—9 *мг/л*, а хлора 3—5 *мг/л*.

Атмосферные осадки Тянь-Шаня отличаются большим содержанием взвесей (0,2—0,5 *г/л*), которые иногда во время пыльных бурь выпадают в виде очень мелких комочков грязи. Соли железа, фосфора и алюминия отсутствуют. Величина pH в осадках равнин составляет 7,5—8,2, в осадках гор от 7 до 5,8. Окисляемость 4—8 *мг/л* O_2. Нитрат-ионы (0,1—0,8 *мг/л*) всегда преобладают над нитрит-ионами (менее 0,1 *мг/л*).

На территориях с жарким климатом и небольшим количеством атмосферных осадков (до 300 *мм/год*) происходит аккумуляция солей в почве. Участие атмосферных осадков возможно и в соленакоплении грунтовых вод (при их близком залегании). Так, например, это происходит в условиях Голодной степи, где вместе с атмосферными осадками на 1 *га* территории выпадает 223 *кг* солей, а на всю площадь — 223 000 *т* (Хасанов, 1968).

В целом минерализация атмосферных осадков горных территорий (Средняя Азия, Закавказье и Алтайский край) колеблется в пределах 40—70 *мг/л*, при экстремальных значениях 10—130 *мг/л* (Агаларов, Кисин, Степанов, 1963; Воронков, 1963а; Камалов, 1971).

В среднем атмосферные осадки приносят ежегодно до 20—70 *т/км²*, или 200—700 *кг/га* солей. Состав дождевой воды преимущественно гидрокарбонатно-натриевый (кальциевый), а снеговой — сульфатно-натриевый. Вероятно, это связано с прохождением влажных воздушных потоков над континентом или морем.

Ледники и снежники также являются существенными источниками твердого, жидкого и ионно-солевого стока рек. Только за счет таяния льдов ледников Средней Азии образуется сток в 160 *км³/год*. Если принять, что 1 *км³* льда содержит 1 млн. *т* мелкозема и 60 тыс. *т* солей, то в реки ежегодно только из тающих ледников Средней Азии поступает 160 млн. *т* мелкозема и 9 млн. *т* солей, из которых 960 тыс. *т* приходится на карбонаты кальция (Степанов, 1964).

Химический состав снега и льда высокогорий определяется химическим составом выпадающих осадков. В последние годы на состав осадков заметно влияют промышленные комплексы, через которые проходят воздушные массы. В итоге снега и льды высокогорий становятся гидрокарбонатно-сульфатно-кальциевыми (натриевыми) и приобретают кислую реакцию. Анализ снега и льда высокогорий Тянь-Шаня и Кавказа показывает наличие в них частиц почв и минеральных удобрений, принесенных из далеких распаханных человеком равнин (Степанов, 1961, 1963; Кисин, Степанов, 1961; Степанов, Агаев, 1963; Агаев, Степанов, 1964).

Снеговой покров является важнейшей статьей питания рек. Подсчитано, что он содержит от 30 *т/км²*, или 300 *кг/га* солей на нижней границе устойчивого залегания снега, до 150 *т/км²*, или 1500 *кг/га* солей в снеговом покрове высокогорий (Степанов, Агаев, 1963). В общем это составляет 5—8% от среднегодового химического стока рек. Состав снеговой воды гидрокарбонатно-кальциевый.

Подземные воды. Подземный, или базисный (грунтовый), сток является одним из основных в питании рек водой и солями. По В. Л. Шульцу (1965), грунтовый сток составляет в Средней Азии 40—60% общего рас-

хода воды. Для некоторых рек базисный сток превышает 70—90%. Это означает, что меньшая часть влаги атмосферных осадков (для последнего случая 10—30%) стекает поверхностным стоком, а основная масса просачивается через почвы в толщи горных пород (до 5—20 *м*) и затем выклинивается в нижних частях долин в русла рек.

Почвенный покров в зависимости от его местоположения и состава особым образом сказывается на минерализации и химическом составе природных вод. По О. А. Алекину и Л. В. Бражниковой (1964), почвы, являясь границей между твердыми породами Земли и ее газовой оболочкой, обладают повышенной реакционной способностью и являются одним из основных источников поступления солей в реки. По их мнению, при анализе изменения минерализации речной воды следует учитывать состояние почвы, близость грунтовых вод, степень засоления и условия дренажа, а также особенности поглощающего почвенного комплекса. Определенное влияние на вынос солей из почв оказывают живые организмы и их остатки.

Атмосферные осадки в виде дождя, снега, града проходят сквозь почву, оставляя в ней одни ионы, сорбируя и унося с собой другие. Поэтому химический состав поверхностных и подземных вод во многом определяется активными свойствами[1] и площадями почвенного покрова — биогенного фильтра, через который просачиваются поверхностные природные воды.

Неактивные площади — выходы на поверхность склонов горных пород. Лишенные защитного покрова почв, они легко поддаются выветриванию. По наблюдениям И. Н. Степанова и О. П. Щегловой (1969), в горных областях Средней Азии важнейшими источниками твердого стока и солей являются низкогорья, где слабопроницаемые и эродированные породы легко разрушаются под воздействием дождевых капель, образуя поверхностный сток. Выше, в средневысотном поясе гор, атмосферные осадки быстро поглощаются структурными почвами и впитавшаяся в них влага перемещается в глубокие горизонты.

Таким образом, почвенный покров оказывает не только поглотительный, но и геохимический эффект. Доказано, что во влажных регионах Средней Азии, несмотря на пестроту коренных горных пород, почвенный покров однороден, а поэтому и состав речных вод однообразен, в основном гидрокарбонатно-сульфатно-кальциевый, тогда как в сухих и жарких регионах, где почвообразование ослаблено, выходы горных пород воздействуют на химизм поверхностных вод.

Этот процесс описан Н. К. Баженовым (1973) на примере рек Киргизии. Так, р. Ала-Арча, формирующая свой сток на изверженных породах, сложенных преимущественно гранитом, имеет минерализацию 0,12 *г/л*, состав вод гидрокарбонатно-кальциевый, а р. Шаркратминка, бассейн которой расположен на соленосно-гипсоносных породах, имеет минерализацию 5,6 *г/л*, по составу вода сульфатно-натриевая. Но объем таких минерализованных вод незначителен и теряется в общей массе преобладающих пресных поверхностных и подземных вод.

Очень большие и интересные работы по выявлению роли почв в формировании химического состава поверхностных вод Северного Казахстана, Алтая и европейской части СССР проведены П. П. Воронковым (1963а, б; 1966) и его учениками. П. П. Воронков подчеркивает, что высокая минерализация поверхностных вод наблюдается на засоленных почвах, «поскольку часть почвенных растворов в период весеннего снеготаяния инфильтруется в толщу почво-грунтов, определенная часть легкорастворимых солей, находящихся в почвенном слое, выносится из него,

[1] Эродированные, лишенные части гумусового горизонта почвы менее активны, чем нормально развитые.

обусловливая этим постепенное рассоление почвенного слоя» (1963а, с. 20).

В результате влияния перечисленных факторов складывается определенная минерализация речных вод. Так как поступление солей с атмосферными осадками из ледников и снежников со временем стабилизируется, то в реках наблюдается установившаяся минерализация, которая колеблется только в зависимости от гидрологического режима рек (половодье, межень, маловодные, многоводные годы и т. п.). Эта величина устойчива во времени и может не изменяться в течение сотен и даже тысяч лет (Максимович, 1955).

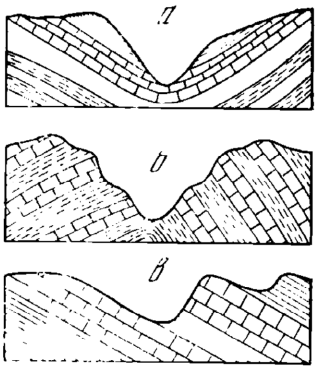


Рис. 8. Структурные типы речных долин
А — синклинальная, *Б* — антиклинальная, *В* — моноклинальная

При орошении поливная вода просачивается через обычно засоленные почвы и образует специфические потоки грунтовых вод. Эти грунтовые воды проходят сложный путь от повышенных элементов рельефа к пониженным и, наконец, выклиниваются в руслах речных долин [1].

На рис. 8 представлены различные типы речных долин. Структура слагающих их слоев указывает на возможные пути «перетекания» грунтовых вод из одного речного бассейна в другой. Долина синклинальная (рис. 8, *А*) способствует стеканию грунтовых и поверхностных вод только в русло основной долины, тогда как антиклинальные и моноклинальные долины (рис. 8, *Б*, *В*) дают возможность воде или ее части мигрировать через водоносные горизонты за пределы основного бассейна.

Это обстоятельство учитывалось при выборе опытных речных бассейнов. Все шесть выбранных речных бассейнов (Сырдарья, Чирчик, Зеравшан, Сурхандарья, Кашкадарья, Чу) имеют приток грунтовых и возвратных вод в русло основного бассейна, так как водоносные горизонты развиты в чехле четвертичных отложений, покровно облекающих склоны долин. Отток грунтовых вод в выбранных бассейнах с некоторыми условностями исключается и поэтому не принимается при расчетах. В то же время определено, что доля напорных грунтовых вод, участвующая в формировании базисного стока, в Средней Азии незначительна, не превышает 5% (в других регионах страны она может достигать 20%).

Изменение фоновой минерализации по длине реки. О средней фоновой минерализации речных вод можно судить по рис. 9. На нем приведены среднемноголетние внутригодовые изменения минерализации на начальных створах в зависимости от гидрологического режима рек, для характеристики которого показан гидрограф среднего по водности 1963 г.

Наибольшая величина минерализации (*М*) наблюдается в Сырдарье (створ Каль) [2] — 0,4—0,8 *г/л*, в Сурхандарье (створ Жданова) она равна 0,2—0,4 *г/л*, в реках Чирчик (створ Ходжикент), Зеравшан (створ Дупули), Кашкадарья (створ Варганзи), Чу (створ Бурулдайский мост) не превышает 0,3 *г/л*. Пониженные величины минерализации наблюдаются в половодье, а повышенные — в межень. Состав воды всех рек гидрокарбонатно-кальциевый, за многолетний период он не изменился.

Изменение минерализации воды по длине рассматриваемых рек можно проследить только за последние 40 лет, когда на ее фоновую величину стали влиять антропогенные факторы. По материалам 1910—1938 гг.

---

[1] Энциклопедический словарь географических терминов. М., 1968.

[2] Створы Каль (Сырдарья) и Жданова (Сурхандарья) расположены в зоне поливных площадей, ее поэтому фоновая минерализация здесь несколько повышена за счет влияния орошения.

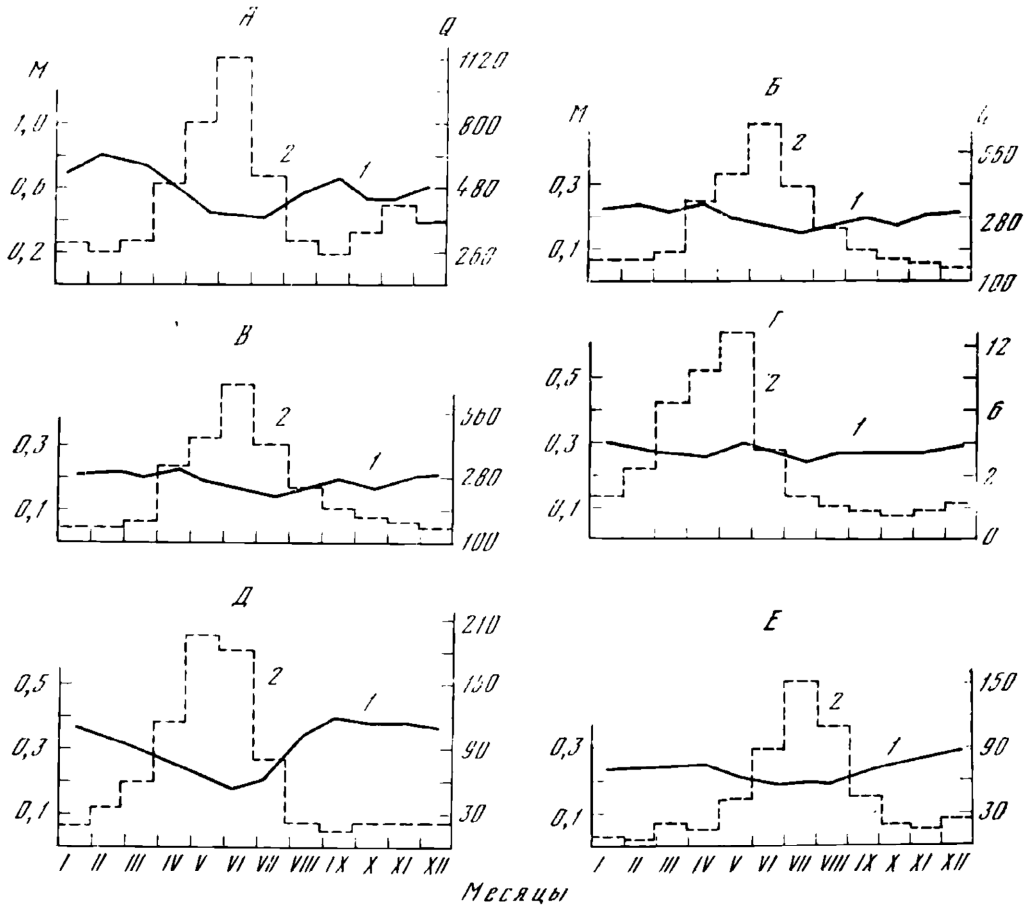


Рис. 9. Среднемноголетнее внутригодовое распределение фоновой (начальной) минерализации (M, *г/л*) в реках

А — Сырдарья (Каль), *Б* — Чирчик (Ходжикент), *В* — Зеравшан (Дупули), *Г* — Кашкадарья (Варганзи), *Д* — Сурхандарья (Жданова), *Е* — Чу (Бурулдайский мост). *1* — хронограф минерализации; *2* — гидрограф 1963 г., Q — расход воды, *м³/с*

можно, с небольшими ошибками, подсчитать, как изменялась минерализация речной воды от истоков к устью в естественных условиях, т. е. когда реки дренируют целинные, неорошаемые территории. Это необходимо для внесения поправок в расчеты будущей минерализации, если подобные бассейны станут орошаться. Влияние естественных факторов на минерализацию речной воды можно определить до орошения и в первые годы орошения, когда обрабатываемые поля занимают небольшие площади, преимущественно незасоленные, а дренажная сеть отсутствует.

Реки в нижнем течении имели раньше (при низком уровне орошаемого земледелия) минерализацию, очень близкую к таковой в начальном створе (рис. 10). В бассейне Сырдарьи в 1911—1912 гг. минерализация воды у створа Бекабад, расположенного ниже Ферганской долины, не превышала среднемноголетнюю за 1950—1975 гг., рассчитанную выше расположенного створа Каль.

Это же подтверждается данными А. Н. Розанова (1934), который подробно исследовал минерализацию речных вод в пределах Ферганской долины в 1911—1913, 1928 гг. По А. Н. Розанову, плотный остаток воды в реках Карадарье, Нарыне, Араване, Сохе, Исфаре, Сырдарье в различных участках был равен 0,2—0,3 *г/л*. Колебания степени минерализации в течение года (1913) оказались незначительны: например, в р. Нарыне у створа Учкурган в вегетационный период она была равна 0,22 *г/л*, повышаясь зимой до 0,32 *г/л*; в р. Сырдарье у створа Запорожская минерализация изменялась соответственно от 0,28 до 0,47 *г/л*.

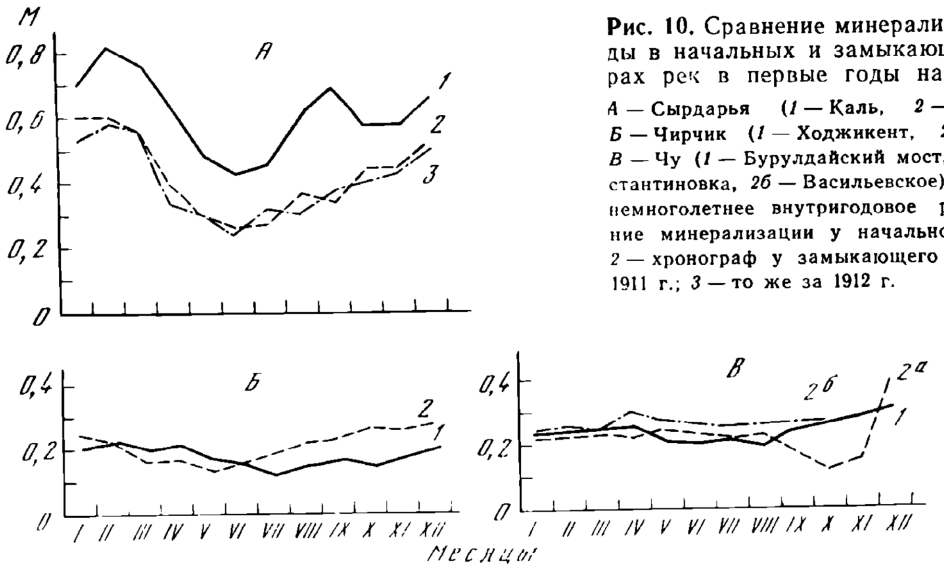


Рис. 10. Сравнение минерализации воды в начальных и замыкающих створах рек в первые годы наблюдений

А — Сырдарья (*1* — Каль, *2* — Бекабад), *Б* — Чирчик (*1* — Ходжикент, *2* — Чиназ), *В* — Чу (*1* — Бурулдайский мост, *2а* — Константиновка, *2б* — Васильевское); *1* — среднемноголетнее внутригодовое распределение минерализации у начального створа; *2* — хронограф у замыкающего створа за 1911 г.; *3* — то же за 1912 г.

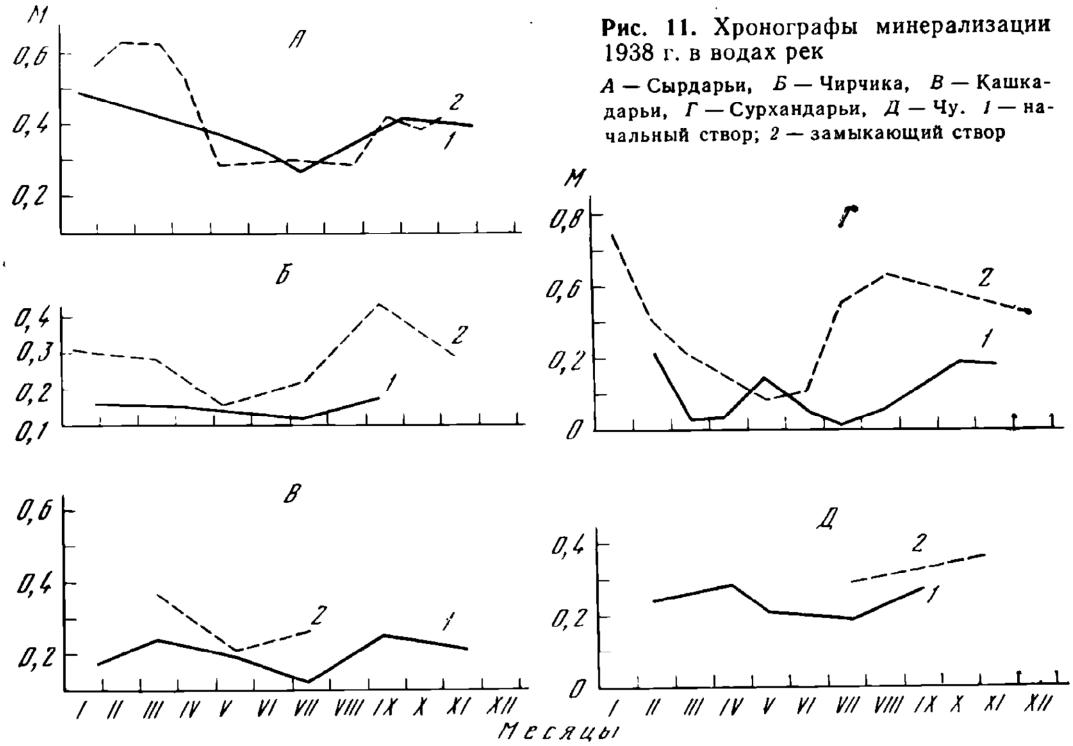


Рис. 11. Хронографы минерализации 1938 г. в водах рек

А — Сырдарьи, *Б* — Чирчика, *В* — Кашкадарьи, *Г* — Сурхандарьи, *Д* — Чу. *1* — начальный створ; *2* — замыкающий створ

По наблюдениям В. Киселева, минерализация воды Сырдарьи в 1912 г. составляла летом 0,17 *г/л*, а зимой 0,42 *г/л* (цит. по Н. Н. Славянову, 1948, с. 52). По В. А. Ковде (1946, 1947) и А. С. Уклонскому (1925), минерализация воды большинства рек Средней Азии в 1910—1930 гг. составляла 0,2—0,4 *г/л*, незначительно увеличиваясь вниз по течению. По П. К. Карпову и М. В. Гоби (1924), минерализация воды р. Чирчик в устье у створа Чиназ в 1913 г. равнялась 0,18—0,29 *г/л*, т. е. практически не отличалась от минерализации, наблюдаемой в верховье реки, у створа Ходжикент, где ее среднемноголетние величины изменяются от 0,15 до 0,22 *г/л* (см. рис. 9).

В бассейне р. Чу минерализация воды в среднем течении реки, у створов Константиновка и Васильевское, в 1911 г. (0,2—0,4 *г/л*) была близка к величине, отмечаемой в настоящее время у начального створа Бурулдайский мост (0,2—0,3 *г/л*).

В 1938 г. Гидрометслужба СССР начала наблюдения за химическим составом речных вод. В это время орошаемых территорий было в два-три раза меньше, чем сейчас, дренажная сеть отсутствовала, что сдерживало активное поступление возвратных вод в основную гидрографическую сеть. Тем не менее уже тогда в замыкающем створе (ниже орошаемых площадей) отмечалось некоторое повышение минерализации речной воды по отношению к начальному створу: на 0,05—0,2 *г/л* в больших бассейнах, где орошаемые засоленные почвы занимали небольшие площади, и на 0,3 *г/л* — в малых бассейнах, с засоленными почвами (рис. 11), что свидетельствует о существовании гидрогеологической связи орошаемых массивов с рекой в бездренажных условиях и о правильности наших представлений. В настоящее время для тех же бассейнов разница между минерализацией воды в начальном и замыкающем створах равна для больших бассейнов 0,7—0,8 *г/л*, а для малых 1,5—1,8 *г/л*.

Заметное повышение минерализации в замыкающих створах рек наблюдается с 1963 г., когда резко увеличились орошаемые площади (а значит, возрос объем возвратных вод) и стал широко применяться дренаж. Влияние засоленности почв и подстилающих пород, минерализации грунтовых вод и других факторов стало сказываться на повышении минерализации лишь после массового орошения территорий, когда поливные воды, проникая на большие глубины, вовлекли в круговорот веществ мощную толщу пород и минерализованных грунтовых вод и оживили геохимическую обстановку. В несколько раз увеличилась скорость миграции химических веществ из одной части ландшафта в другую, например, из почв в грунтовые воды, из повышений в понижения, а из последних в реки.

Следует отметить, что в естественных условиях изменение минерализации от начального до замыкающего створа в рассматриваемых бассейнах (Сырдарьи, Чирчика, Зеравшана, Сурхандарьи, Кашкадарьи, Чу) было незначительно. Поэтому в последующих расчетах оно не учитывается, а изменения минерализации на этих участках целиком отнесены на счет орошения [1].

Влияние орошения на минерализацию

Состояние проблемы. В первые годы развития орошения азиатского типа (по бороздам) и промывок почв от солей немногие предполагали, что опреснение почв приведет к наблюдаемому ныне мощному проявлению галогеохимических процессов, которые выйдут далеко за пределы орошаемых массивов. В те времена объемы выносимых в реки солей из орошаемых полей были незначительны, поэтому вопрос о возможном увеличении минерализации речных вод не поднимался. Однако постепенно человек в средних и нижних частях бассейнов создал новый источник питания рек — многочисленные мелкие водоемы, реки, борозды, арыки, дрены водохранилища.

Орошаемые поля и связанные с ними водохозяйственные объекты по площади и активизации галогеохимической деятельности превышают размеры оледенений высокогорной зоны питания рек Средней Азии. Так, если площадь ледников Средней Азии — одного из основных источников воды, твердых минеральных и химических растворимых веществ — равна 1,5 млн. *га*, то площадь орошаемых полей — нового источника, питающего реки водой и химическими веществами, составляет около 5 млн. *га*, а через несколько десятилетий может достигнуть 15 млн. *га* и более.

Исследования последних лет показали огромную галогеохимическую роль орошаемых массивов. Например, ежегодный вынос солей в

[1] Промышленные и бытовые сточные воды изменяют качество речной воды, но оказывают слабое воздействие на ее минерализацию.

Сырдарью в настоящее время равен 9—10 млн. *т*. Только из орошаемой площади Наманганской области УзССР в 1970 г. через коллекторы и дрены было вынесено 2,1 млн. *т* солей[1] (данные областного управления оросительных систем).

По мере развития орошения и охвата ирригационными водами мощных засоленных толщ и грунтовых вод вынос солей увеличится: так, по сведениям А. З. Захидова (1971), запасы солей на глубине 0—20 *м* на отдельных целинных участках Центральной Ферганы достигают 5 тыс. *т/га*; при орошении они начнут мигрировать в Сырдарью. По нашим рас-

Таблица 3. Количество удобрений, вносимых на посевную площадь в Узбекистане, *кг/га* (данные МСХ УзССР)

Области	Азотные		Фосфорные		Калийные
	1950 г.	1971 г.	1950 г.	1971 г.	1971 г.
Ферганская	79	252	76	132	39
Наманганская	86	150	85	121	56
Андижанская	94	200	87	121	Нет данных
Ташкентская	86	200	70	126	64
Самаркандская	57	147	49	82	38
Кашкадарьинская	51	173	47	102	17
Сурхандарьинская	85	140	78	82	7

четам, ежегодно из орошаемых полей Средней Азии выносится 30—40 млн. *т* солей.

На состав и минерализацию речных вод также влияют вносимые в почвы удобрения (Ковда, Егоров, 1970; Тарасов, Демченко, Бражникова, 1970, и др.). По мнению О. А. Алекина и др. (1967), до 13% вносимых удобрений (сульфат аммония) вымывается при орошении. Применение минеральных удобрений на полях из года в год возрастает, и это также изменяет минерализацию речных вод. Такое же влияние оказывает применение пестицидов (Якубова, 1969; Ковда, 1976; Соколов, 1972).

В связи с ростом орошаемых площадей в последние годы повысилась минерализация рек и изменился состав речных вод. П. А. Летунов (1964) указывал, что при удалении дренажными системами сотен тысяч тонн солей с орошаемых массивов может произойти значительное повышение минерализации речных вод.

В. А. Ковда (1966, 1967, 1971а) отмечает, что за последнее десятилетие в результате орошения минерализация Сырдарьи увеличилась с 0,2 до 1—1,5 *г/л*, а в будущем этот процесс приведет к опасным последствиям[2]. При этом изменится не только минерализация, но и химический состав воды.

С. К. Ревина, И. Л. Соловьева (1970) в устьевых створах Амударьи и Сырдарьи проследили увеличение минерализации в течение 1952—1966 гг. По их мнению, за счет развития орошения в будущем ожидается новое повышение минерализации речных вод. Однако размеры его не указываются.

---

[1] Ледники Средней Азии при ежегодном стаивании выносят в реки около 9 млн. *т* солей (Степанов, 1964).

[2] Некоторые авторы считают, что никакой опасности нет, так как сток Сырдарьи скоро будет полностью разобран на орошение и русло реки станет выполнять функцию дрены. Однако, по нашему мнению, вода Сырдарьи еще долго будет использоваться на полив. Кроме того, в низовьях реки минерализованные воды будут вытеснять ныне широко распространенные пресные подземные воды, ухудшая тем самым мелиоративную обстановку.

М. Н. Тарасов и И. М. Кореновская (1974) отмечают увеличение минерализации воды в устье Сырдарьи за 1938—1967 гг. почти в два с половиной раза (с 0,2—0,6 до 1,0—1,5 *г/л*); главная причина изменения гидрохимических характеристик — увеличивающееся поступление в реку коллекторно-дренажных вод орошаемых территорий.

Л. П. Крайнова (1973) обращает внимание на заметное увеличение минерализации речных вод бассейнов Сырдарьи и Амударьи с 1910 по 1969 г. за счет преимущественного повышения сульфатов.

Анализируя развитие орошения в бассейне Сырдарьи за 1911—1970 гг., М. И. Геткер, Л. М. Куропатка, Ф. Э. Рубинова (1975а, б) выявили, что в области рассеивания речного стока минерализация воды возросла примерно в три раза. Прогнозную минерализацию речной воды они предложили находить по ее зависимости от доли возвратных вод в стоке реки.

По данным Р. А. Алимова (1975), Н. М. Решеткиной (1957), Г. А. Ибрагимова (1970), А. А. Рачинского (1973), в орошаемых районах Средней Азии реки пополняются легкорастворимыми солями, выносимыми дренажным стоком. Причем вынос солей увеличивается в прямой связи с расширением орошаемых площадей на засоленных землях и удлинением коллекторно-дренажной сети.

В. А. Ковда и В. В. Егоров (1970), освещая проблемы почвенных мелиораций в зоне орошения, большое внимание уделяют вопросу минерализации речных вод, отмечая его актуальность и необходимость подробного всестороннего изучения. В. А. Ковда (1977) отмечал: «На современном этапе мировой науке и производству предстоит глубоко войти в проблему качества и химического состава поливных вод. Минерализация речных вод почти повсеместно постепенно увеличивается... Орошение почв аридных областей неизбежно увеличивает вынос легкорастворимых солей из орошенной территории в речные долины».

В. А. Духовный и Н. Н. Ходжибаев (1974) отмечают, что в р. Сырдарье за счет притока дренажных и многократно использованных вод минерализация воды в нижнем течении достигает 1,6—1,8 *г/л*, хотя еще 10—15 лет назад она не превышала 0,8.

Минерализация речных вод за счет развития орошения увеличилась и в других природных регионах СССР. Так, по расчетам М. Н. Тарасова, А. С. Демченко и Л. В. Бражниковой (1970), минерализация воды р. Кумы увеличивается за счет сброса коллекторных вод в отдельные месяцы на 10—15%.

В водах Дона увеличение минерализации в средние по водности годы составляет 7—10%. Т. Н. Лапшина (1970) указывает, что сброс коллекторно-дренажных вод Северного Кавказа в реки и водохранилища повышает минерализацию последних.

Увеличение минерализации в речных водах изучается и зарубежными авторами: В. Ллойдом (Lloyd, 1962), С. Робертом (Robert, 1963), П. Хери и др. Автор первой работы указывает, что орошение в западных штатах США вызывает рост минерализации в реках на 50—70%. С. Роберт отмечает, что примерно 50% солей, содержащихся в воде нижнего течения р. Джакима (США, штат Вашингтон), поступили из коллекторно-дренажной сети. П. Дж. Виеренга и Т. Ч. Паттерсон (Wiorenga, Patterson, 1974) сообщают, что качество возвратных оросительных вод представляет серьезную проблему на западе США. Минерализация воды р. Рио-Гранде на протяжении 430 *км* увеличивается с 0,22 до 0,78 *г/л*. Увеличение минерализации воды из расчета на одну милю длины реки в два раза больше в орошаемых районах, чем в неорошаемых. Наблюдается повышение минерализации в крупной реке США — Колорадо. По исследованиям Б. Ирелана (Irelan, 1971) и Т. Р. Винкента и Дж. Д. Рассела (Vincent, Russel, 1971), минерализация воды реки Колорадо под влиянием поступления в нее возвратных вод, а также после сооружения

Таблица 4. Характеристика минерализации (*г/л*) речных вод в створах, расположенных выше и ниже существующих водохранилищ

Реки	Створы	Годы	Месяц												Водохранилище
			I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
1. Бассейн р. Сырдарьи (Ферганская долина)															
Сырдарья	Ак-Джар	1964	—	—	1,49	—	0,56	0,50	0,67	—	0,82	—	0,76	—	Кайраккумское
»	Кызылкишлак	1964	—	1,12	—	—	—	0,64	0,56	0,63	—	0,89	—	0,91	
2. Бассейн р. Чирчика															
Чирчик	Ходжикент	1969	0,20	—	0,20	—	0,20	0,18	—	—	0,14	—	0,17	—	Чарвакское
	»	1972	0,20	—	0,20	—	0,20	0—16	—	—	0,13	—	0,17	—	
3. Бассейн р. Зеравшан															
Подводящий канал		1970	—	0,42	—	0,45	—	0,24	—	—	—	0,26	—	—	Каттакурганское
Отводящий канал		1970	—	0,38	—	0,43	—	0,40	0,35	—	—	—	—	—	
4. Бассейн р. Кашкадарьи															
Кашкадарья	Чиракчи	1970	—	0,46	—	0,38	—	0,34	—	—	—	0,40	—	—	Чимкурганское
Нижний бьеф Чимкурганского водохранилища		1971	—	—	—	0,67	0,65	—	—	—	—	0,87	—	—	
5. Бассейн р. Сурхандарьи															
Сурхандарья	Шурчи	1970	0,46	—	0,42	—	0,30	0,25	0,37	—	—	0,73	—	—	Южносурханское
Южносурханское водохранилище		1970	—	—	—	0,45	—	0,36	—	0,38	—	0,82	—	0,72	
6. Бассейн р. Чу															
Чу	Кочкорка	1955	0,28	—	—	0,28	0,29	—	0,47	—	—	—	0,29	0,28	Ортотокойское
Ортотокойское водохранилище		1959	—	—	0,24	0,23	—	—	0,19	—	0,23	—	—	—	

плотин увеличилась с 0,6 до 0,9 *г/л*; ожидается, что в 2010 г. она достигнет 1,2 *г/л*.

По мнению большинства ученых, такого явления в прошлом в странах с промывным режимом орошения (США, СССР, Индия, Пакистан и др.) не было, так как раньше орошались незасоленные массивы с хорошей естественной дренированностью. Но теперь рост минерализации в реках нужно предвидеть и необходимо разработать мероприятия, исключающие его опасность.

Влияние водохранилищ на минерализацию речных вод. На повышение минерализации речных вод некоторое влияние оказывают озера и водохранилища (Лазарев, Якушева, Манихина, 1965а, б; Видинеева, Селиванова, 1971; Николаенко, 1974; Тарвердиев, 1974; и др.).

Увеличение минерализации под влиянием водохранилищ рассмотрим по данным створов, расположенных выше (при входе) и ниже (при выходе) водохранилищ. В бассейне Сырдарьи, в пределах Ферганской долины, на гидрохимический режим реки оказывает влияние Кайраккумское водохранилище. Сравним данные по минерализации створов, расположенных выше Кайраккумского водохранилища (створ Ак-Джар) и ниже его (створ Кызылкишлак) (табл. 4). Особого увеличения минерализации за счет влияния водохранилища не наблюдается: в отдельные месяцы минерализация у створа Кызылкишлак даже несколько ниже, чем у створа Ак-Джар.

Е. М. Виденеева, А. К. Селиванова (1971) показали внутригодовые изменения минерализации у створов Ак-Джар (0,6—1,6 *г/л*), Кызылкишлак (0,6—1,2 *г/л*) и в самом Кайраккумском водохранилище (0,7—1,2 *г/л*) за 1958—1967 гг. Оказалось, что увеличения минерализации за счет влияния водохранилища не происходит. Водохранилище в основном только сглаживает колебания минерализации внутри года, а также сдвигает во времени сроки прохождения максимумов и минимумов минерализации.

В бассейне Чирчика Чарвакское водохранилище построено в области распространения среднегорных карбонатных незасоленных почв. Судя по данным для створа Ходжикент, расположенного несколько ниже водохранилища, до его строительства и после ввода в действие (1970 г.) минерализация речной воды практически не изменилась (табл. 4).

В бассейне Зеравшана наблюдается несколько иная картина. В пределах Самаркандского оазиса в бассейне р. Зеравшан расположено только наливное Каттакурганское водохранилище. В отличие от русловых водохранилищ, где влияние на минерализацию легко проследить по верхним и нижним створам, в Каттакурганском водохранилище это можно сделать по подводящему и отводящему каналам. Наблюдения за химическим составом воды в этих каналах ведутся с 1954 г. (створы открыты в 1941 г.).

При сравнении фактических данных за 1970 г. видно, что за счет влияния Каттакурганского водохранилища минерализация воды реки Зеравшан (отводящий канал) существенно не увеличивается. Исключение составляют данные за июнь.

В бассейне Кашкадарьи действует три водохранилища: Чимкурганское, Камашинское и Пачкамарское. Из них на химический сток Кашкадарьи непосредственное влияние оказывает только Чимкурганское водохранилище. Проследить это можно, анализируя минерализацию воды по створу Чиракчи (расположенному выше водохранилища) и по створу нижнего бьефа Чимкурганского водохранилища. Здесь отмечается некоторый рост минерализации за счет влияния водохранилища.

В бассейне Сурхандарьи действуют три водохранилища: Южносурханское, Учкызылское и Дегресское. Слабое влияние на химический сток Сурхандарьи оказывает только Южносурханское водохранилище, минерализация которого повышается незначительно.

В бассейне Чу до 1975 г. сток основной реки был зарегулирован только Ортотокойским водохранилищем. По сведениям В. М. Сагадаковой и В. К. Кадырова (1962), содержание солей в водохранилище в первые годы его эксплуатации равнялось 0,19—0,24 *г/л*. Сравнение этих данных с минерализацией воды р. Чу в створе Кочкорка (выше водохранилища) показало, что увеличения солей в Ортотокойском водохранилище не наблюдается.

Некоторое повышение минерализации речных вод в бассейнах за счет их зарегулированности подтверждается подсчетами К. Г. Лазарева, А. С. Якушевой, Р. К. Манихиной (1965а, б). Увеличение минерализации за счет испарения (без учета засоленности ложа водохранилищ) не превышает 0,08 *г/л* в условиях маловодного года, а в средние и многоводные годы — еще меньше. Указанные авторы также отмечают, что в водохранилищах выравнивается минерализация в течение года, они также сдвигают сроки прохождения воды с минимальной и максимальной минерализацией.

В. А. Николаенко (1974) отмечает, что режим ионного состава водохранилищ Узбекистана тесно связан с гидрологическим режимом питающих их рек и каналов. По его данным, минерализация воды в Чарвакском, Каттакурганском, Южносурханском водохранилищах идентична таковой наполняющих их речных вод.

В заключение следует отметить, что заметное увеличение содержания солей за счет влияния водохранилищ наблюдается в Кашкадарье; оно отсутствует в Чирчике и незначительно в остальных реках. Поэтому в расчетах влияние водохранилищ учитывалось совместно с влиянием эффективной орошаемой площади[1].

Приведенные материалы убедительно показывают, что орошение является главнейшим фактором, повышающим минерализацию речных вод. Непосредственное увеличение минерализации происходит за счет смешения речных вод с высокоминерализованными возвратными водами орошаемых полей. Однако при расчете будущей минерализации речных вод авторы отказались от метода водно-солевого баланса, поэтому в работе не освещены вопросы формирования и динамики возвратных вод. Основанием для отказа послужила малая достоверность исходных расчетных величин. Так, в установлении объема возвратных вод наблюдаются большие различия (в 1,5—2,0 раза), причем разноречивость в величинах стока возвратных вод определяется отсутствием обоснованного приема их оценки и даже единой терминологии (Геткер, Куропатка, Рубинова, 1975а, с. 3). Минерализация возвратных вод в широком смысле этого слова вообще не изучается.

Проблему повышения минерализации речных вод авторы рассматривают бассейновым способом, при котором увеличение солей в реках связывается с развитием орошения и с выносом минерализованных возвратных вод из орошаемых массивов в реки. При этом авторы не отрицают необходимости использования широко известного балансового метода. Наоборот, в настоящее время появился ряд работ (Светицкий, 1969, 1972; Аткарская, 1970; Харченко, 1973; Геткер, Куропатка, Рубинова, 1975а), которые позволяют более обоснованно применять балансовый метод для прогноза минерализации. Однако трудности, связанные с определением большинства характеристик водного и солевого балансов, все еще остаются.

По-видимому, для установления истинной картины роста минерализации в перспективе необходимо пользоваться всеми методами, сопостав-

---

[1] Удаленность отдельных створов от водохранилищ и скудность сведений по минерализации позволили осветить этот вопрос лишь в общем виде. Изменение гидрохимического режима речных вод за счет зарегулированности их стока требует специального исследования.

ляя и анализируя полученные результаты. Только таким путем можно решить проблему прогноза минерализации речных вод в связи с развитием орошаемого земледелия и разработать мероприятия в целях уменьшения или ликвидации этого опасного явления.

Особо следует отметить влияние промышленно-бытовых сточных вод на химический сток рек. Этот вопрос сложен и требует проведения специальных полевых и лабораторных исследований, которые, по нашему мнению, также следует выполнять бассейновым способом, т. е. наблюдения за динамикой каждого компонента промышленно-бытовых стоков следует производить по всему бассейну, от места их сброса до устья. Этот вопрос в настоящей работе не рассматривается, так как основная задача авторов — изучение роли орошаемого земледелия в современных почвенно-геохимических процессах.

Зависимость минерализации речных вод от орошения

Повышение минерализации речных вод в замыкающих створах. Выше было показано, что развитие орошения на территории бассейнов приводит к увеличению минерализации речных вод. Наиболее отчетливо это явление должно наблюдаться в замыкающих створах: Кызылкишлаке и Бекабаде, расположенных при выходе р. Сырдарьи из Ферганской долины, Чиназе (р. Чирчик), Навои (р. Зеравшан), Каратиконе (р. Кашкадарья), Мангузаре (р. Сурхандарья) и Фурманово (р. Чу).

Чтобы убедиться в этом, сравним минерализацию рассматриваемых рек за два срока, выбранных с учетом отбора проб и роста орошаемых площадей: первый, включающий 1938—1955 гг., и второй, сходный с ним по водности, 1963—1971 гг.[1] Выбор 1963 г. в качестве исходного для второго срока обусловлен не только заметным увеличением минерализации в реках с этого года, но и тем, что в 1963—1971 гг. по отношению к первому периоду повсеместно значительно увеличилась орошаемая площадь.

Во всех бассейнах минерализация речных вод за 1938—1955 гг. мала и ее величины располагаются в нижней части графиков, а за 1963—1971 гг. минерализация (рис. 12) [2] значительна. Это доказывает, что минерализация воды в реках через определенный срок (период бурного развития мелиоративных работ) возросла, причем во всех гидрологических фазах (начало половодья, его спад, межень и т. д.). О времени наступления и продолжительности той или иной фазы можно судить по гидрографу среднего по водности 1963 г.

Интересно проследить за динамикой среднегодовой минерализации речных вод в период 1938—1975 гг. (рис. 13) [3]. Несмотря на различную водность отдельных лет, в замыкающих створах рек наблюдается устойчивое ее повышение, особенно с 1963 г. Пробел в графиках за 1946—1949 гг. объясняется отсутствием данных; резкий скачок минерализации воды Сырдарьи в 1957 г. вызван тем, что этот год был катастрофически маловодным и река питалась в основном грунтовыми водами.

Количественная характеристика роста минерализации воды в реках за 1938—1971 гг. приведена в табл. 5. Наибольшие ее изменения произошли в Кашкадарье.

---

[1] Водность этих периодов близка по значению, а в некоторых случаях (в бассейне Чирчика и Сурхандарьи) в 1963—1971 гг. она даже выше, чем в 1938—1955 гг. Это свидетельствует о том, что повышение минерализации в рассматриваемых бассейнах произошло за счет влияния искусственных факторов, в данном случае орошения.

[2] Для р. Чу ввиду малочисленности данных по створу Фурманово приведены сведения по вышерасположенному створу Чу.

[3] Для р. Сырдарьи за 1938—1945 гг. приведены данные по створу Бекабад. По створу Навои (р. Зеравшан) данные по минерализации имеются с 1967 г. По створу Фурманово (р. Чу) начиная с 1956 г. приведена расчетная минерализация, определенная по данным створа Уланбель.

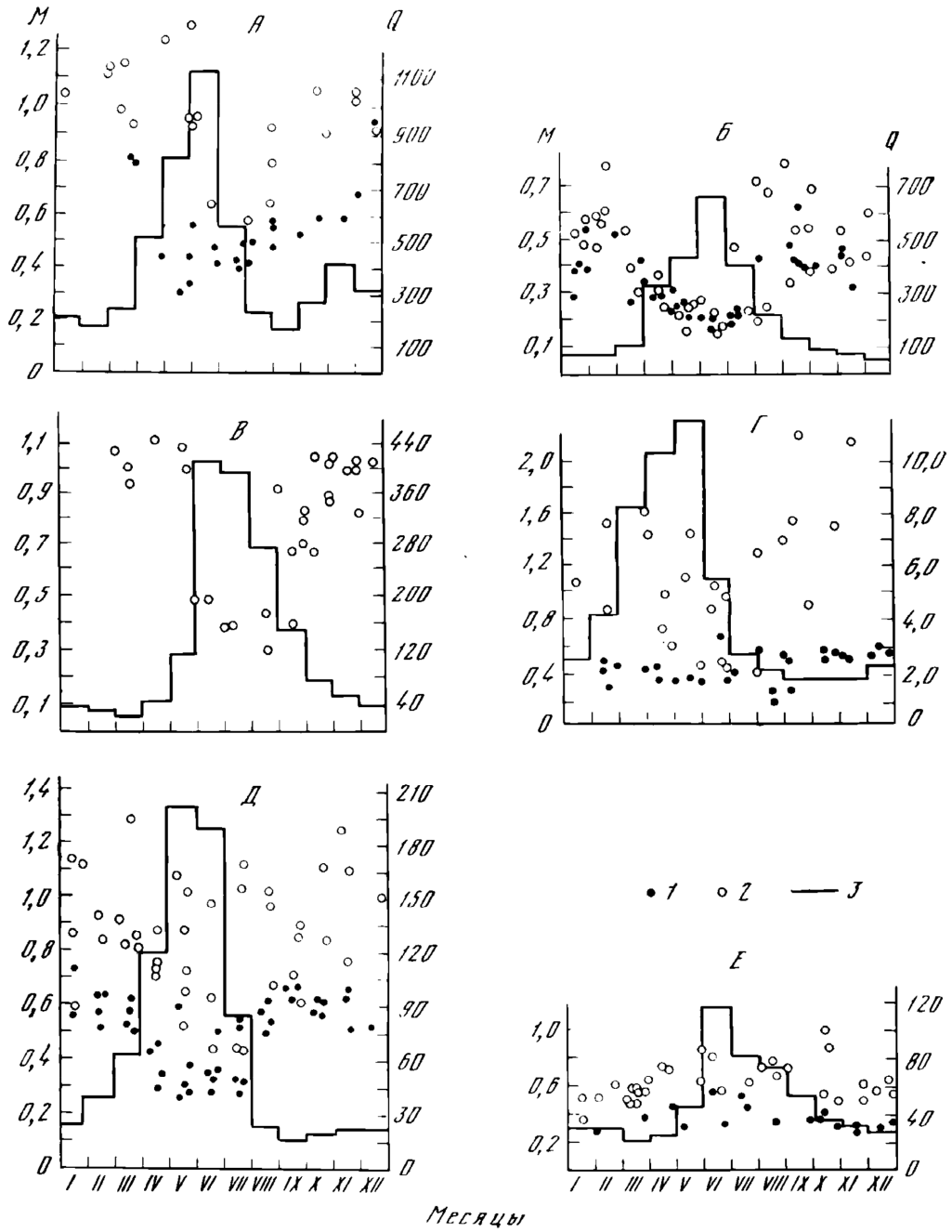


Рис. 12. Общее увеличение минерализации (M, $г/л$) в замыкающих створах рек за многолетний период при различных расходах воды (Q, $м^3/с$)

А — Сырдарья (Кызылкишлак), *Б* — Чирчик (Чиназ), *В* — Зеравшан (Навои), *Г* — Кашкадарья (Каратикон), *Д* — Сурхандарья (Мангузар), *Е* — Чу (Чу). *1* — данные за 1938—1955 гг.; *2* — сведения за 1965—1971 гг.; *3* — гидрограф 1963 г.

С увеличением минерализации в реках изменился химический состав их вод. В Сырдарье в первый срок на протяжении многих месяцев вода была гидрокарбонатно-кальциевая, во второй срок она стала сульфатно-кальциевой, а в отдельные месяцы сульфатно-магниевой с повышенным содержанием натрия. Преобладание магния наблюдается в межень, когда минерализация в реке повышена за счет грунтового питания.

В Чирчике вода гидрокарбонатно-кальциевая; в отдельных случаях при повышении минерализации она становится сульфатно-кальциевой. В р. Зеравшане в последние годы вода чаще всего сульфатно-кальцие-

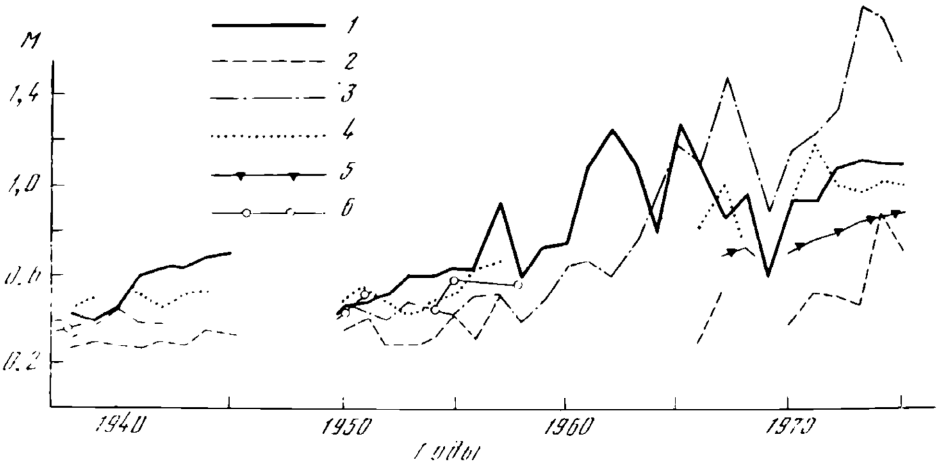


Рис. 13. Изменение среднегодовой величины минерализации (*M*, *г/л*) речных вод в замыкающих створах во времени

1 — Сырдарья (Қызылқишлак), *2* — Чирчик (Чиназ), *3* — Кашкадарья (Каратикон), *4* — Сурхандарья (Мангузар), *5* — Зеравшан (Навои), *6* — Чу (Фурманово)

вая, однако в межень она иногда бывает сульфатно-натриевой или сульфатно-магниевой. Так как в верховье Заравшана (створ Дупули) вода гидрокарбонатно-кальциевая и ее состав в течение многих лет не изменялся, то, по-видимому, этот состав она имела в низовье реки в 1938—1955 гг.

В р. Кашкадарье вода была гидрокарбонатно-кальциевой; в последние годы она стала сульфатно-натриевой. Обычно вода такого состава наблюдается при высокой минерализации в межень. Это опасно для сельскохозяйственных культур, при поливах ухудшается состояние почв.

В Сурхандарье вода была гидрокарбонатно-кальциевой, хотя в отдельные месяцы, обычно в межень, она имела сульфатно-кальциевый состав. В последнее время вода в реке уже на протяжении всего года является сульфатно-кальциевой. В воде р. Чу в настоящее время преобладают сульфаты натрия. В 1938—1955 гг. она была преимущественно гидрокарбонатно-кальциевой и лишь при повышенной минерализации — сульфатно-кальциевой.

Общей закономерностью, присущей всем рекам, является то, что при гидрокарбонатно-кальциевом составе до орошения с ростом минерализации речная вода становится сульфатно-натриевой, а в дальнейшем, когда минерализация рек достигает 1,5—2,5 *г/л*, возможно, местами вода станет гидрокарбонатно-натриевой (содовой). Это сделает ее при любых условиях мелиорации совершенно непригодной для орошения.

В табл. 5 показано также увеличение орошаемых площадей в течение выделенных сроков, причем приведены только эффективные орошаемые площади, с которых возвратные воды поступают в реки. Основу таких полей составляют поля, занятые техническими и некоторыми кормовыми культурами. Почти во всех бассейнах (кроме р. Чу) это главным образом поля хлопчатника.

Отметим, что в бассейнах рек Кашкадарьи, Чирчика и Сурхандарьи наблюдается почти параллельное увеличение как площадей, занятых хлопчатником, так и минерализации речных вод. В бассейне Сырдарьи повышение минерализации в 1,7 раза превышает рост площадей под хлопчатником, которые за это время увеличились в 1,2 раза. Эта диспропорция объясняется тем, что в 1963—1971 гг. в Ферганской долине осваивались под хлопчатник более засоленные земли по сравнению с 1938—1955 гг. Поэтому во второй срок с орошаемых площадей было вынесено большее количество солей.

Таблица 5. Изменение минерализации речных вод (M, $г/л$) в замыкающих створах в зависимости от эффективных площадей * ($F_{эф.}$, тыс. $га$) за различные сроки (первый 1938—1955 гг., второй 1963—1971 гг.)

Реки	Замыкающие створы на реках (ниже орошаемых площадей)	Средняя величина эффективной площади в разные сроки, тыс. га			Средняя величина минерализации по среднегодовым значениям в разные сроки, г/л		
		первый срок (1938—1955 гг.)	второй срок (1963—1971 гг.)	$\frac{F_{эф.}\ 2\text{-го срока}}{F_{эф.}\ 1\text{-го срока}}$	первый срок (1938—1955 гг.)	второй срок (1963—1971 гг.)	$\frac{M_{ср.}\ 2\text{-го срока}}{M_{ср.}\ 1\text{-го срока}}$
Сырдарья	Кызылкишлак и Бекабад	495	607	1,2	0,54 (14)**	0,92 (9)	1,7
Чирчик	Чиназ	95	145	1,5	0,31 (14)	0,44 (4)	1,4
Зеравшан	Навои	126	180	1,4	—	0,72 (4)	—
Кашкадарья	Каратикон	40	98	2,5	0,42 (11)	1,10 (9)	2,6
Сурхандарья	Мангузар	58	114	2,0	0,48 (12)	0,88 (6)	1,8
Чу	Фурманово	88	249	2,8	0,40 (2)	0,73 (6)	1,8

* Для бассейна р. Чу приведены сведения о площади, занимаемой техническими и кормовыми культурами, для других бассейнов — по хлопчатнику и рису.

** Цифры в скобках — число лет, для которых имеются сведения по минерализации внутри каждого срока.

В бассейне р. Чу минерализация возросла в 1,8 раза, а эффективная площадь — в 2,8 раза. Это несоответствие объясняется тем, что в первый период здесь под орошение осваивались незасоленные земли; повышение минерализации воды в реке произошло на втором этапе, при значительном росте орошаемых площадей, когда начали осваиваться и засоленные участки.

В бассейне р. Зеравшана посевы хлопчатника за время с первого (1938—1955 гг.) по второй (1963—1971 гг.) срок в среднем увеличились в 1,4 раза. Если предположить, что за это время во столько же раз повысилась минерализация речной воды у замыкающего створа Навои[1], то, зная ее величину в 1963—1971 гг., можно рассчитать минерализацию воды Зеравшана для первого срока (за 1938—1955 гг. данные по минерализации на этом участке реки отсутствуют). Расчеты показали, что в эти годы она у створа Навои была равна 0,51 $г/л$.

Выявленная связь между увеличением орошаемых площадей и ростом минерализации речных вод положена в основу бассейнового способа расчетов будущей минерализации речных вод и определения почвенно-геохимического и мелиоративного состояния орошаемых массивов.

Связь минерализации речных вод с другими показателями. Полнота связи между минерализацией речных вод и орошением зависит не только от регулярно орошаемой площади ($F_{эф}$), но и от величины водозабора ($Q_{вб}$), объема возвратных вод, попадающих в реку ($Q_{возв}$), их доли в бытовом стоке реки (β) и т. д.

Следует отметить, что если за величиной регулярно орошаемой площади ведется строгий учет в течение 70—80 лет, то количественные сведения об остальных показателях стали появляться примерно с 1950 г., причем в разных источниках они различны. Разногласия, например, в сведениях по возвратным водам объясняются трудностью их подсчетов: они получены не путем прямых измерений, а расчетами по методу руслового или водного баланса. Естественно, разные авторы при этом получают

[1] Данные по минерализации в замыкающем створе р. Зеравшан за первый период отсутствуют; она была оценена пропорционально росту площадей хлопчатника, но в действительности могла быть немного выше, так как увеличение посевов хлопчатника проходило интенсивнее.

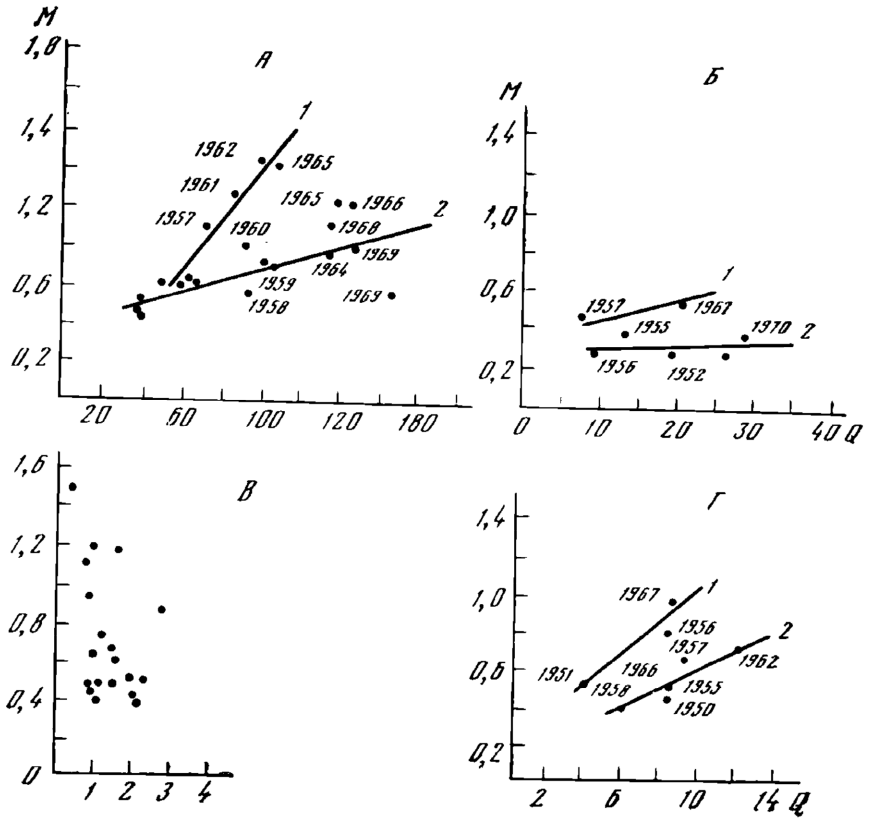


Рис. 14. Зависимость минерализации (M, *г/л*) от суммарных расходов коллекторно-дренажных вод (Q, *м³/с*) в бассейнах рек

А — Сырдарьи (Ферганская долина), *Б* — Чирчика, *В* — Кашкадарьи, *Г* — Сурхандарьи. *1* — для маловодных лет; *2* — для средних по водности и многоводных лет

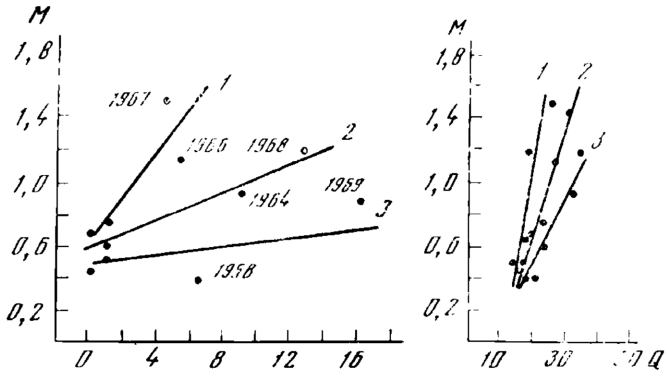


Рис. 15. Зависимость минерализации (M, *г/л*) в бассейне Кашкадарьи: *А* — от русловой приточности ($Q_{рус.\ прит.}$, *м³/с*); *Б* — водозабора ($Q_{вб}$, *м³/с*)

1 — для маловодных лет; *2* — для средних по водности; *3* — для многоводных лет

неодинаковые величины. Такое же положение в принципе сохраняется и для остальных характеристик. Однако, несмотря на эти затруднения, для некоторых бассейнов были построены зависимости минерализации речных вод от перечисленных выше факторов, которые позволили выявить некоторые корреляции, с учетом влияния водности лет.

На графиках (рис. 14, 15, 16) прослеживаются прямые зависимости: с ростом объемов дренажных вод, водозабора и доли возвратных вод минерализация рек также увеличивается. На эти зависимости большое влияние оказывает водность года[1]. Поэтому при построении графиков

[1] Водность года определялась по верхним створам, где влияние деятельности человека незначительно.

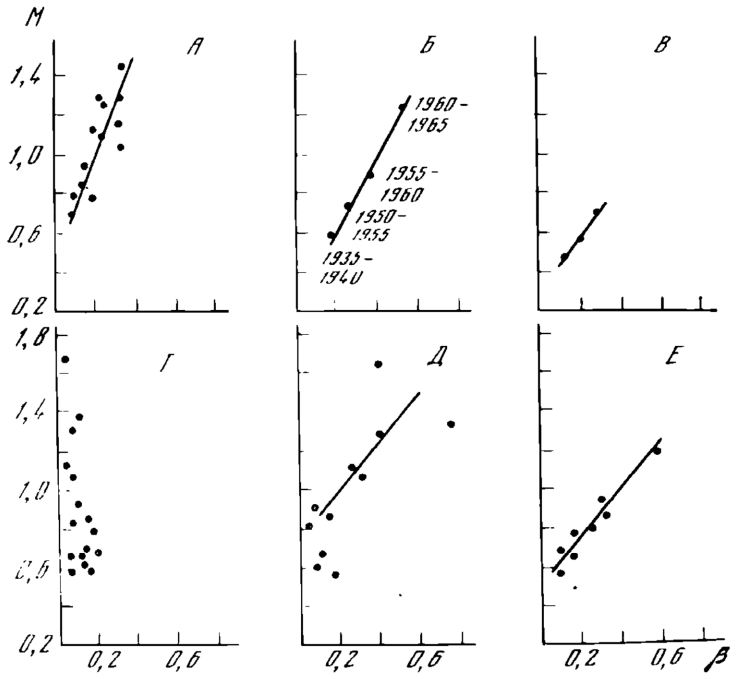


Рис. 16. Зависимость минерализации (M, $г/л$) от доли возвратных вод (β) в общем стоке, проходящем через замыкающие створы в бассейнах рек

А — Сырдарьи, *Б* — Сырдарьи по пятилетиям, *В* — Чирчика, *Г* — Қашкадарьи (в качестве β использована доля коллекторно-дренажного сброса), *Д* — Қашкадарьи (в качестве β использована доля русловой приточности), *Е* — Сурхандарьи

проводились две линии: одна — для маловодных лет (*1*), другая — для средних по водности или многоводных (*2*). В некоторых случаях, когда влияние средних и многоводных лет удалось разделить, проведены три линии. Для бассейна р. Қашкадарьи удалось собрать данные, по которым были построены зависимости минерализации от русловой проточности и водозабора (рис. 15).

Влияние водности года на зависимость минерализации от возвратных вод можно учесть, использовав при построении не объем возвратных вод, а их долю в общем стоке β. Четкие зависимости между минерализацией речных вод и β выявлены М. И. Геткером и др. (1975а) для створов Қаль, Бекабад и Кокбулак (последний створ замыкает среднее течение р. Сырдарьи). Для замыкающих створов бассейнов подобные графики зависимости приведены на рис. 16. Из него видно, что во всех случаях в этой зависимости прослеживается четкая закономерность, причем разброс точек на графиках гораздо меньший, чем при нахождении корреляций минерализации речных вод непосредственно от объема возвратных вод. Для Сырдарьи эта зависимость строилась по пятилетиям, через все точки удалось провести прямую (рис. 16, *Б*). В бассейне Қашкадарьи, где возвратные воды определяются в основном русловой приточностью, построены две зависимости: с учетом доли коллекторно-дренажного сброса и с учетом русловой приточности (рис. 16, *Г* — *Д*).

Помимо рассмотренных характеристик орошения, можно применить и другие, например степень использования речного стока, которая выражается отношением водозабора к величине водных ресурсов реки. Все эти связи позволяют приближенно судить о дальнейшем росте минерализации речных вод, если известны характеристики роста орошения на перспективу. Однако определение этих характеристик методами руслового или водного баланса вызывает затруднения. Поэтому применение указанных зависимостей в практических целях пока не находит широкого применения.

Ограничения в их использовании вызваны тем, что в графиках учтены изменения минерализации только в зависимости от процесса орошения, т. е. лишь от одной его характеристики. Это может привести к ошибочным прогнозам.

Несомненно, выявление подобных связей помогает раскрытию подлинной картины роста минерализации в каждом бассейне, однако более полный и всесторонний их анализ возможен лишь бассейновым способом, который рассматривает природные и ирригационно-мелиоративные факторы в тесной взаимосвязи. Это обусловлено тем, что основная составляющая в предполагаемой авторами зависимости минерализации речных вод от эффективной орошаемой площади определяется не только ее размерами. При бассейновом способе расчета $F_{эф}$ необходимо выявление соотношения засоленных почв и пород, грунтовых вод, степени (скорости) их оттока, размеров оросительных и промывных норм, степени и характера ирригационно-мелиоративного освоения территории, общих физико-географических условий бассейнов. Таким образом, $F_{эф}$ определяется с биосферных позиций.

ГЛАВА 3

БАССЕЙНОВЫЙ СПОСОБ ПРОГНОЗА МИНЕРАЛИЗАЦИИ РЕЧНЫХ ВОД

Обоснование рабочей формулы

Вывод формулы на модели. В настоящее время при мелиоративных расчетах широко применяются формулы водного и солевого балансов, разработанные Н. А. Костяковым (1951), М. М. Крыловым (1959), В. А. Ковдой (1946), А. А. Роде (1968), С. И. Харченко, К. В. Цыценко (1976), Н. Н. Ходжибаевым и В. Г. Самойленко (1976), и др. В них водно-солевые процессы, протекающие в почвах, рассматриваются в зависимости от режимов поверхностных и грунтовых вод. Однако можно решать и обратную задачу, т. е. по изменениям расходов и минерализации подземных и поверхностных вод судить о процессах, происходящих в почве. Для этого необходимо количество и состав солей, выносимых реками из бассейнов, сопоставить с изменениями соотношения площадей различных по засолению почв и режима грунтовых вод. Этот процесс можно проанализировать на упрощенной модели элементарного речного бассейна (рис. 17). Рассмотрим два случая: *1* — бассейн в естественных условиях, без орошения, и 2 — бассейн частично орошаемый.

На модели неорошаемого бассейна с известными природными условиями: постоянными расходами и начальной минерализацией воды в реке, равномерной естественной засоленностью почв и подстилающих горных пород всей территории, на замыкающем створе будут наблюдаться те же расходы и минерализация воды, что и в начальном створе. В этом случае количество и состав солей, прошедших с речной водой через начальный ($S_{нач.}$) и замыкающий ($S_{зам.}$) створы, будет одинаковым.

На другой модели, где часть бассейна орошается при тех же природных условиях, галогеохимический сток, выносимый речными водами через замыкающий створ, будет слагаться из суммы солей: 1) прошедших через начальный створ и 2) вымытых из почв и пород орошаемой

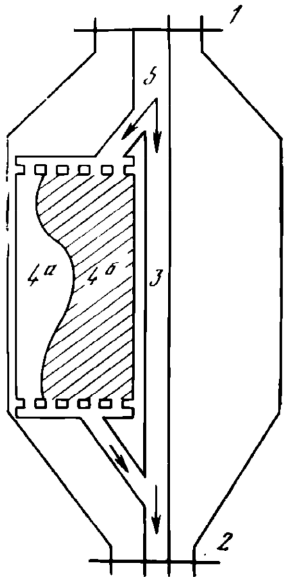


Рис. 17. Модель речного бассейна с известной регулярно орошаемой (эффективной) площадью ($F_{эф.}$)

1 — начальный створ с постоянными расходами и малой минерализацией воды; *2* — замыкающий створ с равными начальными расходами воды, но с повышенной минерализацией; *3* — русло реки, дренирующей стоковую площадку; *4* — часть территории площадки, изображающая массив орошения с равной степенью засоления почв и подстилающих пород (*4а* — участок, не освоенный под орошение, *4б* — регулярно орошаемый участок поля, спланированный и подверженный промывкам от солей, т. е. активная, рабочая часть модели — $F_{эф}$); *5* — направление течения воды в точках водозабора, сброса и в русле реки

площади. В этом случае солевой баланс модельного бассейна выразится уравнением:

$$S_{зам.}=S_{нач.}+S_{вымыт.}, \tag{1}$$

где $S_{зам.}$ — количество солей, прошедших вместе с речной водой через замыкающий створ бассейна (*кг* или *т*); $S_{нач.}$ — количество солей в речной воде в начальном створе (*кг* или *т*); $S_{вымыт.}$ — количество солей (*кг* или *т*), вымытых из почв и пород орошаемой части бассейна за рассматриваемый период времени.

В уравнении (1) член $S_{вымыт.}$ можно заменить произведением величин $s_0F_{эф.}$, где s_0 — количество солей, вымытых из почвенной толщи единичной промываемой площади, а $F_{эф.}$ — вся промываемая водой площадь. Тогда уравнение (1) примет вид:

$$S_{зам.}=S_{нач.}+s_0F_{эф.}. \tag{2}$$

Количество солей, прошедших через начальный и замыкающий створы рек в единицу времени, можно представить произведением минерализации на величину расхода речной воды. В этом случае выражение (2) перепишется следующим образом:

$$Q_{зам.}M_{зам.}=Q_{нач.}M_{нач.}+s_0F_{эф.}, \tag{3}$$

где $Q_{зам.}$ и $Q_{нач.}$ — расходы воды соответственно у замыкающего и у начального створов (*л/с* или *м³/с*); $M_{зам.}$ и $M_{нач.}$ — минерализация воды у замыкающего и начального створов (*г/л*).

Так как в случае модели внутри бассейна потерь стока не будет, то расходы воды у замыкающего и у начального створов окажутся равными[1] ($Q_{зам.}=Q_{нач.}$). Разделим все члены уравнения (3) на величину $Q_{нач.}$:

$$\frac{Q_{зам.}}{Q_{нач.}}M_{зам.}=\frac{Q_{нач.}}{Q_{нач.}}M_{нач.}+\frac{s_0}{Q_{нач.}}F_{эф.}. \tag{4}$$

После соответствующих сокращений уравнение (4) приобретает следующий вид:

$$M_{зам.}=M_{нач.}+\frac{s_0}{Q_{нач.}}F_{эф.}. \tag{5}$$

[1] В действительности это равновесие часто нарушается в связи с хозяйственной деятельностью человека.

Обозначим отношение $s_0/Q_{нач.}$ через коэффициент a, тогда выражение (5) перепишется в виде формулы:

$$M_{зам.} = M_{нач.} + aF_{эф.}, \quad (6)$$

где $M_{зам.}$ и $M_{нач.}$ — минерализация речной воды соответственно у замыкающего и начального створов элементарного речного бассейна, *г/л*; $F_{эф.}$ — регулярно орошаемая, или эффективная, площадь элементарного речного бассейна, *га* или *км*^{2}; a — коэффициент, интегральный ландшафтно-геохимический показатель, учитывающий влияние качества эффективного орошаемого массива элементарного речного бассейна; зависит от степени засоления орошаемых почв, грунтов, грунтовых вод и расходов воды в реке.

Выражение (6) является рабочей формулой бассейнового способа расчета минерализации речных вод. Действительно, при естественных значениях $M_{нач.}$ и коэффициента a ее можно использовать для определения ожидаемой минерализации речной воды в замыкающем створе ($M_{зам.}$) при известной перспективной или имеющейся орошаемой площади ($F_{эф.}$).

Возможность применения формулы для модели к природным бассейнам. Формула бассейнового способа прогноза минерализации (6) выведена применительно к модели для расчета переноса солей в среде: почва — проточная вода. В природе процессы формирования химического состава речных вод при антропогенном воздействии намного сложнее, закономерности проявления их не ясны, несмотря на обширные исследования по этому вопросу (Розанов, 1946; Ковда, 1946, 1947, 1971а; Волобуев, 1948; Антипов-Каратаев, Филиппова, 1955; Решеткина, 1957; Захарьина, 1958; Легостаев, 1959; Грабовская, 1961; Муратова, 1962; Рабочев, 1964; Панин, 1968; Панин и др., 1976; А. В. Новикова, 1975; Посохов, 1969; Егоров, Минашина, 1974; Минашина, 1974; Панков, 1974; Перельман, 1975; Кузнецов, 1968; Ходжибаев, Самойленко, 1976).

В этих работах доказано, что при хорошей естественной или искусственной дренированности территории вымываемые при орошении соли возвратными и грунтовыми водами выносятся за пределы поливной площади и поступают в реки[1]. Причем вынос солей увеличивается с ростом орошаемых площадей. Поэтому можно применять полученную на модели формулу (6) в соответствующих природных условиях для расчета будущей минерализации речных вод.

Связь минерализации речных вод с эффективной орошаемой площадью в различных бассейнах может быть неодинакова ввиду действия на нее неравнозначных гидрогеологических, гидрологических и почвенных условий. Такие факторы, как объем расхода воды в реке, степень засоления и дренированности орошаемой территории, начальная минерализация, учитываются в формуле раздельно, а влияние остальных факторов — суммарно, через показатель a. Ввиду сложности процессов взаимодействия почв и речных вод расчеты по бассейновому способу могут приводить к ошибкам, которые, однако, не превышают в среднем 22%.

Для того, чтобы уменьшить погрешности прогноза, необходимо правильно выбрать и оценить исходные величины: $M_{нач.}$, $F_{эф.}$ и a.

---

[1] На самом деле процесс миграции солей из почв и пород через грунтовые воды и дрены в реки намного сложнее. И это учтено авторами посредством ввода ландшафтно-геохимического показателя a. Однако требуются дальнейшие проработки.

Оценка исходных величин ($M_{нач.}$; $F_{эф.}$)

Минерализация речных вод выше орошаемых площадей ($M_{нач.}$). Определяется путем проработок гидрологических ежегодников или материалов гидрохимических съемок и экспедиций по рассматриваемому бассейну.

Данные по гидрохимии речных вод Средней Азии в гидрологических ежегодниках стали публиковаться с 1938 г., но по большинству водотоков — с 1950 г. Сведения о расходах воды имеются с 1910—1930 гг. Пробы воды на химический анализ берутся в створах в течение года 4—5, реже 8—10 раз.

На первом этапе работ производится выбор начальных створов по их положению относительно орошаемых массивов: они должны располагаться от верховьев бассейна до верхней границы орошаемых полей. Если какая-либо река состоит из двух одинаковых притоков, то начальная минерализация характеризуется по двум створам, расположенным

Таблица 6. Изменение среднегодовых величин начальной минерализации речных вод ($M_{нач.}$) у верхних створов рек за многолетний период (1938—1975 гг.), *г/л*

Годы наблюдений	Нарын — створ Учкурган	Карадарья — створ Кампыррават	Чирчик — створ Ходжикент
1938	0,27	0,31	0,14
1939	0,23	0,28	0,14
1940	0,36	0,38	0,20
1941	0,39	0,38	0,25
1942	0,44	0,32	0,22
1943	0,37	0,38	0,19
1944	—	0,35	0,20
1945	—	—	0,22
1950	0,29	0,36	0,17
1951	0,30	0,35	—
1952	0,30	0,35	—
1953	0,35	0,39	—
1954	0,31	0,35	0,20
1955	0,31	0,37	—
1956	0,28	0,32	—
1957	0,36	0,36	—
1958	0,25	0,31	—
1959	0,26	0,35	—
1960	0,26	0,30	—
1961	0,29	0,36	—
1962	0,27	0,37	—
1963	0,28	0,35	—
1964	—	0,29	—
1965	0,28	0,38	—
1966	0,29	0,37	0,18
1967	0,28	0,36	—
1968	0,26	0,34	0,17
1969	0,27	0,32	0,19
1970	0,27	0,33	0,18
1971	—	—	0,18
1972	—	—	0,20
1973	0,33	0,32	0,19
1974	0,40	0,45	0,24
1975	0,39	0,54	0,28

соответственно в каждом из них. В крупном бассейне в качестве начального поста выбирается ближайший створ, расположенный перед рассматриваемым орошаемым массивом. Для створов важно иметь материал не только по водному, но и по химическому режиму.

Следующий этап работы — определение средней величины $M_{нач.}$, которая меняется по сезонам года и из года в год. Средняя минерализация речной воды для конкретного года вычисляется следующим образом. Сначала находят объемы стока за отдельные гидрологические фазы (межень, половодье) и средние величины минерализации. Затем вычисляется отношение произведения этих показателей на суммарный годовой объем стока (Алекин, 1948; Алекин, Бражникова, 1964; Тарасов, Кореновская, 1974).

Определенные таким образом величины $M_{нач.}$ для конкретных лет, судя по данным табл. 6, 7, по всем створам колеблются из года в год незначительно. Это подтверждается коэффициентом вариации C_v как для величины $M_{нач.}$, так и для среднегодовых расходов воды ($Q_{ср.г}$), влияющих на минерализацию речных вод (табл. 8). Изменчивость минерализации по сравнению с вариацией расходов воды небольшая. Так, например, если коэффициент вариации C_v для расходов воды

Таблица 7. Изменение среднегодовых величин начальной минерализации речных вод ($M_{нач.}$) у верхних створов рек за многолетний период (1938—1975 гг.), *г/л*

Годы наблюдений	Зеравшан — створ Дупули	Кашкадарья — створ Варганзи	Туполанг — створ, устье Дашнабад	Каратаг — створ Каратаг	Чу — створ Бурулдайский мост
1938	0,19	0,19	—	—	0,18
1939	0,23	0,20	—	—	0,20
1940	0,24	0,33	—	—	0,28
1941	0,30	0,32	—	—	—
1942	0,29	0,32	—	—	—
1950	0,22	0,26	—	—	0,22
1951	0,22	0,27	0,21	—	0,25
1952	0,24	0,28	0,21	—	0,27
1953	0,23	0,27	0,21	—	0,22
1954	0,25	0,28	0,22	—	0,22
1955	0,23	0,29	0,31	—	0,21
1956	0,23	0,27	0,17	—	0,20
1957	—	0,27	0,16	0,19	0,20
1958	—	0,25	0,20	0,17	—
1959	—	0,29	0,21	0,13	—
1960	—	—	0,20	—	—
1961	—	0,27	0,21	0,19	—
1962	—	0,28	0,17	—	—
1963	—	0,27	0,21	0,19	—
1964	—	0,27	0,23	0,23	—
1965	—	0,26	0,19	0,18	—
1966	—	0,26	0,18	0,18	—
1967	—	0,25	0,24	0,19	—
1968	0,25	—	0,25	0,19	—
1969	—	0,25	—	—	—
1970	—	0,25	0,21	—	—
1971	—	—	0,29	—	—
1972	—	0,29	0,29	—	—
1973	—	0,29	0,30	—	—
1974	—	0,38	0,38	—	—
1975	—	0,33	—	—	—

Таблица 8. Величины коэффициентов вариации C_v, среднегодовой начальной минерализации ($M_{нач.}$) и среднегодовых расходов речной воды ($Q_{ср.\,г}$) у начальных створов

Река	Начальные створы (выше орошаемых массивов)	Коэффициент вариации C_v для	
		$M_{нач.}$	$Q_{ср.\,г}$
Нарын	Учкурган	0,16	0,24
Карадарья	Кампыррават	0,09	0,31
Чирчик	Ходжикент	0,15	0,31
Зеравшан	Дупули	0,10	0,15
Кашкадарья	Варганзи	0,12	0,43
Туполанг	Устье Дашнабад	0,18	0,40
Каратаг	Каратаг	0,14	0,76
Чу	Бурулдайский мост	0,14	0,23

р. Каратаг равен 0,76, то для минерализации — всего 0,14; для р. Карадарья расхождения между сравниваемыми коэффициентами также значительны: 0,31 (для $Q_{ср.\,г}$) и 0,09 (для $M_{нач.}$). Это свидетельствует о том, что водность года оказывает незначительное влияние на начальную минерализацию рек.

Ввиду малой изменчивости $M_{нач.}$ за рассматриваемые годы при расчетах следует применять их средние многолетние величины (табл. 9). Последние найдены как среднее арифметическое из среднегодовых показателей начальной минерализации. Вычисленные таким образом величины $M_{нач.}$ имеют следующие значения у начальных створов рек (*г/л*):

Нарын (створ Учкурган)	0,30	Кашкадарья (устье Варганзи)	0,27
Карадарья (створ Кампыррават)	0,36	Туполанг (устье Дашнабад)	0,22
Чирчик (створ Ходжикент)	0,19	Каратаг (створ Каратаг)	0,18
Зеравшан (створ Дупули)	0,24	Чу (створ Бурулдайский мост)	0,22

В случае, когда начальная минерализация характеризовалась двумя створами (например, бассейны рек Сырдарьи и Сурхандарьи), ее средняя величина находилась как средневзвешенное $M_{нач.}$ каждого створа по их среднемноголетним расходам воды. Для Сырдарьи она равна 0,31 *г/л*, для Сурхандарьи — 0,21 *г/л*.

Таблица 9. Среднемноголетние величины начальной минерализации ($M_{нач.}$), используемые при расчетах, *г/л*

Река	Начальные створы	$M_{нач.}$
Нарын и Карадарья, образующие Сырдарью	Учкурган и Кампыррават	0,31
Чирчик	Ходжикент	0,19
Зеравшан	Дупули	0,24
Кашкадарья	Варганзи	0,27
Туполанг и Каратаг, образующие Сурхандарью	Устье Дашнабад и Каратаг	0,21
Чу	Бурулдайский мост	0,22

Общие сведения о распределении $M_{нач.}$ Приближенно среднюю величину начальной минерализации в реках Средней Азии можно определить по схемам ее распределения, составленным на два периода гидрологического режима рек: половодья (рис. 18, *А*) и межени (рис. 18, *Б*); кроме того, на рисунках показан химический состав вод. Разделение

минерализации речных вод по половодью (март — август) и межени (сентябрь — февраль) произведено для уточнения ее начальной величины во время вегетационных или промывных поливов.

Эти схемы составлены по материалам гидрологических ежегодников за 1970—1975 гг. на основании более 100 створов крупных и малых рек. Эти сведения дополнены литературными источниками (Кадыров, Абдулгаиров, 1956; Кирста, 1971; Кузнецов, 1963; Чембарисов, 1971; Беремжанов, Ибрагимов, Ибрагимова, 1971; Степанов, 1975а, и др.). Контуры на схемах проведены по средним величинам минерализации, наблюдаемым у гидрологических створов, и по шкале их распределения (в *г/л*) до 0,2; от 0,2 до 0,5; от 0,5 до 1,0; от 1,0 до 2,0; от 2,0 до 5,0.

В наиболее высоких частях бассейнов минерализация речных вод небольшая: в межень до 0,2 *г/л*, иногда до 0,5 *г/л*; по составу вода гидрокарбонатно-кальциевая. С уменьшением высоты местности в среднем и нижнем течении рек минерализация воды повышается от 0,2 до 0,5 *г/л*, по составу она также гидрокарбонатно-кальциевая, но сульфатов становится больше. В среднем течении наиболее крупных рек (Сырдарья, Амударья) вода в половодье имеет минерализацию, равную 0,5—1,0 *г/л*, а в межень —1,2—1,3 *г/л*; ее состав сульфатно-кальциевый и только в межень иногда сульфатно-натриевый. В низовьях крупных рек, где влияние орошения на состав речных вод наиболее существенно, минерализация равна 1—2 *г/л*; преобладают сульфаты натрия, содержание хлоридов повышено.

В бассейнах, почвы и породы которых засолены, наблюдается высокая минерализация речных вод (реки Кызылсу, Шерабад, Кушка, Кашан, Гузардарья, а также некоторые реки Западного Копетдага).

Эффективная площадь — $F_{эф}$. Такими площадями мы называем массивы с регулярным промывным режимом орошения, с ирригационной и коллекторно-дренажной сетью, водохранилищами и понижениями для сбора сбросных и возвратных вод. Эффективные площади — это все те территории, которые регулярно поставляют в водоносные горизонты (в ноогидросферу) воду, поступившую в чеки для орошения, а также промывные и инфильтрующиеся из каналов воды, воды дрен, озер, водохранилищ. Наибольший эффект при этом, по нашему мнению, оказывают орошаемые площади, несколько меньший — инфильтрация из каналов и водохранилищ. Определение участия доли каждого из них в питании ноогидросферы — важная задача. Пока же нами принята обобщенная величина, учитывающая совместное влияние всех площадей, работающих на пополнение стока возвратных вод.

Для установления размера эффективной орошаемой площади необходимо проанализировать гидрогеологические и почвенно-литологические условия орошаемой территории вообще. Это позволит выявить, с какой ее части происходит и потенциально возможен отток грунтовых вод в реку. Работу можно выполнить по соответствующим картам с учетом описаний литологических скважин, почвенных шурфов и разрезов и с применением геологических и гидрогеологических профилей. Многие характеристики необходимы в обобщенном виде (карты масштаба 1 : 100 000 и 1 : 50 000). Особо важны карты гидромодульного районирования. При определении эффективной площади следует учитывать территории с коллекторно-дренажной сетью и со скважинами откачки грунтовых вод, которые отводят значительные массы солей с орошаемых полей в водотоки и являются эффективными с точки зрения их влияния на изменение минерализации и состава речных вод.

Размеры эффективной орошаемой площади могут быть уточнены поливными нормами. В первую очередь эффективными явятся те участки, которые промываются и поливаются повышенными объемами воды —15—25 тыс. *м³/га* в год. На них происходит быстрое смыкание оросительных и грунтовых вод и в дальнейшем совместный отток в

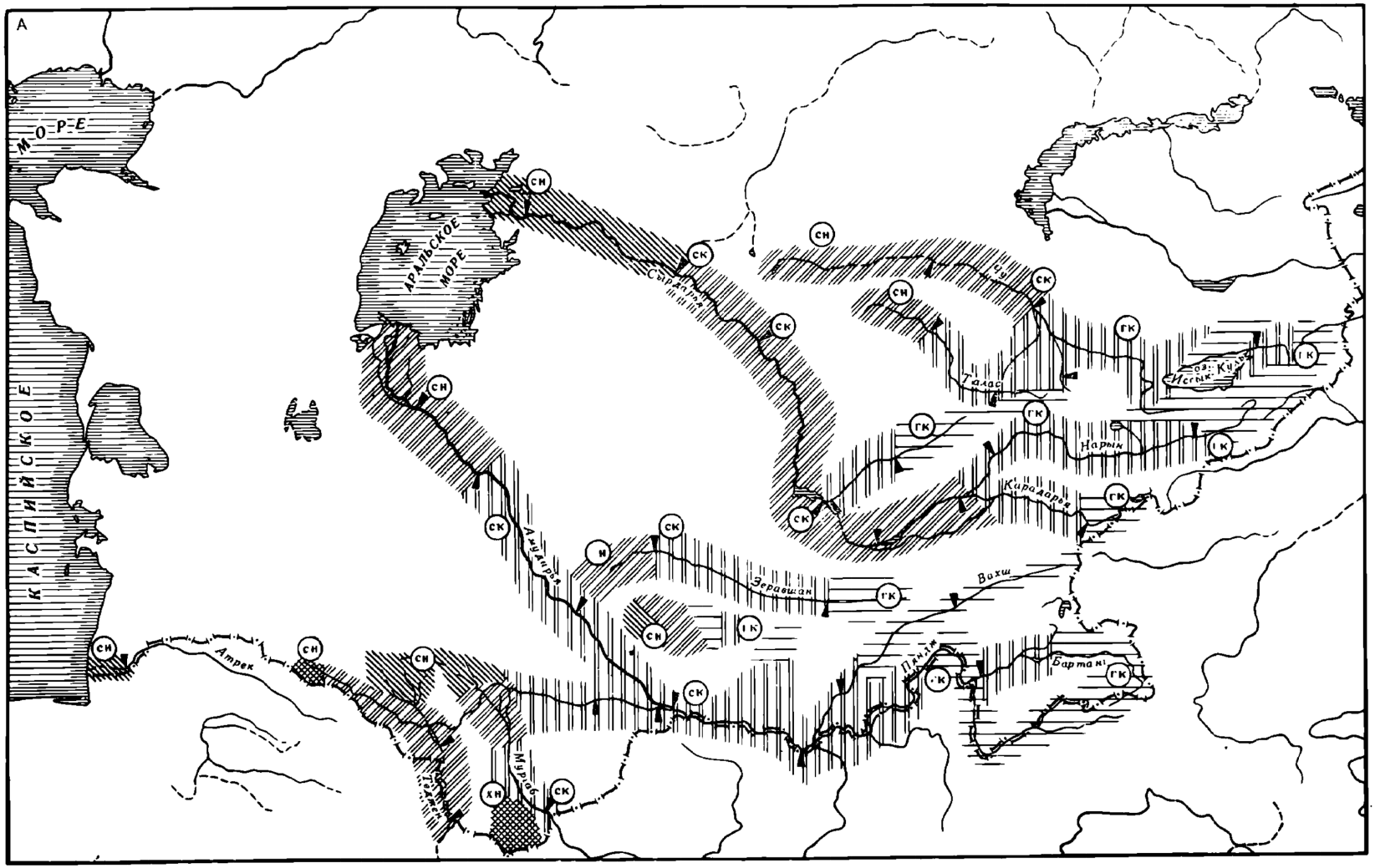


Рис. 18. Распределение минерализации (*г/л*) и химического состава речных вод Средней Азии за 1970—1975 гг. для половодья (*А*) и межени (*Б*)

Минерализация: *1* — до 0,2; *2* — от 0,2 до 0,5; *3* — от 0,5 до 1,0; *4* — от 1 до 2; *5* — от 2,0 до 5,0. Состав: *6* — гидрокарбонатно-кальциевый; *7* — сульфатно-кальциевый; *8* — сульфатно-натриевый; *9* — хлоридно-натриевый; *10* — гидрологические створы

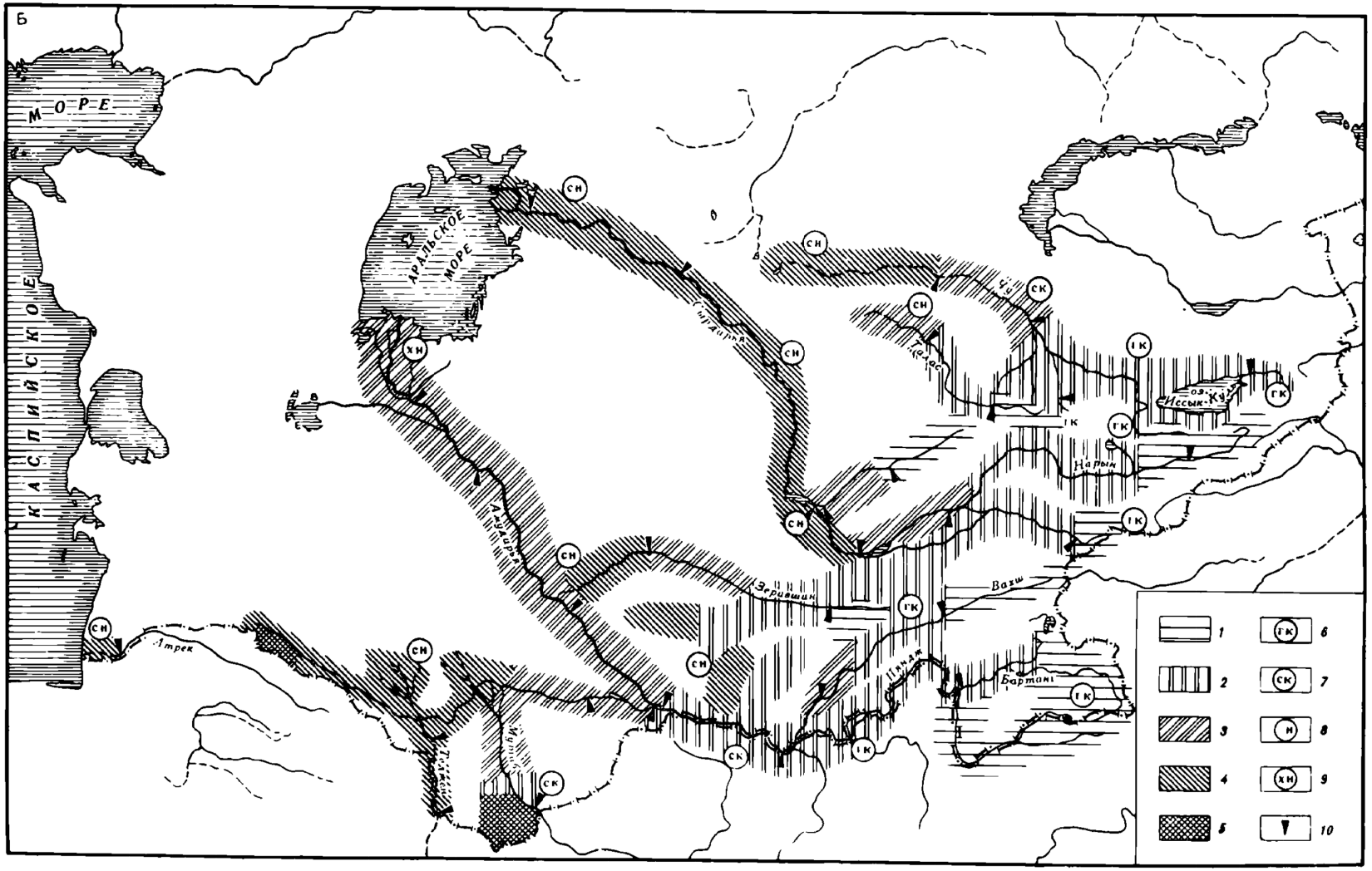


Рис. 18. (окончание).

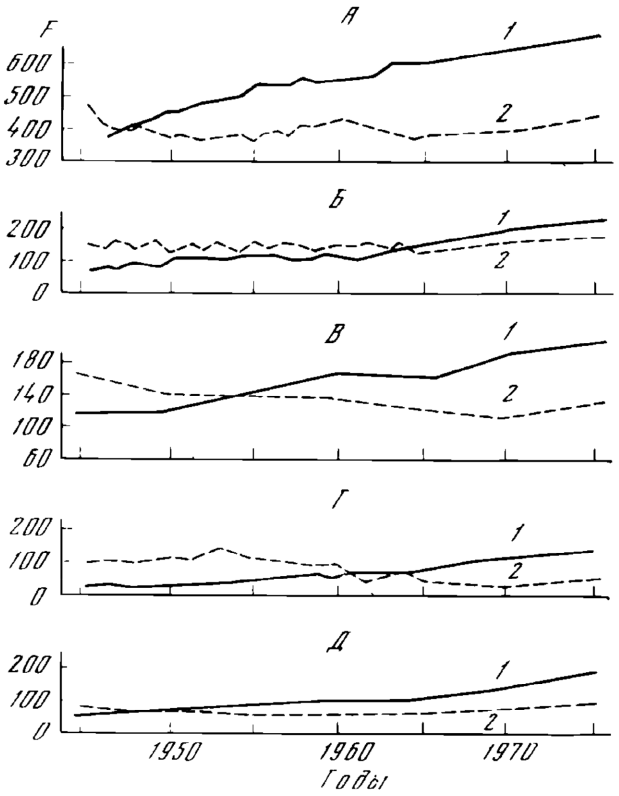


Рис. 19. Динамика орошаемых площадей (*F*, тыс. *га*), занятых регулярно орошаемым хлопчатником (*1*) и прочими нерегулярно поливаемыми культурами (*2*) в бассейнах рек

А — Сырдарьи (Ферганская долина), *Б* — Чирчика, *В* — Зеравшана, *Г* — Кашкадарьи и *Д* — Сурхандарьи

реки. На землях, которые нерегулярно поливаются малыми нормами (до 1000 $м^3/га$ в год), смыкание оросительных и глубоко залегающих грунтовых вод произойдет через длительный промежуток времени, так как большая часть поливной воды расходуется на транспирацию и испарение и их связь не будет столь активной, как при орошении высокими нормами [1].

Таким образом, эффективная орошаемая площадь образуется в результате активного совокупного воздействия естественных и искусственных факторов, способствующих промывному режиму почв и оттоку возвратных вод за пределы орошаемых массивов и далее в русла рек.

В результате проведенного анализа (рис. 19) выяснено, что в рассматриваемых бассейнах основу эффективной орошаемой площади составляют массивы, занятые под хлопчатником, а в бассейне р. Чу под техническими и кормовыми культурами. Эффективные площади из года в год увеличиваются, в то время как неэффективные остаются почти без изменения, или их прирост незначителен.

Выявлением условий, отражающих степень эффективности орошаемых территорий, заняты многие исследователи. Ими предлагались коэффициенты и расчетные формулы, характеризующие скорость засоления — рассоления почв. В последние годы появились работы, в которых остро ставится вопрос о необходимости дальнейшей разработки таких количественных показателей, как оценка интенсивности опреснения орошаемых почв, зависимости интенсивности опреснения от сте-

[1] Если полив производить, например, дождеванием, по всем правилам гидротехники с применением гидроизоляции.

пени и характера дренированности, коэффициента фильтрации почв и подстилающих пород, от способности почв и пород к солеотдаче, от промывных норм и т. д., что в общем определяет зависимость интенсивности опреснения почв той или иной орошаемой площади (т. е. $F_{эф.}$) от величины дренажного, а через него и речного стока.

Таким образом, предлагаемая нами величина $F_{эф.}$ имеет определенный физический смысл, отражающий суммарное влияние степени и характера засоления почв и пород, их водно-физических свойств и гидрогеологических условий на процесс рассоления зоны аэрации.

Выделение величины эффективной площади на рассматриваемых хорошо изученных шести бассейнах рек: Сырдарьи в пределах Ферган-

Таблица 10. Показатели развития коллекторно-дренажной сети

Административные области	Существующая сеть (1972 г.)		Проектная удельная протяженность, *м/га*	Степень роста удельной протяженности
	общая протяженность, тыс. *км*	удельная протяженность, *м/га*		
Ферганская	8,5	29	50	1,7
Андижанская	5,3	21	50	2,4
Ташкентская	5,7	18	20	1,1
Самаркандская	2,5	8,8	10	1,1
Кашкадарьинская	1,3	7,2	10	1,4
Сурхандарьинская	4,6	14	25	1,8

ской долины, Чирчика, Зеравшана (Самаркандский оазис), Кашкадарьи, Сурхандарьи и Чу — позволило предложить ориентировочные процентные соотношения эффективной площади (от всей орошаемой площади) для ее определения в других речных бассейнах в зависимости от условий естественной и искусственной дренированности. При этом речные бассейны по условиям дренированности разделены на две категории: 1— хорошо дренированные и 2— слабо дренированные. При приближенных расчетах роста минерализации речной воды за счет увеличения орошаемой площади в хорошо дренируемых бассейнах за величину эффективной ее части следует брать 60% от всей орошаемой площади, а в слабо дренированных бассейнах —30%.

При прогнозе возможного изменения минерализации речных вод по бассейновому способу требуется оценить не только современную эффективную площадь, но и проектную, с учетом новоосваиваемых земель. Эффективная часть этих земель устанавливается по тем же принципам, что и для современной орошаемой площади. При этом различия в степени засоления проектируемых орошаемых почв учитываются интегральным ландшафтно-геохимическим показателем.

В перспективе, с ростом орошения, будет увеличиваться и эффективная площадь. Хотя рост орошаемых площадей начнется за счет освоения подгорных равнин, где мелиоративные условия отличаются от таковых речных долин, тем не менее авторы считают, что бассейновый метод анализа может применяться и на равнинах. Это объясняется тем, что равнины представляют собой погребенные русла и долины, которые определяют направленность и величину стока в сторону наименьших высот — базисов, подобных речному руслу. В таких условиях предлагаемый нами метод подобен методу естественных потоков Н. Н. Ходжибаева (1970). Анализ почвенных карт, характеризующих современное состояние потенциально пригодных для орошения земель, показал, что в скором времени придется осваивать преимущественно засоленные территории, так как незасоленные уже все превращены в оазисы. Галогеохимическая эффективность новоосваиваемых засолен-

ных земель будет обусловлена не только их естественной дренированностью, но и скоростью выноса солей через коллекторно-дренажную сеть. Строительство последней является обязательным при мелиорации новых земель. Из табл. 10 видно, что в перспективе протяженность коллекторно-дренажной сети значительно возрастет. Это приведет к увеличению объема минерализованных вод и к новому повышению солесодержания в реках.

При прогнозных расчетах бассейновым способом в качестве $F_{эф.}$ была использована современная эффективная площадь (на 1970 г.) с учетом прироста орошаемых земель на 2000 г. Сведения о новоосваиваемых площадях на перспективу представлены институтом «Средазгипроводхлопок».

Интегральный ландшафтно-геохимический показатель (a)

Определяющие факторы. Сложная взаимосвязь между минерализацией речных вод и орошаемыми площадями учитывается показателем a, величина которого зависит от многих причин. Среди последних следует выявить главные, а также рассмотреть, как показатель a меняется в связи с динамикой влияющих на него факторов.

Выше было показано, что коэффициент a в первую очередь зависит от степени засоления орошаемой территории и от объема расходов воды в реке, т. е. от водности года. Действительно, если в двух элементарных бассейнах с одинаковыми расходами воды в руслах дренируются равные орошаемые площади, но не с одинаковыми по степени засоления почвами и породами, в засоленном бассейне минерализация увеличится больше, чем в незасоленном (или слабозасоленном). Это различие будет учтено показателем a, который для засоленного бассейна окажется бóльшим, чем для незасоленного. С другой стороны, при равенстве орошаемых площадей и их засоленности, но при различных расходах воды в реках в многоводных руслах минерализация повысится менее значительно, чем в маловодных, что также отразится на показателе a.

Влияние степени засоления территории и водности года на показатель a, наблюдаемое в реальных условиях, служит дополнительным доказательством научной обоснованности применяемого бассейнового способа прогноза минерализации речных вод.

Определение показателя a. Вычислим величину показателя a, пользуясь рабочей формулой (6). Ее можно переписать в следующем виде:

$$a = \frac{M_{зам.} - M_{нач.}}{F_{эф.}}. \qquad (7)$$

Обозначения величин те же, что и в формуле (6). По выражению (7), зная $M_{нач.}$, $M_{зам.}$ и $F_{эф.}$ определим показатель a. Такие расчеты можно провести за те годы, по которым имеются данные как по минерализации речных вод выше и ниже орошаемых площадей, так и по площадям орошения. За величины $M_{нач.}$ и $M_{зам.}$ следует принимать среднегодовые значения минерализации, вычисление которых было описано выше. При этом определение $M_{зам.}$, т. е. средней величины минерализацчи и замыкающих створах, производится тем же способом, что и $M_{нач.}$

Оказалось, что рассчитанные по выражению (7) величины a за различные годы несколько различаются. Природа этих различий понятна, так как на колебания показателя a влияют степень рассоления бассейнов и водность различных лет.

Анализ материалов многолетних почвенных съемок показал, что преобладающая естественная степень засоления почв, особенно нижних горизонтов, за многолетие существенно не меняется. Поэтому можно предположить, что в одних бассейнах (рек Чирчика и Зеравшана) еже-

годно осваивались под орошение преимущественно незасоленные почвы, а в других — главным образом сильно- и среднезасоленные.

В случае, когда состав и степень засоления ежегодно вводимых под орошение земель одинакова для всех лет, то имеется возможность выявить влияние на показатель a водности года. Первоначально влияние водности года было учтено по графикам связи показателя a со среднегодовыми расходами воды. Однако корреляции получились недостаточно тесными. Поэтому зависимость a от водности года определили статистически для случаев: 1) маловодные годы, 2) средние по водности годы, 3) многоводные годы.

При проектировании орошаемых массивов обычно задаются не обеспеченностью расходов воды (P_Q, %), забираемых на поливы, а их фактической величиной (Q, $м^3/с$). Поэтому группировка лет по водности осуществлялась не по обеспеченности речного стока, а по самим расходам воды. Водность различных лет устанавливалась по среднегодовым расходам ($Q_{ср.г}$) в начальных створах рек; вначале определяли диапазоны их колебаний, а затем по ним выделяли три группы годов с различной водностью. Только в бассейне р. Чу был принят во внимание и сток ее притоков, так как здесь он составляет более половины всех поверхностных водных ресурсов.

В группу маловодных лет вошли годы со среднегодовыми расходами воды ($м^3/с$) в реках: Сырдарья — от 200 до 400, Чирчик — от 140 до 200. Зеравшан — от 110 до 140, Кашкадарья — от 15 до 25, Сурхандарья — от 35 до 50 и Чу — от 95 до 110 $м^3/с$. В группу средних по водности лет вошли годы с расходами воды ($м^3/с$) в реках: Сырдарья 400—600, Чирчик 200—260, Зеравшан 140—170, Кашкадарья 25—35, Сурхандарья 50—65 и Чу 110—125. В группу многоводных лет вошли годы с расходами воды ($м^3/с$) в реках: Сырдарья — 600—800, Чирчик — 260—320, Зеравшан — 170—200, Кашкадарья — 35—45, Сурхандарья — 65—80 и Чу — 125—140.

Оказалось, что величина a в определенной по водности группе лет также несколько варьирует. Это объясняется тем, что на показатель a кроме водности года и степени засоления почв, действуют и другие факторы, раздельное влияние которых учесть пока невозможно. Причем среднегодовые расходы той или иной по водности группы лет также несколько меняются от года к году. С другой стороны, точность вычисления величины a зависит в какой-то мере и от того, как были найдены значения $M_{зам.}$, $M_{нач.}$ и $F_{эф}$. Поэтому при расчетах будущей минерализации речной воды по формуле (6) были приняты средние величины a, полученные по способу наименьших квадратов для каждой группы лет определенной водности (табл. 11). С увеличением водности года показатель a во всех речных бассейнах уменьшается (кроме бассейна Кашкадарьи), т. е. в них выполняются условия, соответствующие таковым на стоковой площадке. Этим обосновывается применение бассейнового способа для выбранных рек.

Таблица 11. Средние величины ландшафтно-геохимического показателя a в зависимости от водности года

Река	Маловодные годы	Средние по водности годы	Многоводные годы
Сырдарья	0,0013	0,0008	0,0007
Чирчик	0,0019	0,0014	0,0010
Зеравшан	0,0029	0,0027	0,0025
Кашкадарья	0,0070	0,0059	0,0065
Сурхандарья	0,0064	0,0058	0,0044
Чу	0,0028	0,0025	0,0024

В бассейне р. Чу вычислить средние величины a методом наименьших квадратов не удалось, так как необходимые для этого данные по минерализации воды у замыкающего створа и по величинам эффективных площадей отсутствовали за ряд лет. Показатель a определен как среднее арифметическое из двух его значений, которые были вычислены по уравнению (7), для 1946 г. и для 1970 г. Для 1946 г. показатель оказался равным 0,0030, а для 1970 г.— 0,0020; в целом для бассейна р. Чу показатель a равен 0,0025. Это значение использовано при расчете будущей минерализации речной воды для условий среднего по водности года. Для определения показателя a в мало- и многоводные годы проанализировано многолетнее изменение минерализации по данным створа Ташуткуль. По этому створу имеется длительный ряд наблюдений за 1939, 1945, 1950—1960 и 1967—1971 гг., а режим его водного и химического стока незначительно изменен хозяйственной деятельностью человека.

Оказалось, что в створе Ташуткуль минерализация воды р. Чу в маловодные годы увеличивается в 1,1 раза по сравнению со средними по водности годами, а в многоводные годы — уменьшается в 0,96 раз. Вероятно, показатель a в зависимости от водности года меняется таким же образом; по этой причине его величина для маловодных лет принята равной 0,0028, а для многоводных — 0,0024.

Проверка влияния степени засоления почв на показатель a. Бассейны рек различаются по степени и характеру засоления почв. Поэтому

Таблица 12. Значения показателя a в зависимости от преобладающей степени засоления почв орошаемых массивов и от расходов воды дренирующей эти массивы реки

Среднегодовые расходы воды в начальных створах ($Q_{нач.}$), $м^3/с$	Незасоленные с участием слабозасоленных	Среднезасоленные с участием сильнозасоленных	Среднегодовые расходы воды в начальных створах ($Q_{нач.}$), $м^3/с$	Незасоленные с участием слабозасоленных	Среднезасоленные с участием сильнозасоленных
15—25	—	0,0070	140—170	0,0027	—
25—35	—	0,0050	170—200	0,0025—0,0019	—
35—50	—	0,0065—0,0064	200—260	0,0014	—
50—65	—	0,0058	260—400	0,0010	0,0013
65—80	—	0,0044	400—600	—	0,0008
80—110	—	0,0028	600—800	—	0,0007
110—140	0,0029	0,0025—0,0024			

отберем величины a отдельно как для незасоленных, так и для сильно- и среднезасоленных орошаемых массивов (табл. 12). При таком разделении можно проследить влияние на показатель a не только расходов воды (водности года), но и степени засоления почв бассейна. Несмотря на небольшое число изучаемых бассейнов (шесть) и их заметные различия по природным условиям, все же обнаруживается, что, 1 — при одинаковой засоленности почв с увеличением расходов воды величина a уменьшается, 2 — при равных расходах в более засоленных бассейнах величина a больше, чем в менее засоленных. Так, при $Q_{нач.}=200$—400 $м^3/с$ показатель a для незасоленных почв равен 0,0010, для среднезасоленных[1] — 0,0013. Это вновь показывает обоснованность применения рассматриваемого способа расчета в выбранных бассейнах.

Определение показателя a для бассейнов, лишенных сведений по природным условиям. Если по имеющимся неполным данным не удается рассчитать показатель a по формуле (7), то для предварительных расчетов его значения можно снять с графика зависимости a от начальных расходов воды и степени засоления почв (рис. 20). График составлен

[1] Для р. Чу при $Q_{нач.}=110$—140 $м^3/с$ наблюдается некоторое отклонение от этой закономерности, вызванное малочисленностью данных при подсчете показателя a.

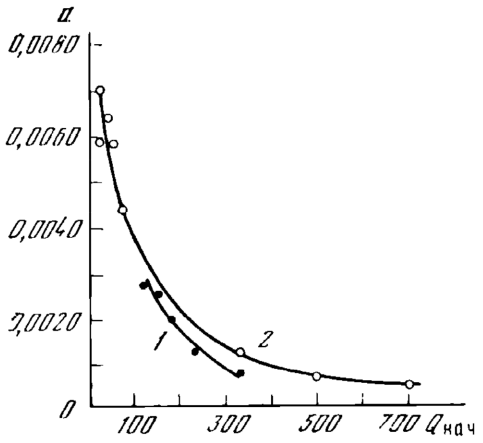


Рис. 20. Изменение интегрального ландшафтно-геохимического показателя *a* в зависимости от начальных расходов воды в реке ($Q_{нач.}$) $м^3/с$ и преобладающей степени засоления почв орошаемой территории

1 — в бассейнах с преимущественно незасоленными почвами; *2* — в бассейнах с преимущественно среднезасоленными почвами

по ранее вычисленным величинам *a* в хорошо изученных бассейнах и поэтому может быть применен при установлении натурного подобия бассейнов с аналогами. Величины *a*, полученные для бассейна р. Чу, на графике не использованы, так как они рассчитаны по малочисленным данным.

Приведены две зависимости величины *a*: 1) для бассейнов с преимущественно незасоленными почвами, с участием слабозасоленных; 2) для бассейнов с преимущественно среднезасоленными почвами, с участием сильнозасоленных.

Для определения преобладающей степени засоления изучаемого бассейна необходимо по почвенно-мелиоративным картам подсчитать площади почв и пород. Степень засоления почвенного покрова всего бассейна определяется преобладанием (до 70%) в его структуре незасоленных (слабозасоленных) или сильно- и среднезасоленных земель. Учитывается засоление не только почв, но и глубоких толщ до водоносного дренируемого горизонта. На глубине 1—6 *м* различия в степени засоления нивелируются. Поэтому наблюдаемая с поверхности пестрота почв не является основным показателем состояния засоленности бассейна, а рассчитывается средневзвешенное содержание солей, преимущественно нижних толщ.

Осредненные величины показателя *a*. Для предварительных расчетов будущей минерализации можно использовать значения показателя *a* (табл. 13), определенные по выражению (7). При этом в качестве $M_{зам}$, $M_{нач.}$, $F_{эф.}$ приняты средние величины, полученные в результате обработки большого количества материала по минерализации речных, коллекторно-дренажных и грунтовых вод, по степени засоления почв и пород орошаемых площадей, а также по величинам начальных расходов воды в оросителях и по поливным нормам. При этом принято, что при орошении одной и той же водой различных по размеру площадей с одинаковым засолением разность между $M_{зам.}$ и $M_{нач.}$ останется постоянной.

В табл. 13 показатель *a* находится по степени засоления почв и пород эффективно орошаемой площади. Но это не значит, что нами не приняты во внимание другие ландшафтные факторы, характеризующие в сумме величину *a*. Свойства почв (пород) тесно связаны между собой. Обычно незасоленные почвы (породы) имеют хороший отток грунтовых вод, водопроницаемы и т. п., среднезасоленные почвы (и породы) имеют менее благоприятные мелиоративные свойства (меньший отток, более тяжелый механический состав и т. п.), а засоленные почвы (породы) обладают наихудшими свойствами: они часто глинистые, с очень замедленным оттоком грунтовых вод, с низкими коэффициентами фильтрации и т. д. Показатель *a* тесно связан со всеми этими ландшафтными факторами, а поэтому любой из них может его численно характеризовать и

Таблица 13. Ориентировочное значение интегрального ландшафтно-геохимического показателя a в зависимости от расчетных величин: начальных расходов воды, степени засоления, эффективно орошаемой территории (преимущественно для земель сульфатного и хлоридно-сульфатного засоления)

Начальный расход воды в реках, оросителях, коллекторах, $м^3/с$	Засоление почв и пород				
	незасоленные	слабозасоленные	среднезасоленные	сильнозасоленные	солончаки
1	0,161	0,6385	0,95	1,9	4,16
5	0,031	0,077	0,18	0,37	0,78
10	0,016	0,0038	0,095	0,20	0,42
15	0,011	0,026	0,065	0,13	0,26
20	0,0079	0,019	0,048	0,094	0,20
30	0,0053	0,013	0,032	0,064	0,13
40	0,0040	0,0095	0,025	0,048	0,10
50	0,0032	0,0076	0,019	0,038	0,08
60	0,0026	0,0064	0,016	0,032	0,067
70	0,0023	0,0054	0,014	0,027	0,057
80	0,0020	0,0048	0,012	0,024	0,049
100	0,0016	0,0038	0,0095	0,019	0,040
120	0,0013	0,0032	0,0080	0,016	0,033
150	0,0011	0,0025	0,0064	0,013	0,026
200	0,0008	0,0019	0,0048	0,0095	0,020
250	0,00063	0,0015	0,0038	0,0076	0,016
300	0,00053	0,0013	0,0032	0,0064	0,013
400	0,00040	0,00095	0,0025	0,0048	0,010
500	0,00032	0,00076	0,0019	0,0038	0,008
600	0,00026	0,00064	0,0016	0,0032	0,0067
700	0,00023	0,00055	0,0014	0,0027	0,0057
800	0,00020	0,00048	0,0012	0,0024	0,0049
900	0,00018	0,00042	0,0011	0,0021	0,0044
1000	0,00016	0,00038	0,00095	0,0019	0,0040
1100	0,00014	0,00035	0,00087	0,0017	0,0036
1200—1300	0,00013	0,00031	0,00077	0,0016	0,0031
1400—1500	0,00011	0,00026	0,00066	0,0014	0,0027
1600—1700	0,00010	0,00023	0,00058	0,0012	0,0024
1800—1900	0,000086	0,00021	0,00052	0,0011	0,0022
2000	0,000080	0,00019	0,00048	0,00095	0,0020

обусловливать. Мелиоративные мероприятия, которые тесно связаны со свойствами почв, также определяют показатель a и определяются им. Так, на регулярно орошаемых массивах для почв разной степени засоления требуется дренаж примерно в следующих величинах (погонные метры на 1 *га*): незасоленные — дренаж не требуется; слабозасоленные 5—10 *м*, среднезасоленные 10—20 *м*, сильнозасоленные 20—30 *м*, очень сильнозасоленные — более 30 *м*. В такой же последовательности возрастают и промывные нормы (от 1 до 20 тыс. $м^3/га$). Это свидетельствует о том, что принятая за критерий оценки орошаемых земель степень засоления является комплексной, так как она тесно связана со всеми свойствами почв и пород (механическим составом, оттоком грунтовых вод, солеотдачей и др.).

Разновидности применения бассейнового способа. Величину a можно определить не только для больших речных бассейнов, но и для отдельных орошаемых массивов и мелиорируемых опытных полигонов, если они имеют характеристики по минерализации и расходам оросительных и коллекторно-дренажных вод, а также по площадям, дренируемым

данным коллектором. В таком случае величину a рассчитывают по формуле

$$a = \frac{M_{\text{кол.}} - M_{\text{орос.}}}{F_{\text{дрен.}}}, \tag{8}$$

где $M_{\text{кол.}}$ — минерализация воды в коллекторе, *г/л*; $M_{\text{орос.}}$ — минерализация воды в оросительном канале, *г/л*; $F_{\text{дрен.}}$ — площадь, дренируемая данным коллектором, *га*.

Выражение (8) по существу не отличается от формулы (7), только в нем вместо $M_{\text{зам.}}$ дается величина $M_{\text{кол.}}$, вместо $M_{\text{нач.}}$ — величина $M_{\text{орос.}}$, а эффективная площадь ($F_{\text{эф}}$) заменяется дренируемой площадью. Поэтому, найдя таким образом показатель a (для определенных $Q_{\text{нач.}}$ и степени засоления почв), можно использовать его для расчетов $M_{\text{зам.}}$ в речных бассейнах, где отсутствует фактический материал, характеризующий природные условия.

Бассейновый способ расчета применим также в том случае, если в бассейне имеется несколько изолированных орошаемых массивов (например, у р. Сырдарьи Ферганская долина, Голодная степь, Чирчик-Ангрен-Келесский ирригационный район, низовья). В таких бассейнах необходимо производить последовательные расчеты по всей длине реки, при этом ожидаемая минерализация в замыкающем створе первого массива будет выступать в роли начальной минерализации для последующего. Процессы рассоления крупных орошаемых территорий в настоящее время должным образом не исследованы, поэтому расчеты следует производить по имеющимся на почвенных картах состояниям засоления.

Возможен случай, когда орошаемые массивы в каком-либо бассейне могут располагаться вдоль двух разных притоков. При таком размещении их минерализацию в замыкающем створе, расположенном на основной реке ниже орошаемых территорий, следует определять по формуле смешения

$$M_{\text{зам.см}} = \frac{M_{\text{зам.1}}Q_1 + M_{\text{зам.2}}Q_2}{Q_1 + Q_2}, \tag{9}$$

где $M_{\text{зам.см}}$ — минерализация воды в основной реке, наблюдаемая ниже параллельно расположенных орошаемых массивов, *г/л*; $M_{\text{зам.1}}$, $M_{\text{зам.2}}$ — минерализация воды в замыкающем створе первого и второго орошаемых массивов, *г/л*; Q_1, Q_2 — расход воды рек, дренирующих соответственно первый и второй орошаемые массивы, $м^3/с$.

Таким образом, несмотря на сложность явлений, связь, наблюдаемая между выносом солей из орошаемых массивов и составом речных вод, позволяет определить динамику их минерализации бассейновым способом, а также прогнозировать состояние оросительных и коллекторно-дренажных вод на любой территории.

ГЛАВА 4

ПРИМЕНЕНИЕ БАССЕЙНОВОГО СПОСОБА РАСЧЕТА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ БУДУЩЕЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ ВОД РЕК, КОЛЛЕКТОРОВ И КАНАЛОВ

Оценка расчета минерализации рек существующими способами

Метод водно-солевого баланса. Работ, посвященных прогнозированию минерализации речных вод Средней Азии на перспективу, очень мало (Лазарев, Якушева, Манихина, 1965а, б; Орлова, 1973; Геткер, Куропатка, Рубинова, 1975а; Чембарисов, 1973а). К. Г. Лазаревым и др. (1965а, б) приведена ожидаемая минерализация и состав воды в бассейнах Сырдарьи и Амударьи на 1980 г. По их расчетам методом водно-солевого баланса, в условиях среднего по водности года минерализация в устье Сырдарьи (створ Казалинск) к 1980 г. повысится до 2,0 *г/л* при наблюдавшейся в 1960 г. величине 0,83 *г/л*. В устье Амударьи (створ Чатлы) соответственно предполагается увеличение минерализации воды с 0,5 до 5,0 *г/л*.

А. П. Орлова (1973), использовав метод водно-солевого баланса, подсчитала, что в устье Сырдарьи минерализация увеличится в полтора-два раза и составит 2,2—2,4 *г/л*. Это объясняется ростом поступления возвратных вод с орошаемых полей.

М. И. Геткер и др. (1975а) определили, что минерализация речных вод зависит от доли стока возвратных вод, поступающих в реку,— $\beta_{воз.}$ По их расчетам, минерализация воды Сырдарьи при выходе из Ферганской долины (створ Бекабад) увеличится с 0,97 *г/л* (средняя на 1967—1970 гг.) до 1,65 *г/л*.

Э. И. Чембарисов (1973, 1974, 1976) совместно с И. Н. Степановым бассейновым способом определил, что минерализация воды Сырдарьи станет равной 3,5 *г/л*, а Амударьи 3,0 *г/л*.

В большинстве работ расчет будущей минерализации речных вод производится балансовым методом, называемым также методом смешения. Он базируется на учете расходов, а также минерализации речных и возвратных вод в определенном створе реки. За основу метода взят водный баланс реки, составленный на известный год по водохозяйственным расчетам; при этом задаются различными величинами минерализации возвратных вод на определенных участках. Расчет производится путем смешения объемов речных и возвратных вод с той или иной минерализацией в привязке к конкретному створу. Искомая минерализация ($M_{см.}$) находится по следующей формуле:

$$M_{см.} = \frac{M_{нач.}Q_{р.} + M_{воз.}Q_{воз.}}{Q_{р.} + Q_{воз.}} \qquad (10)$$

где $M_{см.}$ — минерализация речной воды в нижнем створе, полученная в результате смешения, *г/л*; $M_{нач.}$ — начальная минерализация речной воды, наблюдаемая в верхнем створе, *г/л*; $M_{воз.}$ — минерализация возвратных вод, *г/л*; $Q_{р.}$ — объем воды, поступающей к нижнему створу из верховьев реки, *м³/с*; $Q_{воз.}$ — объем возвратных вод, поступающих в реку с орошаемых полей, *м³/с*.

Балансовый метод имеет свои достоинства и недостатки. Достоинство его в том, что ожидаемая концентрация солей рек находится путем смешения вод с различной минерализацией, т. е. расчеты по этому методу отражают механику процесса изменения минерализации, но без генетической его интерпретации. Недостатки балансового метода сле-

дующие: а) для прогноза необходимо иметь данные по объемам речных и возвратных вод, которые, как известно, находятся вычислением, а расчет водного баланса всегда связан с определенными трудностями; б) при расчетах очень важно знать будущую минерализацию возвратных вод, что нельзя определенно предсказать.

В настоящее время трудно судить о будущей минерализации возвратных вод на определенных участках бассейнов рек по следующим причинам:

1) минерализация возвратных вод определяется не только коллекторно-дренажными, но и минерализованными грунтовыми (а в некоторых случаях и напорными) водами, выклинивающимися по водоносным горизонтам непосредственно в русло реки[1]. Сведения о химическом составе последних малочисленны. Между тем в некоторых бассейнах преобладающая часть возвратных вод поступает в русло рек именно таким путем;

2) во многих бассейнах не ведутся наблюдения за минерализацией коллекторно-дренажного стока, без чего невозможен расчет будущей минерализации речных вод по формуле смешения;

3) имеющихся данных по химическому составу коллекторно-дренажных вод еще недостаточно для обоснованного принятия величин будущей минерализации возвратных вод, необходимых для расчетов по формуле смешения;

4) на некоторых участках рек не наблюдается выклинивания возвратных вод в русла. Однако в будущем в связи с увеличением орошаемой площади на этих участках могут выклиниваться в русла возвратные воды. Однако их объем и минерализация неизвестны;

5) минерализацию рек на участках, где они будут определяться значительными объемами возвратных вод, нельзя прогнозировать без знания минерализации перспективного стока возвратных вод. Однако расчет минерализации перспективных объемов возвратных вод столь схематичен, что разные авторы получают несравнимые цифры. Использование их в формуле смешения даст различные прогнозные величины минерализации речных вод. Литературные данные показывают, что эти величины могут различаться в 1,5—2,5 раза из-за того, что при расчетах оперируют различными исходными величинами. Так, например, К. Г. Лазарев, А. С. Якушева и Р. К. Манихина (1965а) приняли для возвратных вод низовий Сырдарьи на 1980 г. минерализацию, равную 1,2 *г/л*, а А. П. Орлова (1973) для тех же условий — 3,5 *г/л*.

Гидрологические способы расчетов. Исследователи (Геткер, Куропатка, Рубинова, 1975а; Решеткина, Сойфер, 1976; Ткачук и др., 1970), понимая трудности в использовании балансового метода, предлагают другие способы расчета минерализации речных вод. М. И. Геткер и др. (1975а), применяя для этого графики зависимости минерализации от доли возвратного стока в Сырдарье за 1955—1970 гг., подсчитали ее ожидаемую величину на перспективу. Однако этот способ имеет те же недостатки, что и балансовый метод: необходимый для расчета прогнозный объем возвратных вод (для вычисления их доли в бытовом стоке реки) остается неизвестным и берется ориентировочно. При этом авторы не учитывают изменение минерализации возвратных вод в перспективе, что также будет влиять на характер выбранной ими зависимости. Тем не менее они получили прогнозную минерализацию на ближайшую перспективу (1,65 *г/л*), которая близка по значению (1,80 *г/л*) рассчитанной нами бассейновым способом.

Н. М. Решеткина и С. С. Сойфер (1976) для расчета минерализации коллекторно-дренажных вод предлагают формулу, по сути, близкую к

---

[1] На орошаемых массивах необходимы расчетные данные по гидрохимическому режиму грунтовых вод до глубины 20—30 *м*.

рабочей формуле бассейнового способа: в ней минерализация дренажных вод зависит от начальной минерализации ($C_н$) и от коэффициента (λ), учитывающего параметры среды (фильтрацию покровного слоя, его мощность) и условия дренажа (глубину залегания дрен и междренное расстояние). Возможность применения этой формулы для прогноза минерализации речных вод не исследовалась.

Очень интересен способ прогноза минерализации ирригационных верховодок, выполненный коллективом исследователей под руководством В. Г. Ткачука (Ткачук и др., 1970) на примере Ингулецкого массива (низовья Днепра). Авторы этой работы очень близко подошли к идее бассейнового способа расчета минерализации, но ограничились определением минерализации грунтовых вод под орошаемой площадью. Минерализация грунтовых вод изменяется под влиянием выщелачивания солей из пород и почв с различной степенью засоленности. В работе приведена таблица со значениями прироста минерализации грунтовой воды при растворении ею различных количеств солей в породах. Пользуясь данными этой таблицы, а также зная средневзвешенное содержание солей в 1 $м^3$ почв и пород выше первого водоупора, процент ежегодного выщелачивания солей от общего их содержания в породах и минерализацию инфильтрационных вод, авторы рассчитывают минерализацию грунтовых вод на различные сроки.

Заканчивая рассмотрение применяемых прогнозов минерализации речных вод, следует отметить, что отсутствие многих составляющих в формуле прогноза минерализации речных вод методом смешения, построенного на двойном расчете (вначале вычисление водного баланса, а потом водно-солевого), затрудняет его применение и приводит к ошибкам. Это побуждает искать новые пути решения проблемы. В качестве такого решения предложен описанный выше бассейновый метод природно-галогеохимического анализа территорий и на его основе способ прогноза минерализации речных, оросительных и коллекторно-дренажных вод.

Рекомендация этого способа не означает отрицания метода водно-солевого баланса. Наоборот, бассейновый способ дополнит его и послужит своеобразным контролем. Бассейновый способ позволит иначе, по-новому понять процессы орошения, рассоления и засоления почв, пород, динамику их взаимодействия с грунтовыми водами.

Возможности применения бассейнового метода анализа при расчетах будущей минерализации рек и коллекторов

Прогноз минерализации речных вод. Прогноз выполнен для рек: Сырдарьи ниже Ферганской долины, Чирчика, Зеравшана, Кашкадарьи, Сурхандарьи и Чу. От проектировщиков были получены карты с указанием контуров, местоположения и площадей намеченных к орошению земель. Все расчеты произведены по рабочей формуле бассейнового способа: $M_{зам.}=M_{нач.}+aF_{эф.}$. Величины $M_{нач.}$ и показатель a для рассматриваемых бассейнов определены способами, описанными в предыдущей главе. Перспективная эффективная орошаемая площадь ($F_{эф.}$) установлена путем анализа гидрогеологических, почвенно-мелиоративных и водохозяйственных условий территорий, запланированных под орошение. При этом в расчетах учитывалось и влияние староорошаемой эффективной площади, с учетом, что определенная часть солей из них будет продолжать поступать в реки и в расчетные годы.

Так как неизвестно, каким окажется расчетный год, расчеты выполнены для всех возможных вариантов, т. е. для условий маловодного, среднего по водности и многоводного года. Результаты вычисления перспективной минерализации речных вод в замыкающих створах

приведены в табл. 14. В ней также показана величина $M_{зам.}$ для 1970 г. Из сравнения этих величин видим, что наибольшее увеличение минерализации произойдет в Сурхандарье — в 2 раза (с 0,9 до 1,8 *г/л*), в Чу в 1,93 раза (с 0,57 до 1,1 *г/л*), в Кашкадарье в 1,84 раза (с 1,14 до 2,1 *г/л*), в Зеравшане в 1,83 раза (с 0,71 до 1,3 *г/л*), в Сырдарье в 1,3 раза (с 0,92 до 1,2 *г/л*) и в Чирчике в 1,18 раза (с 0,39 до 0,5 *г/л*).

Таблица 14. Минерализация ($M_{зам.}$) и преобладающий химический состав воды некоторых рек Средней Азии в условиях различной водности

Река	Створы	1970 г. (средний по водности)			В перспективе маловодный		
		$M_{зам.}$, *г/л*	анионы	катионы	$M_{зам.}$, *г/л*	анионы	катионы
Сырдарья	Кызылкишлак	0,92	SO_4	Ca	1,7	SO_4	Na
Чирчик	Чиназ	0,39	HCO_3	Ca	0,6	HCO_3	Ca
Зеравшан	Навои	0,71	SO_4	Mg	1,4	SO_4	Na
Кашкадарья	Каратикон	1,14	SO_4	Na	2,4	SO_4	Na
Сурхандарья	Мангузар	0,90	SO_4	Ca	1,9	SO_4	Ca
Чу	Фурманово	0,57	SO_4	Na	1,2	SO_4	Na

Река	Створы	В перспективе					
		средний по водности			многоводный		
		$M_{зам.}$, *г/л*	анионы	катионы	$M_{зам.}$, *г/л*	анионы	катионы
Сырдарья	Кызылкишлак	1,2	SO_4	Na Mg	1,1	SO_4	Ca
Чирчик	Чиназ	0,5	HCO_3	Ca	0,4	HCO_3	Ca
Зеравшан	Навои	1,3	SO_4	Na Mg	1,2	SO_4	Mg Na
Кашкадарья	Каратикон	2,1	SO_4	Na	2,3	SO_4	
Сурхандарья	Мангузар	1,8	SO_4	Ca	1,4	SO_4	Ca
Чу	Фурманово	1,1	SO_4	Na	1,06	SO_4	Na

Ожидаемый химический состав воды определяется по графикам (рис. 20) связи между содержанием главных ионов (*мг-экв/л*) и минерализацией (*г/л*). Так как теснота связи между ними достаточно высока (например, для Сырдарьи коэффициент корреляции r изменяется от 0,89 для гидрокарбонатного иона до 0,98 для хлора), то на графиках показаны только линии связи, без изображения точек. Причем прямые линии были проведены по уравнениям регрессии, а ломаные — по корреляционному полю точек. Видно, что химический состав речных вод в замыкающих створах в перспективе существенно не изменится: в большинстве рек он будет сульфатно-натриевым и сульфатно-кальциевым (табл. 14). Из некоторых староорошаемых почв возможен вынос в реки содовых вод.

Ошибки вычислений при использовании бассейнового способа. По формуле бассейнового способа можно не только прогнозировать минерализацию поверхностных вод, но и оценить, насколько расходятся рассчитанные по ней $M_{зам.}$ от фактических среднегодовых величин минерализации прошлых лет, т. е. найти ошибку вычислений.

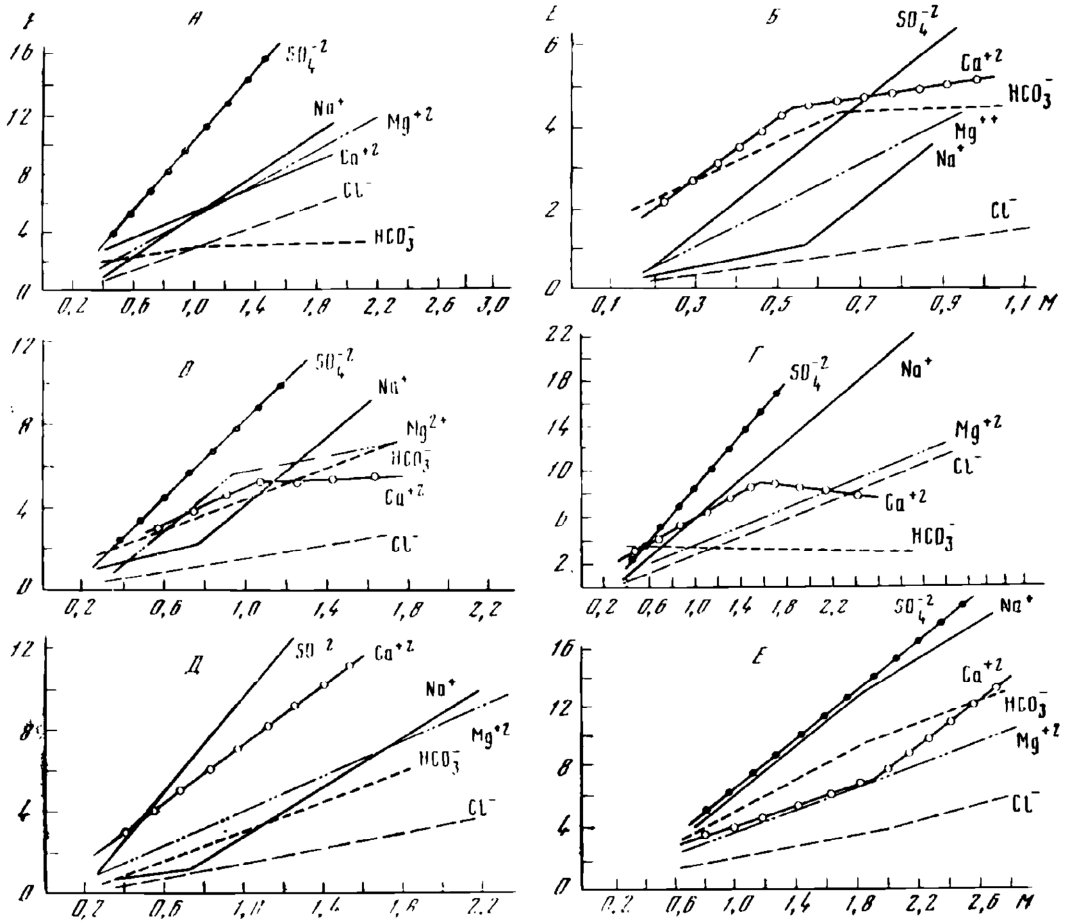


Рис. 21. Изменение содержания главных ионов (*E*, *мг-экв*) с ростом минерализации (*M*, *г/л*) в водах рек

А — Сырдарьи (Кызылкишлак), *Б* — Чирчик (Чиназ), *В* — Зеравшана (Навои), *Г* — Кашкадарьи (Каратикон), *Д* — Сурхандарьи (Мангузар), *Е* — Чу (Уланбель)

Расчеты ошибок произведены для прогнозируемой минерализации речных вод следующим образом. Определяли среднюю квадратическую ошибку σ по формулам:

$$\sigma = \sqrt{\frac{E^2}{n-1}} \tag{11}$$

$$E = \frac{M_{\text{фор.}} - M_{\text{фак.}}}{M_{\text{фак.}}} \cdot 100\%, \tag{12}$$

где σ — средняя квадратическая ошибка вычисления минерализации бассейновым способом; *E* — фактическая ошибка вычисления минерализации бассейновым способом, %; $M_{\text{фор.}}$ — величина минерализации, рассчитанная по предложенной формуле (бассейновый способ), *г/л*; в нашем случае она равна $M_{\text{зам.}}$ для расчетного года; $M_{\text{фак.}}$ — фактическая среднегодовая величина минерализации прошлых лет, *г/л*; *n* — число случаев в ряду. В нашем примере это число лет, для которых были вычислены $M_{\text{зам.}}$.

Так как прогноз минерализации речных вод выполнен в зависимости от водности года, то и получаемые при этом ошибки найдены для условий маловодного, среднего по водности и многоводного года.

Рассчитанные по формуле (11) величины средней квадратической ошибки, производимой при вычислениях минерализации бассейновым

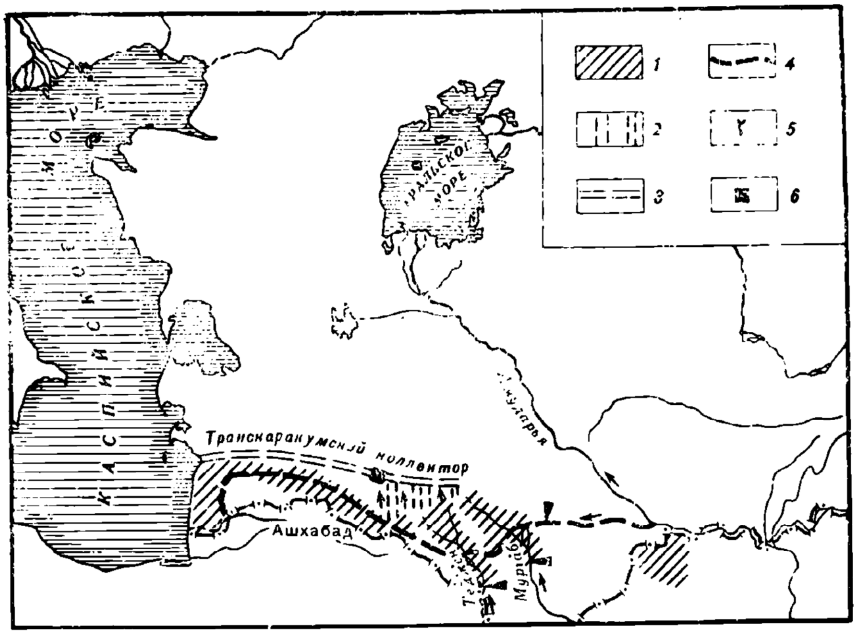


Рис. 22. Ожидаемые мелиоративные мероприятия на территории ТуркмССР

1 — перспективная орошаемая площадь в речных бассейнах; *2* — коллекторы районного значения; *3* — Транскаракумский магистральный коллектор; *4* — оросительные каналы; *5* — начальный створ; *6* — замыкающий створ

способом, приведены в табл. 15. Видно, что наилучшие результаты при вычислениях по бассейновому способу получены для Сурхандарьи и Чирчика ($\sigma = 10—18\%$).

В бассейне Сырдарьи расхождения между фактическими и расчетными величинами несколько больше ($\sigma = 18—28\%$). Значительные расхождения ($\sigma = 32—41\%$) наблюдаются для р. Кашкадарьи, где на минерализацию речной воды влияют не только орошаемые площади, но и Чимкурганское водохранилище. В среднем ошибка расчетов ожидаемой минерализации, выполненных бассейновым способом, составляет 22%.

Прогноз минерализации коллекторно-дренажных вод. Расчет ожидаемой минерализации коллекторно-дренажных вод рассмотрим на примере ТуркмССР. На эту территорию составлена серия среднемасштабных природно-мелиоративных карт, что позволило произвести необходимый анализ ожидаемых изменений в свойствах и структуре почвенного покрова при орошении. Значительная часть прироста орошаемых площадей будет расположена в дельтах рек Мургаба и Теджена и прилегающей к ним зоне Каракумского канала (Рабочев, 1967).

Для отвода грунтовых вод с этой территории можно построить магистральный Транскаракумский коллектор, проходящий по наименьшим отметкам Заунгузских Каракумов со стоком воды в Каспийское море и использованием на полив после частичного обессоливания (рис. 22). Бассейновый способ позволяет ориентировочно подсчитать ожидаемую минерализацию в этом коллекторе после освоения новых площадей под орошение и при установившемся режиме работ мелиоративных систем.

Действительно, для этого известны все необходимые величины. Так, сток рек Мургаба и Теджена совместно с Каракумским каналом перед орошаемыми площадями окажется равен 230 $м^3/с$, однако из них на орошение будет забираться только около 150 $м^3/с$, что и составит величину начального расхода воды, необходимого для выбора показателя a из табл. 13 (см. гл. 3). Начальная минерализация оросительной воды

Таблица 15. Средняя квадратическая ошибка (σ, %) при вычислении минерализации речных вод бассейновым способом для различных по водности лет *

Водность года	Сырдарья	Чирчик	Кашкадарья	Сурхандарья
Маловодный	19	18	39	10
Средний по водности	28	18	32	17
Многоводный	18	10	41	12

* По рекам Зеравшан и Чу ввиду малочисленности данных по минерализации определение величины σ не производилось.

будет складываться из минерализации воды Каракумского канала, Мургаба и Теджена. Начальная величина минерализации $M_{нач.}$ оказалась равной 1,5 *г/л*. По почвенным, гидрогеологическим и литологическим картам, с учетом величины орошаемой площади в перспективе и условий ее дренированности, установлено, что эффективная площадь $F_{эф.}$ превысит 400 тыс. *га* и она будет преимущественно среднезасоленной. Показатель a для этих условий равен 0,0064.

Таким образом, ожидаемая величина минерализации воды в Транскаракумском коллекторе при заданных условиях и режиме орошения составит $M_{зам.} = M_{нач.} + aF_{эф.} = 1{,}5 + 0{,}0064 \cdot 400 = 1{,}5 + 2{,}5 = 4{,}0$ *г/л*.

В итоге можно отметить, что бассейновый способ расчета будущей минерализации можно применять при прогнозе минерализации поверхностных вод любого речного бассейна на перспективу без учета и с учетом влияния хозяйственной деятельности человека, особенно орошения. При этом расчеты можно произвести для рассматриваемого участка реки, нужного оросителя или коллектора и на любую территорию, как малую (единицы и десятки гектаров), так и на огромные бассейны, с площадью несколько тысяч квадратных километров. Полученные при этом результаты позволяют корректировать и уточнять прогнозы, составленные другими способами и методами.

Расчет минерализации воды бассейновым способом на примере проектируемого Обь-Каспийского канала

Задача исследования. Исследователи столкнулись с весьма важной проблемой — как изменится минерализация воды в канале и каковы будут ее качества при достижении конечной цели — орошаемых массивов Казахстана и Средней Азии? Не изменится ли вода Обь-Каспийского канала в течение длительного по протяженности и продолжительного транспорта через несколько природных поясов так, что ее нельзя будет использовать для полива?

Действительно, возможная повышенная минерализация приведет к вторичному засолению почв, присутствие в воде соды сделает орошаемые почвы солонцеватыми, плотными, водонепроницаемыми, а бора — токсичными для культурных растений.

Поступление в почвы вместе с поливной водой новых видов микроорганизмов может существенно изменить направленность почвообразовательных процессов. Все эти вопросы остаются пока до конца не решенными.

Трасса канала. При расчетах ожидаемой величины минерализации воды шести рек Средней Азии предполагалось, что вся намеченная к освоению площадь будет орошена за счет собственных ресурсов бассейнов. Однако возможно, что дальнейшее развитие орошения в речных бассейнах Средней Азии окажется возможным только за счет переброски части стока сибирских рек. В первую очередь намечается транспортировать по Обь-Каспийскому каналу 25 *км*^{3} ежегодно (Герарди, 1973).

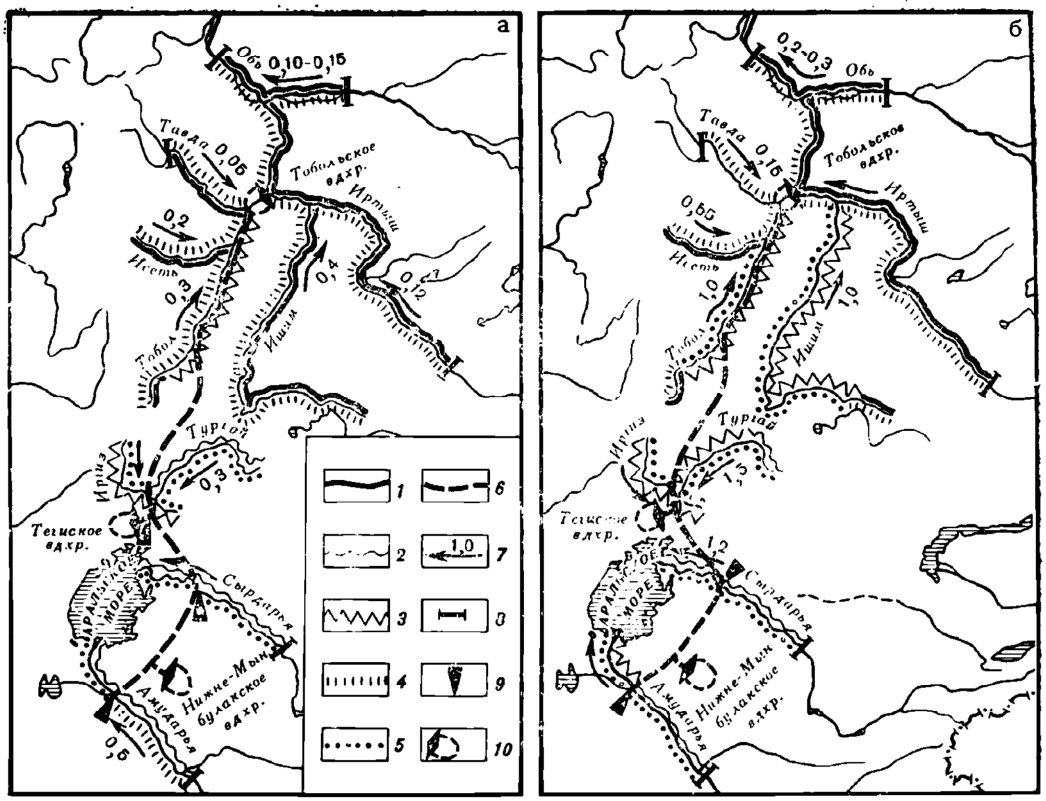


Рис. 23. Минерализация и химический состав речных вод, расположенных в зоне влияния запроектированного Обь-Каспийского канала в половодье (*а*) и межень (*б*)

Преобладающие ионы: *1* — гидрокарбонатный, *2* — сульфатный, *3* — хлоридный, *4* — кальция, *5* — натрия; *6* — трасса канала, *7* — направление течения воды и минерализация; *8* — створы, ограничивающие участки рек; 9 — створы, ограничивающие выделенные участки канала; *10* — проектируемые водохранилища

В настоящее время составляются проекты переброски в Среднюю Азию части стока рек Иртыша, Тобола, и Оби (рис. 23): водозабор в Обь-Каспийский канал может производиться в Белогорье, откуда трасса пойдет вдоль правого берега Тобола до г. Заводоуковска, далее проследует через Курганскую, Кустанайскую и Тургайскую области до Тегинского водохранилища, затем, пересекая Сырдарью, дойдет до Амударьи. В междуречье этих рек сток канала частично будет регулироваться Нижне-Мынбулакским водохранилищем.

Минерализация и химический состав речных вод. Наиболее крупные реки, расположенные в зоне влияния канала, показаны на рис. 23. Сведения о минерализации и химическом составе их вод приведены в табл. 16.

От слияния Тобола и Иртыша (включая сток этих рек) до р. Суерь минерализация вод небольшая — 0,13—0,44 *г/л*, по составу она гидрокарбонатно-кальциевая. Отклонение наблюдается только в небольшой реке Ук, где минерализация возрастает до 0,82 *г/л*. От р. Суерь до р. Ащибой минерализация постепенно повышается от 0,5—0,6 до 2,0—3,0 *г/л*, при этом состав воды сменяется на сульфатно-натриевый и хлоридно-натриевый (при значительных величинах минерализации).

Ниже р. Ащибой будущая трасса Обь-Каспийского канала пройдет через Тургайское плато. Минерализация воды некоторых рек здесь небольшая: 0,2—0,5 *г/л*, однако по составу она гидрокарбонатно-натриевая, т. е. содовая (реки Теке, Аксай, Жабысай, Жамансай). Концентрация воды других рек (Улькаяк, Женколдыозек, Иргиз) повышена (2—6 *г/л*), преобладают хлор и натрий.

Таблица 16. Минерализация (*г/л*) и химический состав рек, пересекаемых Обь-Каспийским каналом от г. Тобольска до Амударьи

Река	Створы	Годы	$M_{ср.}$	Преобладающие ионы
Иртыш	Тобольск	1969	0,18	HCO_3 — Ca
Тобол	Липовка	1965	0,13	То же
Тап	Юрты Боровские	1973	0,44	»
Юрга	Чаша	1973	0,35	»
Коктюль	Коктюль	1973	0,31	»
Ук	Гилево	1973	0,82	HCO_3 — Na
Березовка	Кокут	1973	0,35	HCO_3 — Ca
Упоровка	Упорово	1973	0,14	То же
Емуртла	Петропавловка	1973	0,27	»
Суерь	Волосниково	1973	0,57	Cl — Na
Утяк	Кирпичный завод	1973	0,46	HCO_3 — Na
Черная	Раскатиха	1973	0,78	SO_4 — Na
Лог Березовский	Верхнее Березово	1973	1,00	То же
Нижняя Алябу	Плотниково	1973	1,19	»
Убаган	Актуат	1961	3,22	Cl — Na
Ащибой	Семиозерное	1959	2,53	То же
Теке	Тармак	1974	0,21	HCO_3—Na
Улькаяк	Зимовка в 30 *км* выше Жарбасы	1974	3,07	Cl — Na
Женколдыозек	0,5 *км* выше зим. Женколдыозек	1974	5,81	Cl — Na
Иргиз	Мост у совх. Калинина	1974	2,72	То же
Аксай	80 *км* выше дороги Актюбинск — Аральск	1974	0,12	HCO_3 — Na
Жабысай	15 *км* выше разв. Жалаулы	1974	0,48	То же
Жамансай	6 *км* от кладбища Акмола	1974	0,16	»
Сырдарья	Казалинск	1971	1,25	SO_4 — Na
Сухой Узяк	—	1974	0,3	HCO_3 — Ca
Эскидарьялык (северный)	—	1974	0,22	То же
Эскидарьялык (южный	—	1974	0,15	»
Амударья	Чатлы	1972	0,68	Cl — Na

Ниже Тургайского плато трасса канала пролегает через Приаральские Каракумы. Постоянно действующих водотоков на этой территории нет, данные по химическому составу воды временно действующих рек нам неизвестны.

Минерализация воды Сырдарьи (створ Казалинск) несколько повышена (1—1,3 *г/л*), по составу сульфатно-натриевая. Ниже Сырдарьи вплоть до Амударьи трасса канала проходит через пески Кызылкум, где также отсутствуют постоянно действующие водотоки. Минерализация вод коллекторов этой территории (Сухой Узяк, Эскидарьялык) в марте небольшая — 0,15—0,20 *г/л*, по составу они гидрокарбонатно-кальциевые.

В Амударье (створ Чатлы) в межень минерализация воды достигает 1,2 *г/л*, приобретая хлоридно-натриевый состав, а в половодье 0,4—0,5 *г/л*, при сульфатно-кальциевом составе.

Уровень залегания и минерализация грунтовых вод. Одним из основных факторов, влияющих на минерализацию воды в канале, будут грунтовые воды.

Общая картина изменения их глубины залегания и минерализации по трассе канала показана на рис. 24 и 25.

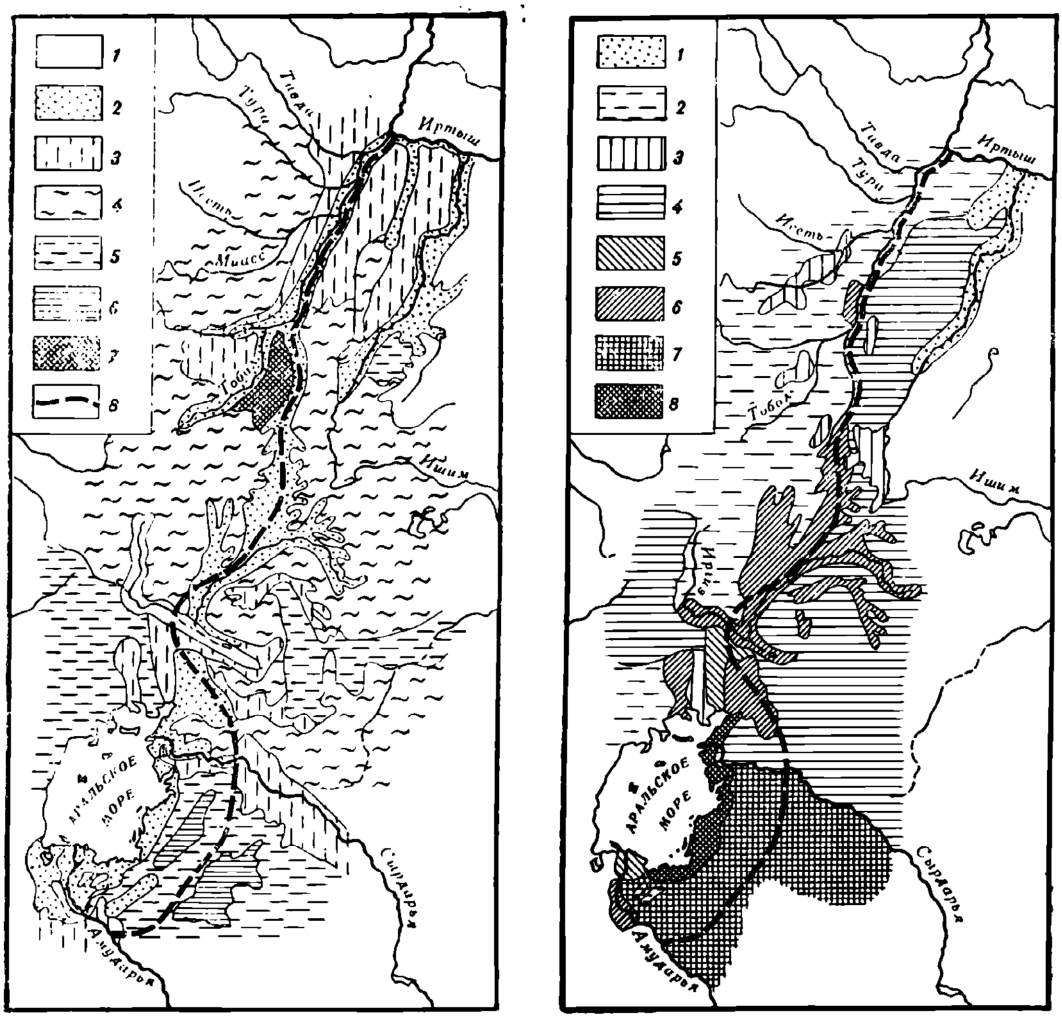


Рис. 24. Распределение глубины залегания грунтовых вод в зоне трассы Обь-Каспийского канала

Глубина, *м*: *1* — до 1; *2* — от 2 до 3; *3* — от 3 до 5; *4* — от 5 до 10; *5* — от 10 до 20; *6* — от 20 до 50; *7* — от 50 до 80; *8* — трасса проектируемого канала

Рис. 25. Распределение минерализации грунтовых вод в зоне трассы Обь-Каспийского канала

Минерализация, *г/л*: *1* — до 1; *2* — от 1 до 3; *3* — от 3 до 5; *4* — от 5 до 10; *5* — от 10 до 20; *6* — более 10; *7* — пестрая (до 20); *8* — от 20 до 50

На участке г. Тобольск — р. Суерь они расположены на глубине 3—5 *м*, маломинерализованы (до 1,0 *г/л*), по составу сульфатно-кальциевые, с большим содержанием гидрокарбонатов.

На участке р. Суерь — р. Ащибой минерализация грунтовых вод постепенно увеличивается до 2,0—3,0 *г/л* (участками до 10,0 *г/л*), становясь по составу сульфатно-натриевыми, глубина залегания 5—10 *м*. На участке р. Ащибой — проектируемое Тегиское водохранилище минерализация грунтовых вод увеличивается до 5,0—10,0 г/л, преобладают сульфаты натрия, содержание хлоридов повышено, глубина залегания вод составляет 5—10 *м*.

Грунтовые воды Приаральских Каракумов характеризуются несколько меньшей минерализацией, чем воды предыдущего участка: до 5,0 г/л, по составу они сульфатно-натриевые; глубина залегания 10—15 *м*. Грунтовые воды междуречья Сырдарьи и Амударьи (северная часть Кызылкумов) характеризуются пестрой минерализацией (до 20 *г/л*), состав сульфатно-натриевый; глубина залегания 15—20, участками 20—50 *м*.

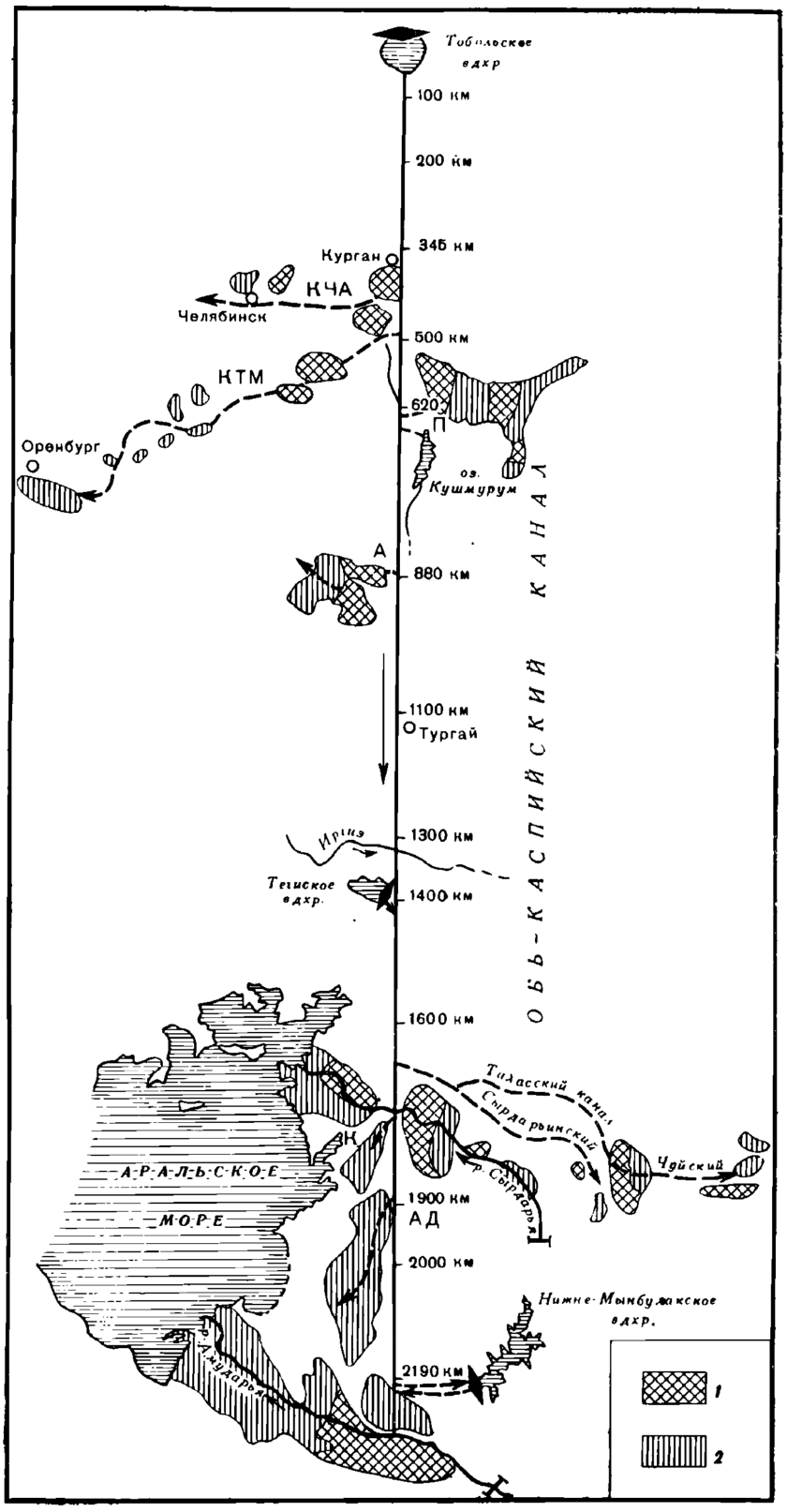


Рис. 26. Схематическое расположение проектируемых площадей орошения по трассе Обь-Каспийского канала (по данным «Союзводпроекта»)

Массивы, намеченные к орошению: *1* — в первую очередь, *2* — в перспективе

Попуск сибирских вод в канал и его работа в течение нескольких лет значительно изменит естественный режим грунтовых вод на всех участках трассы. Так, согласно прогнозу И. Н. Степанова (1975а), У. М. Ахмедсафина, М. Х. Джабассова и Р. М. Курмангалиева (1975), в зоне трассы канала (10—30 км) ожидается прогрессирующий подъем уровня грунтовых вод и засоление орошаемых земель. Для предотвращения этих процессов намечено провести мелиоративные мероприятия, в результате которых дренажные воды с орошаемых полей не будут попадать в русло канала.

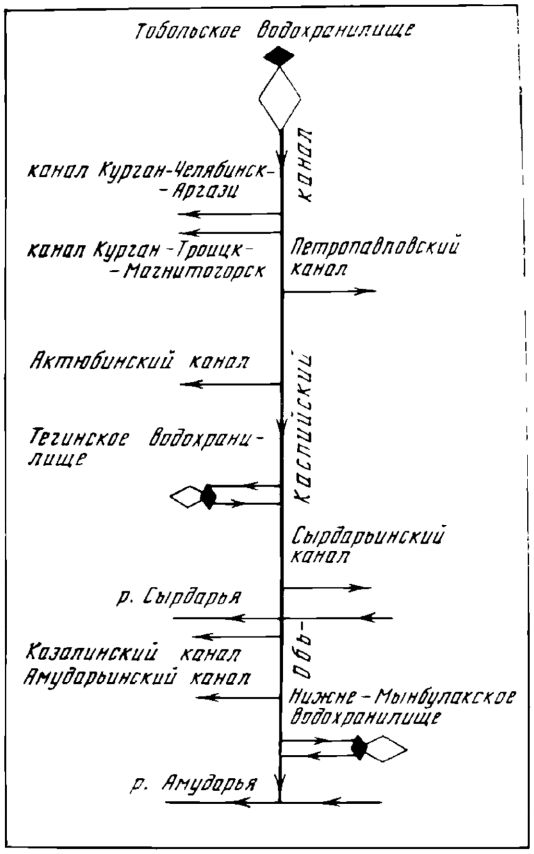


Рис. 27. Линейная схема расположения магистральных каналов на трассе переброски сибирских рек на юг страны

Влияние орошения. Намечается оросить 2—4 млн. *га* земель вдоль трассы канала. Причем орошаться в первую очередь будут земли, расположенные непосредственно у канала, позже массивы, удаленные от него на 100 *км*. Вопрос о размещении, величине площадей орошения и технике полива еще не решен окончательно, поэтому существует несколько вариантов освоения приканальной полосы. Схематическое возможное расположение орошаемых площадей по трассе Обь-Каспийского канала показано на рис. 26. Значительная часть намеченных к орошению земель находится в пределах 345—800 *км* трассы канала, а также в низовьях Сырдарьи и Амударьи. Здесь рекомендуется создать условия повышенного гидроморфного увлажнения почв для создания высокопродуктивных лугов (пастбища, сенокосы), а также на землях древнего орошения и на усыхающих засоленных берегах и дельтах Аральского моря — рисовники, которые предотвратят опустынивание и засоление обширных пространств.

В долине Тургая орошение не запроектировано. По нашим подсчетам, общая площадь орошаемых земель по трассе канала должна составить от 2,1 до 4,6 млн. га.

Вода будет разбираться из головного канала отводными магистралями: 1) Курган—Челябинск—Аргази (КЧА), 2) Курган—Троицк—Магнитогорск (КТМ), 3) Петропавловский (П), 4) Актюбинский (А), 5) Сырдарьинский (СД), 6) Казалинский (К), 7) Амударьинский (АД). Линейная схема расположения этих каналов по трассе переброски приведена на рис. 27.

Таким образом, естественные факторы и орошаемые площади будут повышать минерализацию воды канала. Количественная оценка их влияния нами произведена бассейновым способом.

Общий вид расчетной формулы для Обь-Каспийского канала. Увеличение минерализации речных вод за счет естественных факторов незначительное, так как этот процесс стабилизирован. В крупных и мелких оросителях повышение минерализации воды за счет естественных факторов оказывается более существенным, чем в реках. При этом на состав воды канала влияют степень и характер засоления его ложа и бортов, состав впадающих в канал боковых притоков и выклинивающихся

подземных и напорных вод, произрастающая по берегам канала растительность, испаряемость, скорость потока, импульверизация солей, преобладание типа питания вод (подземное, поверхностное дождевое, снеговое и др.), пересечение каналом озер разной минерализации и др. Поэтому при расчетах будущей минерализации воды в канале бассейновым способом следует пользоваться более общей рабочей формулой:

$$M_{кон.} = M_{нач.} + \Delta M_{ор.} + \Delta M_{ест.}, \quad (13)$$

где $M_{кон.}$ — минерализация, которую приобретет вода в концевой части канала; $M_{нач.}$ — минерализация воды, наблюдаемая в головной части канала; $\Delta M_{ор.}$ — приращение минерализации за счет влияния возвратных вод с орошаемых массивов; $\Delta M_{ест.}$ — приращение минерализации за счет влияния естественных факторов, особенно выклинивающихся в канал сильноминерализованных грунтовых вод.

Сравнение выражения (13) с приведенной ранее формулой (6) позволяет обнаружить, что последняя является частным случаем общей рабочей формулы бассейнового способа прогноза минерализации, когда влияние естественных факторов отсутствует. Согласно (13), конечная минерализация воды в канале складывается из начальной ($M_{нач.}$) и приращений за счет орошения и естественных факторов (грунтовые воды, засоленное ложе канала и др.).

В действительности повышение минерализации будет происходить в результате более сложных и многофакторных процессов, многие из которых трудно предвидеть. Однако, ввиду того, что общая методика прогноза минерализации вод рек слабо разработана, применение данной формулы, по нашему мнению, правомерно.

Используя формулу (13), можно рассчитать ожидаемую минерализацию в любом створе канала. Для этого первоначально необходимо выделить на трассе участки, отличающиеся засолением почв, а также степенью дренированности.

Подсчеты показали, что канал будет дренировать около 420 *км* на трех участках. Эти участки имеют небольшую водоотдачу с суммарным притоком минерализованных вод менее 0,5% от общего объема воды канала. После такого разграничения территорий путем последовательного расчета $M_{кон.}$ можно определить ожидаемые изменения минерализации воды на любом участке канала.

Определение $M_{нач.}$. Для оценки средней величины минерализации в головной части Обь-Каспийского канала использованы материалы УГМС СССР по двум створам: Тобольск — р. Иртыш и Липовка — р. Тобол. По этим створам для каждого года за период 1938—1971 гг. были определены величины минерализации в половодье и межень, а затем среднегодовая минерализация — $M_{ср.г}$ с учетом объемов стока за эти два периода. Далее величины $M_{ср.г}$ по створам Тобольск и Липовка были вновь осреднены с учетом расходов воды Иртыша и Тобола. В итоге была получена начальная минерализация в головной части канала, равная 0,18 *г/л*.

Определение минерализации воды Обь-Каспийского канала без влияния орошения ($\Delta M_{сст.}$). Суммарное влияние на минерализацию естественных факторов оценено методом натурного аналога, в качестве которого выбрана р. Сырдарья, имеющая много общих черт с проектируемым Обь-Каспийским каналом. Так, если длина Сырдарьи равна 2137 *км*, то протяженность канала составит 2272 *км*. По всей длине Обь-Каспийского канала потери на инфильтрацию составят 2,5 $км^3$. Водные ресурсы Сырдарьи при выходе из Ферганской долины равны 25,1 $км^3$, а в канал первоначально запроектировано забирать 25,2 $км^3$. Совпадают и другие характеристики намеченных водохозяйственных мероприятий вдоль трассы Обь-Каспийского канала с существующими или существовавшими условиями в бассейне Сырдарьи: вдоль канала площадь орошения

составит 2,2 млн. *га* (в Сырдарье такая площадь орошалась в 1965 г.). На Сырдарье создано два водохранилища: Кайраккумское с полезным объемом 2,5 *км*³ и Чардаринское 4,7 *км*³. Сток воды в Обь-Каспийском канале также будет регулироваться двумя водохранилищами: Тегиским с полезным объемом 2,4 *км*³ и Нижне-Мынбулакским — 4,9 *км*³.

Величина $\Delta M_{ест.}$ для Сырдарьи была получена из выражения (13), переписанного в виде:

$$\Delta M_{ест.} = M_{кон.} - M_{нач.} - \Delta M_{ор.}, \qquad (14)$$

Начальная минерализация ($M_{нач.}$) для Сырдарьи равна 0,31 *г/л*; определена по створам Учкурган (р. Нарын) и Камышрават (р. Карадарья). Конечная минерализация ($M_{кон.}$) рассчитана по створу Казалинск за 1965 г., так как именно в этом году в бассейне Сырдарьи орошалось 2,2 млн. *га* земель. Минерализация речной воды оказалась равной 1,0 *г/л*.

Прирост минерализации за счет орошения для 1965 г. был определен по выражению:

$$\Delta M_{ор.} = aF_{эф.}, \qquad (15)$$

где обозначения величин a и $F_{эф.}$ те же, что и в формуле (6). Величина эффективной орошаемой площади бассейна Сырдарьи в 1965 г. оказалась равной 995 тыс. *га*; значение показателей $a = 0{,}00048$, $\Delta M_{ор.}$ соответственно 0,48 *г/л*. Подставляя найденные значения в выражение (14), получим величину $\Delta M_{ест.}$ (в *г/л*): $0{,}21 = 1{,}0 - 0{,}31 - 0{,}48$.

Совпадение многих водохозяйственных характеристик бассейна Сырдарьи и Обь-Каспийского канала позволило (с большим приближением) перенести увеличение минерализации за счет естественных факторов, наблюдаемое в Сырдарье, на трассу канала. Однако учитывая, что влияние естественных факторов в Сырдарье стабилизировалось, такое перенесение будет справедливо только для прогноза минерализации воды в канале при установившемся режиме его работы, т. е. по истечении 10—15 лет после ввода его в эксплуатацию.

Приращение минерализации в концевой части Обь-Каспийского канала при отсутствии орошения оказалось равным 0,21 *г/л*, а фактическая величина минерализации воды канала до слияния с Сырдарьей окажется равной 0,39 *г/л*.

Расчеты a и $F_{эф.}$. Материалы, необходимые для расчетов показателя a для условий Западной Сибири, отсутствуют, потому что орошение здесь развито слабо. Поэтому в дальнейших расчетах, несмотря на их приближенность для условий Сибири, использованы величины показателя a, найденные для Средней Азии.

Орошаемая площадь в зоне канала должна составить 4,6 млн. *га*, из них эффективными окажутся 2,1 млн. *га*. Это установлено на основании анализа природных условий трассы канала, расположения и степени дренированности орошаемых массивов.

Ожидаемые изменения минерализации по трассе канала с учетом влияния орошения. Расчеты изменения минерализации воды в канале проведены по бассейновым участкам, представляющим собой учетные «элементарные бассейны» и отличающимся один от другого как природными условиями, так и водохозяйственными мероприятиями. Анализ этих факторов позволил выделить по трассе канала следующие пять участков: I — г. Тобол — р. Суерь (0—350 *км*), II — р. Суерь — р. Ащибой (350—800 *км*), III — р. Ащибой — Тегиское водохранилище (территория Тургайского плато; 800—1390 *км*), IV — Тегиское водохранилище — Сырдарья (1390—1724 *км*); V — Сырдарья — Амударья (1724—2274 *км*).

Расчеты бассейновым способом показали, что при установившемся режиме работы канала минерализация воды по его длине возрастет следующим образом: на I участке она будет равна 0,19 *г/л*; на II — за счет

влияния возвратных вод с орошаемых полей возрастет до 0,38 *г/л*; на III — до 0,51 *г/л*; на IV — до 0,70 *г/л* и на V — до 1,15 *г/л*. Химический состав воды при этом будет постепенно меняться от гидрокарбонатно-кальциевого (I и II участки), сульфатно-кальциевого (III участок) и сульфатно-натриевого (IV участок) до хлоридно-натриевого (V участок). При этом на I и II участках в воде канала могут появиться бор и сода, а на III—IV — сода будет иметь повышенное содержание. Благоприятную роль коллектора инфильтрационных вод сыграет русло р. Тобол; по нему сбросные и возвратные воды поступят к головному водозабору с минерализацией до 1,0 *г/л*.

Изменение минерализации при пересечении канала с Сырдарьей и Амударьей. Имея конечные минерализации вод Обь-Каспийского канала, рек Сырдарьи и Амударьи, можно рассчитать концентрацию, получаемую при смешении их вод. По нашим расчетам, минерализация воды в низовьях Сырдарьи увеличится до 3,5 *г/л*, а Амударьи до 3,0 *г/л* (Чембарисов, 1973). Очевидно, к этому времени в реках будут иметь место только санитарные расходы воды порядка 10—20 *м³/сек*, а в Обь-Каспийском канале фактические расходы около 500—800 *м³/сек*. С учетом соотношения стоков канала Сырдарьи и Амударьи определено, что минерализация этих рек может быть понижена: в Сырдарье с 3,5 до 0,7—0,8 *г/л*, а в Амударье с 3,0 до 1,2—1,3 *г/л*.

Существенных изменений химического состава при смешении сибирской воды со стоком рек Сырдарьи и Амударьи не произойдет, так как у места пересечения состав тех и других вод будет практически одинаков. Намечена подача части стока сибирских рек и в бассейн р. Чу. Вначале вода будет поступать по Обь-Каспийскому каналу до Сырдарьинского канала, а от него через Таласс-Чуйский канал пойдет к р. Чу у створа Георгиевка. Согласно приведенным сведениям, обская вода, имея в среднем минерализацию 0,18 *г/л*, при подходе к Сырдарьинскому каналу станет более минерализованной — до 0,70 *г/л*. При продвижении воды по трассе Таласс-Чуйского канала ее минерализация также повысится, предположительно до 1,0 *г/л*.

У створа Георгиевка минерализация воды р. Чу будет равна 0,4—0,5 *г/л*. В результате переброски к данному участку реки поступит более минерализованная вода, однако она будет пригодна для использования, так как общая минерализация смешанных стоков понизится до 0,7—0,8 *г/л*. Состав воды будет сульфатно-натриевый.

Общее изменение качества воды. О качестве природных вод судят по содержанию растворенных в ней веществ. Однако в зависимости от целей использования воды, требования к их содержанию могут быть различными. Одна и та же вода может быть непригодной по качеству, удовлетворительной или хорошей и очень хорошей в зависимости от того, где и как она будет использована.

Для суждения о качестве воды необходимо иметь полные данные о ее химическом составе. Между тем, несмотря на развитие методов химических анализов воды, количество компонентов, определяемых при массовом анализе, пока все еще незначительно. В лабораториях Управления Гидрометслужбы СССР в настоящее время выполняется только 22 определения: HCO_3, SO_4, Cl, Ca, Mg, Na+K, NO_3, NO_2, сумма ионов, фосфор, железо, кремний, O_2, CO_2, pH, жесткость общая и постоянная, окисляемость перманганатная и бихроматная, цветность воды, прозрачность, вкусовые качества [1]. По всем перечисленным компонентам воды сибирских рек, будучи гидрокарбонатно-кальциевыми, пригодны для использования в народном хозяйстве. Однако они отличаются малым кальциевым резервом и при использовании на поливы могут трансфор-

[1] Натрий определяется совместно с калием, хотя в нашей стране давно широко практикуется довольно легкий раздельный анализ этих элементов на пламенном фотометре.

мироваться, особенно в Казахстане, в содовые воды. Последние, в свою очередь, могут вызвать отрицательные явления в почвах, которые будут орошаться этими водами, а именно содообразование, слитизацию, осолодение.

В связи с продвижением этих вод на юг страны возникает опасение возникновения и развития в них процесса «цветения»[1].

Количественную оценку прогноза «цветения» сибирских вод в настоящее время дать трудно, так как сведения по качеству и количеству фитопланктона за длительный период отсутствуют.

Воды сибирских рек характеризуются повышенным содержанием органических веществ и железа. В воде западносибирских рек гумусовое вещество на 60—75% представлено коллоиднорастворенными фульвокислотами, а также гуминовыми и апокреновыми кислотами, по свойствам сходными с таковыми водораздельных пространств, занятых луговыми лесными и болотными почвами. В. И. Вернадский (1960, с. 321) отмечал, что атмосферная влага, «которая проникла в почву и которая стекает дальше и глубже, через родники и верховодки в речные бассейны», изменяется за счет органического вещества, концентрирующегося и вырабатывающегося «в почвенном растворе».

И. В. Тюрин (1965) считал, что в гумусообразовании заметную роль играет процесс вымывания из почв атмосферными водами части продуктов разложения органической массы и гуминовых веществ. В частности, при подзолообразовании фульвокислоты в верхних горизонтах почв образуют с алюминием и железом подвижные соединения, которые вымываются в нижележащие толщи пород, грунтовые воды, а через них в реки.

И. С. Кауричев, Т. Н. Иванова, Е. М. Ноздрунова (1963) обнаружили, что низкомолекулярные органические кислоты, содержание которых колеблется в водах подзолистых и дерново-подзолистых почв от 5 до 65 *мг/л* распределены по всему профилю почв и пород, что свидетельствует об их перемещении сверху вниз с нисходящим током атмосферных вод.

В настоящее время в связи с тем, что наблюдений за содержанием органических веществ недостаточно, трудно судить о том, как они будут меняться при осуществлении переброски части сибирской воды в Среднюю Азию. Возможно, при этом одна часть органического вещества будет переходить в простые неорганические соединения, а другая — накапливаться. Этот вопрос требует дополнительного изучения.

Некоторые практические рекомендации. Повышение минерализации вод Обь-Каспийского канала требует более тщательного выбора прокладки его трассы по менее засоленным территориям, на которых грунтовые воды слабоминерализованные или пресные. Однако это сделать

---

[1] Под «цветением» природных вод подразумевается бурное развитие фито- и зоопланктона, т. е. растительных и животных организмов. Содержание значительного их количества в верхних слоях воды вызывает изменение ее окраски. В зависимости от видов развивающихся организмов окраска воды может быть желтой, розовой, зеленой, красной и т. д.

Согласно немногочисленным данным, наиболее представительной группой в планктоне Иртыша являются зеленые водоросли, далее идут синезеленые и диатомовые, остальные группы (хризомонады, евгленовые, перидинеи) представлены бедно. Все эти виды не ядовиты.

Сезонное и многолетнее изменение фитопланктона сложное. Его развитие в основном зависит от света (освещенности), мутности воды, скорости ее течения, содержания биогенных веществ и температуры. Однако уже сейчас можно сделать вывод, что повышение температуры воды (совместно с освещенностью) благоприятствует развитию различных видов фитопланктона в речных водах. Так как при продвижении вод сибирских рек по территории Средней Азии она будет в большей степени нагреваться, чем в условиях Западной Сибири, то нужно ожидать появления, а возможно, и развития процесса «цветения» в них.

трудно, так как канал будет прокладываться по понижениям рельефа. т. е. в местах наибольшей концентрации солей в почвах, горных породах и грунтовых водах. В таком случае весьма важно следить за глубиной вреза ложа канала в породы; при близких минерализованных потоках грунтовых вод глубина вреза канала должна быть минимальной, чтобы уменьшить приток выклинивающихся грунтовых вод. На особо опасных в солевом отношении участках (их по всей трассе в общем не наберется более 300 *км*) необходима гидроизоляция канала, что хотя несколько и удорожает строительство, но сохранит хорошее качество воды. Ко времени строительства канала появятся новые совершенные способы гидроизоляции (уплотнение ультразвуком, инъекции уплотнительных растворов, особые дешевые виды пленочных покрытий и т. п.).

По сведениям М. Е. Городецкой (1976), трасса канала проходит по породам высокой степени засоления, выполняющих Тургайскую ложбину, которая является коллектором для окружающих ее междуречий с высоко поднятыми цоколями из засоленных третичных отложений. Неограниченным поставщиком солей явятся третичные коренные породы. Кроме того, здесь возникают сезонные разливы речных, озерных и талых вод, занимающие многие десятки километров днища ложбины.

Нам представляется, что Обь-Каспийский канал следует строить как естественную реку. Тогда канал окажет благоприятное влияние на окружающую среду, смягчит жесткие условия пустынь и полупустынь.

Сибирская вода обладает малым кальциевым резервом. Для устранения этого недостатка этой водой следует поливать наиболее сильнокарбонатные почвы, местами понадобится вносить в оросительную воду порошковидный гипс и минеральные кислоты. Следует подумать о прокладке части трассы канала через загипсованные массивы для нейтрализации соды и обогащения воды Обь-Каспийского канала кальциевыми солями, которые придадут ей благоприятные качества.

Поступление в Обь-Каспийский канал выносимых из заболоченностей Западной Сибири кислых органических соединений приведет к усилению цветения воды на участках с медленным течением, хорошо прогреваемых и в водохранилищах. Массовое развитие микроорганизмов осложнит работу насосных станций, может усилить заморы рыб, но с другой стороны, поступление с сибирскими водами в Среднюю Азию больших количеств органических веществ, возможно, увеличит плодородие почв, улучшит условия промывок почв от солей.

Вынос с орошаемых полей солевых масс и минеральных удобрений ускорит процессы евтрофикации на водохранилищах. Поэтому следует подумать над выбором орошаемых массивов и их размещением вдоль трассы канала, а также разработать инженерные сооружения, отводящие сток минерализованных вод. Орошаемые массивы следует размещать таким образом, чтобы возвратные воды не поступали в канал. Если это окажется невозможным, то необходимо разработать такие приемы орошения, которые не допустят возникновения промывного режима, возвратных вод. Это может быть подпочвенное орошение, дождевание малыми нормами (соплимент — ирригация) и др.

Большое значение имеет предварительный выбор массивов для орошения сибирскими водами, водами Сырдарьи и Амударьи и подземными водами. Сибирскими водами, слабо насыщенными кальцием и с малым количеством взвесей, следует поливать высококарбонатные суглинистые и глинистые территории. Мутные и богатые элементами питания воды Амударьи и Сырдарьи следует направить на песчаные почвы для их кольматирования и повышения плодородия.

В заключение следует отметить, что приведенный материал свидетельствует о перспективности предлагаемого авторами бассейнового метода комплексного географо-геохимического анализа, который позво-

ляет, в частности, рассчитать минерализацию речных, дренажных и ирригационных вод, а также дать качественный прогноз для слабо изученных территорий.

ГЛАВА 5

ПРОВЕРКА ВОЗМОЖНОСТЕЙ БАССЕЙНОВОГО МЕТОДА КОМПЛЕКСНОГО ГЕОГРАФО-ГАЛОГЕОХИМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ПРИ РАСЧЕТЕ МИНЕРАЛИЗАЦИИ РЕЧНЫХ ВОД

После разработки бассейнового метода анализа природно-мелиоративных особенностей орошаемых территорий и вывода на его основе одной из расчетных формул нами были взяты некоторые речные бассейны с целью проверки и апробации на них предложенного способа прогноза минерализации речных вод. Для проверки были выбраны бассейны р. Куры в пределах Азербайджанской ССР и р. Колорадо на западе США.

На основе собранного материала по минерализации, химическому составу и расходам речных вод анализировались гидрологические и гидрохимические особенности рек, дренирующих хорошо изученные орошаемые массивы.

Согласно концепции авторов, минерализация и химический состав речной воды в замыкающем створе используются как гидрохимические показатели мелиоративного состояния орошаемых территорий бассейнов. Для доказательства этой точки зрения вся история современного орошаемого земледелия в бассейнах разделена на этапы (периоды лет), для которых найдены средняя за многолетие величина минерализации и содержание главных ионов речной воды в замыкающем створе. Показано, что каждому уровню орошаемого земледелия (характеризующемуся тем или иным способом орошения, поливными и промывными нормами, отсутствием или работой дренажа и т. д.) соответствует своя минерализация и химический состав речной воды. Для некоторых массивов произведен расчет будущей минерализации речной воды бассейновым способом и найдена ошибка расчетов.

Влияние орошения на минерализацию воды р. Куры (в пределах Кура-Араксинской низменности Азербайджана)

Природно-мелиоративные условия бассейна. Водами р. Куры орошаются значительные площади Кура-Араксинской межгорной впадины. Последняя окружена со всех сторон хребтами Б. и М. Кавказа и только на востоке имеет выход к Каспийскому морю, куда обращен весь поверхностный и подземный сток (рис. 28). Внутри низменности выделяют Ширванскую, Карабахскую, Мильскую, Муганскую и Сильянскую степи.

Кура-Араксинская низменность — практически бессточный бассейн (средний уклон 0,003). Грунтовые воды залегают близ дневной поверхности (0,3—5,0 *м*), их минерализация преимущественно 20—50 *г/л*, местами 100 *г/л*. Бассейн — типичная область аккумуляции солей за счет активного испарения грунтовых вод. Почвы преимущественно среднезасоленные, распространены также массивы сильно и очень сильно засоленных почв сульфатно-хлоридного, сульфатного и хлоридного соста-

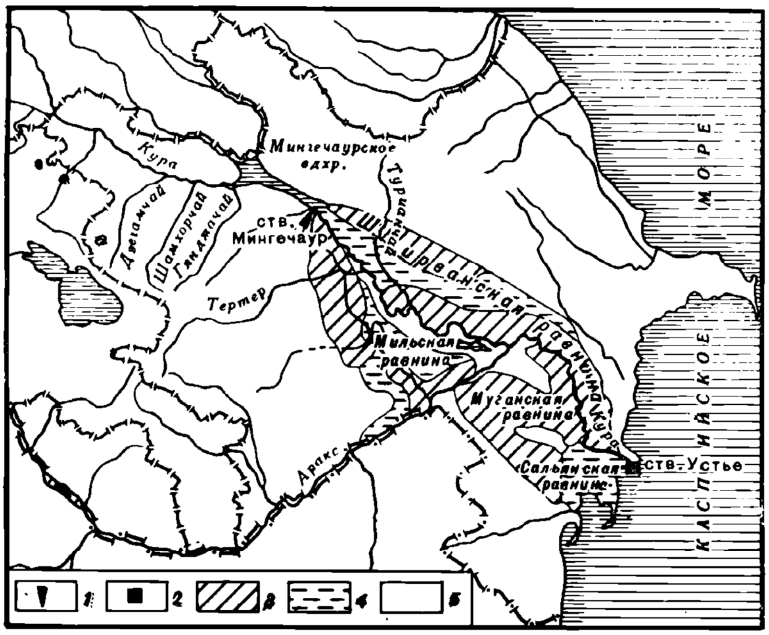


Рис. 28. Распределение земельного фонда в низовье бассейна р. Куры (Кура-Араксинская низменность) с указанием гидрографической сети и местоположения использованных в работе створов

Створы: *1* — начальный; *2* — замыкающий. Земли: *3* — существующего орошения; *4* — перспективного орошения; *5* — неудобные для массового орошения

ва, местами (Карабах) встречаются содово-засоленные почвы. Распространены верхнечетвертичные и голоценовые аллювиальные отложения мощностью до 25 *м*. Коэффициент фильтрации 1,5—3 *м/сутки*.

Гидрологические особенности р. Куры. Культурные земли поливаются стоком притоков р. Куры, стекающих с Б. Кавказа (реки Алимджачай, Турианчай, Геокчай, Гардымчай, Ахсучай) и притоков, берущих начало с М. Кавказа (реки Гянджачай, Кюракчай, Ахсу, Инчачай, Тертер, Хачинчай, Каркарчай).

Река Кура и ее притоки с М. Кавказа характеризуются выраженными весенне-летним половодьем и зимней меженью, а реки Б. Кавказа — весенним половодьем, летней и зимней меженью, прерываемых осенними дождевыми паводками. Общая длина р. Куры 1515 *км*, в пределах Азербайджана ее протяжение более 900 *км*.

На рассматриваемом участке (от створа Мингечаур до Каспийского моря) фактические расходы воды в Куре изменяются в среднем от 200 до 800 $м^3/с$, при среднемноголетнем значении 402 $м^3/с$. Среднегодовые расходы воды изменяются от 0,008 до 3,22 $м^3/с$ в притоках М. Кавказа и от 1,26 до 9,27 $м^3/с$ — в притоках Б. Кавказа. В самом крупном притоке — р. Аракс расходы воды у створа Сурмалу изменяются от 20 до 460 $м^3/с$, при среднегодовых значениях 60—113 $м^3/с$. Сток этих рек составляет 24,5 $км^3/год$.

Начальная минерализация и химический состав. С 1939 г. по 1962 г. химический состав р. Куры систематически изучался в шести створах: Мингечаур, Зардоб, Сабирабад, Сурра, Али-Байрамлы, Сальяны. Позже пробы воды стали отбираться еще в пяти створах, расположенных ниже по течению: Каравелли, Северо-Восточный Банк, 1-й Маяк, Устье.

В качестве начального створа, расположенного выше орошаемых массивов, выбран Мингечаур, удаленный от устья реки на 654 *км*. Наблюдения за химическим составом воды ведутся здесь с 1943 г. Средняя величина минерализации речной воды, необходимая при расчетах по

бассейновому способу (с учетом ее сезонного и многолетнего изменения), принята равной 0,34 *г/л*. По составу вода гидрокабонатно-кальциевая.

Строительство Мингечаурского водохранилища на р. Куре (1953 г.) не привело к заметному росту начальной минерализации речной воды. Регулирование стока водохранилищем сказалось лишь на выравнивании внутригодовых изменений минерализации.

На величину начальной минерализации также не влияют объемы вод притоков, большинство из которых имеют малую минерализацию (0,2—0,3 *г/л*) и гидрокабонатно-кальциевый состав. Только в реках Гардымчае и Ахсучае минерализация воды достигает 0,6—0,7 *г/л*, по составу она сульфатно-кальциевая. Однако эти реки маловодные и их сток не вызывает роста минерализации в Куре. Минерализация Куры несколько повышается (до 0,6 *г/л*) только после впадения в нее Аракса: состав воды становится преимущественно гидрокарбонатно-кальциевым, реже гидрокарбонатно-натриевым.

Минерализация и химический состав речной воды в замыкающем створе как показатель изменения водохозяйственных и почвенно-мелиоративных условий орошаемой территории. Согласно бассейновому методу анализа природно-мелиоративных условий орошаемых массивов все изменения галогеохимического состояния территории можно проследить по динамике минерализации в замыкающих створах (ниже орошаемых массивов).

При этом сведения по химизму речных вод начинают выступать в роли галогеохимического показателя, отражающего ту или иную ступень миграции солей в системе: грунтовые воды — породы — почвы — дренажная сеть — речные воды, которая в итоге складывается на определенных уровнях развития орошаемого земледелия.

Взаимосвязь между орошением и минерализацией речных вод прослеживается на рис. 29. Видно, что с увеличением орошаемой площади возрастает минерализация р. Куры, при этом некоторое уменьшение первой в 1940—1950 гг. понижает минерализацию. Более четко эта взаимосвязь обнаруживается по отдельным периодам лет водохозяйственного и мелиоративного строительства.

В истории орошаемого земледелия и бассейна Куры за последние 70—80 лет можно выделить пять этапов, различающихся по величинам орошаемой площади, вводу в действие водохранилищ, дренажных систем, крупных оросителей, а также по смене промывных и поливных норм, способов поливов и т. д.

I этап (до 1903 г.). Характеризует время весьма незначительного влияния хозяйственной деятельности человека на сток. Он охватывает последние столетия и завершается в начале XX в. Примерно до 1890 г. прилегающие к Куре пойменные и надпойменные ландшафты были представлены сетью озер, тростниковых болот, солончаками. Паводки ежегодно затопляли обширные территории. Особенно мощные разливы Куры и Аракса повторялись через каждые 3—5 лет и охватывали Муганскую, Сальянскую степи и достигали берегов Каспийского моря. При этом из почв и пород вымывалась масса солей. Под давлением больших объемов паводковых вод происходило вытеснение и отвод части минерализованных грунтовых вод через р. Куру за пределы степей.

Орошение в это время проводилось в приречных частях и по незасоленным хорошо дренированным участкам конусов выноса. Когда образовался рукав р. Аракса — Новый Аракс (1896 г.), появились новые массивы орошения в Сев. Мугани. Земли орошались способом затопления понижений при разливах р. Куры. Такой местный примитивный способ получил название чального. При нем склоны, прилегающие к понижениям, выполняли роль «сухого» дренажа, превращаясь в солончаки. Чем больше орошалось понижений, тем шире распространялась пло-

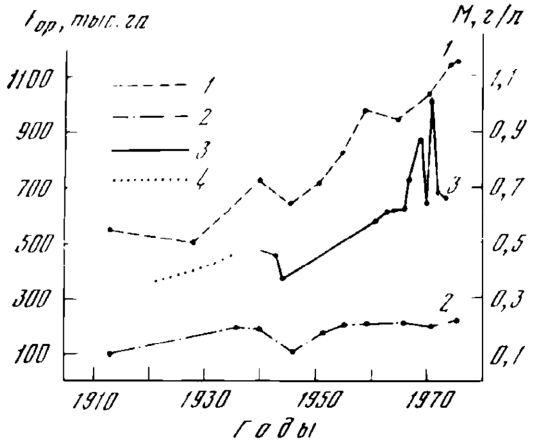


Рис. 29. Динамика роста орошаемых площадей в АзербССР и изменения минерализации воды в устье Куры

1 — вся орошаемая площадь;
2 — площадь под хлопачтником;
3 — среднегодовая минерализация речной воды в Куре, вычисленная по сведениям гидрологических ежегодников;
4 — минерализация речной воды по единичным данным

щадь солончаков. Так, в западной части Сев. Мугани, по данным С. А. Захарова (1904 г.), на площади 6 тыс. *га* размеры солончаков за 1902—1904 гг. увеличились в 1,4 раза (цит. по И. Д. Черниченко, 1977). Однако отсутствуют данные по химическому составу рек, которые могли бы характеризовать ирригационно-мелиоративный уровень бассейна в первом этапе. Видимо, воды р. Куры имели минерализацию менее 0,3 *г/л*, состав воды гидрокарбонатно-кальциевый, но с повышенным содержанием натрия и хлора во время паводков (табл. 17).

Таблица 17. Изменение среднегодовой минерализации и химического состава (% *мг-экв*) воды р. Куры (створы I Маяк и Устье) по этапам ирригационно-мелиоративного освоения бассейна в пределах Азербайджана

HCO_3^-	SO_4^{2-}	Cl^-	Ca^{2+}	Mg^{2+}	$Na^+ + K^+$ (по разности)	Минерализация, г/л	Состав воды	Использованные материалы
				I этап (до 1903 г.)				
Сведения не обнаружены						0,3	HCO_3 — Ca (предполагаемый)	
				II этап (1904—1929 гг.)				
Сведения единичные, отрывочные						0,3	HCO_3 — Ca с повышенным содержанием Na и Cl	
				III этап (1929—1954 гг.)				
29,4	13,9	6,6	26,1	9,7	14,1	0,37	HCO_3 — SO_4 — Ca, но много Na	Створ Сабирабад, 1944 г.
				IV этап (1955—1965 гг.)				
18,5	16,2	15,2	17,6	16,1	16,1	0,62	$HCO_3(SO_4)$ — Cl — — CaMg(Na)	Створ Устье, 1964 г.
				V этап (1966—1977 гг.)				
12,2	20,2	17,5	13,4	16,2	20,4	0,85	Cl — SO_4 — Na — — Mg	Створ I Маяк за 1970 г.

Основные хозяйственные признаки этапов.
I этап. Естественные природные условия.
II этап. Начало строительства оросителей. Примитивный чальный способ орошения; засоление повышений.
III этап. Расширение орошаемых площадей, отсутствие дренажа; преобладание солевой миграции из повышений (орошаемые массивы) в чальные понижения.
IV этап. Расширение орошаемых площадей на базе строительства новых ирригационных систем и Мингечаурского водохранилища. Начало строительства дренажа.
V этап. Активное строительство крупных коллекторно-дренажных систем.

II этап (1903—1929 гг.). Этап начался со времени завершения строительства крупных постоянно действующих каналов (Сараджалярский, Голицинский, Северо-Муганский, Нижнемуганский и др.), вдоль русел Куры и Аракса были построены заградительные валы, ликвидировавшие разливы рек.

Культурные земли продолжали орошаться чальным способом, что приводило к резкому подъему минерализованных грунтовых вод. Дренаж отсутствовал и поэтому осваиваемые земли быстро (через 2—3 года) засолялись и забрасывались. Вторичное засоление широко распространилось, и к середине этапа ранее незасоленные чальные понижения превратились в солончаки. Тогда стали орошать повышенные территории, сложенные хорошо фильтрующими песками и супесями. При орошении повышений чальные понижения стали еще более засоляться, так как в них концентрировались водно-солевые потоки. Процесс миграции солей от орошаемых повышений к понижениям в различных частях бассейна р. Куры продолжался долго.

Сведения по химическому составу р. Куры за данный этап весьма ограниченные. Минерализация ее была, видимо, более 0,3 *г/л* (см. табл. 17), а состав гидрокарбонатно-сульфатно-кальциевый, с повышенным содержанием натрия и хлора.

III этап (1929—1954 гг.). Началом его послужило строительство канала им. С. Орджоникидзе, Заболгарчайска и др. В эти годы расширены и укреплены старые оросители: Шаумяновский (б. Северо-Муганский), Ленинский (б. Нижнемуганский), Наримановский, Азизбековский.

Н. А. Димо отмечал, что в 1930-х годах в Кура-Араксинской низменности незасоленные почвы занимали 29,3%, слабозасоленные — 23,8%, средне- и сильнозасоленные — 32,2%; остальные — неудобные для орошения[1]. При этом на 70% низменности грунтовые воды находились на глубине 2—10 *м*, их минерализация равнялась 2—10 *г/л* (33% площади) и 30—40 *г/л* (21% площади) (Волобуев, 1948). Коэффициент земельного использования (КЗИ) был низок: например, только в Мугани в 1939—1940 гг. он равнялся 0,33; а в 1948 г.— 0,28 (Волобуев, 1967).

Орошение практически производилось без дренажа, поэтому минерализованные подземные воды не имели стока в реку, они застаивались, поднимались к поверхности почвы, испарялись и прогрессивно засоляли земли. Так, по данным Г. В. Захарьиной (1958), количество легкорастворимых солей в почвах на отдельных участках Мильской степи за 1928—1948 гг. в среднем увеличилось на 1,06% в верхнем метре почвы и на 0,78% на глубине до 3 м.

Так, в 1926 г. на всей орошаемой площади Мугани (45 тыс. *га*) засоленные почвы занимали 25,6%, к 1930 г. их площадь возросла до 32,6%. В 1939—1940 гг. засоленные земли занимали уже 70,9% Мугани (Аристов, 1946) [2].

Первые дренажные системы были запроектированы только в 1944—1948 гг. и построены позже, на небольших массивах в Муганской и Мильской степях. С началом работы дрен почвы начали постепенно рассоляться (Беседнов, 1958).

Средняя многолетняя минерализация воды р. Куры, установленная по данным гидрологических ежегодников, составляла 0,37 *г/л*, с явным гидрокабонатно-сульфатно-кальциевым составом и повышенным содержанием натрия.

IV этап (1954—1965 гг.). С 1954 г. вводится в строй Мингечаурское водохранилище, строятся крупные каналы: Верхне-Ширванский, Верхне-Карабахский и Главный Муганский. За счет их строительства водо-

[1] Цит. по В. А. Ковде (1946).
[2] Цит. по И. Д. Черниченко (1977).

забор на орошение к 1965 г. по сравнению с 1950 г. увеличился с 4,6 до 6,8 *км*³ (Кац, 1976). Величина орошаемой площади с 1955 до 1965 г. возросла с 832 тыс. до 953 тыс. *га*, а площади, занятые под хлопком,— с 200 тыс. до 215 тыс. *га* (Народное хозяйство АзербССР, 1972). На 1964 г. КЗИ увеличился до 0,63.

После строительства Мингечаурского водохранилища уровень грунтовых вод в зоне влияния р. Куры стал снижаться, прекратилось ранее наблюдавшееся затопление массивов (Исрафилов, 1972). На площадях, подкомандных Верхне-Карабахскому, Верхне-Ширванскому и другим новым каналам, и на орошаемых землях в результате повышения их водообеспеченности и КЗИ начался региональный подъем грунтовых вод до глубины 0,5—1,5 *м* (Кац, 1976). При этом они стали играть ведущую роль в формировании геохимических ландшафтов Кура-Араксинской низменности (Степанов, 1971).

В этот период были построены крупные коллекторы открытого типа, местами (Мугань, Сальяны) с перекачечными станциями. Общая площадь, охваченная дренажной сетью, составляла к 1965 г. около 188 тыс. *га*, из них на 113 тыс. *га* проведена капитальная планировка. Проведение мелиорации привело к рассолению земель, о чем свидетельствует понижение минерализации дренажных вод с 29,2 *г/л* (1954 г.) до 21,5 *г/л* (1964 г.) (Рудман, Нунпаров, 1967). Так, в Сев. Мугани строительство дренажа, промывки и отвод промывных и грунтовых вод резко изменили солевой режим почв на обширных площадях. За 17 лет работы дренажа (1950—1967 гг.) на площади 33 тыс. *га* из почв (толща 0—1 *м*) удалено от 57 до 118 *т/га* солей, что составляет 30—70% их исходного содержания. Площадь незасоленных и слабозасоленных земель возросла в три раза. Но в общем рассоление почв на фоне дренажа было очень медленным (Черниченко, 1977, Муратова, 1962).

Рост минерализации р. Куры продолжался (см. рис. 29) с 0,5 *г/л* (1954 г.) до 0,62 *г/л* (1964 г.). Состав воды гидрокарбонатно-сульфатно-кальциево-натриево-магниевый (см. табл. 17). Повышение минерализации воды р. Куры произошло в результате впадения в нее искусственных потоков грунтовых вод, созданных работой коллекторно-дренажной сети.

V этап (1966—1977 гг.). Начало этапа знаменуется окончанием строительства коллекторно-дренажных систем: Мильско-Карабахской, Главной Ширванской, Мугано-Сальянской, по которым сбросные воды отводятся в Каспийское море, минуя Куру, кроме Первого Прикуринского коллектора (с расходом воды 2,5 *м*³/*с*). Так, протяженность коллекторно-дренажной сети на Сев. Мугани в 1968 г. составила 1683 *км*, с удельной протяженностью 14—18 пог. *м/га*.

Величина орошаемой площади с 1966 по 1977 г. возросла с 953 тыс. *га* до 1130 тыс. *га*, из них под хлопчатником было занято около 220 тыс. *га*. Водозабор на орошение из разных источников в 1970 г. составил 7,1 *км*³, из них поверхностные воды дали 6,6 *км*³, а скважины 0,5 *км*³ (эксплуатировалось 170 артезианских и 1320 субнапорных скважин). Удельная водоподача равнялась 8,3 тыс. *м*³/*га*, местами до 12—15 тыс. *м*³/*га*. Было полито фактически 850 тыс. *га* при КПД оросительной сети 0,46. КЗИ с 0,63 в 1966 г. возрос до 0,8. Произведена реконструкция оросительной и дренажной сети: уменьшено междренное расстояние, строение новых и углубление существующих дрен до 2,5—3,5 *м*, проведение промывок в определенные сроки и в объемах, достаточных для опреснения почв, строительство мощных перекачечных станций для увеличения оттока дренажного стока. О величинах модуля и минерализации подземных вод в пределах равнинных районов АзербССР на этом этапе можно судить по рис. 30.

По данным института «Азгипроводхоз», в последние годы из бассейна р. Куры сбрасывается в Каспийское море 12,3 *км*³ воды ежегодно, в

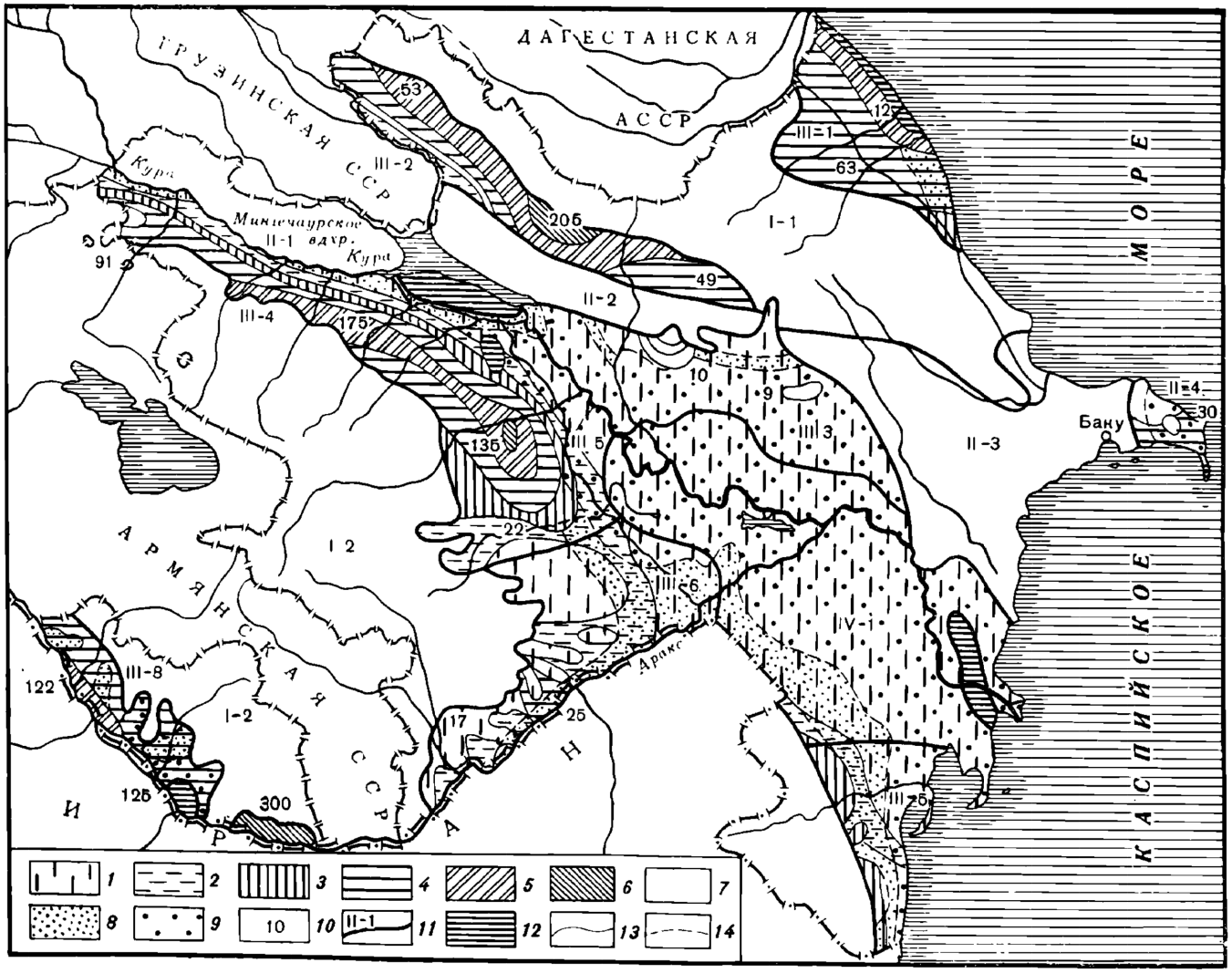


Рис. 30. Карта подземного стока равнинных и низменных районов АзербССР (по В. А. Листенгартену, Л. А. Красильщикову, 1977)

Среднегодовые модули стока, *л/сек·км²*;

1 — <1;
2 — от 1 до 3;
3 — от 3 до 5;
4 — от 5 до 10;
5 — от 10 до 20;
6 — более 20;

общая минерализация подземных вод, *г/л*:

7 — менее 1;
8 — от 1 до 3;
9 — более 3;
10 — коэффициенты подземного стока, %;
11 — границы и номера гидрогеологических районов;
12 — участки, где подземные воды отсутствуют;
13 — границы площадей с разной величиной модулей подземного стока;
14 — то же с разной минерализацией подземных вод

том числе Курой 10,8 *км*³ (минерализация 0,6—0,8 *г/л*), Главным Ширванским коллектором 0,7 *км*³ (минерализация 5 *г/л*), Мугано-Сальянским коллектором 0,8 *км*³ (минерализация 16 *г/л*).

На пятом этапе наблюдается активное рассоление зоны аэрации. С некоторых орошаемых массивов Сев. Мугани за последние шестнадцать лет работы дренажной сети из почв (толща 0—1 *м*) было удалено от 57 до 118 *т/га* солей, что составляет 30—70% их исходного количества. Площадь незасоленных почв возросла в три раза. В зоне I Прикуринского коллектора (северная часть Сев. Мугани) площади почв с засолением менее 0,5% к 1967 г. по сравнению с 1940 г. возросли в 3,3 раза, а среднее солесодержание почв (толща 0—1 *м*) уменьшилось на 27,1%, или на 34,7 *т/га* (Черниченко, 1977). По данным А. К. Алимова (1975), за 1954—1972 гг., т. е. за 18 лет, из орошаемых почв Сев. Мугани было отведено дренами до 8,7 тыс. *т* солей. На рассоляющий эффект мелиорации в пределах орошаемых массивов указывает также постоянное понижение минерализации дренажных вод.

Однако продолжающийся рост минерализации Куры, особенно в маловодные годы (см. рис. 29), позволяет полагать, что рассоляющий эффект не ограничивается верхней одно-трехметровой толщей (как это было в предыдущие этапы), а захватил более глубокие слои (10—15 *м*). Это предположение подтверждается результатами опытно-мелиоративной станции АзНИГИМ. Здесь с дренажными водами уже выносятся соли глубоколежащих толщ и заключенных в них минерализованных вод (Варунцян, 1969).

Д. М. Кац (1976) также считает, что в бассейне Куры рассолительный эффект коснулся уже и глубоких толщ, захватил также грунтовые потоки, подпитываемые высокоминерализованными напорными водами. Доля участия напорных вод в формировании грунтовых вод составляет 12—17% (Исрафилов, 1972), что, однако, находится в пределах точности расчета.

В силу указанной выше причины в этот этап продолжается ранее начавшийся рост минерализации: в среднем за этап до 0,85 *г/л* (см. табл. 17), повышаясь в маловодные годы до 1 *г/л* (см. рис. 29). Состав воды сменился на хлоридно-сульфатно-натриевый, при значительном содержании магния. Такая вода уже не пригодна для орошения и питья, а потому требует искусственной очистки.

Таким образом, химический состав воды Куры в нижнем течении отражает изменения мелиоративного состояния Кура-Араксинской низменности, т. е. и в данном бассейне существует тесная связь минерализации реки с размерами и засолением вышерасположенных орошаемых площадей. Этот вывод обосновывает применение бассейнового способа расчета будущей минерализации речной воды в рассматриваемых условиях.

Примеры расчета минерализации в замыкающих створах рек Куры и коллекторов, дренирующих орошаемые массивы. Орошаемая территория Кура-Араксинской низменности дренируется Курой, а также Главным Ширванским, Мильско-Карабахским, Мугано-Сальянским коллекторами, которые самостоятельно сбрасывают воды в Каспийское море. Поэтому вся орошаемая (т. е. эффективная) площадь разделена на четыре самостоятельных бассейна по зонам влияния коллекторных систем (рис. 31). Необходимый материал для расчетов по бассейновому способу удалось собрать для: 1) земель, дренированных Курой, и 2) участков, дренированных Мугано-Сальянским коллектором. По этой причине проверка бассейнового способа расчета будущей минерализации речных и коллекторных вод будет произведена только для этих двух массивов.

Проверка бассейнового способа для массивов орошения, связанных с Курой. Начальная минерализация воды Куры на данном участке равна

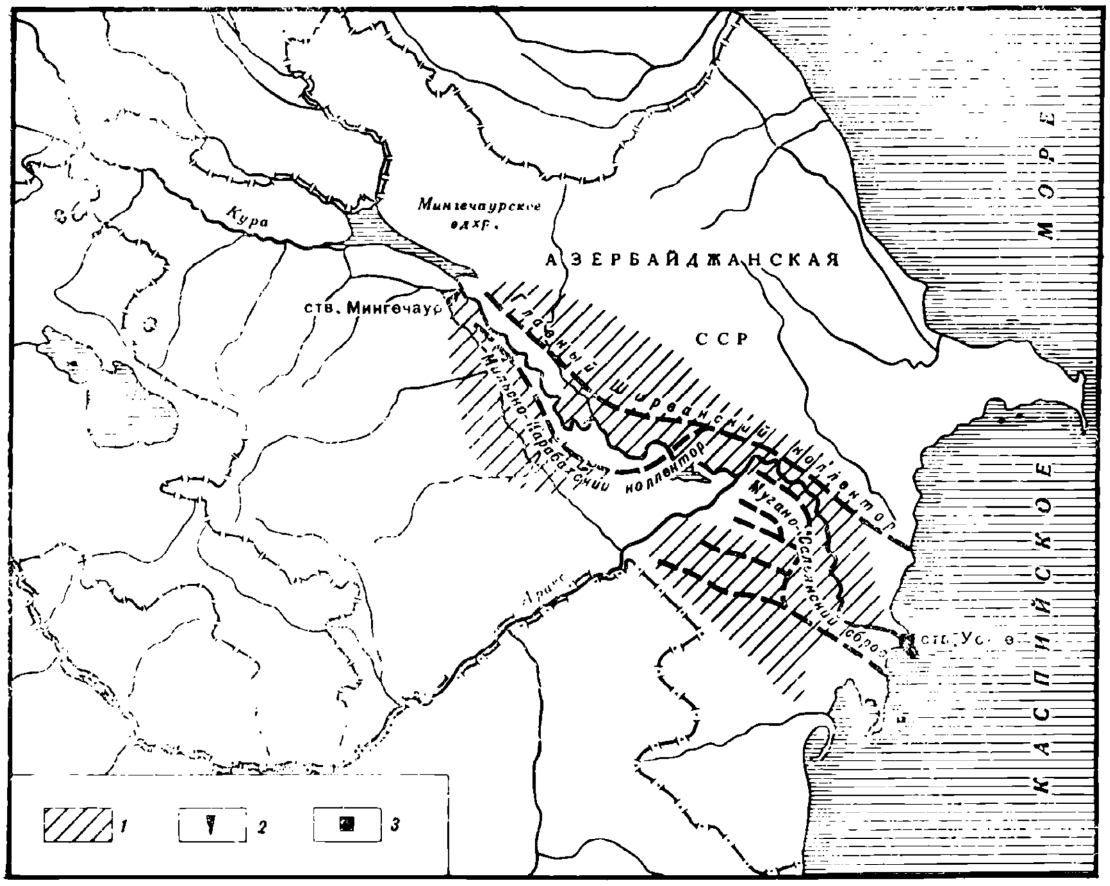


Рис. 31. Разделение Кура-Араксинской низменности на элементарные бассейны стока

1 — условные контуры эффективных орошаемых площадей по бассейнам стока; *2* — начальный створ; *3* — замыкающий створ

0,34 *г/л*, расход воды в среднем 407 $м^3/с$ (использованы среднемноголетние данные по створу Мингечаур). Эффективная площадь составляет 220 тыс. *га*. Это преимущественно среднезасоленные земли. Величина интегрального ландшафтно-геохимического показателя *а*, снятого с табл. 13, для этих условий (при расходах 400 $м^3/с$) равна 0,0025. Зная $M_{нач.}$, $F_{эф.}$ и *а*, можно рассчитать изменение минерализации воды р. Куры под влиянием орошения прилегающих к реке массивов для замыкающего створа и сравнить полученную величину с наблюдаемой минерализацией, а также определить расхождение и ошибку.

По формуле бассейнового способа (6) получено, что минерализация воды р. Куры в замыкающем створе в настоящее время должна иметь величину: $M_{зам.}=M_{нач.}+aF_{эф.}=0{,}34+0{,}0025\cdot220=0{,}34+0{,}55=0{,}89$ *г/л*.

Среднегодовая минерализация в устье реки в 1966—1970 гг. менялась от 0,62 до 0,89 *г/л* и в среднем за пять лет составила 0,72 *г/л*. Расхождение расчетной величины минерализации (0,82 *г/л*) с наблюдаемой (0,72 *г/л*) составляет 24%.

Проверка бассейнового способа при определении минерализации воды в устье Мугано-Сальянского коллектора. Необходимые для расчетов сведения позаимствованы из работы А. К. Алимова (1975), который охарактеризовал условия формирования дренажного стока с Мугано-Сальянского массива. Величина минерализации оросительной воды ($M_{нач.}$) для данного массива равна 0,58 *г/л*, величина водозабора (*Q*) 27,7 $м^3/с$, а дренируемая орошаемая площадь ($F_{эф.}$), подкомандная Мугано-Сальянскому коллектору, равна 137 тыс. *га*. Рассматриваемые земли очень засолены, а грунтовые воды сильно минерализованы, поэтому при расче-

тах по формуле бассейнового способа величина показателя *а* была взята из табл. 13 для графы «солончаки» и равна 0,13.

Расчетная минерализация в устье Мугано-Сальянского сброса оказалась равной: $M_{зам.}=M_{нач.}+aF_{эф.}=0{,}58+0{,}13\cdot137=18{,}4$ *г/л*. Фактическая минерализация воды в устье Мугано-Сальянского коллектора равна 16 *г/л*. Расхождения между расчетной и фактической величинами минерализации составили в этом случае 15%.

В заключение можно отметить, что несмотря на то, что бассейновый способ расчета и его формула получены для условий Средней Азии, их применение для Кура-Араксинской низменности показало достаточно хорошую сходимость с натурными данными. Однако для природно-мелиоративной обстановки Кура-Араксинской низменности необходимо разработать свои показатели *а*.

Влияние орошения на минерализацию воды р. Колорадо (США) [1]

Состояние проблемы изменения минерализации речной воды. Бассейн р. Колорадо выбран для проверки расчетной формулы не случайно. В последние годы в литературе приводится много сообщений о росте минерализации воды в р. Колорадо, и многие из исследователей указывают, что причиной этого является орошение.

По сведениям Б. Ирелана (Irelan, 1971), Т. Р. Винсента с Дж. Д. Расселом (Vincent, Russel, 1971), М. В. Холбурта и В. Е. Валантине (Holburt, Valantine, 1972), С. Гэйлорда (Shogerbol Gaylord, 1975), минерализация воды р. Колорадо под влиянием возвратных вод с полей орошения возросла за последние двадцать лет с 0,6 до 0,9 *г/л*. Советские исследователи (Ковда, 1977; Зонн, 1977), обобщая опыт мелиоративного освоения земель, отмечают, что в отдельных бассейнах западных штатов США (реки Колорадо, Рио-Гранде и др.) в связи с развитием орошения увеличивается минерализация речных вод.

Эти сообщения побудили нас выбрать бассейн р. Колорадо для проверки бассейнового способа, при этом нами использовался фактический материал по минерализации и химическому составу воды, помещенный в гидрологических ежегодниках США и в других публикациях.

Гидрологические особенности. Река Колорадо [2] — одна из крупнейших рек Северной Америки, берет начало на склонах Скалистых гор и впадает в Калифорнийский залив (рис. 32). Длина реки 2333 *км*; площадь ее бассейна 428 тыс. *км*^{2}, он охватывает части штатов: Вайоминг, Юта, Колорадо, Невада, Калифорния, Аризона и Нью-Мексико.

В верхнем течении р. Колорадо (створ Хот Салфур Спрингз — № 1 на рис. 32) расходы воды незначительны: 1,5—12,0 *м*^{3}*/с*, к створу Ли-Ферри (№ 4), замыкающему Верхнее Колорадо, они увеличиваются до 300—400 *м*^{3}*/с* за счет впадения многоводных притоков. На границе с Мексикой в р. Колорадо расходы воды уменьшаются за счет водозабора до 15—20 *м*^{3}*/с* (створ Юма — № 9). Поверхностные ресурсы бассейна составляют 17,0 *км*^{3} (Зонн, 1977).

Расходы воды в большинстве рек начинают увеличиваться весной, это увеличение продолжается до мая — августа, позже они значительно уменьшаются (рис. 33).

Почвенно-мелиоративные условия. Верховья бассейна Колорадо покрыты преимущественно бурыми полупустынными малокарбонатными малогипсовыми почвами, встречаются также горные коричневые и гор-

---

[1] Раздел написан совместно с Н. И. Сабитовой.

[2] В США имеются две реки под названием Колорадо: первая впадает в Мексиканский залив, вторая, изучаемая нами, более длинная и полноводная — в Калифорнийский залив.

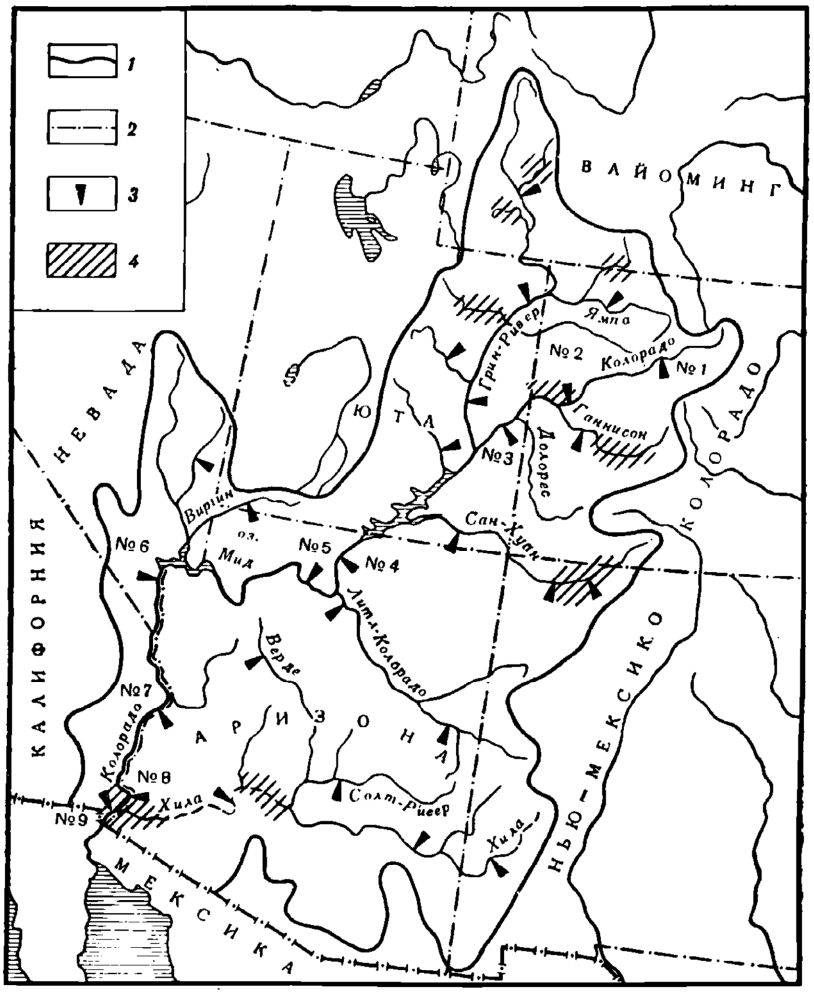


Рис. 32. Административное и гидрографическое деление бассейна р. Колорадо с указанием створов, на которых производится отбор проб воды на химический анализ

1 — граница бассейна (проведена орографически); *2* — граница штатов; *3* — гидрологические створы: № 1 — Хот Солфур Спрингз, № 2 — Камео, № 3 — Киско, № 4 — Ли Ферри, № 5 — Гранд Каньон, № 6 — плотина Гувера, № 7 — плотина Паркера, № 8 — плотина Империал, № 9 — Юма; остальные створы приведены без номеров; *4* — орошаемые массивы (в пределах проектов)

ные дерново-подзолистые почвы. В среднем течении отдельные площади заняты повышенно-карбонатными сероземами. В северо-западной части бассейна расположены маломощные сероземы и бурые полупустынные субтропические почвы. Низовья реки, начиная от оз. Мид до Калифорнийского залива, покрыты главным образом красновато-пустынными почвами (рис. 34).

По мелиоративным условиям бассейн р. Колорадо делится на Верхнее и Нижнее Колорадо. Минерализация грунтовых вод в большей части Верхнего Колорадо до 1 *г/л*, местами — 1—3 *г/л*. В Нижнем Колорадо также преобладают грунтовые воды с минерализацией до 1 *г/л*; в бассейне р. Хила, а также вдоль Колорадо ниже плотины Паркера минерализация повышается до 3,0 *г/л*. Минерализация грунтовых вод более 3,0 *г/л* наблюдается в районе Лас-Вегас, штат Невада.

Современные минерализация и химический состав речной воды р. Колорадо подвержены влиянию орошения и в меньшей степени — других факторов (впадение более минерализованных притоков, выклинивание высокоминерализованных родников, регулирование водохранилищами и др.).

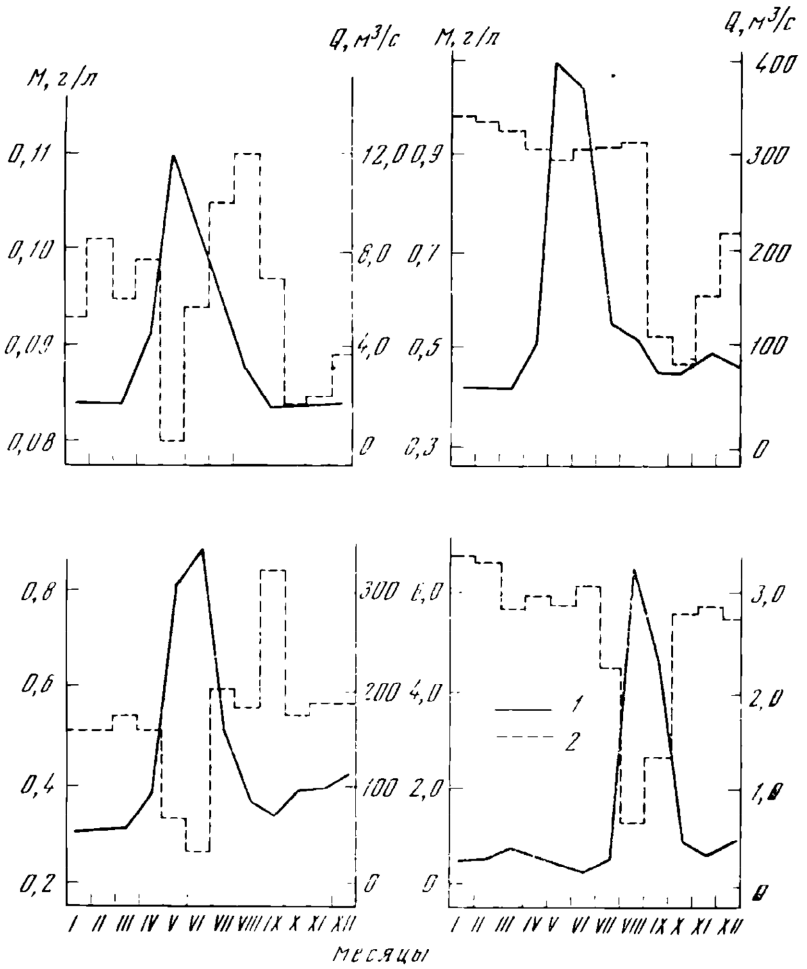


Рис. 33. Внутригодовое распределение расходов (Q) и минерализации (M) воды некоторых рек бассейна Колорадо в 1964 г.

1 — гидрограф воды; *2* — хронограф минерализации

В верховьях р. Колорадо, где орошение отсутствует (створ Хот Солфур Спрингз —№ 1 на рис. 32), минерализация воды низкая (0,05—0,18 *г/л*), вода по составу гидрокарбонатно-кальциевая. Однако ниже по течению под влиянием орошаемых земель проекта долины Гранд[1] и впадения небольших притоков минерализация воды у створа Камео (№ 2) возрастает в среднем до 0,47 *г/л*, состав воды преимущественно гидрокарбонатно-кальциевый.

Ниже по течению в р. Колорадо впадают реки Ганнисон и Долорес, в бассейнах которых также расположены орошаемые массивы. Минерализация воды здесь (створ Киско, № 3) в среднем 0,74 *г/л*, состав воды большую часть года сульфатно-кальциевый, иногда сульфатно-натриевый. Створ Ли Ферри (№ 4) уже учитывает влияние притоков Грин-Ривер (правый) и Сан-Хуан (левый), в бассейнах которых также имеются значительные орошаемые площади. Минерализация равна в среднем 0,61 *г/л*, состав сульфатно-натриевый.

Следующие гидрологические створы расположены в пределах Нижнего Колорадо: Гранд Каньон (№ 5), плотина Гувера (№ 6), плотина Паркера (№ 7), плотина (№ 8) и Юма (№ 9). В этой части бассейна

[1] Под проектом подразумевается составление схемы развития орошения в пределах какого-либо бассейна с указанием величин и характера крупных и мелких каналов, водохранилищ, коллекторов, дрен, орошаемых площадей и т. д. В работе проектом авторы называют построенный комплекс гидротехнических сооружений.

минерализация воды изменяется вследствие регулирования стока в водохранилищах Мид, Мохаве, Хавасу, а также поступления возвратных вод с орошаемых массивов проектов Хила, Юма, дополнительный Юма. Минерализация воды от створа Гранд Каньон до створа Юма возрастает в среднем от 0,67 до 0,91 *г/л*, состав воды в течение всего года сульфатно-натриевый.

В период половодья вода в верховьях бассейна р. Колорадо преимущественно гидрокарбонатно-кальциевая, в среднем течении она сульфатно-кальциевая, а в низовье — сульфатно-натриевая. В межень вода на большей части реки преимущественно сульфатно-натриевая (рис. 35).

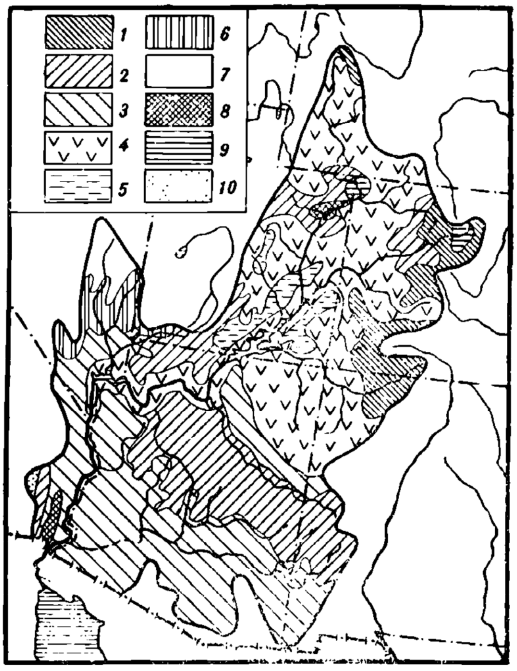


Рис. 34. Почвенный покров бассейна р. Колорадо (Фрагмент почвенной карты мира под редакцией В. А. Ковды, Е. В. Лобовой. М., 1975)

Почвы:

1 — горные дерново-подзолистые;
2 — горные коричневые;
3 — красновато-коричневые;
4 — бурые полупустынные малокарбонатные малогипсовые;
5 — сероземы повышенно карбонатные;
6 — бурые полупустынные субтропические;
7 — сероземы маломощные;
8 — пойменные аллювиальные;
9 — неразвитые;
10 — горные коричневые выщелоченные

Проследим изменение среднегодовой минерализации за 1926—1970 гг. по отдельным створам, расположенным в Нижнем Колорадо (рис. 36). У створа Ли Ферри, несмотря на влияние водности отдельных лет, примерно с 1953 г. несколько повышается минерализация речной воды; это продолжается и у створа Гранд Каньон после впадения Литтл Колорадо. У плотины Гувера минерализация подвержена бо́льшим колебаниям, что обусловлено регулированием стока в водохранилище Мид. Ниже по течению, у плотины Паркера, минерализация воды подвержена большим внутригодовым колебаниям; это объясняется влиянием водозабора.

В низовьях реки, у плотины Империал, с 1954—1956 гг. также повышается минерализация р. Колорадо, что связано с поступлением возвратных вод с орошаемых массивов. Здесь за 1941—1965 гг. минерализация возросла в среднем с 0,70 до 0,81 *г/л*.

Этапы в истории орошаемого земледелия. Орошаемое земледелие в США (в том числе и в бассейне р. Колорадо) развивалось неравномерно. В истории развития орошения выделено четыре этапа, определяющих различные степень и характер миграции солей из почв в грунтовые воды и в реки. Эти различия в освоении орошаемых территорий отразились на минерализации и химическом составе речной воды в замыкающем створе.

I этап (со времен средневековья до 1870 г) [1]. К 1870 г. в бассейне р. Колорадо стали появляться поселения белых колонистов. До их при-

[1] Ирригационная культура «хохокам», существовавшая в более ранний период, нами не рассматривается.

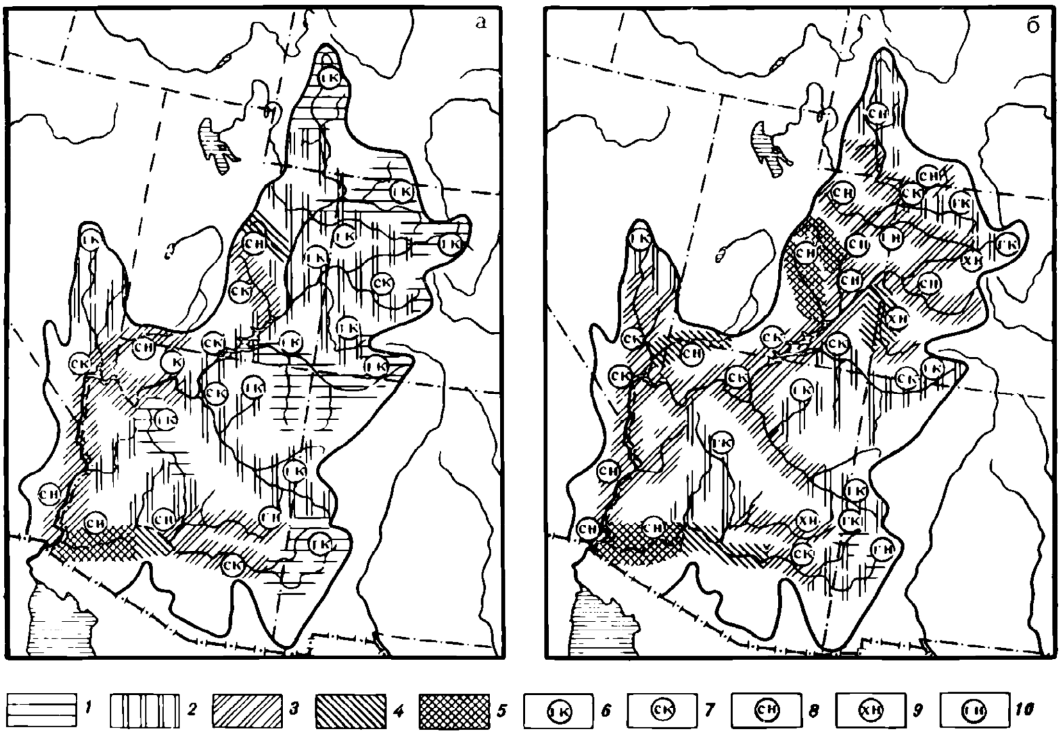


Рис. 35. Распределение минерализации (*г/л*) и химического состава речных вод бассейна р. Колорадо (США) за 1965—1970 гг. для половодья (*а*) и межени (*б*)

Минерализация: *1* — до 0,2; *2* — от 0,2 до 0,5; *3* — от 0,5 до 1,0; *4* — от 1,0 до 2,0; *5* — от 2,0 до 5,0. Состав: *6* — гидрокарбонатно-кальциевый; *7* — сульфатно-кальциевый; *8* — сульфатно-натриевый, *9* — хлоридно-натриевый; *10* — гидрокарбонатно-натриевый

хода орошение здесь существовало, но было примитивным. Земли поливались самотеком из каналов, построенных индейскими племенами; площадь орошаемых земель не превышала 60 тыс *га*, протяженность ирригационных каналов была незначительна, дренажная сеть отсутствовала (Маслов, Нестеров, 1967; Израэльсен, 1956; Торн, Петерсон, 1952; Оуэн, 1977).

Одно из первых поселений колонистов образовалось в 1853 г. в долине р. Смит Форк, на 14 км выше Форта Бридж. В конце XIX в. подобные поселения возникли и в долинах других рек (Грин-Ривер, Сан-Хуан и др.), сток которых можно было использовать для ирригации. При этом паводки часто разрушали плотины и губили урожай.

В первые годы оросительные системы были простыми: вода отводилась при помощи каменных или земляных плотин через открытые каналы; орошались легкодоступные земли. Несколько позже стали применять и более сложные гидротехнические сооружения. По мере более полного использования речного стока становилось ясным, что его объем со временем будет недостаточным для дальнейшего развития орошения. Поэтому, чтобы увеличить объем речных вод во время поливного сезона, с конца XIX в. началось строительство небольших водохранилищ.

Сведения о минерализации и химическом составе воды р. Колорадо в ее нижнем течении за этот этап отрывочны. По-видимому, минерализация воды была равна 0,4—0,5 *г/л*, а состав — преимущественно гидрокарбонатно-кальциевый (табл. 18).

II этап (1870—1920 гг.). Освоение земель под орошение производилось фермерами. В 1882 г. был построен канал в бассейне р. Гранд. В бассейне р. Колорадо в это время орошалось около 180 тыс. *га*. (Пославский, Головин, 1934). На освоенных землях стали подниматься грунтовые воды, что приводило к вторичному засолению и заболачиванию.

Стало необходимо строительство дренажа. В первые годы борьбы с подъемом уровня грунтовых вод применялись небольшие дрены или гончарные трубы. Однако впоследствии было создано Бюро мелиорации, которое до освоения массивов под орошение требовало предварительного составления водохозяйственных проектов.

В этот период началось строительство систем Солт-Ривер (в бассейне р. Хила). Проектом было предусмотрено оросить 96 тыс. *га* (Reclamation Project Data, 1961), причем не только стоком рек Солт и Верде, но и грунтовой водой из 250 скважин. Первые гектары земель стали орошать в 1907 г. В результате орошения, ввода на отдельных участках дренажа, а также применения откачки из скважин наблюдалось слабое увеличение минерализации воды р. Колорадо. По Кларку (Clarke, 1924) и Гидрологическим ежегодникам (Quality of Surface Water..., 1970), минерализация воды в створе, замыкающем Нижнее Колорадо (створ Юма), возросла до 0,69 г/л, химический состав воды изменился и стал сульфатно-кальциевым (см. табл. 18).

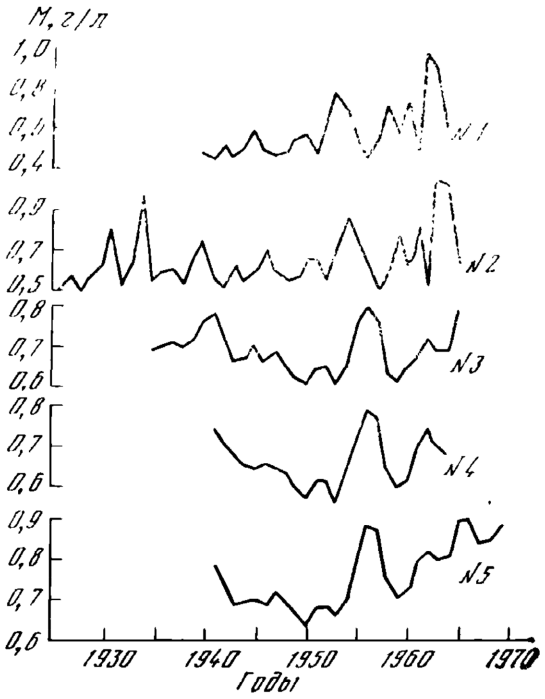


Рис. 36. Изменение среднегодовой величины минерализации воды р. Колорадо за 1926—1970 гг. в створах: Ли Ферри (№ 1), Гранд Каньон (№ 2), плотина Гувера (№ 3), плотина Паркера (№ 4), плотина Империал (№ 5)

Второй этап освоения закончился в 1920 г., так как с 1920—1923 гг. заметно повысился уровень орошаемого земледелия и мелиоративного строительства; количество строящихся систем резко возросло, стал интенсивно применяться дренаж.

III этап (1920—1960 гг.). За начало этапа приняты годы, когда были пересмотрены некоторые вопросы использования водного стока р. Колорадо. В 1922 г. бассейн был условно разделен на Верхнее и Нижнее Колорадо. На Верхнее Колорадо приходилось 9,8 *км*^{3} воды (The Nation's Water Resources, 1968).

Этап характеризуется широко развернувшимся строительством водохозяйственных объектов и освоением крупных массивов под орошение. Среди них следует отметить в Верхнем Колорадо — проекты Идн, Сейвери пот Хук, а в Нижнем Колорадо — проекты Хила, Юма и дополнительный Юма. Орошение постоянно развивалось. Так, например, только в пределах района Хила орошаемая площадь с 1948 по 1958 г. увеличилась с 7,0 до 27 тыс. *га*. Повсеместно строился дренаж. Длина дренажной сети в пределах 24 тыс. *га* орошаемых земель проекта Юма составила в 1958 г. около 350 *км*. В Верхнем Колорадо на 16 тыс. *га* орошаемых земель долины Гранд дренажная сеть составила 265 *км*. К 1960 г. орошаемая площадь в бассейне Колорадо увеличилась до 1156 тыс. *га* (The Nations'Water Resources, 1968).

Значительный объем водохозяйственных работ был выполнен в Верхнем Колорадо после принятия в 1956 г. проекта Колорадо. По этому проекту намечалось строительство следующих плотин: Глен Каньон на р. Колорадо, Флейминг-Гордж на р. Грин-Ривер, Навахо на р. Сан-Хуан и Кureханти на р. Ганнисон.

Таблица 18. Изменение среднегодовой минерализации и химического состава (% *мг-экв*) воды р. Колорадо (по створу Юма) по этапам ирригационно-мелиоративного освоения ее бассейна

Содержание ионов, %-*экв*						Минерализация, *г/л*	Состав воды	Использованные материалы
HCO_3	SO_4	Cl	Ca	Mg	Na			
			I этап (от средневековья до 1870 г.)					
		Нет данных				0.4—0,5	HCO_3 — Ca	Пославский, Головин (1935); Оуэн (1977)
			II этап (1870—1920 гг.)					
24,2	21,5	9,7	26,1	3,1	15,2	0,69	HCO_3 — SO_4 — Ca с высоким содержанием Na	Кларк (Clarke, 1924)
			III этап (1920—1960 гг.)					
18,2	21,9	13,0	20,3	6,9	19,7	0,74	$SO_4(HCO_3)$ — Na(Ca) с высоким содержанием Cl	Ирелан (Irelan, 1971)
			IV этап (1960—1976 гг.)					
9,55	26,7	14,4	18,6	9,05	21,8	0,91	SO_4 — Na с повышенным содержанием Cl	Гидрологические ежегодники (Quality of Surface Water . . ., 1970)

Основные водохозяйственные признаки этапа:

I этап. Примитивное орошение небольших по размерам площадей. Отсутствие дренажа.

II этап. Увеличение орошаемой площади, рост засоленных территорий из-за подъема грунтовых вод. Начало строительства дренажных систем.

III этап. Значительное развитие строительства и эксплуатации водохозяйственных сооружений, оросительной и дренажной сети. Заметное поступление дренажных вод в реку. Доминирование горизонтального дренажа, применение вертикального дренажа и использование грунтовых вод на орошение.

IV этап. Расширение орошаемой площади. Применение опреснителей для борьбы с дальнейшим увеличением минерализации в р. Колорадо. Комплексное использование вертикального и горизонтального дренажа, магазинирование грунтовых вод.

В Верхнем Колорадо в долине Гранд грунтовые воды стали представлять серьезную проблему, так как при их испарении происходила аккумуляция солей в почвах. К 1952 г. около 25% земли этой долины подвергалось сильному засолению и стало в большей части непродуктивной (Эванс, 1966). Такая же картина наблюдалась и в других орошаемых массивах бассейна.

К концу этапа в водопользовании бассейна р. Колорадо наметились следующие тенденции. Во-первых, в низовьях реки часть воды стала отбираться Панамериканским каналом для орошения земель, расположенных в долине Коачелла (Ковда, 1977). Во-вторых, минерализация воды нижнего течения р. Колорадо в связи с поступлением возвратных вод с орошаемых полей продолжала увеличиваться. Это обеспокоило ирригаторов Мексики и вопрос об использовании воды р. Колорадо в пределах США и Мексики приобрел межнациональный характер. По данным Б. Ирелана (Irelan, 1971), минерализация воды в р. Колорадо в среднем увеличилась до 0,74 *г/л* (см. табл. 18). Состав воды стал преимущественно сульфатно-натриевым, однако содержание гидрокарбонатов и иона кальция оставалось еще высоким.

IV этап включает годы современного уровня орошаемого земледелия (1960—1976 гг.). Несмотря на дефицит речного стока и рост минерализации в нижнем течении р. Колорадо, орошаемая площадь в бассейне продолжала увеличиваться и к 1965 г. достигла 1,2 млн. *га*. На этом этапе развитие орошения базировалось на: а) дальнейшем регулировании речного стока, б) продолжающейся откачке грунтовых вод, в) использовании межбассейновых переброс стока, г) опытах по уве-

личению стока в реках за счет искусственно вызванного выпадения осадков.

Проекты последних лет (например, Центральная Аризона) становятся более комплексными и многоцелевыми. Они удовлетворяют потребности не только орошения, но и энергетики, рыбного хозяйства, промышленности, быта, а также регулируют объемы проходящих паводков. По данным, помещенным в сборниках по ирригации и дренажу (Upper Colorado Region, 1971; Lower Colorado Region, 1971), орошаемое земледелие на 1965 г. можно охарактеризовать следующими цифрами. В Верхнем Колорадо из всей орошаемой площади (0,65 млн. *га*) подземными водами поливалось всего 8,5 тыс. *га*, а в Нижнем Колорадо, где расположено 0,55 млн. *га* орошаемых земель, подземными водами поливалось 0,42 млн. *га*. Наибольшая территория в Верхнем Колорадо была занята: лугами и пастбищами (67% от всей орошаемой площади), люцерной (20%), злаками (6%), другими культурами (7%). В Нижнем Колорадо орошаемые площади были заняты следующими сельскохозяйственными культурами: хлопок — 31%, люцерна — 18, сорго — 17, ячмень — 15, пастбища — 8, овощи — 7 и цитрусовые — 4%. Протяженность оросительных каналов в Верхнем Колорадо составила 23 800 *км*, в Нижнем Колорадо — 11 830 *км*.

Общее количество водохранилищ (суточного, сезонного и многолетнего регулирования) в Верхнем Колорадо достигло 929, в Нижнем Колорадо — 1001. В Верхнем Колорадо дренажем было охвачено 34 800 *га* орошаемой площади, длина открытых дрен и гончарных труб составила 1300 *км*. В Нижнем Колорадо длина дренажной сети 494 *км*.

V этап. На этом этапе ирригационно-мелиоративного освоения бассейна наблюдается отчетливое влияние орошения на минерализацию речной воды. Так, из-за увеличения объема возвратных вод с орошаемых полей проектов Юма и дополнительный Юма, а также сброса дренажных вод по коллектору Велтон-Мохау минерализация воды в замыкающем створе р. Колорадо (створ Юма) в среднем увеличилась до 0,91 *г/л*, состав воды стал сульфатно-натриевым в течение всего года. Возросло содержание хлора (см. табл. 18).

Проверка бассейнового способа расчета будущей минерализации. Из вышеприведенных сообщений следует, что минерализация воды р. Колорадо возросла в основном в нижнем течении, при выходе реки на территорию Мексики. Поэтому бассейновый способ расчета прогнозной минерализации нами проверен для территории Нижнего Колорадо. Наиболее крупные орошаемые массивы в этой части бассейна расположены в долине р. Солт-Ривер, непосредственно в долине р. Колорадо, при впадении в нее р. Хила, и в долине Коачелла (рис. 37).

Расчеты по формуле произведены только для массива, расположенного в долине р. Колорадо (проект Юма), так как остальные два массива (Хила и Коачелла) на минерализацию ее воды не оказывают влияния. За начальный створ, который расположен выше орошаемых массивов проекта Юма, принят пост у плотины Паркера. Расходы воды в реке здесь в среднем равны 360 $м^3/с$, начальная минерализация — 0,72 *г/л* (по данным, приведенным в Гидрологических ежегодниках США). По степени засоления орошаемые земли проекта Юма следует отнести к среднезасоленным (Глазовская, 1975; Ковда, 1977).

По данным, помещенным в справочнике, на территории Нижнего Колорадо в 1965 г. орошалось 550 тыс. *га* (Lower Colorado Region, 1971). Из них, по нашим расчетам, только 100 тыс. *га* оказались эффективными ($F_{эф}$). Для этих начальных условий величина интегрального ландшафтно-геохимического показателя a равна 0,0025 (табл. 13). Подставляя в расчетную формулу (6) имеющиеся значения $M_{нач.}$, $F_{эф.}$, и a, находим $M_{зам.}$

$$M_{зам.} = M_{нач.} + aF_{эф.} = 0{,}72 + 0{,}0025 \cdot 100 = 0{,}97 \text{ г/л}.$$

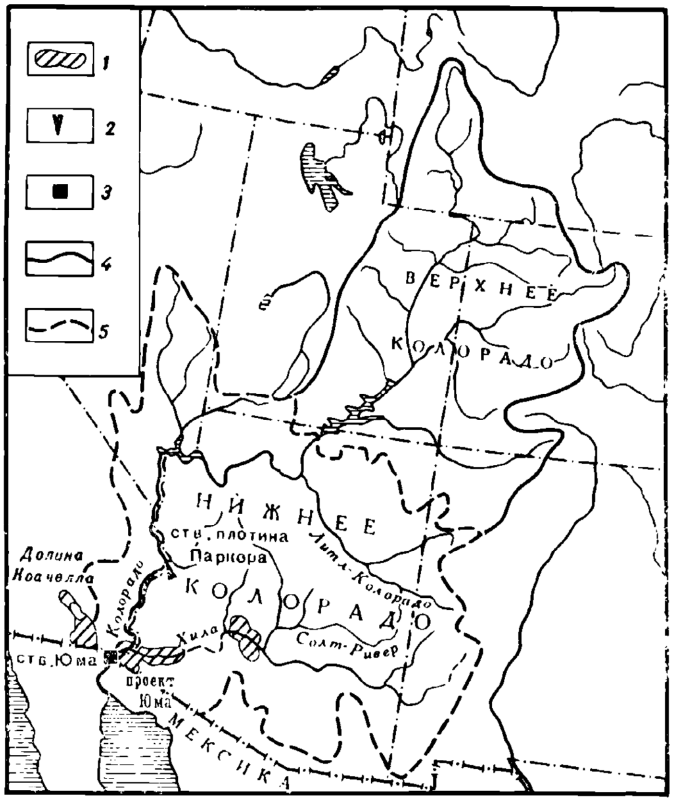


Рис. 37. Расчет минерализации воды бассейновым способом (Нижнее Колорадо)

1 — орошаемая площадь; *2* — начальный створ, *3* — замыкающий створ; *4* — граница бассейна Колорадо; *5* — границa Нижнего Колорадо

Это значит, что в замыкающем створе Юма минерализация речной воды Колорадо за счет орошения известной площади должна увеличиться до 0,97 *г/л*. Средняя величина фактической минерализации, наблюдаемой в р. Колорадо у этого створа (по данным ежегодников), оказалась равной 0,91 *г/л*. Следовательно, ошибка вычисления равна 7%.

Определение показателя *a* для некоторых орошаемых массивов США. Исследования по водно-солевому балансу, проведенные С. А. Бавером, Дж. Р. Спенсером, Л. О. Вииксом (Bower, Spencer, Weeks, 1969), позволяют рассчитать величину показателя *a* для одного из орошаемых массивов, расположенных в долине Коачелла [1].

Величина водозабора изменялась от 11,7 до 13,6 $м^3/с$, начальная минерализация оросительных вод равна 0,78 *г/л*. Земли массива преимущественно сильнозасоленные. Эффективная орошаемая площадь с 1957 по 1965 г. увеличилась от 4,4 до 13 тыс. *га*. Минерализация дренажных вод ($M_{зам.}$), отводимых из орошаемого массива, составила 2,25—2,51 *г/л*. Для этих условий показатель *a* равен: в 1957 г.

$$a=\frac{M_{зам.}-M_{нач.}}{F_{эф.}}=\frac{2{,}25-0{,}78}{4{,}4}=0{,}33;$$ в 1965 г. соответственно 0,13.

Если сравнить эти величины с показателями *a*, найденными для условий Средней Азии (см. табл. 13), то обнаружим между ними лишь небольшие расхождения. Табличные величины *a* для рассмотренных начальных значений $Q_{нач.}=0{,}13$ и 0,20. Этот пример также свидетельствует об объективности бассейнового способа расчета прогнозной минерализации речных вод.

---

[1] Фактический материал заимствован из работы В. А. Ковды (1977, с. 230).

Влияние процесса повышения минерализации речных вод в связи с орошением проявляется в различных по природным и водохозяйственным условиям бассейнах (долины рек Средней Азии, Кура-Араксинская низменность, Нижнее Колорадо). Во всех случаях с ростом орошаемой и дренируемой рекой площади пропорционально увеличивается минерализация воды и изменяется ее химический состав. Эта взаимосвязь позволяет не только прогнозировать минерализацию воды в реках, коллекторах и каналах, но и судить о геохимическом состоянии орошаемых территорий при различном уровне ирригации и мелиорации.

ГЛАВА 6

МЕРЫ БОРЬБЫ С ПОВЫШЕНИЕМ МИНЕРАЛИЗАЦИИ И УХУДШЕНИЕМ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА РЕЧНЫХ ВОД

Охрана качества речных вод

Проблема ухудшения качества речных вод требует самого пристального внимания. Необходимы меры, предупреждающие, ограничивающие и полностью исключающие загрязнение рек. Постановление Совета Министров СССР от 22 апреля 1960 г. «О мерах по упорядочению использования и усилению охраны водных ресурсов СССР» — важный шаг в этом направлении.

Водоохранные мероприятия в бассейне. Водохозяйственные охранные мероприятия часто ограничиваются руслами и поймами рек. Но не следует забывать, что в процессе загрязнения рек и водоемов участвует вся площадь водосбора, от водораздела до поймы. Загрязнитель, попавший в почву, а через нее в грунтовые воды в точке, отстоящей от реки на десятки километров, через некоторый промежуток времени поступит в русло реки и ухудшит качество ее воды. Поэтому водоохранные мероприятия должны проводиться на всей территории бассейна реки. Они должны быть тесно связаны с мерами по охране и рациональному использованию почв, лесных массивов, сельхозугодий, земель, занятых городами, селами, шахтами и заводами. Борьба за улучшение качества речных вод должна проводиться на различных административно-производственных уровнях с учетом социально-экономического развития региона и прогресса научно-технической революции. На улучшение качества воды уже сейчас в Средней Азии расходуются десятки миллионов рублей. Формы борьбы за улучшение качества воды могут быть следующими: 1) инженерно-техническими, 2) административными, 3) научно-исследовательскими. Под первыми мы понимаем проведение в жизнь конкретных инженерных решений, под вторыми — организацию службы учета, охраны и рационального использования воды, под третьими — разработку научных основ охраны. Эти формы базируются на фундаментальных научно-теоретических разработках и научно обоснованных почвенных, гидрологических, географических, мелиоративных прогнозах.

Инженерно-технические формы борьбы. Усилия производственных организаций должны быть направлены на проведение инженерно-технических мероприятий по следующим объектам: I — в руслах рек, II — в прибрежной полосе, III — на дренированных руслами рек территориях, IV — в крупных регионах, охватывающих несколько бассейнов (например, в целях осуществления межбассейновых переброс ок).

В руслах рек для уменьшения минерализации речной воды и улучшения ее качества в будущем, возможно, будут проводиться следующие мероприятия.

1. Строительство опреснительных установок. По нашим приближенным расчетам, повышение минерализации речной воды на 1 *мг/л* дает убыток в 300—500 тыс. руб. в год. Если принять, что в 1980 г. минерализация р. Сырдарьи будет равна 2—2,5 *г/л*, то при среднем убытке 400 тыс. руб. на каждый 1 *мг/л* общий ущерб за счет лишь повышения минерализации (не считая изменения качества воды) составит 1 млрд. руб. в год.

Существует несколько способов опреснения минерализованных вод: термо-дистилляционное (многоступенчатые системы мгновенного испарения и многокорпусные выпарные установки), электрохимическое (электродиализ или электроионитный процесс), электроосмос, вымораживание, гелиоопреснение и др. Пока опреснительные установки, как правило, экономически невыгодны, но в скором времени будут разработаны новые, технически более совершенные, эффективные и недорогие способы получения пресной воды. Некоторые зарубежные фирмы опресняют минерализованную воду рек, расходуя при этом 6 коп. на 1 $м^3$ воды. Поэтому уже сейчас в разрабатываемых проектах должны быть указаны места расположения опреснительных комплексов, определены режим их работы, а также объемы деминерализации воды.

2. Строительство заводских комплексов по переработке местных полезных ископаемых (гипса, известняков и других содержащих кальций, микроэлементы и т. п. пород) для их обогащения, измельчения и механического внесения в речную воду в целях «подкормки», повышения кальциевого резерва.

3. Сооружение подземных водоупорных плотин поперек реки и поймы (с заглублением на 20—30 *м*) для сбора подрусловых и боковых пресных аллювиальных потоков, их подъему в результате подпора и аккумуляции в русле.

4. Механическая подкачка подрусловых и пойменных подземных пресных вод для смешения и разбавления с речной водой в целях получения дополнительного объема воды.

5. Создание биологических фильтров, т. е. транзитных водоемов, населенных фауной и флорой, способной обессоливать и очищать воду от токсичных примесей, повышать растворимость одних соединений и осаждать другие. Меры по борьбе с «тепловым загрязнением» (повышением температуры речной воды вследствие сброса нагретых вод тепловых электростанций).

По мнению Л. В. Дунина-Барковского, В. С. Каминского (1976), в качестве биологических фильтров целесообразно использовать высшие водные растения. Авторы указывают, что «макрофиты практически полностью извлекают из сточных вод азот и фосфор, минеральные соли (в том числе хлориды и сульфаты) в количестве около 6 *т/га*». Ими предлагается использовать для этих целей тростник, камыш, рогоз, осоки, которые выкашиваются один раз в два года, чтобы вынести за пределы очистного сооружения части растений, насыщенные балластными веществами.

В. Н. Карнаухов (1976) считает, что активными очистителями речной воды являются двустворчатые моллюски. Пропуская сквозь себя воду, они отфильтровывают взвешенные твердые частицы, а также органические остатки. Такие широко распространенные виды, как перловица и беззубка, профильтровывают в сутки 20—30 *л* воды. В идеальных условиях на участке реки шириной 200 *м* и длиной 100 *м* моллюски (100—200 экземпляров на 1 $м^2$) могут очистить от взвесей объем воды, необходимый для снабжения города с населением в 100 тыс. человек.

Очистительное влияние водорослей на качество воды обусловлено процессами фотосинтеза и выделением кислорода. Однако существуют пределы их влияния на качество воды. Так, например, синезеленые водоросли при содержании в воде до 100 мг сухого вещества на 1 *л* выполняют очистительную функцию, а при 200 *мг* и более — загрязнительную.

6. Периодический, особенно в критические моменты, дополнительный пропуск воды из каскада естественных и искусственных озер в целях увеличения расходов и разбавления минерализованных речных вод.

7. Направленное регулирование теплового режима процессами таяния снежников и ледников высокогорий. Для этого может быть использовано загрязнение поверхности снегов и льдов, разведение на их поверхностях пигментной микрофлоры, аккумулирующей солнечную энергию и питательные вещества. Однако регулирование их режимов требует особой осторожности.

В прибрежной полосе рек (или крупных каналов) на расстоянии 5—10 *км* по обе стороны проводятся следующие водоохранные мероприятия:

1. Создание по берегам (но не в пойме!) заповедной лесо-курстарниковой парковой полосы. В этой полосе должно быть запрещено строительство предприятий, загрязняющих окружающую среду.

2. Борьба с зарастанием русла и поймы рек и откосов каналов влаголюбивой растительностью, обладающей высокой транспирирующей способностью. Эти растения значительно уменьшают расходы рек и каналов, замедляют движения водных потоков, что также увеличивает испарение.

3. Прокладка по берегам рек и крупных каналов (вне зоны инфильтрации) коллекторов с целью перехвата и транспорта за пределы оазисов минерализованных грунтовых и возвратных вод повышенных территорий.

Особое внимание уделяется строительству Транстуранских коллекторов, которые отведут дренажные воды в конечные водоемы — в Аральское и Каспийское моря. Один из таких коллекторов — Транскызылкумский (по левой стороне Сырдарьи) и Транскаратаусский (по правой стороне Сырдарьи) — должен перехватывать все минерализованные воды, стекающие в Сырдарью в среднем и нижнем ее течении, и отводить их в Аральское море. Другие крупные коллекторы пройдут по территории Туркмении. Один из них вдоль Копетдага — Транскаракумский, отводящий в Каспийское море дренажные и возвратные воды Мургабского, Тедженского оазисов и орошаемых массивов предгорных равнин Копетдага, Больших и Малых Балхан; другой — Келифузбойский — Унгузский, перехватывающий возвратные воды североафганских орошаемых массивов, прибрежных орошаемых массивов Амударьи и Каракумов, для отвода их в Каспийское море по древнему руслу Узбоя.

Места сброса коллекторных вод в Аральское и Каспийское моря должны быть строго определены, чтобы не погубить нерестилища, приуроченные к плавающим линзам пресных вод и к погребенным на дне морей подземным пресноводным запасам.

На дренированных руслами рек и крупных каналов территориях проводятся следующие мероприятия по улучшению качества воды.

1. Агрономические, лесотехнические, противоэрозионные, направленные на увеличение влагозапасов в почвах, породах и грунтовых водах. М. И. Львович (1974) указывает, что на производство растительной массы на пахотных землях СССР ежегодно расходуется примерно 250 $км^3$ воды, т. е. больше, чем на все виды водоснабжения и орошения, вместе взятые.

Имеются большие возможности экономии почвенной влаги (до 50%) за счет снижения непродуктивного испарения. Только под влиянием лесозащитных насаждений в Средней Азии снижается непродуктивное

испарение на 20—25%. За счет механизации поливов, дождевания, поливная норма снижается в два раза. Поэтому, по мнению М. И. Львовича, нормы изъятия воды из рек и грунтовых вод на орошение снизятся в будущем на 30%.

В СССР в результате широкого применения зяблевой пахоты и других агроприемов ресурсы почвенной влаги на пахотных землях степных и лесостепных районов удалось повысить на 15—20 *км*³/*год*, а к 1980 г. намечается до 30—40 *км*³/*год*. За счет задержания влаги поверхностного стока на пахотных землях засушливых районов юга Европейской части СССР дополнительное увлажнение почвы за последние десятилетия возросло на 15—20 *км*³/*год* [1].

2. Для районов с пресными грунтовыми водами разрабатывается и внедряется система и режим промывного орошения и вертикального дренажа, которые обеспечили бы замкнутый рабочий цикл влагооборота. При этом может возникнуть опасность вовлечения в круговорот воды глубоко залегающих минерализованных водоносных горизонтов. Объемы подаваемой на поля и забираемой из грунтов воды должны быть так сбалансированы, чтобы не вызывать ни переувлажнения, ни иссушения. В случае аккумуляции солей последние через каждые 10—12 лет должны выноситься за пределы орошаемых массивов горизонтальным дренажем.

3. Гидроизоляция каналов там, где это необходимо. Например, на хорошо водопроводящих незасоленных суглинках и галечниках в вершинной части конусов выноса бетонирование русел и каналов нецелесообразно, так как профильтровавшаяся вода снова попадает через грунтовые воды в более низких местах в русло той же реки или того же канала. Гидроизоляция в районах с положительным солевым балансом (низовья Амударьи) может вызвать отрицательный эффект ввиду того, что прекратится поступление пресных вод, создающих пресноводную подушку-верховодку на минерализованных грунтовых водах.

Повышение КПД оросителей, переустройство ирригационной сети приведет к уменьшению объема возвратных вод и в итоге понизит дальнейшее повышение минерализации воды в реке.

4. Увеличение оттока грунтовых вод (обеспечение хорошей дренированности территории) путем строительства необходимой для данной местности коллекторно-дренажной сети. Увеличение скорости потока грунтовых, возвратных и дренажных вод исключит их застаивание, а следовательно, подъем к дневной поверхности, увеличение испарения и, как следствие, повышение минерализации. Контроль за опреснением почв и грунтовых вод можно производить по мелиоративному индексу (отношение суммарной минерализации дренажных вод к минерализации поливных вод), предложенному В. А. Ковдой (1971а, с. 107). Благополучными считаются дренажные воды с минерализацией менее 3 *г/л*.

5. Уменьшение активных орошаемых площадей за счет применения технически совершенных и более эффективных приемов орошения (подпочвенное, дождевание и др.), которые исключат промывной водный режим и пополнение подземных вод ирригационными.

6. Использование сточных бытовых и частично промышленных вод на земледельческих полях орошения, на которых используется высокая биохимическая способность почвы окислять и разлагать сложные токсичные соединения до простых, безвредных. Эти поля удаляют из воды болезнетворные микроорганизмы, азот, фосфор, свинец, медь и др.

7. Сброс дренажных вод в Транстуранские коллекторы. Создание инженерных систем, исключающих сброс дренажных вод в реки.

---

[1] Для сравнения заметим, что на водоснабжение всех городов и промышленности в СССР безвозвратно расходуется более 12 *км*³/*год*.

8. Сброс возвратных и коллекторно-дренажных вод только в два главных конечных водоема: в Каспийское и Аральское моря. Исключить сбор дренажных вод в местных понижениях и озерах, так как последние в любых условиях подпитывают грунтовые воды, которые завершают свой путь в русловых или подрусловых аллювиальных отложениях, т. е. в итоге достигают дренирующей территории реки или крупного канала.

9. Закачка части очень сильно минерализованных и весьма токсичных (борные, содовые) возвратных и дренажных вод, улучшение качества которых неэкономично, в глубокие подземные толщи и резервуары, откуда исключается отток в русла рек и в каналы. Необходимо выявление таких подземных глубинных водохранилищ и нанесение их на карты. В этом направлении геологами выполнены большие работы, которые можно использовать при проведении мероприятий, направленных на уменьшение минерализации речных вод.

Межбассейновые мероприятия по улучшению состава речной воды заключаются в следующем.

1. Переброска части стока сибирских речных вод в бассейны Сырдарьи и Амударьи. Предполагается на первом этапе подать в Сырдарью 25 $км^3$ воды в год, а на последующих увеличить до 40 и 50 $км^3/год$ (Герарди, 1973).

2. Местные переброски стока рек из одного бассейна в другой. Например, подъем амударьинской воды в Каракумский оазис Бухарской области Узбекистана значительно улучшил качество местных вод (р. Зеравшан), что отразилось на повышении урожайности хлопчатника. К такому же результату привела подача воды р. Зеравшан по каналу Эскиангар в бассейн Кашкадарьи.

Административные формы борьбы включают в себя следующее.

1. Уточнение некоторых республиканских, краевых, областных и районных административных границ для приведения их с границами крупных, средних и мелких бассейнов или групп бассейнов. Каждый бассейн (или группа бассейнов) должны находиться в подчинении минимального числа административных единиц, с учетом границ ареалов формирования, транзита и аккумуляции жидкого, твердого и ионно-солевого стока.

Каждая административная единица должна представлять собой как бы учетный элементарный бассейн, сведения по которому и контроль за его состоянием должны находиться в одних руках. Это повысит ответственность партийных и советских работников, а также населения в деле выполнения директивных указаний по охране и рациональному использованию природных ресурсов, облегчит контроль за состоянием природы и позволит централизовать все сведения по природным ресурсам и их использованию. Это облегчит переход к системному управлению народным хозяйством бассейнов.

2. Увеличение числа начальных и замыкающих гидрологических створов. Расположение их должно быть таково, чтобы получить данные, характеризующие состояние орошаемых массивов или режим работы заводов и фабрик, сбрасывающих отходы в реки. Створы располагать ниже и выше орошаемых и намечаемых к орошению массивов.

3. Запрещение применения в сельском хозяйстве соединений, биохимически плохо окисляемых и трудно выводимых из круговорота веществ.

4. Значительное расширение, укрепление кадрами, обеспечение новейшей отечественной и зарубежной химико-аналитической аппаратурой отделов и лабораторий УГМС СССР, занимающихся проблемой качества воды. Увеличение набора анализируемых ингредиентов в пробах воды, отбираемых на гидрологических створах, с тем, чтобы получить ясное представление о количестве и качестве выносимых из почв речных бассейнов гумуса и его подвижных форм, микроэлементов (особенно

бора, фтора), компонентов органо-минеральных удобрений (азот, фосфор, калий и их формы), пестицидов и гербицидов, микрофлоры, тяжелых металлов (ртуть, свинец и др.), бытовых загрязнителей.

5. Фиксация при полевых картографических работах в области геологии, мелиорации и водного хозяйства, лесного и сельского хозяйства, географии и др. всех имеющихся малых, средних и больших загрязнителей (с указанием местоположения относительно к основному руслу реки или канала, начала действия, режима работы, объемов выносимых стоков, количества и качества загрязнителей, мер борьбы и др.). Указание размеров и форм выносимых из почв сельскохозяйственных полей удобрений, ядохимикатов и т. п.

Научные исследования и мероприятия по борьбе за улучшение качества речных вод заключаются в разработке фундаментальных исследований, посвященных проблемам: 1) прогноза качества воды на ближайшую и отдаленную перспективы; 2) методов оценки ущерба, наносимого увеличением минерализации и ухудшением качества речных вод (оценка ущерба от засоления почв при поливе минерализованными водами, изменения состава грунтовых вод, влияния на рыбное хозяйство, промышленность, городское водоснабжение и др.); 3) создания дешевых и качественных опреснительных установок; 4) повторного (местами двойного) использования минерализованных речных и коллекторно-дренажных вод; 5) разработки методов прогноза изменения минерализации и химического состава рек и крупных строящихся и проектируемых каналов под влиянием орошения (бассейновый, балансовый, гидрологические, гидрогеологические и другие способы и методы); 6) обобщения опыта зарубежных стран, особенно имеющих многолетние ряды наблюдений за качеством воды и ростом орошаемых площадей.

Необходима разработка частных вопросов.

1. Выявление орошаемых и других сельскохозяйственных площадей, различающихся по активности влияния на формирование ноогидросферы, образования возвратных вод и стока их в реки; биогеоценологическая и ландшафтно-геохимическая характеристика этих площадей.

2. Выявление и изучение источников питания, транзита и аккумуляции возвратных вод; пути их миграции через геохимические барьеры, характер обогащения возвратных вод химическими элементами.

3. История ирригационно-мелиоративного развития орошаемых территорий; выделение важнейших этапов развития, которые оказали особое влияние на облик ландшафтов, на формирование грунтовых вод, почв и химический состав возвратных вод.

4. Динамика изменения количества и состава солей в почвах, горных породах и грунтовых водах орошаемых массивов; определение солей, выносимых из почв в грунтовые воды и реки, а также сохранившихся в почве и породе. Для этого необходимы тщательные повторные почвенно-мелиоративные съемки на опытных массивах. Выявление этапов геохимической смены солевых потоков возвратных вод в результате длительного орошения и выщелачивания из почв солей, органического вещества, коллоидов.

5. Оценка влияния минерализованных оросительных и речных вод различного качества на урожайность основных сельскохозяйственных культур, увеличение поливных норм.

6. Изучить влияние различных по качеству минерализованных вод на изменение структуры и свойств почвенного покрова; появление в почвах новых признаков, исчезновение некоторых старых (реликтовых) свойств. Определение возможного осолонцевания, содового, борного и нитратного засоления, слитизации, трещиноватости, образования корки, столбчатости, опускания карбонатного горизонта, процессов замещения ионов в поглощающем комплексе, минералогических превращений.

7. Разработка мер борьбы с антропогенным загрязнением атмосферных осадков — основного источника чистой речной воды.

8. Разработка методов установления в минерализованных оросительных водах (и их источниках) оптимального соотношения ионов натрия и калия, при котором вода даже при высокой минерализации теряет токсические свойства и может быть использована для орошения. С этой точки зрения большой интерес представляет использование морской воды, которая при известных условиях также может служить для промывок почв от солей. Имеются сведения, подтверждающие более высокий эффект выщелачивания солей морской водой, чем пресной речной.

9. Исследование и внедрение новых биологических методов очистки и обезвреживания коллекторно-дренажных и сточных вод. Бионике принадлежит одна из важнейших задач научно-технического прогресса в области охраны рек от загрязнения.

10. Выращивание сортов сельскохозяйственных культур, устойчивых к повышенной минерализации оросительной воды.

В настоящее время для бассейна реки Сырдарья разрабатывается автоматизированная система управления (АСУ) водохозяйственными комплексами, основанная на уровне последних достижений кибернетики и системотехники. При этом будут использованы сложные математические модели, такие, как имитационная модель р. Колорадо, дающая прогноз стока и минерализации по всему бассейну, модель возвратного стока и др. Авторы считают, что бассейновый метод анализа может быть положен в основу сложной модели бассейна р. Сырдарья, который по некоторым критериям подобен р. Колорадо, что позволит получить большой научный эффект.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Высокие темпы развития орошения неизбежно ведут к резкому повышению минерализации и изменению состава речных вод. Последние могут стать непригодными для дальнейшего использования и в низовьях рек, при повторном их использовании, вызвать активное засоление орошаемых массивов. Поэтому перед мелиораторами возникла проблема контроля и регулирования минерализации и химического состава воды в бассейнах разных рек. Контроль целесообразно проводить бассейновым способом, согласно которому, зная величину и качество орошаемых площадей и их динамику, можно судить об изменении минерализации в реках, оросителях, коллекторах. Этот способ является ландшафтно-геохимическим, он базируется на знании закономерности возникновения и миграции химических соединений из одной части ландшафта в другую (из почв и пород в грунтовые воды, из грунтовых вод реки, из высокогорий в низкогорья и на равнины и т. п.).

Применение бассейнового способа предусматривает необходимость получения сведений о начальной минерализации и расходах оросительных вод. Для оценки результатов нужно иметь данные о минерализации по устьевым створам рек или створам, расположенным ниже орошаемых площадей. Поэтому важно организовать наблюдения за химическим составом речных вод в указанных створах, а там, где они ведутся, увеличить количество отбираемых на анализ проб воды, доведя их до тридцати — шестидесяти в год.

Данные по минерализации и химизму устьевых створов отражают общее состояние подкомандных орошаемых территорий. При плохом ведении хозяйства они покажут темпы роста минерализации и характер ухудшения состава речных вод, а при хорошем — темпы уменьшения минерализации или ее стабилизации на низком уровне, а также улучшение качества воды.

Сложный процесс взаимодействия орошаемых площадей с речными водами учитывается интегральным ландшафтно-геохимическим показателем *a*. Естественно было бы предложить, что со временем его величина должна уменьшаться вследствие опреснения территорий, так как на опресненных массивах (в результате промывки верхней засоленной толщи на глубину 1—3 *м*) поступление солей из почв и пород в грунтовые и возвратные воды должно прекратиться или в крайнем случае уменьшиться. Однако этого не происходит. Минерализация воды в реках растет (это показывает стабильность величины *a*), несмотря на то, что значительная часть площади бассейна мелиорирована. Явление это трудно объяснить [1], оно приводит к пессимистическому выводу: темпы роста минерализации речных вод опережают темпы роста мелиорируемых площадей.

---

[1] Видимо, вслед за опреснением верхней 1—3-метровой толщи почв и пород нарушается установившееся природное динамическое равновесие более глубоких засоленных слоев и минерализованных грунтовых вод.

Это заключение получено в результате анализа зависимости минерализации от роста орошаемых площадей для сравнительно небольшого времени (20—40 лет). Может быть, через 70—100 лет, когда все соли из зоны аэрации будут вымыты, а грунтовые воды резко понизят уровень, минерализация в реках стабилизируется или даже начнет понижаться. Но это, судя по опыту других стран, и несмотря на совершенствование ирригационного и мелиоративного производства, пока не происходит или происходит очень замедленными темпами по следующим причинам.

1. Человек мелиорирует, т. е. улучшает состояние лишь верхней, корнеобитаемой зоны аэрации. Тогда как состояние нижележащей толщи пород и грунтовых вод (до регионального водоупора) ухудшается. Вымывая соли из верхних горизонтов, вода производит действия, активизирующие солеобмен в мощной соленосной толще подстилающих пород за счет вмывания в нее части солей из почв, увеличивающие мощности и водообильности стока подпочвенно-ирригационных, коллекторно-дренажных вод. Это способствует активной миграции солей, ранее пребывавших в «сухом» законсервированном состоянии.

2. Необходимость увеличения орошаемых площадей заставляет мелиораторов осваивать худшие по качеству почвы. Если раньше орошались лучшие, незасоленные почвы, то теперь их фонд исчерпан и осваиваются средне- и сильнозасоленные массивы, которые соответственно образуют высокоминерализованные потоки возвратных вод. Будущее орошаемого земледелия — освоение засоленных почв, а также незасоленных песков, лежащих на засоленных породах и имеющих минерализованные грунтовые воды. Отсюда неизбежность роста минерализации речных вод в ближайшие годы.

3. Не менее важной причиной поступления солей в реки являются существующие приемы орошения и мелиорации. Недостаток оросительной воды заставляет искать оптимальные варианты обеспечения растений влагой, создавая гидроморфный режим увлажнения путем искусственных подпоров дренажных, грунтовых и речных вод (запруды, отключение скважин вертикального дренажа для подъема грунтовых вод), использование минерализованных дренажных и грунтовых вод на полив. Проведение этих эпизодических мер достаточно для реставрации засоления в почвах.

Таким образом, с одной стороны для улучшения мелиоративной обстановки и увеличения урожаев в перспективе требуется опреснить верхние 10—15 *м*, опустить глубже уровень грунтовых вод — основного транспортирующего агента солевых масс (этой же задаче будет способствовать увеличение КПД оросителей), с другой стороны, ввиду недостатка для орошения пресной воды на ближайшую перспективу ставится задача обеспечить влагой растения путем создания в почвах гидроморфных условий.

Все это приводит к тому, что сейчас трудно рассчитать уменьшение показателя a в зависимости от времени действия промывного режима орошения в бассейнах. Несмотря на это, применение бассейнового способа при мелиоративной оценке территорий позволит глубже понять процессы миграции солей и наметить более верные пути их регулирования.

При использовании бассейнового способа расчета и анализа мелиорируемой территории от исследователя требуется систематическое знание в областях биогеоценологии, ландшафтной геохимии и конструктивной географии. Если для балансового метода определения динамики минерализации речных вод (каналов или коллекторов) необходимо уметь производить математические операции по данным, которые выдаются различными специалистами, то для применения бассейнового метода комплексного географо-геохимического анализа необходимо знать

в совокупности весь природный комплекс бассейна и уметь анализировать его во взаимосвязи и взаимообусловленности методами ландшафтной геохимии. Необходимо учитывать экологические связи климата, растительности, горных пород, грунтовых и поверхностных вод, рельефа, возраста территории, объединенные общими законами природы и развития человеческого общества.

Бассейновый способ заставляет не просто совершить расчетные операции, но задуматься над природными процессами, происходящими не только в исследуемой части речной долины, а по всему бассейну в целом с учетом прошлых, современных и будущих явлений. При этом природные процессы рассматриваются не изолированно, а в тесной взаимосвязи В этом трудности и преимущества бассейнового способа расчета, в отличие от ныне широко применяемого классического балансового метода

Авторы далеки от мысли, что предполагаемые ими расчеты совершенны Однако они уверены в том, что принятый для вывода этих расчетов бассейновый метод комплексного географо-геохимического анализа мелиорируемых территорий является прогрессивным и его развитие внесет значительный вклад в мелиоративную науку и практику.

ЛИТЕРАТУРА

Аверьянов С. Ф. Горизонтальный дренаж при борьбе с засолением орошаемых земель. М., Изд-во АН СССР, 1959.

Агаев Ш. М., Степанов И. Н. Химический состав атмосферных осадков Азербайджана.— ДАН СССР, 1964, т. 154, № 6.

Агаларов М. С., Кисин И. М., Степанов И. Н. Снежный покров Кавказа как фактор водно-солевого баланса.— За технический прогресс, 1963, № 1.

Алекин О. А. Общая гидрохимия. Л., Гидрометеоиздат, 1948.

Алекин О. А. Основы гидрохимии. Л., Гидрометеоиздат, 1970.

Алекин О. А., Бражникова Л. В. Сток растворенных веществ с территории СССР. М., «Наука», 1964.

Алекин О. А., Демченко А. С., Бражникова Л. В., Тарасов М. Н., Романова Э. В., Громов Б. Г. К вопросу о влиянии удобрений на химический состав сбросных вод орошаемых территорий.— В кн.: Гидрохимические материалы. Л., Гидрометеоиздат, 1967, т. 43.

Алимов А. К. Условия формирования и дифференцирование дренажного стока с Мугано-Сальянского массива.— Почвоведение, 1975, № 7.

Алимов Р. А. Основные проблемы орошения и мелиорации земель и организация научных исследований. ВАСХНИЛ, АН УзССР. Объединенная сессия по вопросам мелиорации. Ташкент, «ФАН», 1967.

Антипов-Каратаев И. Н., Филиппова В. Н. Влияние длительного орошения на процесс почвообразования. М., Изд-во АН СССР, 1955.

Аскоченский А. Н. Орошение и обводнение в СССР. М., «Колос».

Аткарская Т. Н. Возвратные воды орошаемых земель Ферганской долины.— Метерология и гидрология, 1970, № 10.

Ахмедов А. П. Влияние дренажа на рассоление орошаемых почв Сальянской степи.— Почвоведение, 1974, № 5.

Ахмедсафин У. М., Джабассов М. Х., Курмангалиев Р. М. Прогноз возможных изменений гидрогеологических условий в результате переброски части стока сибирских рек в Казахстан.— В кн.: Гидрогеологические условия Казахстана. Алма-Ата, «Наука», 1975.

Баженов Н. К. Засоленные почвы Киргизии и пути их мелиорации. Фрунзе, «Кыргызстан», 1973.

Беремжанов Б. А., Ибрагимов А. И., Ибрагимова М. А. К вопросу химической характеристики реки Сырдарьи. Сообщение 1.— В кн.: Химия и химическая технология, вып. X. Алма-Ата, 1971.

Беседнов Н. А. Мелиорация засоленных почв. М., Сельхозгиз, 1958.

Боровский В. М. О солеобмене между морем и сушей и многолетней динамике солей в почвах.— Изв. АН КазССР. Сер. бот. и почв., 1961, № 2.

Боровский В. М. Изменение почв под влиянием орошения.— В кн.: Труды X Международного конгресса почвоведов, т. 10. М., 1974.

Варунцян Э. С. Мелиорация засоленных земель. М., «Колос», 1969.

Вернадский В. И. Избранные сочинения, т. IV, кн. 2. М., Изд-во АН СССР, 1960.

Вернадский В. И. Биосфера. М., Изд-во АН СССР, 1967.

Виденеев Е. М., Селиванова А. К. Влияние Кайраккумского водохранилища на гидрохимический режим реки Сырдарьи.— Сб. работ Ташк. гидромет. обсерватории, вып. 4. Ташкент, 1971.

Владимиров А. Г. Мелиоративная гидрогеология. М., Госгеолтехиздат, 1960.

Волобуев В. Р. Промывка засоленных почв. Баку, «Азернешр», 1948.

Волобуев В. Р. Основные этапы развития исследований для целей мелиоративного районирования ирригационно-освоенных объектов СССР.— Учен. зап. Кишинев. ун-та, 1951а, т. 3, вып. 1.

Волобуев В. Р. Мугань и Сальянская степь. Почвенно-мелиоративный очерк. Баку, Изд-во АН АзССР, 1951б.

Волобуев В. Р. Генетические формы засоления почв Кура-Араксинской низменности. Баку, Изд-во АН АзССР, 1965.

Воронков П. П. Формирование химического состава атмосферных осадков и влияние его на почвенные растворы и склоновые воды.— Труды ГГИ, 1963а, вып. 102.

Воронков П. П. Закономерности процесса формирования и зональность химического состава вод местного стока.— Труды ГГИ, 1963б, вып. 102.

Воронков П. П. Основные факторы и закономерности формирования химического состава воды малых водоемов.— Труды ГГИ, 1963в, вып. 102.

Воронков П. П. Гидрохимия местного стока Европейской территории СССР. Л., Гидрометеоиздат, 1970.
Воропаев Г. В. Новая техника орошения. Алма-Ата, «Кайнар», 1970.
Вульфсон В. И. В. И. Вернадский — основатель новой науки «Химия моря».— Океанология, 1964, т. 4, вып. 2.
Гейнц В. А. О принципах гидрогеолого-мелиоративного районирования.— Разведка недр, 1950, № 4.
Герарди И. А. Природно-хозяйственные основы переброски части стока сибирских рек в республики Средней Азии и в маловодные области Казахской ССР.— В кн.: Мелиорация почв Средней Азии, Казахстана и Западной Сибири в связи с переброской части стока сибирских рек в южные районы страны. Материалы Всесоюз. совещ. Пущино, 1973.
Герасимов И. П. Научные проблемы преобразования природы Средней Азии для развития орошаемого земледелия и пастбищного животноводства.— В кн.: Проблемы преобразования природы Средней Азии. М., «Наука», 1967.
Герасимов И. П., Иванова Е. Н. О географических типах солевого баланса и формах солеобмена в коре выветривания.— В кн.: Проблемы физической географии, т. III, 1936.
Геткер М. И., Куропатка Л. М., Рубинова Ф. Э. Об изменении общей минерализации воды р. Сырдарьи в связи с развитием орошения в ее бассейне.— Труды САРНИГМИ, 1975а, вып. 23 (104).
Геткер М. И., Куропатка Л. М., Рубинова Ф. Э. Сток возвратных вод в бассейне р. Сырдарьи и его влияние на минерализацию речной воды в современных условиях и в перспективе.— Труды САРНИГМИ, 1975б, вып. 25 (106).
Гидрологический ежегодник. Бассейны рек Средней Азии. Л., Гидрометеоиздат, 1938—1975, т. 5, вып. 0—4,9.
Глазовская М. А. Геохимические основы типологии и методики исследований природных ландшафтов. М., Изд-во МГУ, 1964.
Глазовская М. А. Почвы зарубежных стран. М., «Мысль», 1975.
Городецкая М. Е. Геоморфологические условия переброски части стока западносибирских рек в бассейн Сырдарьи.— В кн.: Природно-мелиоративная характеристика Средней Азии и Казахстана, АН СССР. Пущино, 1976.
Грабовская О. А. Процессы рассоления почв долин Южного Таджикистана при мелиорации, т. 1, Изд-во АН ТаджССР, 1961.
Денисов П. В. Химический состав атмосферных осадков северного Тянь-Шаня.— ДАН СССР, 1956, т. 110, № 5.
Дунин-Барковский Л. В. Физико-географические основы проектирования оросительных систем. (Районирование и водный баланс орошаемой территории). М., Сельхозгиз, 1960.
Дунин-Барковский Л. В., Каминский В. С. О восстанавливаемости качества водных ресурсов.— В кн.: Человек и биосфера. М., «Наука», 1976.
Духовный В. А., Ходжибаев Н. Н. Проблемы совместного использования подземных и поверхностных вод на орошение земель в бассейне Аральского моря.— Труды САНИИРИ, Ташкент, 1974, вып. 143.
Дюшофур Ф. Основы почвоведения. М., «Прогресс», 1970.
Егоров В. В. Темные луговые (чальные) почвы аллювиальных равнин и их агропроизводственные особенности.— Почвоведение, 1951, № 9.
Егоров В. В. Засоление орошаемых почв и его устранение. Научно-метод. совет по пропаганде сельскохоз. знаний и передового опыта. М., «Знание», 1972.
Егоров В. В., Минашина Н. Г. Проблемы современного влияния мелиорации и орошения на почвы.— В кн.: Труды X Международного конгресса почвоведов, т. 10. М., 1974.
Еременко В. Е. Режим орошения и техника полива хлопчатника. Ташкент, Изд-во АН УзССР, 1957.
Захарьина Г. В. Сезонный и многолетний солевой режим орошаемых и залежных земель Мильской и Муганской степей.— Труды Почв. ин-та им. В. В. Докучаева, 1958, т. 54.
Захидов А. З. Водохозяйственные системы Средней Азии. Ташкент, «ФАН», 1971.
Звонкова Т. В. Вопросы физико-географического районирования орошаемой зоны Средней Азии.— Вестн. МГУ, сер. V. география, 1964, № 1.
Земельно-водные ресурсы пустынь и их использование. М., Изд-во АН СССР, 1963.
Земли древнего орошения и перспективы их использования. М., «Наука», 1969.
Зонн И. С. Борьба с потерями воды на аридном западе США.— Проблемы освоения пустынь, 1973, № 5.
Зонн И. С. Запад США: Опыт мелиоративного освоения.— В кн.: Орошение и мелиорация почв. М., «Наука», 1977.
Зонн С. В. О роли почвообразования в формировании химического состава грунтовых вод.— ДАН СССР, 1945, т. XVIII, № 3.
Ибрагимов Г. А. Дополнительный источник орошения хлопчатника. Ташкент, «Узбекистан», 1970.
Израэльсен О. У. Теория и практика ирригации. М., ИЛ, 1956.
Исрафилов Г. Ю. Грунтовые воды Кура-Араксинской низменности. Баку, «Маариф», 1972.
Кадыров В. К., Абдулгаиров Р. Г. Некоторые данные о химическом составе воды высокогорных рек Северной Киргизии.— Труды Ин-та водн. хоз-ва и энергетики, 1956, вып. 3 (VI).
Камалов Л. Ф. Характеристика природных вод различных ландшафтов бассейна ре-

ки Паркент.— Труды Ташк. ун-та, 1971, вып. 416.
Каменский Г. Н. Зональность грунтовых вод и почвенно-географические зоны.— Труды Лаб. гидрогеол. проблем АН СССР, 1949, т. 6.
Карнаухов В. Н. Служба прозрачной воды.— Наука и жизнь, 1976, № 10.
Карпов П. К., Гоби М. В. К вопросу о водоснабжении г. Ташкента.— Вестн. ирригации, Ташкент, 1924, № 11.
Кауричев И. С., Иванова Т. Н., Ноздрунова Е. М. О содержании низкомолекулярных органических кислот в составе воднорастворимого органического вещества почв.— Почвоведение, 1963, № 3.
Кац Д. М. Гидрогеологическая классификация орошаемых районов Средней Азии. Ташкент, Изд-во АН УзССР, 1956.
Кац Д. М. Гидрогеологическое районирование орошаемых земель СССР по условиям применения вертикального дренажа.— Сб. ВСЕГИНГЕО, 1968, вып. 2.
Кац Д. М. Влияние орошения на грунтовые воды. М., «Колос», 1976.
Кенесарин Н. А. Формирование режима грунтовых вод орошаемых районов на примере Голодной степи. Ташкент, Изд-во АН УзССР, 1959.
Кирста Б. Т. Минерализация вод поверхностного стока Юго-Западной Туркмении.— Проблемы освоения пустынь, 1971, № 2.
Кисин И. М., Степанов И. Н. О содержании минеральных частиц в ледниках Кавказа.— ДАН СССР, 1961, т. 137, № 5.
Ковда В. А. Происхождение и режим засоленных почв, т. I, II. М.—Л., Изд-во АН СССР, 1946—1947.
Ковда В. А. Научные основы мелиорации почв в СССР.— Почвоведение, 1966, № 11.
Ковда В. А. Уроки и опыт оросительных мелиораций. Объединенная сессия по вопросам мелиораций. ВАСХНИЛ и АН УзССР. Ташкент, 1967.
Ковда В. А. Минеральные удобрения для орошаемых культур.— В кн.: Мелиорация почв в СССР. М., «Наука», 1971а.
Ковда В. А. Опыт оросительных мелиораций.— В кн.: Мелиорация почв в СССР. М., «Наука», 1971б.
Ковда В. А. Основы учения о почвах. М., «Наука», т. 1, 2, 1973.
Ковда В. А. Биогеохимические циклы в природе и их нарушение человеком. М., «Наука», 1976.
Ковда В. А. Аридизация суши и борьба с засухой. М., «Наука», 1977.
Ковда В. А., Егоров В. В. Старые и новые проблемы почвенных мелиораций в зоне орошения.— Доклад на IV Всесоюз. съезде почвоведов. М., «Наука», 1970.
Ковда В. А., Степанов И. Н. О задачах комплексной экспедиций Академии наук СССР в изучении почвенно-мелиоративного состояния земель Срединного региона СССР.— В кн.: Мелиорация почв Средней Азии, Казахстана и Западной Сибири в связи с переброской части стока сибирских рек в южные районы страны. Материалы Всесоюз. совещ. Пущино, 1973.
Коронкевич Н. И. Гидрология антропогенного направления: теория, методы исследований.— В кн.: Вопросы антропогенных изменений водных ресурсов. М., 1976.
Костяков Н. А. Основы мелиораций. М., Сельхозгиз, 1951.
Кочубей М. И., Сучков С. П. Почвы Ферганской области и их изменение под влиянием орошения.— В кн.: Проблемы использования земельно-водных ресурсов Узбекской ССР. Ташкент, «ФАН», 1969.
Крайнова Л. П. Геохимическая характеристика и условия формирования ирригационных вод Узбекистана.— Автореф. канд. дис. Ташк. ун-т, 1973.
Крылов М. М. Основы мелиоративной гидрогеологии Узбекистана. Ташкент, Изд-во АН УзССР, 1959.
Крылов М. М. О принципе районирования грунтовых вод Узбекистана.— Труды Ташк. ун-та, 1960, вып. 180.
Кузнецов Н. Т. Химизм речных вод Центральной Азии.— Изв. АН СССР. Сер. геогр., 1963, № 1.
Кузнецов Н. Т. Воды Центральной Азии. М., «Наука», 1968.
Кунин В. Н. О глубине физико-географического воздействия в условиях песчаной пустыни. — Изв. АН СССР. Сер. геогр. и геофиз., 1948, вып. XII, № 1.
Лазарев К. Г., Якушева А. С., Манихина Р. К. Ожидаемые изменения минерализации и относительного состава воды в бассейне р. Сырдарья после зарегулирования стока (на уровне 1980 г.).— В кн.: Гидрохимические материалы, т. 40. Л., Гидрометеоиздат, 1965а.
Лазарев К. Г., Якушева А. С., Манихина Р. К. Ожидаемые изменения минерализации и относительного состава воды в бассейне р. Амударья после зарегулирования стока (на уровне 1980 г.).— В кн.: Гидрохимические материалы, т. 40. Л., Гидрометеоиздат, 1965б.
Ланге О. К. Гидрогеологическое районирование Средней Азии.— В кн.: Советская геология, сб. 34, 1948.
Ландсберг Г. Г., Фишман Л. Л., Фишер Дж. Л. Ресурсы США в будущем, т. I, II. М., «Прогресс», 1965.
Лапшина Т. Н. Некоторые вопросы орошаемых земель Северного Кавказа.— Автореф. канд. дис. Новочеркасск, 1970.
Легостаев В. М. Мелиорация засоленных земель. Ташкент, Госиздат УзССР, 1959.
Легостаев В. М., Коньков Б. С. Мелиоративное районирование. Ташкент, Госиздат УзССР, 1950.
Летунов П. А. Почвенно-мелиоративные проблемы орошаемого земледелия.— Почвоведение, 1964, № 1.
Листенгартен В. А., Красильщиков Л. А. Естественные ресурсы подземных вод

равнинных и низменных районов Азербайджанской ССР.— Водные ресурсы, 1977, № 2.
Лопатин Г. В. Наносы рек СССР. М., Географгиз, 1952.
Львович М. И. Человек и воды. М., Географгиз, 1963.
Львович М. И. Реки СССР. М., «Мысль», 1971.
Львович М. И. Мировые водные ресурсы и их будущее. М., «Мысль», 1974.
Львович М. И., Коронкевич Н. И. Ориентировочный прогноз использования и охраны водных ресурсов СССР на уровне 2000 года.— Изв. АН СССР. Сер. геогр., 1971, № 2.
Мавлянов Г. А., Мирзаев С. Ш. Состояние, перспективы развития орошения в Средней Азии и проблема использования подземных вод.— В кн.: Влияние орошения на вторичное засоление, химический состав и режим подземных вод. М., «Наука», 1964.
Макаренко Ф. А. О гидрохимическом районировании грунтовых по химическому составу малых рек.— ДАН СССР, 1950, т. XXIV, № 3.
Макаренко Ф. А., Зверев В. П. О подземной химической денудации на территории СССР.— ДАН СССР, 1970, т. 192, № 2.
Максимович Г. А. Химическая география вод суши. М., Географгиз, 1955.
Мамарасулов С. М. Водная проблема бассейна Зарафшана и пути ее решения. Ташкент. «Узбекистан», 1972.
Мамедов А. М. Развитие ирригации в Узбекистане. Ташкент, «Фан», 1967.
Мартонн Физическая география. М., ИЛ, 1950.
Маслов Б. С., Нестеров Е. А. Вопросы орошения и осушения в США. М., «Колос», 1967.
Меднис М. П. Режим орошения и густота стояния хлопчатника. Ташкент, «Фан», 1973.
Минашина Н. Г. Орошаемые почвы пустыни и их мелиорация. М., «Колос», 1974.
Муравейский С. Д. Процесс стока как географический фактор.— Изв. АН СССР. Серия геогр., 1946, т. 10, № 3.
Муратова В. С. Перемещение солей при орошении почв Мильской равнины.— В кн.: Мелиорация почв Кура-Араксинской низменности. М., Изд-во АН СССР, 1962.
Народное хозяйство Азербайджанской ССР. К 50-летию СССР.— Юбил. стат. ежегодник. Баку, 1972.
Народное хозяйство Узбекской ССР (1965—1975 гг.).— Статистический сборник. Ташкент, «Узбекистан», 1975.
Нерозин А. Е. Мелиорация засоленных орошаемых земель Узбекистана. Ташкент, «Узбекистан», 1974.
Николаенко В. А. Гидрохимическая характеристика водохранилищ Узбекистана.— Труды САНИИРИ, Ташкент, 1974, вып. 142, ч. I.
Новикова А. В. Прогнозирование вторичного засоления почв при орошении. Киев, «Урожай», 1975.
Орлова А. П. Прогноз качества воды р. Сырдарья.—Труды САНИИРИ, Ташкент, 1973, вып. 138.
Орошение и дренаж засоленных почв и их изменение при длительном использовании. М., «Наука», 1967.
Орошение и осушение в странах мира. Под ред. Е. Е. Алексеевского. М., «Колос», 1974.
Отчет гидрометрической части за 1911, 1912 гг. СПб., 1913.
Оуэн О. С. Охрана природных ресурсов. М., «Колос», 1977.
Панин П. С. Процессы солеотдачи в промываемых толщах почв. Новосибирск, «Наука», 1968.
Панин П. С., Долженко И. Б., Чуканов В. И. Процессы рассоления и засоления почв. Новосибирск, «Наука», 1976.
Панков М. А. Мелиоративное почвоведение. Ташкент, «Укитувчи», 1974.
Перельман А. И. Очерки геохимии ландшафта. М., Географгиз, 1955.
Перельман А. И. Геохимия элементов в зоне гипергенеза. М., «Недра», 1972.
Перельман А. И. Геохимия ландшафта. М., «Высшая школа», 1975.
Полынов Б. Б. Процессы засоления и рассоления и солевой профиль почв.— Труды комиссии по ирригации, 1933, вып. 1.
Полынов Б. Б. Основные идеи учения о генезисе элювиальных почв в современном освещении.—Юбилейный сборник, посвящ. 30-летию Великой Октябрьской социалистической революции, т. 2. М.— Л., Изд-во АН СССР, 1947.
Полынов Б. Б. Избранные труды. М., Изд-во АН СССР, 1956.
Пославский В. В., Головин Н. М. Ирригация в бассейне р. Колорадо. Москва — Ташкент, Сазгипровод, 1934.
Посохов Е. В. Формирование химического состава подземных вод. Л., Гидрометеоиздат, 1969.
Почвы Узбекской ССР, т. 1. Ташкент, Изд-во АН УзССР, 1956.
Почвы Узбекской ССР, т. 2. Ташкент, Изд-во АН УзССР, 1957.
Почвы Узбекской ССР, т. 3. Ташкент «Узбекистан», 1964.
Рабочев И. С. Промывка засоленных почв. Ашхабад, Туркменнздат, 1947.
Рабочев И. С. Мелиорация засоленных почв среднего течения Амударьи. Ашхабад, Туркменнздат, 1964.
Рабочев И. С. Регулирование солевого режима почв и грунтов в условиях орошаемого земледелия.— В кн.: Проблемы преобразования природы Средней Азии. М., «Наука», 1967.
Рабочев И. С. Перспективы использования земельных и водных ресурсов Средней Азии и задачи науки в области мелиорации.— В кн.: Земельно-водные ресурсы пустынь. Ашхабад, «Ылым», 1971.
Развитие хлопководства в СССР. (Справочное пособие). М., «Колос», 1969.
Рачинский А. А. О задачах мелиоративных научных исследований. — Труды САНИИРИ, Ташкент, 1973, вып. 138.
Ревина С. К., Соловьева И. Л. Изменение

минерализации, ионного стока и качественного состава вод рек Амударьи и Сырдарьи за период 1952—1966 годы.— В кн.: Труды Гос. океаногр. ин-та, вып. 101. М., Гидрометеоиздат, 1970.
Режимы орошения и гидромодульное районирование по Узбекской ССР. Ташкент, «Убекистан», 1971.
Ресурсы поверхностных вод СССР, т. 9, вып. 4. Закавказье и Дагестан. Л., Гидрометеоиздат, 1971.
Решеткина Н. М. Использование подземных вод.— Социалистическое сельское хозяйство Узбекистана, 1957, № 6.
Решеткина, Н. М., Сойфер С. С. Прогноз минерализации стока горизонтальных дрен.— Хлопководство, 1976, № 3.
Розанов А. Н. Материалы к вопросу о засоленных почвах Средней Азии.— В кн.: Хозяйственное освоение пустынь, Ташкент, 1934.
Розанов А. Н. Фазы, стадии и типы вторичного засоления почв. — Проблемы советского почвоведения, 1946, № 14.
Роговская Н. В. Методика гидрогеологического районирования для обоснования мелиорации. М., Госгеолтехиздат, 1959.
Роде А. А. Водный режим некоторых основных типов почв СССР (по многолетним данным).— К IX Междунар. конгр. почвоведов. М., «Наука», 1968.
Рудман И. А., Нунпаров М. С. Некоторые итоги работ по мелиорации засоленных земель в Азербайджанской ССР.— В кн.: Борьба с засолением орошаемых земель. М., «Колос», 1967.
Румшинский Л. З. Математическая обработка результатов эксперимента. М., «Наука», 1971.
Рыжов С. Н. Орошение хлопчатника в Ферганской долине. Ташкент, Изд-во АН УзССР, 1948.
Рыжов С. Н., Сучков С. П. Изменение свойств орошаемых почв под влиянием мелиораций и агротехники.— В кн.: Труды X Международного конгресса почвоведов, т. 10. М., 1974.
Сагадакова В. М., Кадыров В. К. Краткая гидрохимическая характеристика Ортотокойского водохранилища.— Изв. АН КиргССР. Сер. естеств. и техн., 1962, т. 4, вып. V.
Светицкий В. П. Вопросы исследований возвратных вод.— Труды САНИИРИ, Ташкент, 1969, вып. 118.
Светицкий В. П. Изменение ресурсов возвратных вод в бассейнах рек Амударья и Сырдарья в перспективе.— Труды САНИИРИ, Ташкент, 1972, вып. 133.
Славянов Н. Н. Учение В. И. Вернадского о природных водах и его значение.— Материалы к познанию геол. строения СССР. Нов. сер., 1948, вып. 10 (14).
Соколов М. С. Миграция, метаболизм и детоксикация пестицидов в почвах и ландшафтах.— В кн.: Комплексное изучение ресурсов биосферы и химизация сельского хозяйства. Пущино, 1972.
Степанов И. Н. Снежники Тянь-Шаня.— Природа, 1961, № 1.
Степанов И. Н. Цветные снежники.— Природа, 1963, № 6.
Степанов И. Н. О процессах выветривания в ледовом типе литогенеза.— Литология и полезные ископаемые, 1964, № 5.
Степанов И. Н. Опыт выделения геохимических ландшафтов на примере Карабахской степи Кура-Араксинской низменности.— Изв. Узб. геогр. об-ва, т. XIII. Ташкент, «Фан», 1971.
Степанов И. Н. Эколого-географический анализ почвенного покрова Средней Азии. М., «Наука», 1975а.
Степанов И. Н. Возможные природно-мелиоративные изменения в Срединном регионе СССР и вдоль трассы Обь-Каспийского канала. По материалам почвенно-геохимических исследований.— В кн.: Влияние межбассейнового перераспределения речного стока на природные условия Европейской территории и Срединного региона СССР. М., 1975б.
Степанов И. Н., Агаев Ш. М. Схема гидрохимического районирования снегового покрова Азербайджана.— За технический прогресс, Баку, 1963, № 7.
Степанов И. Н., Иванова И. И., Камалов Л. Ф. О скорости миграции кальция в различных условиях гор Средней Азии.— ДАН СССР, 1968, т. 183, № 4.
Степанов И. Н., Щеглова О. П. Энергия жидких осадков и эрозия почв в Западном Тянь-Шане.— Изв. АН СССР. Сер. геогр., 1969, № 5.
Страхов Н. М. Основы теории литогенеза, т. I. М., Изд-во АН СССР, 1962.
Тарасов М. Н., Демченко А. С., Бражникова Л. В. Сельскохозяйственные стоки как источник загрязнения поверхностных вод.— В кн.: Гидрохимические материалы, т. 53. Л., Гидрометеоиздат, 1970.
Тарасов М. Н., Кореновская И. М. Изменение минерализации и ионного состава воды р. Сырдарья в результате развития орошения в ее бассейне.— В кн.: Гидрохимические материалы, т. 60. Л., Гидрометеоиздат, 1974.
Тарвердиев Р. Б. Заиление Мингечаурского водохранилища. Баку, «Элм», 1974.
Твенхофел У. Х. Учение об образовании осадков. М.— Л., ОНТИ, 1936.
Торн Д., Петерсон Х. Орошаемые земли. М., ИЛ, 1952.
Ткачук В. Г. и др. Изменение мелиоративно-гидрогеологических условий водораздельных массивов под влиянием орошения (на примере Ингулецкого массива УССР). Киев, «Урожай», 1970.
Тюрин И. В. Органическое вещество почвы и его роль в плодородии. М., «Наука», 1965.
Уклонский А. С. Материалы для геохимической характеристики вод Туркестана. Ташкент, 1925.
Федоров Б. В. Агромелиоративное районирование зоны орошения Средней Азии. Ташкент, Изд-во АН УзССР, 1953.
Харченко С. И. Гидрология орошаемых земель. Л., Гидрометеоиздат, 1968.
Харченко С. И. Исследование влияния

орошения на водные ресурсы и водный баланс речных бассейнов, разработка методики определения возвратных вод и безвозвратных потерь.— Труды ГГИ, вып. 208. Л., Гидрометеоиздат, 1973.

Харченко С. И., Цыценко К. В. Оценка влияния ирригационных мероприятий на речной сток (на примере р. Чу).— Труды ГГИ, 1976, вып. 230.

Хасанов А. С. Условия формирования химического состава подземных вод Голодной степи. Ташкент, «Фан», 1968.

Ходжибаев Н. Н. Естественные потоки грунтовых вод Узбекистана. Ташкент, «Фан», 1970.

Ходжибаев Н. Н. Гидрогеолого-мелиоративное районирование. Ташкент, «Фан», 1975.

Ходжибаев Н. Н., Самойленко В. Г. Гидрогеолого-мелиоративные прогнозы. Ташкент, «Фан», 1976.

Худайбердыев А. А. О гидрогеолого-мелиоративной классификации оазисов Узбекистана.— Сельск. хоз-во Узбекистана, 1958, № 9.

Чембарисов Э. И. Некоторые вопросы формирования химического стока в бассейне р. Керагилсай.— Труды Ташк. ун-та, 1971, вып. 416.

Чембарисов Э. И. О необходимости переброски части стока сибирских рек для улучшения качества речных вод бассейна Аральского моря.— В кн.: Мелиорация почв Средней Азии, Казахстана и Западной Сибири в связи с переброской части стока сибирских рек в южные районы страны. Материалы Всесоюз. совещ. Пущино, 1973а.

Чембарисов Э. И. Уменьшить минерализацию.— Сельск. хоз-во Узбекистана, 1973б, № 5.

Чембарисов Э. И. К методике изучения изменения минерализации речных вод за многолетний период.— Тез. докл. Всесоюз. конф. молодых ученых и специалистов «Биология и научно-технический прогресс». Пущино, 1974а.

Чембарисов Э. И. Изменение минерализации вод некоторых рек Средней Азии в связи с орошением.— Автореф. канд. дис., М., 1974б.

Чембарисов Э. И. К решению гидрохимических задач в связи с переброской части стока сибирских рек на юг страны.— В кн.: Природно-мелиоративная характеристика Средней Азии и Казахстана. Пущино, 1976.

Черкиченко И. Д. Многолетний солевой режим почв Северной Мугани. Автореф. канд. дис. М., 1977.

Шалатова Л. И. Некоторые данные о естественной зарегулированности стока рек Средней Азии.— Труды Ташк. ун-та, 1962, вып. 193.

Шевченко А. И. Принципы гидрогеологического районирования орошаемых территорий применительно к запросам мелиорации.— В кн.: Труды II Узбекского гидрогеологического совещания. Ташкент, 1958.

Шевченко А. И. Гидрогеологическая классификация орошаемых территорий Узбекистана. Ташкент, Изд-во АН УзССР, 1961.

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

Шредер В. Р. О поливной норме.— Хлопководство, 1963, № 2.

Штепа Б. Г. Прогрессивные способы орошения. ЦБНТИ Минводхоза СССР. М., 1975.

Шульц В. Л. Принципы и схема гидрологического районирования Средней Азии.— В кн.: Труды и материалы по гидрологии Средней Азии. Самарканд — Ташкент, 1935.

Шульц В. Л. Реки Средней Азии. Л., Гидрометеоиздат. 1965.

Щеглова О. П. Питание рек Средней Азии.— Труды САГУ, Ташкент, 1960, вып. 167.

Эванс Н. А. Мелиорация и дренаж засоленных содовых почв в верховьях бассейна реки Колорадо.— Международное руководство по орошению и дренажу засоленных почв, гл. XIII, кн. 5 (исходные тексты, подготовленные ЮНЕСКО и ФАО). М., 1966.

Якубова Р. А. Загрязнение водных ресурсов в связи с химизацией сельского хозяйства.— В кн.: Проблемы использования земельно-водных ресурсов Узбекской ССР. Ташкент, «Фан», 1969.

Bower C. A. Salinity of Drainage Waters.— In: Drainage for Agriculture. Schilfgoarde van Jan. Madison, Wisconsin, 1974.

Bower C. A., Spencer I. R., Weeks L. O. Salt and Water Balance. Coachella Valley, California.—Proc. Amer. Soc. Civil Engrs, 1969, v. 95.

Clarke Fr. Wig. The Date of Geochemistry. Bull. 770. Washington, 1924.

Holburt M. B., Valantine V. E. Present and Future Salinity of Colorado River.— J. Amer. Soc. Civil Engrs. Hydraulic Div., 1972, v. 98 (3).

Irelan B. Salinity of Surface Water in the Lower Colorado River. Salton Sea-Area. U. S. Geological Survey Profess. Paper, N 486-E. 1971.

Lloyd W. Salinity Cause by Irrigation.— Amer. Water Works Assoc., 1962, v. 54, N 2.

Lower Colorado Region. Comprehensive Framework Study. App. X. Irrigation and Drainage. June 1971 [Prepared by: Lower Colorado Region State-Federal Inter-Agency Group for the Pacific Southwest Inter-Agency Committee].

McGeorge W. T. Influence of Colorado Silt on Some Properties of Juma Mesa Sandy Soil.— Ariz. Agr. Exp. Sta. Techn. Bull., 1941, v. 91.

Pionke Harry B. Effect of Climate, Impoundments and Land Use on Stream Salinity.— Soil and Water Conserv., 1970, v. 25, N 2.

Quality of Surface Water of the United States, 1965. Part 9—11. Colorado River Basin to Pacific Slope Basins in California, Washington, 1970.

Reclamation Project Data. United States Department of the Interior. Washington, 1961.

Robert S. Quality and Significance of Irrigation Return Flow.— Irrigat. and Drain. Div. Proc. Amer. Soc. Civil Engrs, 1963, v. 89, N 3.

Shogerbol Gaylord V., Walkes Winn R. Salinity Policy for Colorado River Basin.— Proc. Amer. Soc. Civil Engrs Hydravlic. Div. 1975, v. 101, N 8. 1967—1975.

Surface Water Supply of the United States, 1961—1965. Part 9. Colorado River Basin United States Government Printing Office. Washington, 1970.

The Water Encyclopedia. Water Information Center. Port Washington, 1970.

The Nation's Water Resources. The First National Assessment of the Water Resources Council. Washington, 1968.

Upper Colorado Region. Comprehensive Framework Study. App. X. Irrigation and Drinage. Upper Colorado Region State-Federal Inter-Agency Group (Pacific Southwest Inter-Agency Committee). Water Resources Council. June 1971.

Vincent T. R., Russel J. D. Alternatives for Salinity Management in the Colorado River Basin.— Water Resour. Bull., 1971, v. 7 (4).

Wiorenga P. J., Patterson T. C. Quality of Irrigation Return Flow in the Mesilla Valley.— Trans. 10-th Intern. Congr. Soil Sci. Moscow, 1974.

СОКРАЩЕНИЯ, НАИБОЛЕЕ ЧАСТО УПОТРЕБЛЯЕМЫЕ В ТЕКСТЕ, СПЕЦИАЛЬНЫЕ ТЕРМИНЫ И ПРИНЯТЫЕ УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ[1]

ВСЕГИНГЕО — Всесоюзный научно-исследовательский институт гидрогеологии и инженерной геологии.

ВСЕИГИМ — Всесоюзный институт гидротехники и мелиорации.

В/О «СОЮЗВОДПРОЕКТ» — Всесоюзное производственное проектное объединение «Союзводпроект».

ГИДРОПРОЕКТ — Всесоюзный ордена Ленина проектно-изыскательский институт им. С. Я. Жука.

ГИЗР — Государственный научно-исследовательский институт земельных ресурсов.

ГХИ — Гидрохимический научно-исследовательский институт.

ГИПРОЗЕМ — Государственный проектный институт по землеустройству.

САНИИРИ — Среднеазиатский научно-исследовательский институт ирригации им. В. Д. Журина.

САРНИГМИ — Среднеазиатский региональный научно-исследовательский гидрометеорологический институт.

Средазгипроводхлопок — Среднеазиатский государственный проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт по ирригации и мелиоративному строительству.

УГМС — Управление гидрометеорологической службы.

Термины

Бассейновый метод комплексного географо-галогеохимического анализа — метод, предлагаемый авторами настоящей монографии. Он позволяет выявить количественно закономерные связи между составными частями ландшафтов речных долин (существующих, реликтовых). Метод основан на получении взаимосвязанных и взаимообусловливающих количественных химических показателей составных частей ландшафтов (почв, горных пород — степень и характер засоления; грунтовых вод, поверхностных и атмосферных вод — минерализация, химический состав и т. д.), а также хозяйственной деятельности человека, особенно орошения. Частным выражением метода является бассейновый способ расчета, пригодный для определенных территорий.

Бассейн речной — изолированная часть земной поверхности, жидкий, твердый и химический сток с которой поступает в дренирующее эту территорию русло. Бассейн ограничен водоразделами, которые целиком закрывают его со всех сторон, кроме одной, где русло выходит за его пределы. Место выхода замыкается устьевой горловиной, на которой часто сооружаются гидрологические створы.

Бассейновый способ расчета — способ прогноза минерализации речных вод, основанный на взаимосвязи площадей орошения с минерализацией рек. Расчеты производятся по формуле: $M_{зам.} = M_{нач.} + F_{эф.}$

Балансовый способ расчета — способ прогноза минерализации, основанный на учете отдельных составляющих водно-солевого баланса.

Возвратные воды — подземные и поверхностные воды, стекающие с орошаемых полей. Среди возвратных вод различают сбросные и дренажные.

Гидрограф — график изменения во времени расходов воды за год или часть года (сезон, половодье или паводок).

Гидрографическая сеть — совокупность рек и других постоянно и временно действующих водотоков на местности.

Гидрологический створ — закрепленный на местности поперечник через реку, в котором длительное время в определенные сроки измеряются расходы воды, твердый и ионно-солевой сток.

Дельта — особая форма устья реки, обычно возникающая на мелководных участках моря или озера при впадении в них рек, несущих большое количество наносов.

Дренаж — способ осушения излишне увлажненных земель путем открытых каналов, закладки подземных труб (дрен) или скважин с целью снижения уровня грунтовых вод.

---

[1] При описании отдельных терминов использованы определения, данные в «Энциклопедическом словаре географических терминов». М., 1968.

Дренажные воды — воды подземного стока, сбрасываемые дренажной сетью в реки, озера или замкнутые понижения.

Замыкающий створ — гидрологический створ, расположенный ниже площадей орошения.

Земельный фонд — учтенные земли, используемые в сельском хозяйстве, а также намеченные к освоению.

Коллектор — крупный водоприемник подземных вод, выклинивающихся с орошаемых полей.

Конус выноса — форма рельефа, образованная скоплением продуктов разрушения почв и горных пород, вынесенных речками и селями к подножью горных склонов.

Начальный створ — гидрологический створ, расположенный выше орошаемых площадей.

Расход воды — объем воды, протекающий через живое сечение потока в единицу времени, выражается в $м^3/сек$.

Русловая приточность — объем подземных вод, выклинивающихся в главную реку на отдельных ее участках.

Сбросные воды — воды поверхностного стока, формирующиеся в результате непроизводительных утечек из оросительных каналов и с поливных участков, сбросных вод с рисовых полей, аварийных сбросов.

Сток — перемещение воды в процессе ее кругооборота в природе в форме стекания по речному руслу (поверхностный сток) и в толще почво-грунтов (подземный сток).

Хронограф — график изменения во времени минерализации за год или часть года.

Элементарный бассейн — территория с выявленными геоморфологическими и гидрогеологическими границами, определяющими области аккумуляции, транзита и рассеивания водно-солевого и твердого стока. В устьевой, самой пониженной части можно фиксировать качество и объем поверхностного и подземного стока, который будет характеризовать почвенно-галогеохимическую, гидрологическую и гидрогеологическую работу всего элементарного бассейна.

Эффективная орошаемая площадь — регулярно орошаемая и дренируемая рекой площадь.

Условные обозначения

a — интегральный ландшафтно-геохимический показатель.

C_v — коэффициент вариации.

$F_{ор.}$ — орошаемая площадь.

$F_{эф.}$ — эффективная орошаемая площадь.

Q — расход воды.

W — сток воды за месяц, период, год.

M — минерализация воды.

$M_{нач.}$ — минерализация воды выше орошаемой площади.

$M_{зам.}$ — минерализация воды ниже орошаемой площади.

$\Delta M_{ест}$ — приращение минерализации воды на рассматриваемом участке реки за счет естественных факторов.

α — коэффициент использования стока.

β — доля возвратных вод в общем стоке реки.

r — коэффициент корреляции.

E_r — вероятная ошибка коэффициента корреляции.

S — количество солей, проходящее через живое сечение потока в единицу времени.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение 3

Глава 1

Бассейновый метод комплексного географо-галогеохимического анализа . 7

Бассейновый подход к анализу природно-мелиоративной обстановки . 7

Ландшафтно-геохимические связи почвенного покрова со стоком рек . . 9

Выбор опытных бассейнов рек 23

Глава 2

Оценка основных природных и искусственных факторов в бассейнах рек и их влияние на минерализацию речных вод 30

Формирование минерализации речных вод в естественных условиях . . 30

Влияние орошения на минерализацию 37

Зависимость минерализации речных вод от орошения 43

Глава 3

Бассейновый способ прогноза минерализации речных вод 49

Обоснование рабочей формулы 49

Оценка исходных величин ($M_{нач.}$, $F_{эф.}$) 52

Интегральный ландшафтно-геохимический показатель (a) 60

Глава 4

Применение бассейнового способа расчета для определения будущей минерализации вод рек, коллекторов и каналов 66

Оценка расчета минерализации рек существующими способами . . . 66

Возможности применения бассейнового метода анализа при расчетах будущей минерализации рек и коллекторов 68

Расчет минерализации воды бассейновым способом на примере проектируемого Обь-Каспийского канала 72

Глава 5

Проверка возможностей бассейнового метода комплексного географо-галогеохимического анализа при расчете минерализации речных вод . . . 83

Влияние орошения на минерализацию р. Куры (в пределах Кура-Араксинской низменности Азербайджана) 83

Влияние орошения на минерализацию воды р. Колорадо (США) . . . 92

Глава 6

Меры борьбы с повышением минерализации и ухудшением химического состава речных вод 101

Охрана качества речных вод 101

Заключение 108

Литература 111

Сокращения, наиболее часто употребляемые в тексте, специальные термины и принятые условные обозначения 118

Термины 118

Условные обозначения 119

1 р. 70 к.

