

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР
ПО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ И КОНТРОЛЮ
ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

ГИДРОХИМИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (г. РОСТОВ-НА-ДОНУ)
МИНИСТЕРСТВО РЫБНОГО ХОЗЯЙСТВА КАЗАХСКОЙ ССР

КАЗАХСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ РЫБНОГО ХОЗЯЙСТВА (г. БАЛХАШ)

Н. А. Амиргалиев

Гидрохимия
канала
Иртыш—Караганда

Под редакцией
д-ра геогр. наук
М. Н. ТАРАСОВА



ЛЕНИНГРАД ГИДРОМЕТЕОИЗДАТ 1981

Обобщены результаты многолетних гидрохимических исследований канала Иртыш—Караганда и его водохранилищ. Дается описание химических компонентов воды (минерализация и главные ионы, растворенные газы, органическое вещество, минеральные и органические формы биогенных элементов, микроэлементы и др.). Рассматриваются основные факторы формирования химического состава и качества воды в периоды первоначального наполнения и эксплуатации канала в условиях засушливого климата. Дана оценка пригодности воды канала для питьевого, технического водоснабжения и орошения.

Для гидрохимиков, работников водного хозяйства и водоснабжения.

343577

Нариман Амиргалиевич Амиргалиев
ГИДРОХИМИЯ КАНАЛА ИРТЫШ—КАРАГАНДА

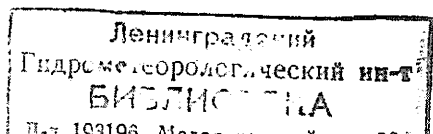
Н/К

Редактор Г. Г. Доброумова. Художник И. Г. Архипов. Техн. редактор Г. В. Ивкова. Корректор Т. Н. Черненко. Н/К. Сдано в набор 05.02.81. Подписано в печать 17.07.81. М-21549. Формат 60×90^{1/8}. Бум. тип. № 1. Гарнитура литературная. Печать высокая. Печ. л. 12,5. Кр.-отт. 12,88. Уч.-изд. л. 15,07. Тираж 1060 экз. Индекс ГЛ-89. Заказ № 94.

Цена 1 р. 90 к. Гидрометеониздат. 199053. Ленинград, 2-я линия, д. 23.
Типография им. Котлякова издательства «Финансы и статистика» Государственного комитета СССР по делам издательства, полиграфии и книжной торговли.
191023. Ленинград, Д-23, Садовая, 21.

А 20806-136
069(02)-81-1-81(1). 1903030200

© Гидрохимический институт, 1981 г.



ОТ РЕДАКТОРА

Велики и разнообразны природные богатства Центрального Казахстана. На их базе созданы крупные промышленные центры цветной и черной металлургии, энергетики и химической промышленности; здесь выросли большие города, такие, как Караганда, Темиртау, Экибастуз, Джезказган и др.; успешно развивается сельское хозяйство. Однако дальнейшее развитие народного хозяйства, особенно его водоемких отраслей, вызывает значительные затруднения в связи с резкой ограниченностью в этом регионе водных ресурсов. Эта проблема успешно решена путем создания уникальной водной системы — канала Иртыш—Караганда.

Канал общей протяженностью 458 км с высотой подъема воды 412 м сооружен в сложных физико-географических условиях, отличающихся резкой континентальностью климата, засоленными почвами, породами и грунтовыми водами, значительная его часть проходит в русле солончатой р. Шидерты; в систему канала входит 13 водохранилищ, имеющих собственные водосборы и большие испаряющие поверхности водного зеркала. Все это определило необходимость постановки серьезных гидрохимических исследований с целью установления главных закономерностей формирования химического состава воды канала и водохранилищ и его динамики во времени и пространстве в этих сложных условиях. Значение этих вопросов для оценки качества воды вполне очевидно.

В недалеком будущем в СССР начнет функционировать воднохозяйственная система по переброске части стока северных и сибирских рек на южный склон страны. Вода пройдет тысячи километров в самых разнообразных физико-географических условиях через комплекс рек, озер, водохранилищ и каналов. Отсутствие в мировой практике подобных сооружений и сравнительная ограниченность наших знаний не позволяют пока надежно прогнозировать те изменения в химическом составе воды, которые неизбежно произойдут по мере продвижения воды по трассам переброски и особенно на их конечных участках при подходе к водопотребителям. Трудно также пока предвидеть возможные изменения в окружающей среде в целом в результате столь смелого вмешательства человека в установившиеся веками в природе равновесия. В этом отношении канал Иртыш—Караганда можно рассматривать как хорошую аналоговую модель, исследование которой поможет заранее оценить ожидаемое качество воды и другие возможные последствия в связи с ее переброской. Это позволит своевременно внести коррективы в разрабатываемые проекты и предусмотреть ряд необходимых природоохранных мероприятий.

Важность последнего положения подчеркивается и тем, что по сравнению с другими водными объектами — реками, моря-

ми, озерами, водохранилищами, гидрохимии которых посвящены десятки обобщающих монографий, гидрохимия каналов изучена очень слабо. Сведения же о таких сложных системах, какой является канал Иртыш—Қарағанда, практически отсутствуют.

В основу книги положены обобщенные автором материалы прежних работ, проведенных в районах канала некоторыми исследователями, и главным образом результаты собственных десятилетних наблюдений (1969—1978 гг.). Очень важно, что этот период охватывает все последовательные этапы, начиная с заполнения канала и водохранилищ и кончая почти нормальным режимом эксплуатации всей системы.

Исследованиями охвачен широкий круг ингредиентов химического состава и показателей качества воды (взвешенные вещества, минерализация и ионный состав, биогенные и органические вещества, газовый состав, микроэлементы), причем, сведения о таких компонентах, как натрий, калий, органический азот, органический фосфор, микроэлементы в воде каналов, здесь приводятся впервые. Наблюдения проводились на широкой сети, включающей 42 станции, которые охватили все наиболее характерные участки канала и водохранилищ.

Указанный объем исследований позволил автору установить особенности изменений химического состава воды по длине канала в разные периоды его эксплуатации, причины и главные закономерности этих изменений, оценить качество воды для различных целей и в некоторых случаях высказать предположения о возможных изменениях качества воды в будущем. В ряде разделов проводится сравнение некоторых гидрохимических характеристик канала Иртыш—Қарағанда с другими каналами и даются объяснения их сходства или различий.

Сложные гидрохимические условия канала и недостаток необходимой информации, особенно в части подземных вод, не позволили пока автору произвести расчеты баланса химических веществ в канале и водохранилищах. Это наиболее сложный вопрос, который, по-видимому, должен послужить предметом дальнейших исследований. Вполне очевидно, что исследования в уже проведенных направлениях необходимо также продолжить с охватом периода окончательно установившегося режима эксплуатации канала (при полной проектной мощности).

Несомненно, что данная работа в целом является существенным вкладом в наши знания по химии природных вод, заполняя значительный пробел, который существовал в гидрохимии каналов. Несомненно также, что эта работа должна оказать помощь широкому кругу специалистов, занимающихся вопросами переброски стока и охраны окружающей среды.

М. Н. Тарасов

ВВЕДЕНИЕ

Каналы — своеобразные искусственные водные объекты — водотоки, используемые для подачи питьевой, технической, оросительной воды и улучшения судоходства, сооружаются человеком с незапамятных времен. Еще за три-четыре тысячелетия до нашей эры в Египте, Индии, Китае, Мексике и других странах строились ирригационные каналы и создавались орошаемые массивы.

На территории Казахстана в низовьях р. Сырдарьи орошением стали заниматься в VIII в. до н. э., о чем свидетельствуют следы старых каналов в районе ныне существующего канала Тогускен в Кызыл-Ординской области. Общая площадь древнего орошения в низовьях Сырдарьи составила около 440 тыс. га [54].

Самый древний судоходный канал соединял Нил с Красным морем около 1380 г. до н. э. Постройка каналов в Западной Европе началась в эпоху Возрождения. В России развернутое их строительство началось при Петре I сооружением Ивановского канала, соединившего р. Оку с верховьями р. Дона [65].

За годы Советской власти у нас построено множество каналов различного хозяйственного назначения. Главными из них являются каналы Волго-Донской, Беломорско-Балтийский, Каракумский, Большой Ферганский, Южный Голодностепский, Донской магистральный, Северо-Крымский, Северский Донец — Донбасс, Днепр — Кривой Рог, Аму-Бухарский, Иртыш — Караганда и др.

За период с 1913 по 1965 г. протяженность только судоходных каналов в СССР увеличилась в 5 раз и достигла более 15 тыс. км. Общая длина ирригационных каналов в настоящее время превышает 500 тыс. км. Протяженность групповых водопроводов по водообеспечению сельскохозяйственных районов только в Казахстане приближается к 15 тыс. км [54, 65]. Наиболее крупные из них — Ишимский, Булаевский, Нуринский, Селетинский и Пресновский общей протяженностью более 8 тыс. км — сооружены в северных областях Казахстана.

В современных условиях научно-технического прогресса задачи комплексного использования водных ресурсов с учетом перспектив развития народного хозяйства отдельных регионов, степень его водообеспеченности требуют не только строительства новых водных магистралей, но и изменения в противоположном направлении течения существующих каналов. Примером могут служить Волго-Донской и Волго-Балтийский каналы.

Планируются и частично осуществляются межбассейновые перераспределения водных ресурсов путем строительства каналов протяженностью в несколько тысяч километров с весьма большими пропускными способностями. В США, например, осу-

ществлены проекты по переброске водных ресурсов рек Колумбии и Колорадо на север и юг Калифорнии и в другие штаты. По так называемому плану Парсона, предусматривается переброска на юг водных ресурсов рек Канады и Аляски в США и Мексику. Эта система рассчитана для подачи воды от 85 до 135 км³ в год, протяженность ее 13 700 км, строительство рассчитано на 20 лет и оценивается в 100 млрд. дол.

Невиданные по масштабу мероприятия по межбассейновому перераспределению водных ресурсов планируются в СССР. Работы по переброске части стока северных рек в бассейн Каспия уже ведутся. Не менее грандиозным и сложным является осуществление переброски части стока сибирских рек в Казахстан и Среднюю Азию. Начаты исследования и изыскания по проекту передачи части стока Обь-Иртышского бассейна в бассейн Аральского моря.

Разнообразие каналов и многоотраслевое их назначение определяют различный режим их эксплуатации, неодинаковые требования в отношении качественных показателей транспортируемой воды. Наряду с этим разнообразны и факторы формирования их гидрохимического режима в зависимости от региональных особенностей территории. Накопление знаний по всем этим вопросам имеет научную и практическую ценность как сейчас, так и в будущем.

Между тем среди всех типов искусственных и естественных водных объектов наименее изученными до сего времени оставались каналы. Значительно больше работ имеется по гидробиологическому режиму и особенностям зарастания каналов, выполненных в связи с возникновением биологических помех в их эксплуатации. Этим вопросам посвящены вышедшие в последнее десятилетие монография О. П. Оксюк «Водоросли каналов мира» [157] и два сборника: «Каналы СССР» [96] и «Гидробиология каналов СССР и биологические помехи в их эксплуатации» [61]. В этих сборниках, в частности, собрана основная масса имеющихся немногочисленных данных о химическом составе воды каналов СССР. Более полно эти сведения представлены лишь по каналам Украины, системе канала им. Москвы и в некоторой мере Средней Азии, где велись гидрохимические исследования. Небольшое число работ [81, 83, 93, 132, 201, 208, 209] касается лишь отдельных вопросов химического состава воды ряда оросительных каналов Северного Кавказа и Средней Азии. Весьма важный вопрос, каким является влияние каналов на природную среду, рассмотрен пока лишь на примере одного Каракумского канала [97]. Таким образом, наука не располагает достаточно полными сведениями для решения практических задач в области рассматриваемого вида объектов.

Ограниченность гидрохимических сведений по каналам затрудняет решение по меньшей мере двух важнейших вопросов:

— выявление наиболее существенных факторов формирования химического состава и качества воды (питьевое, техническое, ирригационное и др.) при транспортировке ее по каналам различного типа и режима эксплуатации в условиях различных почвенно-климатических зон;

— прогнозирование гидрохимического режима и качества воды проектируемых каналов с целью учета возможного возникновения всякого рода помех при их эксплуатации.

Коммунистическая партия и Советское правительство уделяют исключительно большое внимание охране природы и рациональному использованию ее ресурсов, в частности водных, что отражено в Постановлениях ЦК КПСС и СМ СССР «Об усилении охраны природы и улучшении использования природных ресурсов» (декабрь 1972 г.) и «О дополнительных мерах по усилению охраны природы и улучшению использования природных ресурсов» (декабрь 1978 г.).

Строительство уникального гидротехнического сооружения — канала Иртыш—Қарағанда служит ярким примером претворения в жизнь выдвинутого Партией и Советским правительством грандиозного плана переброски части стока сибирских рек в южные засушливые районы.

Значение этого канала в развитии народного хозяйства Центрального Казахстана трудно переоценить. Из-за ограниченности местных водных ресурсов он является главным источником обеспечения водой таких крупных промышленных центров черной, цветной металлургии, энергетики и химической промышленности, как Қарағанда, Темир-Тау, Экибастуз, Джезказган, Майкани, Абай, Шахтинск и другие, больших массивов орошаемых земель многих населенных пунктов. Он является первым такого рода крупным гидротехническим сооружением для круглогодичной переброски воды в условиях сурового климата. Разнообразие физико-географических условий, наличие по трассе каскада водохранилищ, многочисленных водотоков и другие причины порождают многообразие факторов формирования и процессов метаморфизации состава воды канала.

Все указанное выше определяет необходимость исследования гидрохимического режима и качества воды канала для нужд многих отраслей хозяйства. Полученные результаты по оценке степени влияния разнообразных факторов и ландшафтных условий на формирование гидрохимического режима и качества воды канала, естественно, могут быть использованы и учтены при разработке проектов переброски части стока сибирских рек в Казахстан и Среднюю Азию. Будущие магистрали пройдут в почти одинаковых физико-географических условиях. Они аналогичны по назначению и режиму эксплуатации, т. е. канал Иртыш—Қарағанда можно рассматривать как модель каналов переброски в несколько меньших масштабах.

Работа выполнена в гидрохимической лаборатории Казахского научно-исследовательского института рыбного хозяйства (КазНИИРХ). В основу ее положены результаты гидрохимических исследований, выполненных автором в 1969—1978 гг., т. е. в период, охватывающий первоначальное наполнение и нормальную эксплуатацию канала.

В сборе и обработке материала принимали участие научные сотрудники Т. Я. Лопарева и С. Накупбеков, в оформлении работы — ст. лаборант Р. Н. Казакова, за что автор выражает им большую признательность.

Автор приносит глубокую благодарность д-ру геогр. наук, проф. М. Н. Тарасову за постановку задач, ценные советы при выполнении работы и за труд по редактированию рукописи.

Автор также благодарит руководство и работников предприятия по эксплуатации канала, в частности А. Ф. Литвиюк, В. И. Пан за помощь, оказанную в выполнении исследований.

ГЛАВА 1. ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА

1.1. Орография и геологическое строение

На своем пути канал пересекает три орографически различные области: равнинную, равнинно-мелкосопочную и мелкосопочную [95].

Первая область протяженностью около 100 км находится в пределах Прииртышской равнины Западно-Сибирской низменности. Равнина сложена мощными отложениями кайнозойского возраста, образующими почти плоскую слабонаклонную на северо-восток поверхность. В гипсометрическом отношении эта равнина является наиболее пониженным участком трассы. Минимальные отметки района (менее 100 м) соответствуют котловинам ряда мелких соленых озер.

Равнинно-мелкосопочная часть простирается к западу от первого района. Протяженность ее около 200 км. Эта переходная область расположена на участке между оз. Карасор и р. Шидерты и имеет абсолютные отметки 150—250 м, а на юге отметки повышаются до 250—300 м. В пределах этой территории ровные и пологоволнистые поверхности, представляющие остатки древнего пенеплена или озерноаллювиальные равнины, чередуются с участками мелкосопочника. Характер рельефа этого участка определяется пестрым сочетанием скальных пород палеозоя и рыхлых образований более позднего возраста. Минимальные отметки области представлены долиной р. Шидерты и отдельными озерными котловинами.

Долина р. Шидерты врезана в равнинно-мелкосопочную область. В северной части она выработана в отложениях палеогена, в средней врезана в породы палеозойского фундамента. На скальное ложе или на древнюю кору выветривания ложатся обычно неогеновые озерно-делювиальные или делювиально-пролювиальные гипсоносные глины. Сверху они перекрыты мощными (до 20 м) озерно-пролювиальными глинами и суглинками с редкими прослоями щебенистых песков.

На всем протяжении долины р. Шидерты выражена узкая (около 20 м) пойма и две надпойменные террасы. Первая имеет ширину от нескольких десятков метров до 2 км и сложена аллювиальными песками и суглинками. Вторая терраса шириной до 2,5 км отмечена местами. Высота ее над уровнем реки 5—8 м, сложена суглинками с песчано-гравийными прослоями.

Рельеф участков расширения долины р. Шидерты представляет собой равнину, рассеченную многочисленными долинами временных водотоков на широкие плоские увалы и имеющую пологий уклон к р. Шидерты.

Берега русла местами крутые, высотой 3—5 м, часто обрывистые. Они сложены скальными породами, которые обычно прикрыты тонким слоем суглинков, а местами обнажены. Некоторые характерные черты берегов, долины р. Шидерты и водохранилищ, созданных на реке, показаны на рис. 1—3.

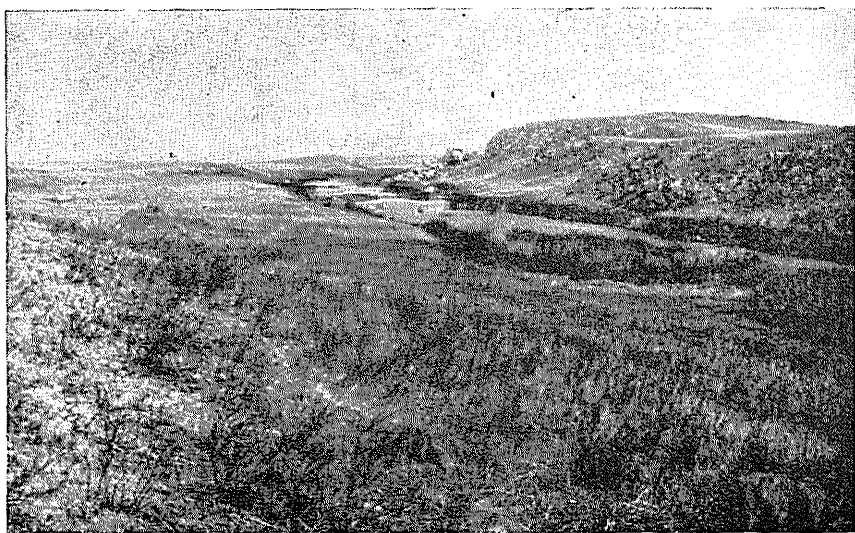


Рис. 1. Долина р. Шидерты.

В области мелкосопочника, субстрат которой складывается породами палеозоя, равнинный рельеф имеет подчиненное значение и сохраняется в виде отдельных фрагментов. В пределах южной части мелкосопочника расположен главный водораздел между бассейнами рек Иртыша и Нуры с отметкой 500 м, что на 416 м выше уреза воды р. Иртыша.

Холмистую равнину в Центральном Казахстане, над которой возвышаются обособленные горные массивы (мелкосопочники), образуют группы холмов, каменистых гряд, увалов, сглаженных или, наоборот, расчлененных ветвящимися оврагами логам или разделенных более широкими долинами; последние на отдельных участках сменяются обширными равнинами с сухими руслами, с солеными и пресными озерами [99].

Геологическая история Центрального Казахстана считается очень сложной. Образование мелкосопочного рельефа является результатом тектонических процессов [70, 123, 225].

Согласно имеющимся сведениям [38, 225], триас и юра знаменуются образованием мощной коры выветривания и новыми тектоническими подвижками, которые в меловое время завершились возникновением новой речной сети, изменившей рельеф Центрального Казахстана. Именно в эти времена, по-видимому, возникли погребенные долины, характерные для этого региона, а также абразивная равнина, давшая впоследствии особый геоморфологический район волнистой равнины — переходной полосы от плоской равнины Прииртышья к мелкосопочнику Казахской складчатой страны. Окончательное формирование долин рек Шидерты и Нуры с их террасами и участками сквозных

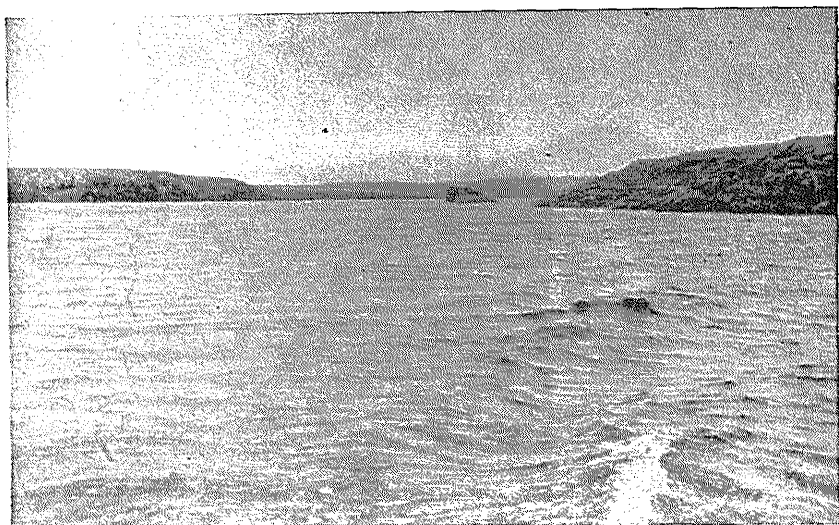


Рис. 2. Берега средней части водохранилища 1.

каньонообразных долин, а также развитие сети сопряженных с р. Шидерты долин временных водотоков происходило в результате тектонических процессов в верхнечетвертичный и современный периоды [95, 141].

Внешний покров рассматриваемой территории имеет континентальное происхождение. В пределах Прииртышской равнины широкое распространение получают отложения палеогена и неогена [95]. В районе Казахской складчатой страны они встречаются лишь отдельными пятнами в понижениях рельефа.

Более молодые неоген-антропогеновые озерно-аллювиальные и озерно-пролювиальные отложения встречены на участках древних долин рек Нуры и Шидерты, где они представлены глинистыми толщами с редкими прослоями галечника, песков и супесей.

Антропогенные отложения занимают почти всю рассматриваемую территорию, сплошным чехлом перекрывая более древние породы. Средний антропоген, представленный песками с гравийно-галечным материалом озерно-аллювиального происхождения, широко развит на Прииртышской равнине. Верхне-антропогенные отложения образуют вторую надпойменную трассу рек Нуры, Шидерты и их притоков. В долинах Шидерты аллювий второй надпойменной террасы мощностью 10—12 м состоит из суглинков с прослоями песчано-гравийных отложений [38, 95].

Еще более молодые отложения выполняют первые надпойменные террасы рек Нуры, Тузды и Шидерты, а новейшие ал-

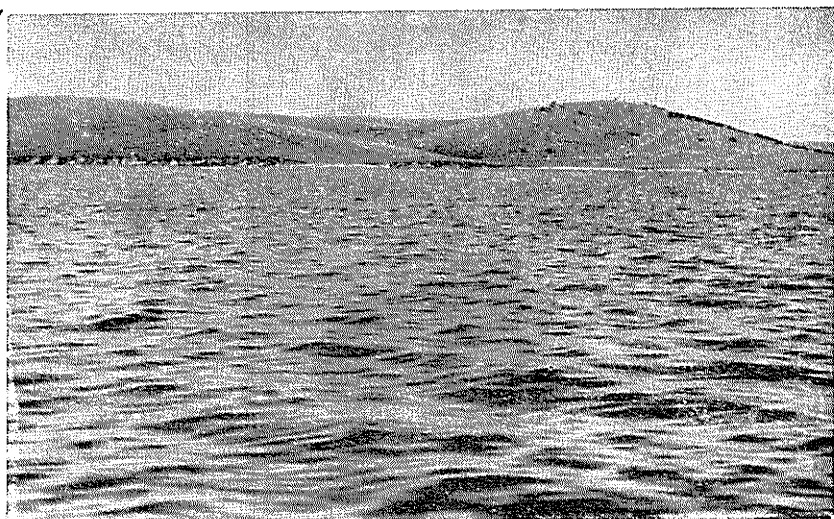


Рис. 3. Северо-восточное побережье водохранилища 8.

лювиально-пролювиальные отложения с прослоями гравийно-галечного материала широко распространены в узких долинах временных водотоков, мощность их 3—5 м.

1.2. Климат

Район трассы канала характеризуется резко континентальным и засушливым климатом, что обуславливается удаленностью территории от больших водных пространств, а также свободным доступом теплого сухого субтропического воздуха пустынь Средней Азии и холодного арктического воздуха.

Среднегодовая температура воздуха за многолетний период составляет у г. Павлодара 1,8 °С, Экибастуза —2,1°, у Кара-

ганды $-2,2^{\circ}\text{C}$ [3, 4, 175, 176]. Ход многолетних среднемесячных значений температуры воздуха по метеостанциям Павлодар и Караганда, занимающим крайние положения по трассе канала, показан на рис. 4.

Самым холодным месяцем является январь, средняя многолетняя температура которого у Павлодара $17,9^{\circ}\text{C}$, Караганды $-15,1^{\circ}\text{C}$, а абсолютные низкие температуры на этих метеостанциях составляли соответственно -49 и -57°C . Самый теплый месяц — июль со средней температурой у Павлодара $21,2^{\circ}\text{C}$, Караганды $20,3^{\circ}\text{C}$. Абсолютные максимальные температуры воздуха для обеих метеостанций достигали 43°C . Абсолютная годовая амплитуда колебания температуры воздуха оказалась равной у Павлодара 92°C , у Караганды 100°C . Продолжительность теплого периода со среднесуточной температурой воз-

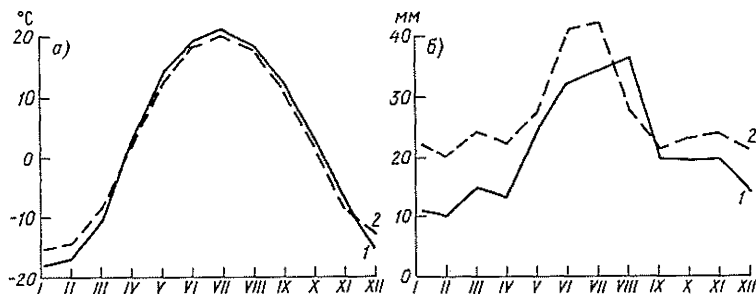


Рис. 4. Температура воздуха (а) и осадки (б) у Павлодара (1) и Караганды (2).

духа выше 0°C в пределах мелкосопочного рельефа около 200 дней, а в Прииртышской низменности от 180 до 200 дней.

Среднемесячные многолетние значения атмосферных осадков по указанным выше конечным пунктам канала показаны на рис. 6. Приведенные данные свидетельствуют о том, что у г. Караганды средние значения осадков в течение всего года, за исключением августа, выше, чем в районе г. Павлодара. Среднемноголетние значения атмосферных осадков в районе трассы канала по метеостанциям Павлодар, Экибастуз и Караганда составляют соответственно 230, 200 и 315 мм [38, 175, 176]. Из данных, содержащихся в «Справочнике по климату СССР» [196] видно, что в многолетнем цикле значения годовых осадков подвергаются большим колебаниям. Так, за 1951—1965 гг. они изменялись в следующих пределах: в районе Павлодара от 158 до 245 мм, Экибастуза от 122 до 371 мм, Караганды от 105 до 519 мм.

За теплый период в районе трассы канала выпадает 70—80 % всего годового объема осадков.

Образование устойчивого снежного покрова отмечается в Павлодаре в среднем 18/XI, в Караганде — 10/XI. Разрушение

снежного покрова происходит в начале апреля, а в южной части трассы канала оно иногда начинается в конце марта.

В условиях засушливого климата на испарение расходуется большая часть выпадающих осадков. Около 50 % годового испарения приходится на апрель, май и июнь, так как испарение в теплое время года зависит от влагозапасов в почве и количества атмосферных осадков.

По расчетам А. П. Браславского, К. Б. Шергиной [43] и КазУГКС [176], годовое испарение в районе г. Караганды составляет 36 мм, г. Джезказгана 1001 мм.

Ветреная погода, из-за незащищенности территории от проникновения в ее пределы воздушных масс, является характерной чертой климата трассы канала. Среднегодовая скорость ветра в этом районе 4,5—5,0 м/с. В зимний период преобладают юго-западные ветры повторяемостью 25—45 %. В теплое время года чаще дуют северо-восточные ветры.

Наиболее сильные ветры в районе трассы канала, вызывающие зимой метели, а летом пыльные бури, чаще всего имеют юго-западное направление. Наибольшие скорости ветра (до 25—30 м/с) наблюдаются во второй половине зимы и весной. Повторяемость ветра со скоростью более 15 м/с составляет 40—50 дней [175, 176].

1.3. Почвы и растительность

Почвенный покров территории, прилегающей к трассе канала Иртыш—Караганда, описан в целом ряде работ [37, 38, 78, 162, 197]. Более подробные сведения имеются в работе М. А. Бикмухаметова [38]. Район представлен каштановыми почвами с различной степенью солончатости. Имеет место комплексность почвенного покрова, вызванная наличием большого количества солонцов. Почвообразующие породы на этой территории представлены как морскими, так и материковыми четвертичными отложениями.

Почвенный покров Прииртышской равнины состоит из каштановых (80 %), лугово-каштановых почв (8 %) и солонцов, солончаков (12 %). В пределах древней и современной долины р. Шидерты, где расположена большая часть канала и 11 его водохранилищ, он состоит из темно-каштановых (84 %), лугово-каштановых почв (14 %) и солонцов (около 2 %). В табл. 1 приведены некоторые сведения о химическом составе почв и их водных вытяжек для двух упомянутых выше участков канала.

Из данных таблицы видно, что почвы левобережного Прииртышья, за исключением лугово-каштановых, малогумусны и значительно беднее валовым азотом, чем почвы бассейна р. Шидерты. Содержание гипса в почвах рассматриваемых районов колеблется в широких пределах: максимальное количество его (9,0—11,3 %) обнаружено в единичных случаях в

Таблица 1

Характеристика состава почв трассы канала (по М. А. Бикмухаметову) [38], %

Почвы	Гумус	Азот валовый	Гипс	Сумма солей в водной вытяжке (Σ_{II})	Преобладающие ионы	
					в менее засоленных слоях	в более засоленных слоях

Левобережное Прииртышье

Каштановые	0,3—2,4	0,02—0,13	0,07—4,50	0,01—1,51	HCO ₃ , Ca, Na	SO ₄ , Na, реже Cl, Na
Лугово-каштановые	0,2—5,6	0,08—0,27	0,05—2,20	0,01—1,49	HCO ₃ , Ca, Na	То же
Солонцы и солончаки	0,2—2,6	0,03—0,18	0,05—6,91	0,03—11,02	HCO ₃ , Cl, SO ₄ , Na	SO ₄ , Na

Бассейн р. Шидерты

Темно-каштановые	0,5—4,2	0,08—0,24	0,06—11,27	0,06—1,52	HCO ₃ , Ca, реже HCO ₃ , Na	SO ₄ , Ca, Na, реже Cl, Na
Лугово-каштановые	1,3—6,7	0,09—0,36	0,04—9,00	0,03—1,79	HCO ₃ , Ca	SO ₄ , Ca, Na и SO ₄ , Na, Ca
Солонцы	0,3—5,9	0,04—0,27	0,02—2,88	0,10—3,17	HCO ₃ , Ca	SO ₄ , Cl, Na и Cl, SO ₄ , Na

темно-каштановых и лугово-каштановых почвах долины р. Шидерты на глубине 70—85 см.

В Прииртышской равнине менее засолены каштановые и лугово-каштановые почвы (от 0,01 до 1,51 %). По сравнению с ними темно-каштановые и лугово-каштановые почвы долин р. Шидерты характеризуются большей засоленностью; в водных вытяжках количество растворимых солей составляло соответственно 0,06—1,52 и 0,03—1,79 %. Наибольшая засоленность (до —2,75 %), естественно, характерна для солонцов и солончаков Прииртышья и бассейна р. Шидерты (до 3,17 %).

В почвах двух рассматриваемых районов, а также в долине р. Шидерты, за исключением солонцов и солончаков, менее засолены поверхностные слои в пределах 0—50 см [38, 78, 197]. В зависимости от вида почв и рельефа местности, максимально засоленные прослойки встречаются на глубинах от 65 до 200 см. При этом в долине р. Шидерты с глубиной интенсивно возрастает содержание сульфата кальция, концентрация остальных солей увеличивается незначительно, а щелочность (HCO_3^-), наоборот, убывает. В солонцах и солончаках наиболее засолены поверхностные горизонты 0—45 см.

В малозасоленных слоях почв преобладают ионы HCO_3^- и Ca^{2+} , реже Na^+ (см. табл. 1). При повышении солесодержания преобладающую роль занимают ионы SO_4^{2-} , реже Cl^- , а среди катионов — Na^+ , довольно редко Ca^{2+} .

По почвенной карте Е. В. Любовой [133] участок трассы канала в пределах Прииртышской низменности отнесен к территории средnezасоленных почв, а бассейн р. Шидерты в верхней и средней ее частях — к слабозасоленным, местами — к среднезасоленным.

Материалы, полученные экспедицией института Гидропроект во время комплексных изысканий по трассе будущего канала *, указывают также на различную засоленность почвогрунтов. Наиболее засоленные участки трассы канала и концентрация растворимых солей, по сведениям упомянутых изысканий, приведены в табл. 2.

Приведенные данные свидетельствуют о том, что засоленность почв главным образом обусловлена присутствием гипса, а хлорные соли, вероятно, ввиду своей высокой растворимости не накапливаются в толщах почв и содержание их не превышает 0,5 %. Несколько повышенное количество последних (3,0—4,5 %) отмечалось лишь в илистых образованиях соленых озер и приозерных низин, расположенных местами вблизи трассы канала. Карбонатность почв крайне непостоянна и колеблется в четвертичных отложениях от 0 до 17 %, а в глинистых образованиях третичного возраста значение ее изредка достигает 25—29 %.

* Портнова В. И. Изучение засоленности грунтов трассы канала Иртыш—Караганда. — М., 1961. — 23 с. (Фонды Гидропроекта).

Таблица 2

Участки канала с высокой засоленностью почво-грунтов

Участок трассы канала, км	Глубина залегания, м	В % к абс. сухой почве		Примечание
		$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	NaCl	
75—85	0,3—2,0	10,9—30,4	0,2—0,5	
198—201	0,6—2,6	1,6—14,3	0,07	
310—338	0,0—2,6	2,4—20,4	0,0—0,3	Район вдхр 8 и 9
365	0,4—1,2	4,9—18,5	не обн.	Район вдхр 11
430	0,7—2,7	7,5—29,5	0,3—0,4	Район Туздинского водохранилища
435	0,5—0,7	3,9	0,08	
435	5,6—5,8	25,4	0,03	

Таким образом, согласно этим данным, более засоленные и заглипсованные почвы распространены не повсеместно, а в основном на 310—435 км участках трассы канала, где ныне расположены водохранилища [8, 9, 11] и Туздинское. В эту зону также входит бассейн р. Бала-Шидерты (приток р. Шидерты), впадающей в водохранилище [8]. М. А. Бикмухаметов [38] также упоминает о том, что степные и луговые солонцы сосредоточены именно в районе ныне существующих водохранилищ 8 и 9 и в долинах некоторых водотоков. Несколько забегаая вперед, можно указать, что именно на этих участках трассы канала, где к тому же залегают высокоминерализованные подземные воды, происходит существенное возрастание минерализации воды канала и изменение ее ионного состава, о чем более подробно будет сказано в соответствующих разделах.

Растительный покров территории, прилегающей к трассе канала, ввиду большой протяженности последнего и смены физико-географических и почвенных условий отличается большим разнообразием. В связи с интенсивным сельскохозяйственным освоением, как на это указывают и другие исследователи [37, 38], естественная растительность на сравнительно больших участках сохранилась лишь на территории перспективного орошения и непригодных для земледелия массивах.

Естественный растительный покров представлен следующими разновидностями [38, 179, 198]. В пределах Прииртышской низменности и палеогеновой равнины распространены типчаково-ковыльные или белополюнно-типчаково-ковыльные виды растительности с участием различного вида злаковых. В понижениях рельефа произрастают вострец, кермек, прутняк, песчаная осока, княк и др. На этой территории также имеют распространение ксерофитные полукустарники, характерные для пустынь и полупустынь: полыни, прутняк, камфоросмы и др.

Бассейн р. Шидерты отличается сравнительно однообразным растительным покровом, представленным ковыльно-типчаковой ассоциацией при участии полыни, лапчатки и др. На долинах

временных водотоков поселено луговое разнотравье. Солончаковые почвы рассматриваемой территории характеризуются голофитной группировкой — солянками, лебедой, кермеком и др.

В настоящее время в увлажненных прибрежных зонах водохранилищ, созданных на реках Шидерты, Женгельды и Тузды, получило широкое распространение луговое разнотравье и различные влаголюбивые виды растений.

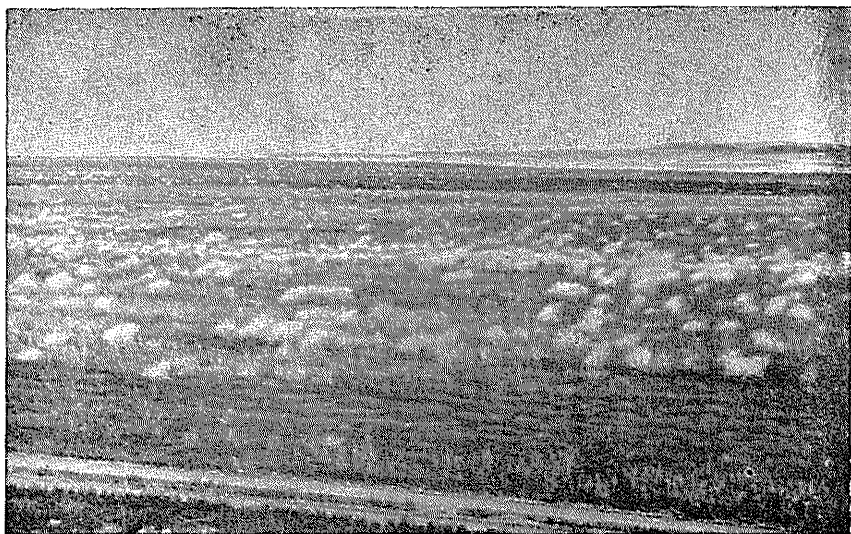


Рис. 5. Заросли перекати-поля на заброшенных полях в районе водохранилища 9.

Одним из специфических видов растений территории, прилегающей к трассе канала, является перекати-поле. Оно представляет собой травянистое растение степей и пустынь, приобретающее ко времени созревания семян, а иногда и раньше, более или менее шарообразную форму. К этому времени стебли перекати-поля у основания легко отламываются и вся наземная масса, подхваченная ветром, катится по земле и переносится часто на большие расстояния, рассеивая при этом семена. Размеры его в поперечнике от нескольких сантиметров до 1 м. В рассматриваемом районе распространены преимущественно однолетние формы растения.

Перекати-поле, попадая в массовом количестве в канал и его водохранилища, вызывает серьезное затруднение в эксплуатации гидротехнических сооружений, местами значительно ухудшает пропускную способность канала [14, 15, 22]. Одной из характерных особенностей этого растения является то, что оно

чрезвычайно быстро густыми зарослями поселяется на заброшенных сельскохозяйственных полях и на вспаханных вдоль канала и автодорог землях, предназначенных для лесопосадки.

Поступая в водоемы, оно некоторое время удерживается в водном слое, а затем оседает на дно. Осевшая масса этого растения служит постоянным источником вторичного загрязнения воды канала, что может способствовать ухудшению ее качества (рис. 5, 6).

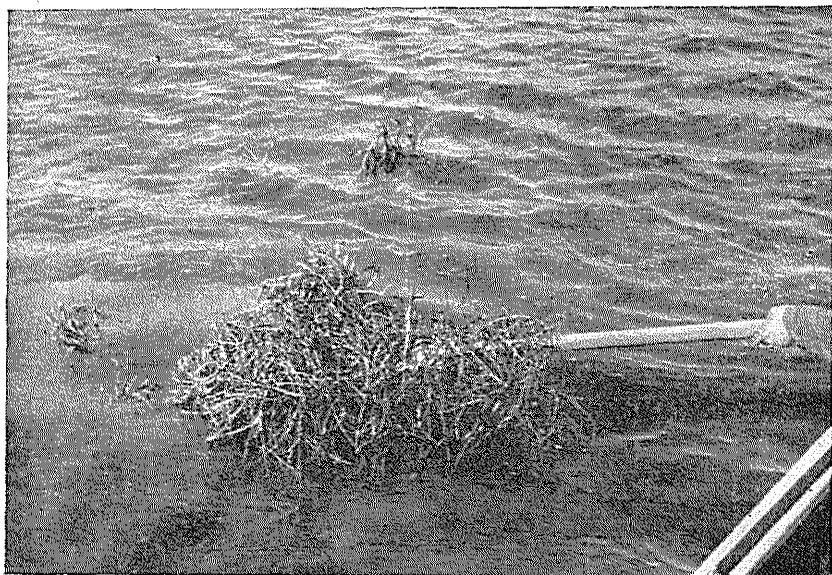


Рис. 6. Масса перекати-поля, осевшего на дно водохранилища.

1.4. Гидрогеологические условия

Исследованию подземных вод Центрального Казахстана посвящено большое количество работ. В некоторых из них [27, 28, 151, 159, 160, 161, 171, 172, 218] в той или иной мере рассматриваются распределение и химический состав подземных вод прилегающей к трассе канала территории. Более подробные сведения приведены институтом геологических наук АН КазССР [95].

Аллювиальные воды различных террас р. Иртыша залегают на глубине 0,2—10 м. По химическому составу они в основном пресные и слабоминерализованные с суммой растворенных солей до 1 г/л. Встречаются воды и с более повышенной минерализацией — до 3—5 г/л и выше. С увеличением минерализации состав воды изменяется от гидрокарбонатно-кальциевого до хлоридно-натриевого.

Глубина залегания аллювиальных вод в долине р. Шидерты колеблется в надпойменных террасах от 0 до 6 м, в пойме она составляет 0,1—1,5 м. Минерализация этих вод в основном 1,0—3,0 г/л, а в отдельных случаях до 5,0 г/л и выше. По составу они хлоридно-натриевые [95]. Более пресные воды с минерализацией менее 1,0 г/л приурочены к центральной русловой части долины. По мере удаления от русла к бортам долины минерализация увеличивается до 5—7 г/л, а в отдельных районах (устье р. Карасу) до 8,4 г/л.

Все притоки среднего течения р. Шидерты (Музды-Булак, Бала-Шидерты, Сары-Булак и др.) представлены устьевыми частями, где водоносными являются прослойки и линзы песчано-гравийных образований. Грунтовые воды имеются повсеместно на глубинах до 3,0 м. Минерализация их изменяется от 0,8 до 9,0 г/л [95].

В долинах притока верхнего течения р. Шидерты (Сарыпан, Грязнуха и др.) обнаружены подземные воды с минерализацией, не превышающей 3,0 г/л (в основном от 1,1 до 1,9 г/л). Выявлено сходство минерализации и химического состава воды отдельных плёсов правобережных притоков р. Шидерты (в межень) и подземных вод, вскрываемых скважинами, что указывает на питание притоков подземными водами.

Установлено [95, 171, 172], что режим вод аллювиальных отложений р. Шидерты в большой степени зависит от режима речных вод и подземных вод палеозоя. В паводочный период река питает грунтовый поток, а в межень она подпитывается грунтовыми водами. Немаловажную роль имеют и воды скальных пород, о чем свидетельствует уменьшение минерализации и изменение состава грунтовых вод аллювиальных отложений на участках их контакта.

Грунтовые воды аллювия долины р. Тузды заключены в тонкозернистых глинистых песках. Минерализация их высока — от 4—5 до 20—50 г/л, по составу хлоридно-сульфатно-натриевые или сульфатно-кальциевые. Такое различие в химическом составе вод в пределах одной долины объясняется разной степенью и характером засоления водовмещающих пород.

В водах делювиально-пролювиальных отложений, залегающих на глубинах 3—10 м, сумма растворенных солей составляла до 3,0 г/л. Наиболее минерализованные воды (10—15 г/л, иногда до 60 г/л) вскрыты в понижениях соленых озер Женгельды, Карасор и других в водоносных комплексах антропогена, неогена и палеогена, сосредоточенных на глубине 1—5 м. Эти воды имели хлоридный, иногда сульфатный состав и очень высокую жесткость.

Воды эффузионно-осадочных пород силура и кварцитов нижнего рифея, проявляющиеся в виде родников, имеют в среднем течении р. Шидерты (в районе свх Родниковского) минерализацию до 1,0 г/л (состав хлоридно-натриевый), а в верховьях

реки, в пределах водораздельных пространств, в кварцитовых водах нижнего рифея 0,2—0,3 г/л при гидрокарбонатно-кальциевом составе.

Дебит этих вод в большинстве случаев не превышает сотых и десятых долей литра в секунду и только в зонах тектонических нарушений он достигает 1 л/с. Родники с максимальным дебитом расположены преимущественно в районе свх Родниковского в пределах водохранилища 7.

Нами и лабораторией Предприятия по эксплуатации канала Иртыш—Караганда (ПЭКИК) отобрано несколько проб родниковых вод в районе отдельных насосных станций, расположенных по руслу р. Шидерты; результаты их анализа (сокращенно) приведены в табл. 3.

Таблица 3

Минерализация и индекс состава воды родников по трассе канала

Место отбора проб	Дата	Минерализация, мг/л	Индекс (по О. А. Алекину)	Источник сведений
У насосной станции 7	3/VII 1975	771	S_{II}^{Na}	ПЭКИК
То же	19/VI 1977	508	$C_{II}^{Na, Ca}$	КазНИИРХ
У насосной станции 8	8/VII 1975	381	$C_{II}^{Na, Ca}$	ПЭКИК
То же	19/VI 1977	349	$C_{II}^{Na, Ca}$	КазНИИРХ
У насосной станции 17	29/II 1970	619	Cl_{II}^{Na}	»
То же	2/VII 1975	1956	Cl_{II}^{Na}	ПЭКИК
»	4/VII 1977	1012	$Cl C_{II}^{Na}$	КазНИИРХ
У насосной станции 22	1/VII 1975	761	$Cl C_{II}^{Na}$	ПЭКИК
То же	17/VI 1977	598	CCl_{II}^{Na}	КазНИИРХ

При проектных изысканиях Гидропроектом получены данные о составе подземных вод в районах отдельных насосных станций канала. Согласно этим материалам, более минерализованные воды, отличающиеся исключительно хлоридно-натриевым составом, сосредоточены на 110—120, 190—200, 305 и 400-м км участка канала (табл. 4). Максимальное засоление подземных вод (до 15,6—17,0 г/л) наблюдается у насосных станций 14 и 20, вблизи впадения в р. Шидерты притоков Бала-Шидерты и Сарапан.

Сведения, полученные Гидропроектом, также показали высокую засоленность грунтовых вод (до 11,8—12,6 г/л) в пределах ныне существующих водохранилищ 8 и 10, расположенных соответственно на 305—319 и 345—355-м км трассы канала.

Таблица 4

Минерализация и индексы ионного состава подземных вод трассы канала в районах насосных станций

Номер насосной станции	Участок трассы канала, км	Глубина залегания, м	Минерализация, г/л		Характерные индексы воды
			пределы	средняя	
3—4	110—120	0,0—32,0	3,08—6,95	4,8	Cl_{II}^{Na}
5—6	140—145	0,0—35,0	0,29—5,06	1,90	$Cl_I^{Na} - Cl_{III}^{Na}$
7—8	190—200	4,0—31,0	2,25—7,04	4,59	Cl_{II}^{Na}
9—13	220—280	2,9—30,0	0,34—2,26	0,98	$Cl_I^{Na} - Cl_{III}^{Na}$
14	305	0,0—35,8	12,09—16,98	14,03	Cl_{III}^{Na}
15	330	9,0—27,5	1,70—3,47	2,32	Cl_{III}^{Na}
18	365	4,8—30,0	1,32—1,93	1,73	S_{II}^{Na}
20	400	0,0—30,0	3,49—15,62	8,77	Cl_{III}^{Na}
22	415	3,0—30,0	0,20—1,46	0,58	CCl_I^{Na}

Систематических наблюдений за изменением гидрогеологической обстановки на всей зоне влияния канала пока не проводится. Выяснение влияния канала на режим грунтовых вод, а также установление взаимосвязи отдельных категорий вод (воды канала, паводковых и меженных речных, фильтрационных, грунтовых и др.) требуют специальных систематических исследований. Эти вопросы важны как для определения основных статей водного баланса канала, так и для выяснения путей миграции химических компонентов в зоне канала и их баланса в настоящем и будущем. В непосредственной связи с этими вопросами находится и освоение приканальной зоны сельским хозяйством, в частности орошаемым земледелием.

1.5. Гидрографическая сеть, гидрологический и гидрохимический режим водотоков, входящих в систему канала

Канал Иртыш—Караганда (рис. 7), в отличие от многих других каналов, имеет собственную водосборную площадь около 9260 км². На различных участках трассы канала гидрографическая сеть развита неодинаково. Более густая сеть водотоков имеется на участке канала, расположенном в пределах Центрально-Казахстанского мелкосопочника. В этом районе канал принимает воды р. Шидерты и около десяти притоков (временных водотоков), в него поступают также весенние паводочные воды рек Женгельды и Тузды. Поэтому при характеристике режима и особенностей формирования химического состава воды канала и его водохранилищ, помимо почвенно-климатиче-

ских и гидрогеологических условий района, важное значение имеет количественная и качественная характеристики поступающих речных вод.

Ниже приводится краткая характеристика гидрологического режима и химического состава воды главного водонисточника — р. Иртыша и основных водотоков, связанных с системой канала.

Река Иртыш — наиболее крупная водная артерия, прилегающая к каналу и служащая его водонисточником. В среднем течении (в пределах Павлодарской области) она имеет типичный характер равнинной реки. Иртыш имеет смешанное снежно-родниковое и ледниковое питание. Подъем уровня воды начинается непосредственно перед вскрытием реки, в первой половине апреля. После ледохода уровень обычно несколько понижается, а в мае—июне вследствие поступления воды от таяния льда и снега в горах он достигает наивысших годовых отметок. Минимум уровня летне-осенней межени наступает в октябре, а наиболее низкие зимние уровни наблюдаются в декабре, реже в ноябре.

Замерзает Иртыш в середине ноября — начале декабря. Средняя продолжительность периода ледостава 130—155 дней. Толщина ледового покрова достигает 110—120 см.

Средний многолетний годовой сток реки у г. Павлодара (1903—1957 гг.), по данным ГГИ [175], составляет 880 м³/с, а в средние по водности годы — около 830 м³/с. Внутригодовое его распределение в указанном створе в различные по водности годы показано в табл. 5.

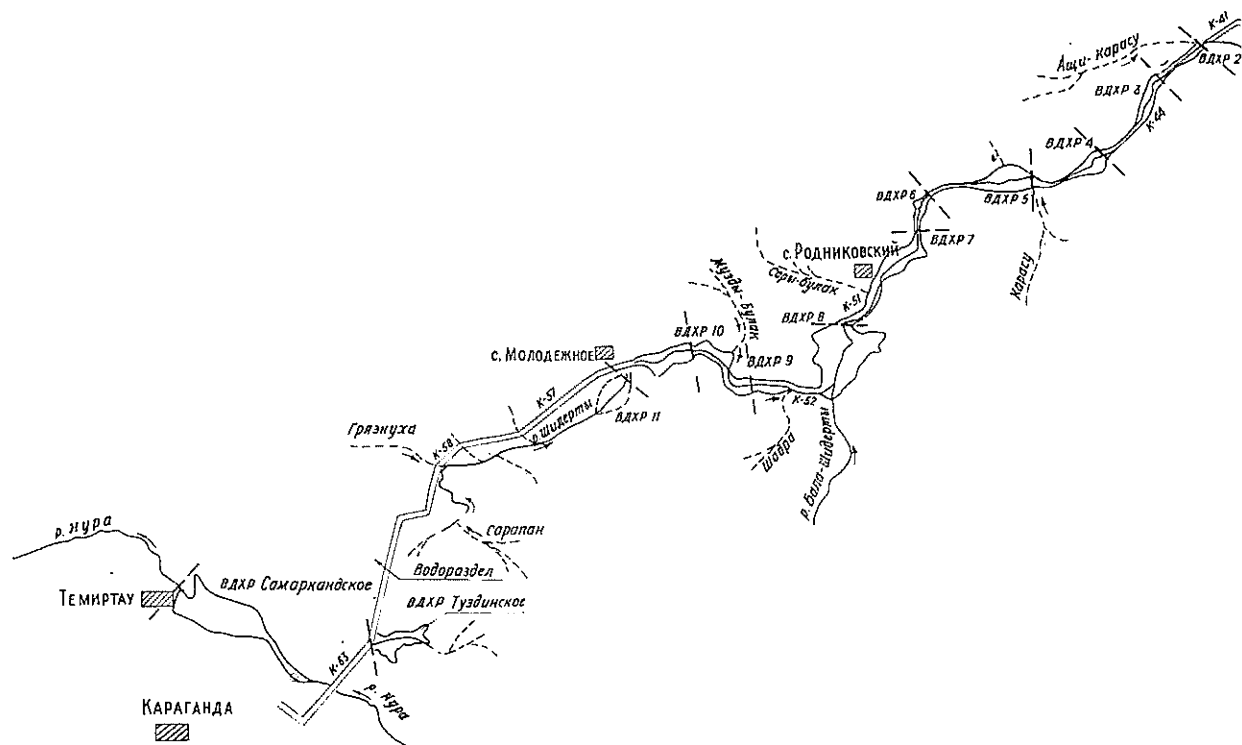
Таблица 5

Среднее распределение стока р. Иртыша по месяцам в характерные по водности годы у г. Павлодара [175]

Характерный по водности год	Месячный сток, % от годового											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Многоводный	2,4	2,4	2,2	8,7	20,2	20,4	12,5	8,7	8,0	7,1	4,8	2,6
Средний	3,2	2,8	2,6	11,0	22,6	19,2	10,7	7,7	7,0	6,2	4,2	2,8
Маловодный	3,9	3,5	3,3	12,4	26,8	14,4	8,3	7,2	6,1	6,2	4,7	3,2

В средние по водности годы сток воды по сезонам распределялся следующим образом: весна (апрель—июнь) — 60 %, лето — осень (июль—октябрь) — 25 %, зима (ноябрь—март) — 15 %.

Вода р. Иртыша отличается повышенным содержанием взвешенных наносов, особенно в период паводка (май—июнь). Средняя мутность речной воды составляет 130—150 г/м³. По имеющимся сведениям [175], среднегодовые расходы взвешенных наносов в среднем течении реки за 1938—1957 гг. составили у



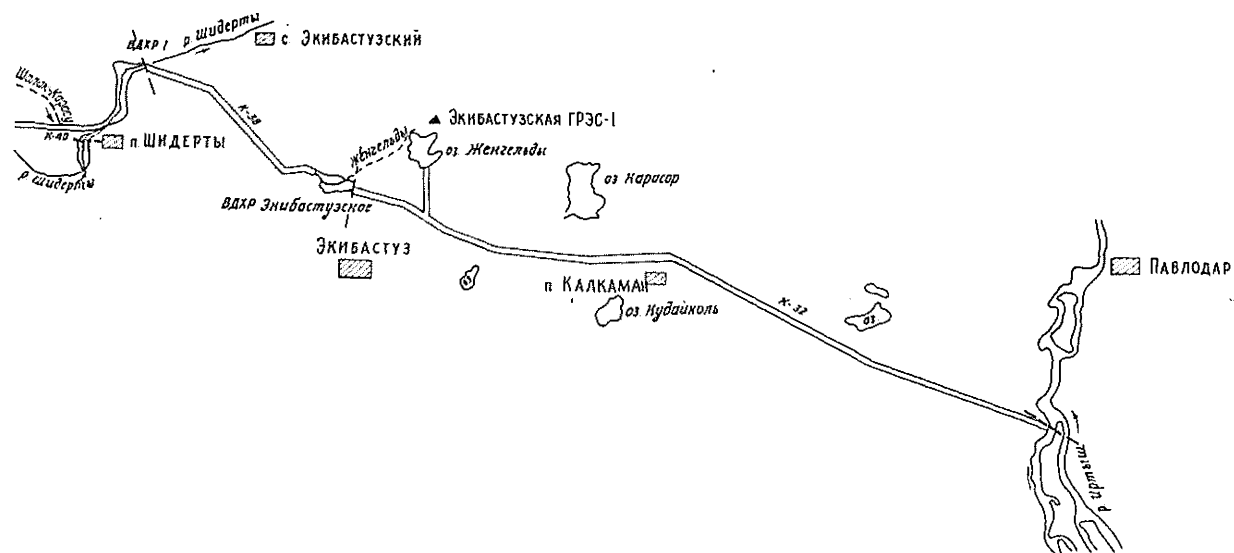


Рис. 7. Трасса канала Иртыш—Караганда и гидрографическая сеть в его зоне.

с. Шульбы 90,3 кг/с, у г. Омска 141 кг/с. В период половодья проносятся 82—85 % годовых взвешенных наносов.

Исследованию химического состава воды р. Иртыша посвящен целый ряд работ [22, 153, 155, 167, 168 и др.], в которых достаточно подробно рассмотрены минерализация и ионный состав воды, органические вещества, микроэлементы и т. д. Здесь лишь отметим, что вода р. Иртыша пресная, обладает хорошим питьевым качеством. Средняя многолетняя ее минерализация у г. Павлодара, по данным сети ГМС, около 155 мг/л. Для воды характерно некоторое возрастание ее минерализации по течению реки. Так, средняя минерализация за 1970—1971 гг. составила у г. Усть-Каменогорска 152 мг/л, у Павлодара 168 мг/л, а у с. Иртышского 190 мг/л. По ионному составу вода гидрокарбонатно-кальциевая, предел жесткости 1,50—1,70 ммоль/л.

В среднем течении р. Иртыш не имеет крупных притоков, но разбита на ряд пойменных протоков. Из последних следует выделить протоку Белую, так как на 75-м км от ее истока расположено головное водозаборное сооружение канала Иртыш — Караганда.

Длина протоки Белой 85 км, ширина 65—100 м, глубина 5—7 м. Расходы воды протоки в осенний период составляют 23,0—55 м³/с, средние скорости изменяются от 0,36 до 0,52 м/с. Расход ее составляет 6—8 % от суммарного расхода Иртыша [95].

Материалы о химическом составе воды водоисточника в последнее десятилетие будут приведены ниже при рассмотрении режима отдельных компонентов воды канала.

Река Женгельды, относящаяся к числу самостоятельных водотоков, имеет длину 19 км и водосборную площадь 210 км². Раньше она впадала в одноименное бессточное озеро, теперь на ее русле сооружено Экибастузское резервное водохранилище, находящееся на 130-м км трассы канала.

Сток имеется только весной, когда русло наполняется на глубину 0,2—0,5 м. Среднегодовой объем годового стока 1210 тыс. м³, среднегодовой расход воды 0,038 м³/с, максимальный расход 4,8 м³/с [175]. По наблюдениям ПЭКИК, за весенние периоды 1972—1978 гг. суммарный сток р. Женгельды в Экибастузское водохранилище составил 11,77 млн. м³. Максимум ее стока (5,40 млн. м³) отмечен в 1972 г., минимум (0,20 и 0,22 млн. м³) — в 1976 и 1978 гг.

По имеющимся немногочисленным данным можно отметить, что минерализация воды реки в зависимости от водности и фазы весеннего половодья может быть неодинакова. Так, в половодье 1977 и 1978 гг. величина ее составляла от 187 до 3746 мг/л (табл. 6), а в 1957 г. она изменялась в пределах 400—600 мг/л. В соответствии с возрастанием общей минерализации вода приобретает хлоридно-натриевый состав.

Таблица 6

Ионный состав воды р. Женгельды в период весеннего половодья, $\frac{\text{мг/л}}{\% \text{ экв}}$

Дата	Ca^{2+}	Mg^{2+}	$\text{Na}^{+} + \text{K}^{+}$	HCO_3^{-}	SO_4^{2-}	Cl^{-}	Σ	Индекс
15/IV 1977	20,2	13,9	12,7	91,5	28,8	20,0	18,7	$\text{C}_{\text{III}}^{\text{Mg, Ca}}$
	19,0	21,4	9,6	28,2	11,3	10,5		
4/IV 1978	164	101	708	232	619	1085	2909	$\text{C}_{\text{II}}^{\text{Na}}$
	8,7	8,8	32,5	4,0	13,6	32,4		
13/IV 1978	240	170	836	250	712	1538	3746	$\text{C}_{\text{III}}^{\text{Na}}$
	9,6	11,2	29,2	3,3	11,9	34,8		

Общая жесткость составила в 1977 г. 2,14 ммоль/л, а в 1978 г. 16,49 и 25,96 ммоль/л.

Река Шидерты вместе с многочисленными притоками в пределах 170—420-километрового участка трассы канала (протяженностью около 250 км) образует достаточно густую гидрографическую сеть. Общая длина речной сети в бассейне реки составляет 1310 км, ее густота 0,09 км/км² [175] (у свх Экибастузского, расположенного в 30 км ниже плотины водохранилища 1). Длина реки 502 км, площадь водосбора при выходе из канала около 12100 км². На реке создано 11 водохранилищ, входящих в систему канала, суммарной площадью 215 км² и объемом воды при нормальном подпорном горизонте более 960 млн. м³.

Река берет начало с восточных склонов Ниязских гор в пределах Шидерты-Нуринского водораздела. Характерной особенностью внутригодового распределения стока р. Шидерты является резкая неравномерность его по сезонам. Весеннее половодье, в течение которого проходит около 90 % общего годового стока, наступает обычно в апреле—первой половине мая. Продолжительность весеннего половодья 10—25 дней.

В летнюю межень расходы ничтожны и русло реки в это время представляет собой различные по размеру плёсы, соединенные быстотоками. Расходы на быстотоках (в бытовом режиме реки) составляли 150—200 л/с в верховьях и 400—500 л/с в среднем течении. Зимой на перекатах река, как правило, промерзает. Подрусловые воды в зимний период нередко выходят на поверхность и образуют наледи.

Среднегодовое внутригодовое распределение стока за 1933—1960 гг. в створе свх Экибастузский характеризуется следующими данными (в % от годового):

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
0,0	0,0	0,6	77,4	13,8	3,1	1,7	1,1	0,8	0,8	0,6	0,1

Среднегодовой расход реки за многолетний период в указанном створе [175] составил 2,3 м³/с, наибольший годовой 9,22 м³/с, а среднемноголетний максимальный 89,2 м³/с. По расчетам К. Б. Шергиной [222], максимальный расход реки в этом створе составил 81,4 м³/с.

Наличие целого ряда притоков и подземного питания приводит к заметному увеличению водного стока реки по течению. Среднемноголетний объем годового стока составил в верхнем течении 24 200 тыс. м³, у створа свх Экибастузский 57 220 тыс. м³, а в нижнем течении (в 118 км от устья) 61 600 тыс. м³.

По сведениям ПЭКИК, за 1971—1978 гг. суммарный весенний сток р. Шидерты и всех ее притоков, внесенный в отдельные водохранилища канала, составил 509,18 млн. м³. Максимум стока (121,00 млн. м³) отмечен в 1972 г., минимум (6,8 млн. м³) в 1975 г.

Мутность речной воды в весенние периоды 1956 и 1957 гг. колебалась от 160 до 390 г/м³, а расходы взвешенных наносов от 134 до 437 г/с [175].

Река Шидерты в пределах канала принимает целый ряд притоков: Бала-Шидерты, Сарапан, Грязнуха, Музды-Булак, Шадра, Сары-Булак, Карасу, Аши-Карасу, Шолак-Карасу и множество балок (см. рис. 7). Длина этих притоков от 20 до 45 км. Лишь р. Бала-Шидерты имеет длину 102 км. Сток по ним имеется лишь в период весеннего снеготаяния.

Заметную роль в водном и гидрохимическом режиме р. Шидерты среди этих притоков играет р. Бала-Шидерты. Она впадает в р. Шидерты на 377-м км от ее устья, а ныне — в водохранилище 8, находящееся на 305-м км от головного водозабора канала. Площадь ее водосбора 1420 км². Среднемноголетний объем ее годового стока 15,3 млн. м³, среднегодовой расход воды 0,49 м³/с, среднемноголетний максимальный 33,5 м³/с [175]. Весеннее половодье продолжается 7—15 дней, за это время проходит до 90 % всего годового стока.

Исследование химического состава воды р. Шидерты и некоторых ее притоков проводилось в 1956—1957 гг. экспедицией ГГИ [175], в 1959—1960 гг. — гидрохимическим институтом и экспедициями Гидропроекта им. С. Я. Жука [200]. Некоторые отрывочные сведения получены также сетью гидрометеослужбы и АН Каз ССР [95].

Для удобства изложения в начале целесообразно рассмотреть материалы о гидрохимической характеристике притоков р. Шидерты.

О химическом составе воды р. Бала-Шидерты имеются единичные данные. Минерализация воды в период половодья 1956 г., по сведениям ГГИ [175], колебалась в интервале 200—

500 мг/л, по составу гидрокарбонатная, реже сульфатная, жесткость 1,50—4,03 ммоль/л. Летом минерализация в разобренных плёсах достигала 3—6 г/л с резким преобладанием хлора (около 35 % экв) и натрия (30 % экв), жесткость при этом возрастала до 20,00 ммоль/л.

Согласно полученным нами данным (табл. 7), минерализация воды в разрозненных плёсах в 2,0—2,5 км выше устья реки составляла 3,5—4,3 г/л. Среди главных ионов резко преобладают хлор и щелочные металлы, концентрация которых достигала 36 % экв. Общая жесткость изменялась от 16,59 до 22,10 ммоль/л.

Таблица 7

Минерализация и ионный состав воды р. Бала-Шидерты, $\frac{\text{мг/л}}{\% \text{ экв}}$

Дата	Ca^{2+}	Mg^{2+}	$\text{Na}^{+} + \text{K}^{+}$	HCO_3^{-}	SO_4^{2-}	Cl^{-}	Σ	Индекс	Жесткость, ммоль/л
20/VIII 1975	45,7	173	1001	340	551	1404	3515	$\text{Cl}_{II}^{\text{Na}}$	16,59
	2,0	12,6	35,4	4,9	10,1	35,0			
29/VI 1977	101	189	1220	366	746	1723	4354	$\text{Cl}_{II}^{\text{Na}}$	21,34
	3,6	11,6	34,8	4,3	11,1	34,6			
19/VIII 1977	122	163	1223	442	644	1698	4292	$\text{Cl}_{II}^{\text{Na}}$	19,65
	4,4	9,9	35,7	5,3	9,8	34,9			
20/VII 1978	74,6	198	1069	389	705	1479	3915	$\text{Cl}_{II}^{\text{Na}}$	20,00
	3,0	13,0	34,0	5,1	11,7	33,2			
24/VIII 1978	68,1	227	1197	410	653	1762	4317	$\text{Cl}_{II}^{\text{Na}}$	22,10
	2,4	13,4	34,2	4,8	9,7	35,5			

Высокая минерализация воды р. Бала-Шидерты является следствием влияния минерализованных подземных вод и почвогрунтов в пределах нижнего ее течения, о составе которых более подробные сведения приведены в разделах 1.3 и 1.4.

Экспедициями ГГИ [175] вблизи устья р. Бала-Шидерты на пересыхающих в межень участках между плёсами в речном аллювии обнаружен подрусловой сток с расходами в летний период около 50 л/с, что убедительно свидетельствует о значительной величине грунтового питания реки и тесной взаимосвязи русловых и подземных вод в долине реки.

Данных о минерализации и химическом составе этих подрусловых вод, дренируемых вместе с речной в русло р. Шидерты (ныне в водохранилище 8), не имеется. Между тем известно, что подрусловые воды, т. е. воды современных аллювиальных отложений, в зависимости от гидрологических и гидрогеологических условий могут иметь речное, грунтовое и смешанное

происхождение. В отдельных случаях они могут рассматриваться как подземная часть русловых вод.

Согласно имеющимся сведениям [95, 175], в водотоках Центрального Казахстана подрусловые воды в перекатах между плёсами обычно по составу не отличаются от воды близлежащих плёсов, но могут отличаться от них по минерализации. Поэтому, исходя из приведенных выше данных (см. разделы 1.3 и 1.4), свидетельствующих о высокой засоленности подземных вод и почв в этом районе, можно с уверенностью полагать, что и подрусловые воды, дренируемые в настоящее время в систему канала, имеют высокую минерализацию.

Результаты наших многолетних исследований убедительно показывают, что территория расположения устьевой части р. Бала-Шидерты и прилегающий к ней участок бассейна р. Шидерты является наиболее важным и интересным районом в отношении формирования гидрохимического режима канала Иртыш—Караганда. Сток р. Бала-Шидерты (и подрусловой ее сток) с повышенной минерализацией, а также наличие высокоминерализованных подземных вод и почвогрунтов вызывают резкое возрастание в этом районе минерализации воды канала. Именно в этом районе происходило интенсивное увеличение количества растворенных солей и в воде р. Шидерты в бытовом ее режиме.

Под влиянием стока р. Бала-Шидерты и гидрогеологических и почвенных условий этого участка возникает неоднородность минерализации и ионного состава воды в пределах водохранилищ 7 и 8, о чем подробно будет сказано позже в соответствующем разделе.

Названные выше мелкие притоки р. Шидерты отличаются разнообразным химическим составом воды в соответствии с особенностями их водосбора. Минерализация воды притоков верхнего течения (Грязнуха, Сарапан), берущих свое начало на Шидерты-Нуринском водоразделе, незначительная. Так, минерализация воды р. Грязнухи в июле 1960 г. составила 343 мг/л и вода отличалась ясно выраженным гидрокарбонатно-кальциевым составом. В пробе воды, отобранной в этот период из р. Ащи-Карасу, минерализация достигала 4,4 г/л с преобладанием ионов сульфата и щелочных металлов. При этом минерализация воды р. Шидерты в районе впадения этого притока составляла 1,78 г/л [200]. По другим сведениям [95], в межень минерализация воды рек Ащи-Карасу и Шолак-Карасу соответственно достигала 15,9 и 6,7 г/л.

Более подробные сведения о ионном составе воды притоков и балочной сети р. Шидерты, поступающей в систему канала в весенние периоды 1975—1978 гг., получены лабораторией ПЭКИК. Эти материалы (табл. 8) свидетельствуют о большой изменчивости значений минерализации и ионного состава воды рассматриваемых водотоков в отдельные фазы половодья, что

характерно для речной системы бассейна р. Шидерты в целом. Так, в воде р. Музды-Булак за период с 5 по 8/IV 1977 г. и с 29/III по 11/IV 1978 г. минерализация увеличилась соответственно со 120 до 1587 мг/л и с 408 до 1684 мг/л. При этом резкому изменению подвергается ее ионный состав. Примерно за одну неделю (весной (1978 г.) минерализация воды временных водотоков Шолак-Карасу и Шадра увеличилась соответственно с 77,4 до 5072 мг/л и с 627 до 2406 мг/л. Аналогичные резкие изменения минерализации воды в период весеннего половодья характерны также для балочной и ручейковой сети бассейна р. Шидерты.

Значительно различается минерализация, ионный состав и жесткость воды водотоков и в отдельные годы. Так, весной 1978 г. минерализация и общая жесткость воды рек Карасу, Музды-Булак, Грязнухи и других, а также балки, впадающей в водохранилище 10, были выше, чем в предыдущие годы. Причем заметно изменился и ионный состав воды, приобретая в большинстве случаев хлоридно-натриевый и сульфатно-натриевый характер. Это, очевидно, объясняется различием количества зимних осадков в отдельные годы и соответственно объемом половодного стока. 1978 г. для этого региона был маловодным, суммарный объем весеннего стока в систему канала составил 28,55 млн. м³, а в 1976 и 1977 г. он был значительно выше — соответственно 61, 54 и 86,09 млн. м³. Кроме того, согласно имеющимся сведениям [175], минерализация воды водотоков Северного и Центрального Казахстана в значительной мере зависит от количества атмосферных осадков осеннего периода предыдущего года.

Гидрохимический режим самой р. Шидерты определяется разнообразием физико-географических условий района и особенностями химического состава воды притоков.

Минерализация речной воды существенно колеблется по сезонам года. Максимальные ее значения (до 3,0—3,5 г/л, а в отдельных случаях до 5,0 г/л и выше) приурочены к осенне-зимнему периоду (табл. 9). Ионный состав воды в период межени хлоридно-натриевый. Жесткость летом находится в пределах 6,0—9,0 ммоль/л, зимой достигает 15,0—20,0 ммоль/л.

Наименьшая минерализация речной воды (350—200 мг/л) наблюдается в период весеннего половодья. Однако в зависимости от количества зимних осадков, интенсивности снеготаяния и других факторов минерализация воды в отдельные годы может колебаться от 100 до 400 мг/л и выше. Об этом, в частности, свидетельствуют и данные, полученные в последние годы (табл. 10).

Весной состав воды гидрокарбонатно-кальциевый. Между тем в отдельные годы в зависимости от разнообразных условий этого периода сохраняется хлоридно-натриевый состав. Эту особенность состава речной воды можно увидеть

Таблица 8

Минерализация и ионный состав воды водотоков бассейна р. Шидерты
в весенние периоды 1975—1978 гг.

Водоток	Дата	мг/л						
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ +K ⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Минерализация
р. Шолак-Карасу	4/IV 1978	6,0	4,9	9,0	42,7	7,8	7,0	77,4
	11/IV 1978	321	243	1190	268	927	2123	5072
р. Ащи-Карасу	3/IV 1975	32,1	16,0	22,2	116	48,6	31,9	267
	13/IV 1976	34,1	7,5	33,7	116	46,5	23,4	266
	31/III 1977	18,0	12,2	17,0	54,9	20,1	45,0	167
	13/IV 1977	34,1	19,7	50,5	122	25,0	100	351
р. Карасу	3/IV 1975	44,1	10,9	58,7	159	69,1	49,6	391
	30/III 1977	40,1	13,4	19,7	73,2	75,0	40,0	261
	14/IV 1977	62,1	23,7	44,2	171	86,0	50,0	337
	4/IV 1978	150	97,1	406	274	663	475	2065
	11/V 1978	116	82,7	461	250	597	514	2021
р. Шадра	30/III 1978	53,1	17,0	131	110	194	122	627
	8/IV 1978	124	98,5	574	244	716	650	2406
р. Сары-Булак	7/IV 1977	30,1	13,4	50,0	122	86,4	28,4	330
р. Музды-Булак	3/IV 1975	112	55,9	51,7	317	451	578	2031
	13/IV 1976	30,1	7,3	11,2	116	21,4	7,1	193
	5/IV 1977	16,0	6,1	10,0	48,8	28,8	10,6	120
	8/IV 1977	152	60,8	309	201	365	499	1587
	29/III 1978	34,1	6,1	91,2	122	69,5	85,1	408
	4/IV 1978	52,1	14,6	198	165	141	216	787
	11/IV 1978	82,2	23,7	476	34	318	473	1684
р. Грязнуха	4/IV 1977	60,1	23,1	135	128	106	213	665
	8/IV 1977	56,1	19,5	10,2	73,2	74,5	73,2	307
	29/III 1978	50,1	9,7	114	171	98,3	106	549
	4/IV 1978	48,1	13,4	83,0	152	77,8	95,7	470
	11/IV 1978	75,2	35,3	146	201	121	237	815
Балка, впадающая в вдхр 8	3/IV 1975	50,1	13,4	158	293	106	103	723
	13/IV 1976	30,1	8,5	26,0	129	40,3	10,6	243
Балка, впадающая в вдхр 10	3/IV 1975	16,0	8,5	6,0	54,9	30,5	7,1	123
	13/IV 1976	34,1	9,7	59,0	140	51,0	53,2	347

% экв						Индекс	Жесткость общая, ммоль/л
Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ + K ⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻		
14,1	18,9	17,0	33,0	7,6	9,4	C _{II} ^{Mg, Na, Ca}	0,70
9,6	12,0	28,4	2,6	11,6	35,8	C _{II} ^{Na}	36,00
21,0	17,3	11,7	24,9	13,3	11,8	C _{II} ^{Ca, Mg}	2,92
29,2	8,4	18,4	25,9	13,2	10,9	C _{II} ^{Ca}	2,32
17,4	19,5	13,1	17,4	8,1	24,5	C _{II} ^{Mg, Ca}	1,91
15,9	15,2	18,9	18,7	4,9	26,4	C _{II} ^{Na, Ca, Mg}	3,32
20,2	8,2	21,6	23,9	13,2	12,9	C _{II} ^{Na, Ca}	3,10
25,7	14,1	10,2	15,4	20,1	14,5	SC _{III} ^{Ca}	3,10
25,8	9,4	14,8	23,3	14,9	11,8	C _{II} ^{Ca}	4,23
11,8	12,6	25,6	7,1	21,8	21,1	SC _{II} ^{Na}	15,49
9,3	11,0	29,7	6,6	20,0	23,4	CIS _{II} ^{Na}	12,59
14,3	7,5	28,2	9,7	21,8	18,5	SC _{II} ^{Na}	4,05
8,3	10,9	30,8	5,4	20,0	24,6	CIS _{II} ^{Na}	14,29
16,3	12,0	21,7	21,7	19,6	8,7	CS _{II} ^{Na}	2,60
9,0	7,5	33,5	8,4	15,2	26,4	CI _{II} ^{Na}	10,19
29,4	11,8	8,8	37,3	8,8	3,9	C _{II} ^{Ca}	2,10
23,5	14,7	11,8	23,5	17,7	8,8	C _{II} ^{Ca}	1,30
15,2	10,0	24,8	6,6	15,2	28,2	CI _{III} ^{Na}	12,58
14,5	4,3	31,2	17,1	12,4	20,5	CIC _{II} ^{Na}	2,20
11,1	5,1	33,8	11,5	12,5	26,0	CI _{II} ^{Na}	3,80
8,2	3,9	37,9	10,2	13,2	26,6	CI _{II} ^{Na}	6,05
14,6	9,2	26,2	10,2	10,7	29,1	CI _{III} ^{Na}	4,90
29,1	16,6	4,3	12,5	16,1	21,4	CI _{II} ^{Ca}	4,40
15,9	5,1	29,0	17,8	13,1	19,1	CIC _{II} ^{Na}	3,30
17,6	8,1	24,3	18,3	11,9	19,8	CIC _{II} ^{Na}	3,50
15,0	11,6	23,4	13,2	10,1	26,7	CI _{II} ^{Na}	6,65
12,6	5,6	31,8	24,2	11,2	14,6	C _{II} ^{Na}	3,60
23,1	10,8	16,1	32,4	13,0	4,6	C _{II} ^{Ca}	2,20
23,0	20,1	6,9	25,9	18,4	5,7	C _{II} ^{Ca, Mg}	1,50
17,5	8,2	24,3	23,7	10,9	15,4	C _{II} ^{Na}	2,50

Водоток	Дата	мг/л						
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ +K ⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Минерализация
Балка, впадающая в вдхр 10	29/III 1978	54,1	17,1	134	207	123	124	659
	4/IV 1978	46,1	14,6	112	171	100	110	554
	11/IV 1978	120	35,3	305	256	270	402	1388
Балка на 368-м км канала	2/IV 1975	36,1	12,2	80,5	153	72,4	70,9	425
	13/IV 1976	24,0	3,6	18,2	91,5	27,6	5,3	170
Балка на 409-м км канала	2/IV 1975	58,1	13,4	89,5	159	104	99,3	523
	13/IV 1976	44,1	8,5	64,5	134	85,6	53,2	390
Балка на 430-м км канала	2/IV 1975	32,1	9,7	75,7	128	102	42,5	390
	13/IV 1976	26,1	7,3	33,5	85,4	54,7	24,8	232

из данных табл. 9 (у свх Экибастузский, 1957 г.) и 10. Жесткость воды в период весеннего половодья около 1,0—2,0 ммоль/л.

Как следует из табл. 9 и 10, для р. Шидерты, как и для рассмотренных выше притоков, характерно быстрое увеличение минерализации и изменение ионного состава воды при развитии половодья и в последующие за ним периоды. Известно, что это явление, обусловливаемое химическим составом местного стока, отражающего особенности засоления почв водосборов и обменно-адсорбционных процессов в толще последних, в той или иной степени характерно для многих речных бассейнов, находящихся в различных почвенно-климатических зонах. Закономерности формирования химического состава воды местного стока и характер влияния его на гидрохимический режим водоемов и водотоков подробно рассмотрены в работах П. П. Воронкова и др. [55—58].

Исследования [175], выполненные с участием упомянутого автора, указывают на существенную роль образующихся на водосборах различных по генезису вод на гидрохимический режим р. Шидерты. Согласно этим сведениям, в 1956 и 1957 гг. почвенно-поверхностные воды, стекающие по микроручейковой сети, в период снеготаяния имели минерализацию от 37,2 до 390 мг/л гидрокарбонатно-кальциевого, редко сульфатно-натриевого состава. Минерализация почвенно-поверхностных вод в период прохождения пика паводка и почвенно-грунтовых вод в период спада половодья составляла от 260 до 1000 мг/л, а грунтовые воды (русовые воды в плесах) в период межени имели в своем составе от 1800 до 3370 мг/л растворенных солей. По ионному составу все эти воды отличались резким преобладанием ионов хлора и натрия.

% экв						Индекс	Жесткость общая, ммоль/л
Ca^{2+}	Mg^{2+}	$\text{Na}^+ + \text{K}^+$	HCO_3^-	SO_4^{2-}	Cl^-		
14,3	7,4	28,3	18,0	13,5	18,5	$\text{CIC}_{\text{II}}^{\text{Na}}$	4,10
14,4	7,5	28,1	17,5	13,1	19,4	$\text{CIC}_{\text{II}}^{\text{Na}}$	3,50
14,2	6,9	28,9	9,9	13,3	26,9	$\text{Cl}_{\text{II}}^{\text{Na}}$	8,90
15,0	8,3	26,7	20,9	12,5	16,6	$\text{CCl}_{\text{II}}^{\text{Na}}$	2,80
26,9	6,7	16,4	33,6	13,0	3,4	$\text{C}_{\text{II}}^{\text{Ca}}$	1,50
19,1	7,3	23,6	17,2	14,3	18,5	$\text{CIC}_{\text{II}}^{\text{Na, Ca}}$	4,00
20,1	6,4	23,5	20,1	16,2	13,7	$\text{CS}_{\text{II}}^{\text{Na, Ca}}$	2,90
14,7	7,4	27,9	19,4	19,6	11,0	$\text{SC}_{\text{II}}^{\text{Na}}$	2,40
20,0	9,3	20,7	21,6	17,6	10,8	$\text{CS}_{\text{II}}^{\text{Na, Ca}}$	1,90

Сравнивая данные табл. 8, 9 и 10, можно отметить, что интенсивность повышения минерализации воды в процессе половодья в р. Шидерты значительно ниже, чем в ее притоках. Это также свидетельствует о значительной засоленности поверхности водосборов многочисленных притоков и быстрой смене вод различных генетических притоков категорий на склонах. Все это в конечном счете оказывает существенное влияние на формирование минерализации и ионного состава воды р. Шидерты.

Одной из характерных особенностей минерализации воды р. Шидерты является большая ее изменчивость по длине реки. М. Н. Тарасовым, И. М. Павелко [200] отмечен большой скачок минерализации воды после впадения в реку притока Бала-Шидерты в пределах ныне существующих водохранилищ 7 и 8 (район свх Родниковского). Это наглядно видно из табл. 11, где обобщены и данные за 1962—1966 гг.

Несомненно то, что главной причиной повышения минерализации речной воды в этом районе служит русловой и подрусловой сток р. Бала-Шидерты, отличающийся высокой минерализацией, обусловленной наличием высокоминерализованных подземных вод и почвогрунтов в этом районе, о чем упомянуто выше.

Из табл. 9 и 11 также нетрудно заметить, что в подавляющем большинстве случаев минерализация речной воды ниже свх Родниковского заметно снижается. Это можно объяснить впадением в р. Шидерту ряда ее притоков (Сары-Булак, Карасу, Аши-Карасу и др.) с менее минерализованными водами по сравнению с р. Бала-Шидерты.

Река Тузды (приток р. Нуры) вносит свои воды в систему канала на 435-м км его трассы. На реке создано водохранилище

Таблица 9
Минерализация (мг/л) и индексы состава воды р. Шидерты в 1959—1962 гг.
(по М. Н. Тарасову [200] и ГМС

Верховье			У свх Родниковский		
Дата	Σи	Индекс	Дата	Σи	Индекс
17/III 1959	1058	Cl_{II}^{Na}	17/I 1959	5156	C_{II}^{Na}
3/IV 1959	344	C_{II}^{Ca}	7/III 1959	5092	C_{III}^{Na}
8/IV 1959	300	C_{II}^{Ca}	2/IV 1959	970	Cl_{II}^{Na}
14/IV 1959	309	C_{II}^{Ca}	9/IV 1959	356	$C_{II}^{Na, Ca}$
15/IX 1959	1260	Cl_{II}^{Na}	18/IV 1959	425	C_{II}^{Na}
12/IV 1960	801	Cl_{II}^{Na}	15/IX 1959	1890	Cl_{II}^{Na}
15/IV 1960	358	C_{II}^{Ca}	15/XII 1959	3160	Cl_{II}^{Na}
17/IV 1960	234	C_{II}^{Ca}	3/IV 1960	327	$Cl_{II}^{Na, Ca}$
30/IV 1960	401	C_{II}^{Ca}	13/IV 1960	297	C_{II}^{Ca}
9/VI 1960	1178	Cl_{II}^{Na}	18/IV 1960	258	C_{II}^{Ca}
29/IX 1960	1179	Cl_{II}^{Na}	22/IV 1960	292	C_{II}^{Ca}
28/III 1962	194	C_{II}^{Ca}	30/IV 1960	578	Cl_{II}^{Na}
26/VII 1962	1232	Cl_{II}^{Na}	11/VII 1960	1974	Cl_{II}^{Na}
У отгона Баян-Аул			У свх Экибастузский		
Дата	Σи	Индекс	Дата	Σи	Индекс
17/I 1959	2918	Cl_{II}^{Na}	20/III 1957	3370	Cl_{II}^{Na}
3/IV 1959	1460	Cl_{II}^{Na}	13/IV 1957	260	Cl_{II}^{Na}
9/IV 1959	388	$C_{II}^{Na, Ca}$	20/IV 1957	590	Cl_{II}^{Na}
18/IV 1959	412	C_{II}^{Na}	24/IV 1957	596	Cl_{II}^{Na}
14/XII 1959	2331	Cl_{II}^{Na}	2/IV 1960	4984	Cl_{II}^{Na}
5/IV 1960	714	Cl_{II}^{Na}	17/IV 1960	348	$C_{II}^{Ca, Na}$
14/IV 1960	268	SC_{II}^{Na}	25/IV 1960	384	$C_{II}^{Na, Ca}$
17/IV 1960	295	C_{II}^{Ca}	10/V 1960	881	Cl_{II}^{Na}
23/IV 1960	372	$C_{II}^{Na, Ca}$	22/III 1962	1595	Cl_{II}^{Na}
29/IV 1960	591	Cl_{II}^{Na}	27/III 1962	441	Cl_{II}^{Na}
12/VII 1960	1783	Cl_{II}^{Na}	31/III 1962	313	C_{II}^{Ca}
30/IX 1960	2058	Cl_{II}^{Na}	15/IV 1962	560	Cl_{II}^{Na}
24/XII 1960	2247	Cl_{II}^{Na}	28/XII 1962	2439	Cl_{II}^{Na}

Таблица 10

Минерализация и ионный состав воды р. Шидерты

выше водохранилища 11 в период половодья 1977 и 1978 гг., $\frac{\text{мг/л}}{\% \text{ экв}}$

Дата	Ca^{2+}	Mg^{2+}	$\text{Na}^{+} + \text{K}^{+}$	HCO_3^{-}	SO_4^{2-}	Cl^{-}	Σи	Индекс
5/IV 1977	12,0	4,9	9,5	54,9	13,2	7,1	102	
	21,7	14,5	13,8	32,6	10,2	7,2		$\text{C}_{\text{II}}^{\text{Ca}}$
8/IV 1977	30,1	12,2	7,2	122	23,4	10,6	205	
	26,9	17,9	5,2	35,8	8,8	5,4		$\text{C}_{\text{III}}^{\text{Ca}}$
29/III 1978	30,1	8,5	102	116	54,3	116	427	
	11,9	5,6	32,5	15,0	9,0	26,0		$\text{C}_{\text{II}}^{\text{Na}}$
4/IV 1978	44,1	17,0	105	152	102	113	533	
	14,0	9,0	27,0	16,0	13,6	20,4		$\text{C}_{\text{II}}^{\text{Na}}$
11/IV 1978	61,0	28,0	158	201	166	174	699	
	13,0	9,9	27,1	14,2	14,8	21,0		$\text{C}_{\text{II}}^{\text{Na}}$

Таблица 11

Изменение минерализации воды р. Шидерты по ее длине, мг/л

Дата	Верховье	У свх Родниковский	Отгон Баян-Аул	У свх Экибастузский
17/I 1959	2552	5156	2918	Нет данных
7/III 1959	1058	5092	Нет данных	То же
16/XII 1959	1336	3160	2231	2800
17/IV 1960	234	258	295	348
7—13/VII 1960	1075	1974	1783	1726
29/IX 1960	1179	1966	2058	2048
24—26/VII 1962	1292	2364	1825	Нет данных
16/IV 1964	216	362	267	То же
17/IV 1966	256	325	260	477

Туздинское, в котором происходит смешение речной воды с водой канала (см. рис. 7).

Площадь водосбора р. Тузды составляет 497 км². Она имеет сток лишь в период весеннего половодья (в течение 10—25 дней), во время которого проходит 96—100 % общего годового стока, составляющего в среднем за многолетний период 7,88 млн. м³. Среднемноголетний расход воды около 0,16 м³/с [35, 176]. За 1971—1978 гг. весенний паводковый сток р. Тузды суммарно составил 83,83 млн. м³. В зависимости от количества зимних осадков наибольший сток (22,35 млн. м³) отмечен весной 1971 г., а наименьший (1,20 млн. м³) в 1975 г.

Материалы по химическому составу воды реки очень скудны. В период пика весеннего половодья 1956 и 1957 гг. минерализация воды составила соответственно 342 и 224 мг/л. При этом в

паводок 1956 г. состав воды был хлоридно-натриевый, а в 1957 г. — смешанного анионного состава, из катионов преобладали ионы кальция и щелочных металлов. Жесткость воды составляла 1,95 и 2,31 ммоль/л. Однако через 5—7 дней при окончании весеннего половодья минерализация увеличилась до 738 мг/л в 1956 г. и до 918 мг/л в 1957 г. с резким преобладанием ионов хлора (29—30 % экв) и щелочных металлов (30—31 % экв). Жесткость достигала 4,56—5,86 ммоль/л [176].

В пробах воды, отобранных в межень 1959 г., минерализация составляла 5,5—9,5 г/л, с резким преобладанием ионов хлора и натрия. Такая высокая минерализация воды обуславливается, очевидно, наличием в долине реки подземных вод с минерализацией от 4,0 до 50 г/л, о чем было упомянуто в разделе 1.4.

Одной из рек, протекающих вблизи канала Иртыш—Караганда, является р. Нура, режим которой подробно описан в работах [35, 95, 176, 222 и др.]. Поскольку р. Нура не имеет непосредственного влияния на канал, сведения о ней в данной работе не приводятся.

Таким образом, вода рассмотренных выше рек, поступающая в систему канала, характеризуется различной минерализацией и разнообразным ионным составом. Объем суммарного их стока только в весенние периоды 1971—1978 гг. (без учета более минерализованного меженного стока) достиг 604,78 млн. м³. Это составляет около 14 % общего забора воды в канал из р. Иртыша (4441,24 млн. м³) за эти же годы. Разумеется, что р. Шидерты и перечисленные малые реки оказывают определенное влияние на формирование химического состава воды канала.

ГЛАВА 2. НАРОДНОХОЗЯЙСТВЕННОЕ ЗНАЧЕНИЕ, ХАРАКТЕРИСТИКА КАНАЛА И НЕКОТОРЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ЕГО ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО И ГИДРОБИОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА

2.1. Народнохозяйственное значение и характеристика канала

Центральный Казахстан — один из богатейших районов Советского Союза, кладовая полезных ископаемых. Здесь имеются месторождения целого ряда цветных и благородных металлов. Наиболее важными из них являются запасы медных руд. Джекказганское, Балхашское, Бошекульское и другие месторождения меди — богатейшие в СССР. Район насчитывает около 80 угольных месторождений, среди которых только Карагандинский, Экибастузский и Майкубенский бассейны содержат 84 млрд. т [39].

На базе Экибастузского угля создается крупнейший Экибастузский топливно-энергетический комплекс, состоящий из 4 ГРЭС мощностью по 4 млн. кВт каждая. Выросли города Караганда, Темиртау, Экибастуз, Джезказган, Балхаш, Абай, Шахтинск и другие, население которых увеличится к 1985 г. до 4 млн. человек.

Дальнейшее развитие промышленности и освоение природных ресурсов Центрального Казахстана сдерживаются из-за недостатка воды. Имеющиеся в этом регионе реки Нура, Шерубай-Нура, Кенгир, Сарысу, Шидерты и другие маловодны. Существующие водохранилища Самаркандское, Кенгирское, Топарское и другие обеспечивают ежегодную отдачу воды всего лишь в объеме 130—135 млн. м³. Перспективные запасы подземных вод, предназначенные для использования промышленности Центрального Казахстана, оцениваются в 630—680 млн. м³ [29, 184].

Потребность в воде здесь быстро растет. Предполагается, что для промышленности, населения и орошения к 1985 г. требуется около 2370 млн. м³ воды, а к 2000 г. только для промышленности и населения — 2600 млн. м³, что значительно превосходит имеющиеся местные ресурсы региона на 1500—1700 млн. м³.

Полное удовлетворение быстро растущих потребностей народного хозяйства в воде и устранение острого ее дефицита в этом обширном и весьма важном в экономическом отношении регионе оказались невозможными без решения вопроса о транспортировке воды из других районов.

Впервые идея водообеспечения Центрального Казахстана за счет переброски части стока р. Иртыша путем строительства канала была высказана учеными института энергетики АН КазССР [217]. В предпроектных исследованиях принимали участие и другие институты АН КазССР: геологических наук, почвоведения, ботаники и сектор географии.

Строительство канала начато в 1962 г., в начале 1968 г. закончен первый участок канала до г. Экибастуза протяженностью 130 км. В 1969 г. канал проложен до 190-го км от головного водозабора, включая водохранилище 1. В начале 1970 г. начато заполнение этого первого водохранилища Шидертинского каскада. В 1971 г. введена в эксплуатацию остальная часть канала. В постоянную промышленную эксплуатацию канал сдан в декабре 1974 г.

Основные показатели и параметры канала характеризуются следующими данными: головной водозабор его расположен на левобережной протоке Иртыша—Белой у г. Ермака Павлодарской области. В районе водозабора построена подпорная плотина, снабженная водосбросным устройством.

Общая протяженность канала (до г. Караганды) 458 км, ширина по дну 4 м, по верху до 40 м, глубина 5—8 м. Пропускная способность канала 2000 млн. м³ в год, полезная отдача около 1720 млн. м³. Скорость течения воды на участках с рыхлыми грунтами 0,5—0,7 м/с, в скальных породах—1,0—1,1 м³/с. Расход воды в районе головного водозабора составит зимой 55 м³/с, летом 75 м³/с. Статистическая высота подъема воды на водоразделе рек Шидерты и Нуры 416 м. Подъем воды от р. Иртыша до водораздела осуществляется 22 насосными станциями. На насосных станциях № 1—4 установлено по четыре агрегата, на остальных—по три. Производительность отдельных насосов 15—19 м³/с.

Трасса канала на протяжении 272 км проходит по территории Павлодарской и 186 км—Карагандинской области. На участке от р. Иртыша до р. Шидерты протяженностью 175 км канал идет в западном направлении по Прииртышской равнине. Подъем воды на высоту 110 м на этом отрезке осуществляется шестью насосными станциями. На 130-м км трассы в долине р. Женгельды построено Экибастузское резервное водохранилище для обеспечения водой г. Экибастуза и его промышленных предприятий (см. рис. 7).

На 175-м км канал достигает долины р. Шидерты, на которой создан каскад из 11 водохранилищ. На этом 200-километровом Шидертинском участке с помощью 10 насосных станций вода перекачивается из нижних водохранилищ в верхние и р. Шидерты течет в обратном направлении, в сторону водораздела. Выше десятого водохранилища на р. Шидерты построено регулирующее водохранилище 11, предназначенное для аккумуляции стока с верховьев р. Шидерты. Периодический сброс

воды из этого водохранилища осуществляется в водохранилище 10.

От водохранилища 10 до водораздела рек Шидерты и Нуры на протяжении около 80 км канал проходит по сильно пересеченной местности, где с помощью шести насосных станций вода поднимается еще на 110 м. В пределах последней, 22-й, насосной станции горизонт воды превышает уровень Иртыша на 416 м.

Далее вода канала самотеком сбрасывается в Туздинское водохранилище, созданное на одноименном притоке р. Нуры. За Туздинским водохранилищем, у р. Нуры, канал разветвляется. Часть воды через дюкер, уложенный под руслом Нуры, и далее по небольшому отрезку канала подается к насосной станции Караганда-Темиртауского водопровода. Остальная вода по руслу р. Нуры поступает в Самаркандское водохранилище.

Таким образом, кроме 22 насосных станций, на трассе канала сооружено 13 водохранилищ общим объемом 1016 млн. м³, площадью 237 км². Общая длина всех водохранилищ 103 км, протяженность транзитных участков канала 355 км. Отрезки канала между насосными станциями и водохранилищами имеют номера от 32 до 63 (см. рис. 7).

По технической сложности комплекса сооружений, геологии, рельефу трассы и другим параметрам канал Иртыш—Караганда является уникальным и не имеет себе равных. По протяженности трассы среди каналов Советского Союза он уступает лишь Каракумскому каналу им. В. И. Ленина (1400 км при завершении последней очереди). По высоте подъема воды (416 м) занимает первое место, оставляя за собой каналы Северский Донец—Донбасс (200 м), Днепр—Кривой Рог (83 м), Аму-Бухарский (70 м), Аму-Каршинский (132 м), Вилия—Минск (80 м), Волга—Увель (57 м) и некоторые другие [45, 112, 139, 217, 219, 228]. По высоте подъема воды канал Иртыш—Караганда уступает лишь Колорадскому акведуку (485 м) в США.

Опыт проектирования, строительства и эксплуатации канала изучается и используется в нашей стране и за рубежом [39, 98, 152, 184, 189, 195]. Он будет иметь большое значение при решении проблемы переброски части стока северных и сибирских рек в бассейны Каспийского и Аральского морей.

Особую важность приобретает опыт эксплуатации этого канала зимой. Наблюдения с момента его создания показали [98, 189], что во время метелей канал на некоторых участках заносится снегом иногда до верхней кромки отвалов. Большие массы снега проламывают ледяной покров, пропитываются водой и закупоривают сечение канала, вызывая заторможенно-зачорные явления. В результате подача воды по каналу зимой прекращается иногда на 2—3 месяца. В значительной степени затрудняют эксплуатацию канала незамерзающие полыньи, а также зазоры, образующиеся под ледяным покровом.

За период эксплуатации канала в целях обеспечения бесперебойной круглогодичной подачи по нему воды потребовалось выполнить большой комплекс научных исследований, разработать и осуществить инженерные мероприятия, предотвращающие указанные отрицательные явления [98, 180]. Все это будет использоваться при проектировании и эксплуатации каналов, создаваемых в аналогичных условиях.

Создание канала Иртыш—Караганда позволило обеспечить потребность в воде не только таких промышленных центров, как Караганда, Темиртау и Экибастуз. С этим каналом связано начало больших водохозяйственных преобразований во всем обширном Центральном Казахстане. Обеспечение водой весьма перспективных для промышленного развития районов является мероприятием общегосударственной важности.

В настоящее время уже ведется строительство второй очереди этой магистрали—канала Нура—Сарысу (с ответвлениями) для подачи воды из канала Иртыш—Караганда в Джезказганский, Атасуйский, Четский, Каражалский и другие промышленные районы и для развития сельского хозяйства. Общая длина этой новой разветвленной трассы составит 865 км, в том числе 200 км трассы пройдет по руслам рек Нура и Сарысу, 125 км по каналам и 540 км по трубопроводам. Объем годовой водоподачи 345 млн. м³, максимальные расходы воды в начале канала 16,4 м³/с. Для преодоления водораздела рек Нуры и Сарысу на канале будут установлены пять насосных станций с суммарной высотой водоподъема 115 м.

Рассматривается вопрос о строительстве Целиноградской ветки канала Иртыш—Караганда для переброски иртышской воды в р. Ишим, для обеспечения водой Боцакульского и других месторождений цветных металлов [217].

Уже построен канал Нура—Ишим протяженностью 25 км, по которому из канала Иртыш—Караганда вода подается в р. Ишим с расходом до 10 м³/с. Канал самотечный, годовой объем забираемой в него воды составляет 225 млн. м³.

Начиная с 1967 г. по мере сдачи в эксплуатацию отдельных участков канала потребление воды с каждым годом возрастает. В 1968—1971 гг. воду из канала использовали на промышленные нужды и нужды населения г. Экибастуза, а также на сельскохозяйственные нужды Павлодарской области. С 1972 г. иртышская вода поступает к потребителям Карагандинской области. Города Караганда, Темиртау, Сарань и многие другие населенные пункты уже переведены на водоснабжение из канала. Подача воды из Самаркандского водохранилища к потребителям Целиноградской области осуществляется с 1974 г.

Площадь орошения в зоне канала в настоящее время достигла 50 тыс. га. Строится ряд совхозов и других хозяйств по производству сельскохозяйственной продукции. Осуществляется рыбоводное освоение водохранилищ канала.

Объемы забора воды из р. Иртыша и водопотребления из канала в 1967—1978 гг. (по данным ПЭКИК) приведены в табл. 12.

Данные таблицы показывают, что за 1967—1978 гг. в канал подано 4,929 млрд. м³ иртышской воды и использовано потребителями 3,164 млрд. м³.

Таблица 12

Объемы забора воды из р. Иртыш и водопотребления из канала в 1967—1977 гг., млн. м³

Год	Забор воды из р. Иртыша	Водопотребление из канала			
		Всего	По Павлодарской и Карагандинской областям		Прочие потребители
			промышленность и население	сельское хозяйство	
1967	8,57				
1968	18,69	6,40	6,40		
1969	93,90	77,00	6,50	70,50	
1970	266,30	77,00	6,80	70,20	
1971	649,40	94,30	6,00	88,30	
1972	275,26	124,70	7,70	117,00	
1973	145,72	188,23	60,00	128,23	
1974	658,20	400,80	150,46	235,34	15,00
1975	774,41	557,97	195,41	261,06	101,50
1976	720,58	570,24	128,10	344,06	98,08
1977	645,81	564,30	232,40	276,03	55,87
1978	671,86	502,93	164,51	236,73	101,69

2.2. Гидрологический режим канала и водохранилищ

Предусмотренного по проекту объема годового водозабора (2,0 млрд. м³) канал достигнет к 1985 г., когда будет сдан в эксплуатацию канал Нура—Сарысу и будут созданы необходимые предпосылки для использования воды. Объем годового забора воды из р. Иртыша в 1975—1978 гг. составил от 645,81 до 774,41 млн. м³. В соответствии с этим и расходы воды, подаваемой по каналу, в эти годы составили в среднем около 1/3 его полной пропускной способности.

Весенний сток рек Женгельды, Тузды, поступивший в водохранилища, а также Шидерты и ее притоков, расположенных на канале, по сведениям ПЭКИК, за период 1971—1978 гг. составил 604,78 млн. м³ (табл. 13). Из общего его объема 84 % (509,18 млн. м³) приходится на долю стока р. Шидерты и ее притоков. При этом наибольший объем весеннего стока аккумулировался в водохранилищах 8 и 11, имеющих площади водосбора соответственно 2233,0 и 1485,0 км².

Приведенные материалы также показывают, что весенний сток водотоков весьма неравномерен в различные годы. Суммар-

Таблица 13

Объем весеннего стока, поступившего в водохранилища в 1971—1978 гг., млн. м³ *

Водохранилище	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	Всего за 1971— 1978 гг.
Экибастуз- ское	Нет данных	5,40	3,11	1,47	—	0,20	1,37	0,22	11,77
1	То же	9,00	6,54	0,85	—	4,60	4,08	1,65	26,72
2	"	—	0,39	—	—	0,10	0,51	0,07	1,07
3	"	8,70	2,87	1,24	0,20	2,20	5,08	1,00	21,29
4	3,00	5,10	13,03	—	0,40	7,70	10,06	1,19	40,48
5	7,00	4,60	1,84	1,13	—	2,70	3,27	1,05	21,59
6	2,00	1,10	1,13	0,84	—	1,30	0,91	0,23	7,51
7	2,00	3,80	4,00	1,36	—	3,20	5,52	3,77	23,65
8	32,00	18,30	14,85	15,69	2,80	12,00	16,45	2,59	114,69
9	2,36	6,50	1,62	3,23	—	2,30	4,12	0,77	20,90
10	5,87	9,00	5,53	0,59	—	2,54	3,41	3,92	30,86
11	46,35	53,00	36,70	13,62	3,20	19,40	19,72	8,42	198,42
Туздинское	22,35	20,40	14,24	7,08	1,20	3,30	11,59	3,67	83,83
Итого	122,93	144,90	105,85	47,12	7,80	61,54	86,09	28,55	604,78

* Прочерки означают, что приток вод отсутствовал.

ные годовые его значения в период 1971—1978 гг. изменялись в интервале от 7,80 млн. м³ в 1975 г. до 144,90 млн. м³ в 1972 г.

Как было указано выше, на трассе канала создано 13 водохранилищ общей площадью 237 км², объемом 1016 млн. м³. Из них 11 водохранилищ суммарной площадью 214,3 км², объемом около 972,4 млн. м³ образуют каскад на р. Шидерты. Два резервных водохранилища (Экибастузское и Туздинское) предназначены для снабжения водой потребителей в случае перерыва в ее подаче по каналу. Основные параметры всех водохранилищ приведены в табл. 14.

Объем воды в транзитных участках канала общей протяженностью 355 км, согласно проектным данным, составляет 39,4 млн. м³, а общая площадь их водной поверхности 14,5 км². Таким образом, суммарная площадь водной поверхности канала и водохранилищ достигает 250,4 км², объем воды в них — 1055,4 млн. м³.

Следует подчеркнуть, что в формировании гидрохимического режима канала Иртыш — Караганда водохранилища имеют важную роль. В них временно аккумулируется основная масса транспортируемой из Иртыша воды и сток весеннего половодья ряда рек. При сравнительно замедленном водообмене в водохранилищах под влиянием внутриводоемных процессов и ряда почвенно-климатических факторов химический состав воды подвергается в них существенным измене-

Таблица 14

Основные параметры водохранилищ канала при отметке НПУ

Водохранилище	Отметка НПУ, м	Площадь, км ²	Объем, млн. м ³	Глубина		Сработка уровня, м	Водообмен (К), раз/год
				наибольшая	средняя		
Экибастузское	182,50	7,0	17,29	6,2	2,4	3,2	170
1	218,07	10,9	83,71	23,0	7,7	0,8	19
2	259,30	1,3	1,73	4,3	1,6		700
3	280,30	13,8	45,30	10,3	3,2	0,7	36
4	300,75	12,1	56,39	10,8	4,9	0,6	24
5	321,00	24,0	96,54	13,5	4,0	0,1	16
6	340,15	2,5	8,58	10,2	3,8		160
7	360,30	19,5	94,34	13,3	4,8	1,1	16
8	380,30	64,9	312,15	15,3	4,8	1,1	5
9	399,60	7,4	30,42	7,8	3,6	нет	54
10	414,85	17,9	70,61	11,1	3,8	0,6	24
11	435,80	40,0	172,59	параметры проектом не определены			
Туздинское	509,00 (ФПГ)	14,6	26,37	6,4	1,7	1,7	100

ниям. Транзитные участки канала протяженностью 355 км, составляющие всего лишь 5,8 % суммарной площади и 3,7 % объема воды, заметной роли в формировании состава воды не играют.

Уровенный режим водохранилищ характеризуется следующим. На рис. 8 показан хронограф уровней семи водохранилищ канала в 1971—1978 гг. (по данным ПЭКИК). За этот период более стабильные уровни воды, в пределах НПУ, с амплитудой колебания до 0,5—0,8 м отмечались в водохранилищах Экибастузском и первом. В водохранилище 5 уровни подвержены значительным колебаниям, отметка НПУ достигалась лишь в отдельные периоды 1975—1978 гг. Водохранилища 8 и 10, как и 5, начали наполняться с 1971 г., однако с 1972 г. для них был характерен более стабильный уровень воды. В 1975—1978 гг. горизонты воды в них находились на отметках, близких к НПУ.

Для уровенного режима регулирующего водохранилища 11 характерны подъемы весной, так как оно аккумулирует весенние воды р. Шидерты. В случае необходимости оно полностью опорожняется, сбрасывая воду в водохранилище 10. Поэтому уровень воды в этом водоеме очень нестабилен.

В уровенном режиме воды Туздинского резервного водохранилища в 1971—1973 гг. отмечались весенние подъемы. Это объясняется аккумуляцией в водоеме в основном весеннего стока р. Тузды, объем которого, как видно из табл. 15, составил соответственно в 1971, 1972 и 1973 гг. 22,35; 20,40 и 14,24 млн. м³. За эти годы поступление воды в водохранилище из канала соответственно составило 4,98, 3,00 и 52,35 млн. м³.

В 1975—1978 гг. за счет поступления больших количеств воды из канала (около 325—391 млн. м³ ежегодно) уровень воды в водохранилище удерживался на отметках, близких к НПУ.

Ход уровней воды в водохранилищах 3, 4 и 9 был в основном аналогичен таковому для водохранилища 1. Среднегодовые уровни и объемы воды в водохранилищах показаны в табл. 15*.

Одной из важных характеристик водохранилищ является их водообмен. Гидрохимический режим в большей степени зависит не от уровня, а от их проточности, так как при сравнительно постоянном уровне воды значительно может изменяться проточность водохранилищ. Особенно это наблюдается в тех случаях, когда одновременно производится подача воды в водохранилище и сброс из него.

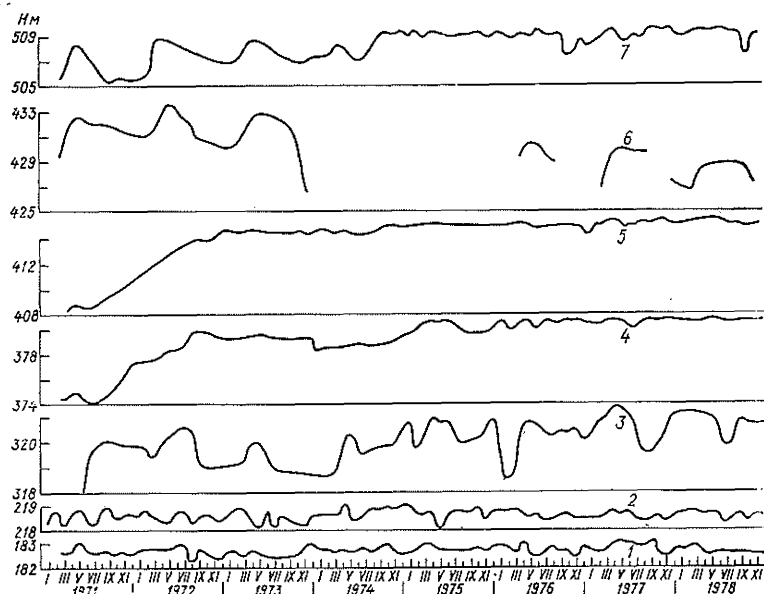


Рис. 8. Ход уровней воды водохранилищ в 1971—1978 гг.

1 — вдхр Экибастузское, 2 — вдхр 1, 3 — вдхр 5, 4 — вдхр 8, 5 — вдхр 10, 6 — вдхр 11, 7 — вдхр Туздинское.

Согласно данным, приведенным в табл. 14, водохранилища весьма различны по водообмену. Наибольший водообмен (от 100 до 700 раз/год) характерен для водохранилищ 2, 6, Экибастузского и Туздинского, наименьший — для самого крупного водохранилища 8.

Фактические значения водообмена в водохранилищах в 1971—1978 гг., рассчитанные нами на основе данных ПЭКИК

* Небольшие, сильно проточные водохранилища 2 и 3 не исследовались.

Таблица 15

Среднегодовые значения уровня (H м), объема (V , млн. m^3)и водообмена ($K = \frac{\text{Пр}}{\text{НПУ}}$, раз/год) водохранилищ канала в 1971—1978 гг.

Показатель	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978
Экибастузское водохранилище (резервное)								
H	182,64	182,60	182,56	182,66	182,69	182,61	182,68	182,57
V	18,28	18,00	17,71	18,42	18,64	18,07	18,56	17,79
K	31,8	15,3	7,4	35,5	41,3	35,4	31,8	31,7
Водохранилище 1								
H	218,05	218,51	218,58	218,65	218,60	218,52	218,45	218,54
V	90,53	88,88	89,70	90,53	89,94	89,00	88,17	89,23
K	7,0	3,1	1,3	7,2	8,2	7,0	6,6	6,6
Водохранилище 3								
H	280,17	280,05	280,20	280,18	280,10	280,25	280,26	280,17
V	43,4	41,7	43,9	43,6	42,4	44,6	44,7	43,4
K	9,4	3,8	0,1	9,9	12,3	9,9	9,4	9,2
Водохранилище 4								
H	300,31	300,20	299,96	300,09	300,67	300,47	300,64	300,31
V	51,22	49,93	47,17	48,64	55,45	53,10	55,09	51,22
K	7,1	2,7	0,2	7,6	10,4	7,8	7,6	7,1
Водохранилище 5								
H	318,15	319,71	319,16	319,57	320,40	320,01	320,47	320,67
V	44,56	69,49	59,68	66,99	83,41	74,88	84,94	89,32
K	3,5	1,6	0,1	4,1	5,9	4,3	4,3	4,4
Водохранилище 7								
H	354,73	358,87	358,97	359,11	359,88	360,08	360,22	360,29
V	25,00	70,67	72,14	74,21	85,57	89,21	92,47	94,11
K	2,1	1,6	0,2	3,5	5,8	4,3	4,6	4,4
Водохранилище 8								
H	374,92	378,48	379,16	378,31	379,84	380,12	380,18	380,27
V	68,67	208,49	244,15	199,87	283,52	300,53	304,40	310,21
K	0,5	0,5	0,04	1,0	1,5	1,3	1,3	1,3
Водохранилище 9								
H	—	399,0	398,62	399,03	399,42	399,66	399,66	399,64
V	—	25,67	23,07	25,91	28,99	30,89	30,89	30,73
K	0,1	1,8	1,0	8,3	14,4	10,2	11,5	11,7
Водохранилище 10								
H	408,77	413,88	414,50	414,54	414,95	414,89	414,89	414,97
V	6,06	54,47	64,67	65,35	72,30	71,29	71,29	72,64
K	0,1	1,2	1,0	3,6	6,2	5,0	5,4	5,2
Водохранилище 11 (регулирующее)								
H	431,68	431,68	430,86	—	—	429,31	428,66	428,01
V	54,50	54,50	41,85	—	—	24,29	18,93	15,03
K	0,3	0,3	0,2	0,1	0,02	0,1	0,1	0,05
Тузундское водохранилище								
H	506,88	507,99	507,77	507,93	508,94	508,59	508,81	508,84
V	5,53	14,19	12,38	13,69	25,64	21,43	24,17	24,43
K	1,0	0,9	2,5	8,9	14,8	12,4	13,7	12,9

Примечания. 1. Водообмен — отношение среднегодового притока воды в водохранилище к общему объему водохранилища при нормальном подпорном уровне.

2. Прочерк — отсутствие данных.

о суммарном притоке воды в каждое водохранилище, приводятся в табл. 15. Эти данные показывают, что водообмен во всех водохранилищах еще далек от проектных значений, рассчитанных на перспективу в условиях забора воды из Иртыша в объеме 2,0 млрд. м³/год и выше. Однако по мере увеличения забора иртышской воды и интенсивности транспортировки ее по каналу водообмен в водохранилищах из года в год в целом возрастает.

В соответствии с объемом забора воды из р. Иртыша наибольший водообмен в водохранилищах отмечался в 1975 г. В 1973 г. по ряду причин забор составил всего 145,72 млн. м³, чем была обусловлена и низкая проточность в водохранилищах.

В табл. 15 величина водообмена в каждом водохранилище, как упоминалось выше, рассчитана по притоку ($K = \frac{\text{Пр}}{\text{НПУ}}$), который складывается из объема подачи воды насосными станциями и весеннего стока. Для сравнения произведены расчеты водообмена водохранилищ как по притоку, так и по стоку воды из них. За величину стока в данном случае принят объем воды, откаченной из каждого водохранилища насосными станциями. Эти расчеты свидетельствуют о том, что, хотя в отдельные годы разница для некоторых водохранилищ достигала 1—2 раза/год, но в среднем за период 1971—1978 гг. величины водообмена, рассчитанные по двум указанным способам, близки между собой (табл. 16).

Таблица 16

Средние за 1971—1978 гг. величины водообмена водохранилищ, рассчитанные по притоку и стоку (раз в год)

Водохранилище	По притоку	По стоку	Разность
Экибастузское	28,8	28,2	0,6
1	5,9	5,4	0,5
3	8,0	7,8	0,2
4	6,3	6,1	0,2
5	3,5	3,2	0,3
7	3,4	3,0	0,4
8	0,9	0,7	0,2
9	7,4	7,3	0,1
10	3,4	3,2	0,2
11	0,2	0,1	0,1
Туздинское	8,3	7,9	0,4

При этом водообмен по стоку для отдельных водохранилищ в 0,1—0,6 раза в год ниже водообмена, рассчитанного по притоку. Следует отметить, что произведенные расчеты имеют предварительный характер. Они выполнены лишь для ориен-

тировочного сравнения водообмена водохранилищ по суммарному притоку и стоку из них по трассе канала. Приведенная в табл. 18 разность в суммарном объеме для всех водохранилищ в 1971—1978 гг. в среднем составила около 200—240 млн. м³. Эта величина ориентировочно равна объему годового испарения с поверхности рассматриваемых водохранилищ.

Одним из важных показателей водного режима каналов являются фильтрационные расходы воды. В зависимости от почвенных, геологических условий территории, эксплуатационных и других особенностей каналов эти расходы могут колебаться в широких пределах. Согласно проектным данным, безвозвратные фильтрационные потери воды из канала должны иметь место в основном на участке от головного водозабора до р. Шидерты (0—173-й км) и составят около 58 млн. м³ в год (1,85 м³/с).

По предварительным расчетам ПЭКИК потери воды из канала на фильтрацию в 1976, 1977 и 1978 гг. составили соответственно 53,5, 31,0 и 30,0 млн. м³. Эти величины оказались равными 4,5—7,4 % забора воды из р. Иртыша и 4,0—6,6 % расходной части водного баланса канала за эти же годы. Если сравнить эти данные с величиной безвозвратной фильтрации воды из Каракумского канала [138], составляющей 20 % водозабора, то на канале Иртыш—Караганда фильтрация не достигает больших размеров.

По трассе канала Иртыш—Караганда выход фильтрационных вод на поверхность проявляется в виде родников, затоплений и заболачиваний. В головной части трассы фильтрационные воды сосредоточены в дренажных канавах по обе стороны от канала. Довольно часто фильтрационные воды образуют плёсы, своего рода пруды в руслах водотоков, пересеченных каналом.

В водном балансе канала важное значение имеет потеря воды на испарение, так как в зависимости от интенсивности транспортировки весь путь от Иртыша до Караганды она проходит довольно долго — 7—12 месяцев, большинство из которых летние.

Согласно предварительным расчетам ПЭКИК, потери воды на испарение с поверхности водохранилищ в 1976, 1977 и 1978 гг. соответственно были 171,28, 171,03 и 187,60 млн. м³. Эти величины составляют от 24 до 28 % годового водозабора и от 20 до 25 % суммарного потребления воды из канала.

Сравнение приведенных сведений с данными по Каракумскому каналу свидетельствует об относительно больших потерях воды на испарение из канала Иртыш—Караганда, несмотря на его меньшие размеры и протяженность. По трассе Каракумского канала потеря воды на испарение составляет 224 млн. м³, или 2,9 % величины водозабора [138]. Однако в зоне этого канала потери на испарение фильтрационных вод

значительно выше, чем испарение из канала, и составили 320,96 млн. м³ в 1963 г. и 345,75 млн. м³ в 1972 г. [145].

В заключении следует указать, что специальных гидрологических исследований на канале не проводилось, следовательно, нет пока и более надежного расчета его водного баланса. Согласно ориентировочным расчетам ПЭКИК, в современных условиях основные составляющие годового водного баланса канала следующие: водозабор 85—87 %, приток паводковых вод 9—11 %, водопотребление 67—70 %, испарение 20—25 %. Эти же составляющие должны иметь решающее значение и в солевом балансе канала.

2.3. Краткая гидробиологическая характеристика канала и водохранилищ

Важная роль водной флоры и фауны в формировании химического состава и качества воды водоемов общеизвестна. Наряду с тем, что водная флора способствует самоочищению воды, обогащает ее кислородом, создает благоприятные условия для жизни рыб, она же может служить причиной возникновения целого ряда отрицательных последствий.

Чрезмерно высокое развитие водной растительности повышает в водоемах уровень продукционно-биологических процессов, в отдельных случаях это приводит к глубокому нарушению процессов превращения веществ в водной экосистеме, ухудшению качеств воды, т. е. к развитию процессов евтрофирования водных объектов. Подробному исследованию этого явления и причинам его возникновения посвящен целый ряд работ советских и зарубежных ученых [181, 186, 235, 244, 250, 252, 254, 256, 257].

В современных условиях при наличии многообразных источников поступления в водоемы фосфора, азота и других биогенных веществ процессу евтрофирования в той или иной мере подвержены многие водоемы Западной Европы, Америки, Японии и др. [220, 244, 249, 255]. Признаки евтрофирования имеют место и в водохранилищах Днепра, Днестра и в некоторых других водоемах [64, 186].

При массовом развитии водная растительность создает ряд биологических помех и в эксплуатации каналов: затрудняет транспортировку воды по ним, осложняет очистку ее на фильтровальных станциях, нарушает работу гидротехнических сооружений и т. д. Продукты разложения отмерших остатков растений ухудшают качество воды, придавая ей неприятный запах и привкус. Возникновение такого рода помех систематически отмечается в ряде каналов СССР [59, 157, 202] и зарубежных стран [242].

Сведения о гидробиологическом режиме канала Иртыш—Қарағанда получены, начиная с 1971 г., параллельно с гидро-

химическими исследованиями. Материалы, полученные в первые годы наполнения канала и водохранилищ, кратко освещены в работах А. Г. Диканской [79] и В. П. Аббакумова [1]. Некоторые сведения о фитопланктоне водохранилищ, по сборам последних лет, приведены в работе Н. И. Ярославцевой [229]. Большой объем материала по гидробиологической характеристике канала содержится в фондах Казахского научно-исследовательского института рыбного хозяйства.

Согласно полученным данным, в фитопланктоне обнаружено 57 видов, форм и разновидностей водорослей, принадлежащих к пяти типам: диатомовые — 16, сине-зеленые — 18, зеленые — 20, пиррофитовые — 1, эвгленовые — 2.

Зеленые водоросли, несмотря на видовое разнообразие, большой численности не имеют и в формировании фитопланктона роль их незначительна. Ведущее место в создании биомассы фитопланктона в летнее время занимают пиррофитовые, причем за счет развития одного вида — *Ceratium hirundinella*, который при небольшой численности (0,045 млн. кл/м³) имел максимальную биомассу, равную 1,441 г/м³ [229].

Значительную часть биомассы составляли диатомовые, распространенные во всех водохранилищах. Летом общая численность водорослей в водохранилищах колебалась от 191 до 473 тыс. кл/м³ при биомассе от 0,18 до 1,57 г/м³.

В первые годы в водохранилищах 3, 4 и 7 преимущественно в первой половине лета наблюдалось «цветение» воды, обусловленное развитием сине-зеленых водорослей, и скопление их в водной толще и на поверхности водохранилища. В водохранилищах 1 и 3 одновременно отмечалось достаточно интенсивное развитие нитчатых водорослей.

Однако в последующие годы по мере массового зарастания водохранилищ мягкой и жесткой водной растительностью цветения не наблюдалось, а нитчатые водоросли встречались крайне редко. Такое явление, связанное с осуществлением антагонистических отношений между макрофитами и фитопланктоном, отмечалось рядом авторов [157, 169, 186]. Оно возникает по той причине, что погруженная растительность является конкурентом фитопланктона в использовании питательных веществ, растворенных в воде.

Зоопланктон канала представлен 50 видами, которые по основным группам распределяются следующим образом: коловратки — 25, ветвистоусые — 16 и веслоногие — 9 видов. Видовой состав зоопланктона всех водохранилищ в целом одинаков. Численность организмов летом от 45,0 до 63,0 тыс. экз/м³, а средняя биомасса от 0,37 до 0,84 г/м³.

Высшая водная растительность в первые годы заполнения канала и водохранилищ была развита слабо. Первыми начали появляться заросли погруженной растительности, которыми уже летом 1974 г. было занято, примерно, до 15–20 % пло-

щади водохранилищ. Заросли прибрежной растительности начали развиваться позже.

Высшие формы растений представлены 19 видами, из них 13 собственно водные, а остальные 6 видов — прибрежно-водные.

Прибрежно-водные растения представлены тростником обыкновенным, рогозом узколистным, камышом озерным, частухой подорожниковой, сусаком зонтичным и осокой. Погруженные виды макрофитов представлены различными видами рдеста, харовыми водорослями, урутью, гречихой, наядой, валисснерией, пузырчаткой и др. Наиболее распространены тростник, рогоз, камыш, рдесты и уруть.

Заросли прибрежно-водных растений распространяются до глубины 2—2,5 м, ширина их зарослей в отдельных водохранилищах достигает 80—100 м. Погруженная растительность распространяется до глубины 3—4 м. Средняя для всех водохранилищ сырая масса надводной растительности в летние периоды 1977—1978 гг. составила 2,4 кг/м², погруженной — 1,4 кг/м².

Площадь зарослей высшей водной растительности с каждым годом растет. В отдельных водохранилищах она уже достигает 40—70 %. Рекомендовано вселять в водохранилища растительноядных рыб. Это мероприятие по ряду причин осуществляется медленно. Поэтому оценить эффективность указанных мер по ограничению зарастания в условиях канала Иртыш—Караганда пока трудно.

ГЛАВА 3. ЗАДАЧИ, ОБЪЕМ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Проведенные нами в 1969—1978 гг. исследования ставили перед собой следующие задачи:

1. Дать характеристику гидрохимического режима канала и водохранилищ в период их наполнения и эксплуатации, рассмотреть особенности режима во времени и пространстве;

2. Установить главные факторы формирования химического состава воды канала и водохранилищ;

3. Оценить качество воды для удовлетворения потребностей питьевого, технического водоснабжения, ирригации и других отраслей хозяйства;

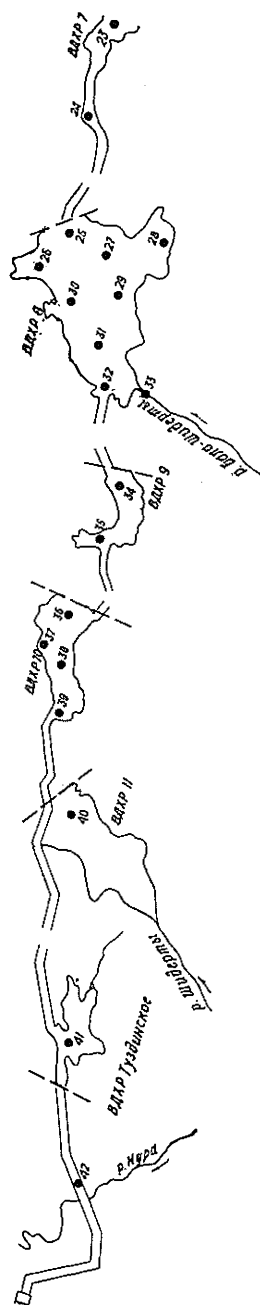
4. Выявить основные элементы солевого баланса канала и водохранилищ.

Перечень исследованных компонентов и количество отобранных проб приведены в табл. 17.

Таблица 17

Исследуемые компоненты и общее количество проб воды, отобранных для анализа в 1969—1978 гг.

Компоненты	Количество проб
Минерализация и главные ионы (Ca^{2+} , Mg^{2+} , $\text{Na}^{+} + \text{K}^{+}$, HCO_3^{-} , SO_4^{2-} , Cl^{-})	1117
Na^{+} и K^{+} (раздельно)	895
Микроэлементы в воде	77
Микроэлементы в донных отложениях	26
Биогенные вещества (NH_4^{+} , NO_2^{-} , NO_3^{-} , P, Si, Fe)	1005
Окисляемость воды:	
перманганатная	1005
бихроматная	798
Цветность	610
Органический азот	610
Органический фосфор	610
Кислород и свободная двуокись углерода	1005
pH, прозрачность и температура воды	1005



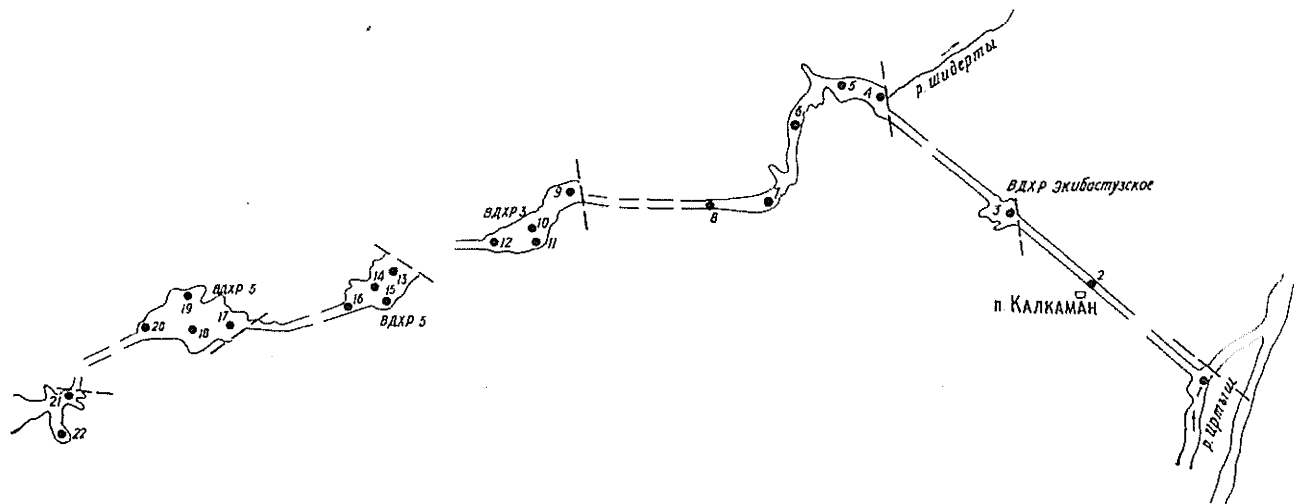


Рис. 9. Схема размещения пунктов гидрохимических наблюдений на трассе канала Иртыш — Караганда.

Гидрохимические исследования проводились путем 22 экспедиционных выездов. Каждый год организовывалось от двух до четырех выездов (в 1978 г. выполнен один выезд, в 1976 г. полевые исследования не проводились). Зимние гидрохимические съемки производились в феврале—марте 1970, 1972, 1973 и 1974 гг.

Отбор проб воды осуществлялся на постоянных 42 станциях (рис. 9). В зависимости от площади и конфигурации водохранилищ на каждом из них находились от одной до десяти станций.

Для более полной характеристики внутригодового режима минерализации и ионного состава воды с помощью работников ПЭКИК производились ежемесячные отборы проб воды из р. Иртыша в 1970—1973 гг. В отдельные годы отбирали по 5—8 проб у плотин Экибастузского, 1, 8, 11, Туздинского водохранилищ и на канале у подхода к г. Караганде (станция 42).

Пробы отбирали с глубины 0,5 м; на отдельных глубоководных участках водохранилищ преимущественно в районе их плотин отбирали также придонные пробы. В них определяли все физические свойства и компоненты химического состава воды, за исключением микроэлементов и тяжелых металлов.

Отметим, что по мере сдачи в эксплуатацию отдельные участки канала и его водохранилища наполнялись иртышской водой ступенчато. В соответствии с этим в 1969 и 1970 гг. нами обследовался участок канала протяженностью 190 км от головного водозабора до водохранилища 1 включительно. На некоторых водохранилищах: первом (в 1969 г.), восьмом и одиннадцатом (в 1970 г.) отбор проб воды производился и до поступления в них иртышской воды, т. е. в периоды, когда в водохранилищах аккумуляровался весенний сток р. Шидерты и некоторых ее притоков. Систематический отбор проб на всех участках канала и водохранилищах начался с 1971 г., на конечном участке канала у г. Караганды — в 1973 г.

Пробы воды для определения микроэлементов и тяжелых металлов отбирали из поверхностного слоя воды на отдельно выбранных станциях по трассе канала. Пробы донных отложений для определения в них этих компонентов были отобраны в 1975 г. во время двух экспедиционных выездов.

Образцы льда отбирали во время четырех зимних выездов в 1970, 1972—1974 гг., они были взяты из верхнего и нижнего горизонтов, иногда из промежуточного.

При характеристике физико-географических условий территории, гидрологического режима и химического состава воды рек, входящих в систему канала, использованы материалы опубликованных источников, проектных проработок института Гидропроект им. С. Я. Жука и, в отдельных случаях, данные, полученные нами. В процессе написания разделов,

касающихся гидрологического режима канала и водохранилищ, санитарно-гигиенических показателей воды, а также химического состава воды притоков р. Шиндарты, обобщены фондовые материалы ПЭКИК. По этим же вопросам частично использованы данные химической лаборатории насосно-фильтровальной станции г. Экибастуза.

В работе сделана оценка пригодности воды для питьевого, технического водоснабжения, орошения, рыборазведения и других целей путем расчета выщелачивающей, углекислотной агрессивности, различных ирригационных характеристик и других показателей.

Химический анализ воды проводился преимущественно по общепринятым в гидрохимии методам [8]. Содержание ионов хлора определяли объемным аргентометрическим методом, сульфатных ионов — весовым в виде сульфата бария; гидрокарбонатные ионы — титрованием воды соляной кислотой в присутствии метилового оранжевого. Сумму кальция и магния (жесткость) определяли титрованием пробы раствором трилона Б с использованием в качестве индикатора хромогена черного ЕТ-СО; кальций — титрованием тем же раствором в присутствии мурексиды [207]. Магний вычисляли по разности между жесткостью воды и содержанием кальция; общее содержание натрия и калия находили по разности между суммой анионов и суммой катионов в ммоль. Для пересчета вычисленного содержания суммы щелочных металлов из ммоль в мг/л применяли эмпирический коэффициент, равный 25 [8]. Раздельное определение натрия и калия проводили на пламенном фотометре (ПФМ).

Микроэлементы в воде и донных отложениях определяли полуколичественным спектральным методом. Воду в объеме 1 л выпаривали, сухой остаток высушивали при 105 °С до постоянной массы и прокаливали при 400 °С для сжигания органического вещества. В донных отложениях определяли валовое содержание этих компонентов.

Прозрачность воды определяли по диску, цветность — по платиново-кобальтовой шкале, рН — колориметрическим методом с тремя цветными индикаторами; при этом показание шкалы систематически контролировали рН-метром.

Определение окисляемости произведено перманганатным (в кислой среде) и бихроматным методами [154, 191, 193]. Кремний и железо определяли на ФЭКе: первый в виде восстановленного кремнемолибденового комплекса, второй с роданидом калия.

Разрушение органического фосфора и перевод его в минеральный проводили методом мокрого сжигания с концентрированной серной кислотой. Минеральный фосфор определяли колориметрически с молибденовым раствором в присутствии двухлористого олова.

Анализ нитратного азота выполнялся с применением дифениламина, нитратного — реактива Грисса, аммонийного — реактива Несслера. Органический азот определяли методом Кьельдаля; исключение отгонки аммиака из процесса анализа достигалось применением микро-диффузионного метода Конвея [63, 163, 238, 253].

Содержание кислорода определяли по Винклеру, свободной двуокиси углерода — титрованием пробы раствором двууглекислого натрия в присутствии фенолфталеина.

Для характеристики вод использовалась классификация О. А. Алекина [6], а в отдельных случаях — формула М. Г. Курлова [128]. Математическая обработка аналитического материала по минерализации, ионному составу и концентрациям натрия и калия произведена по программе парного корреляционного анализа. Расчеты выполнены на ЭВМ «Урал-11» и «БЭСМ-4м», используя программы, составленные на механико-математическом факультете Казахского Государственного университета [31, 84].

ГЛАВА 4. ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВОДЫ

4.1. Взвешенные вещества и прозрачность воды

Содержание взвешенных веществ и прозрачность воды являются одним из наиболее важных показателей при характеристике качества воды, особенно для каналов питьевого назначения [53, 81, 232, 233]. От количества взвешенных веществ и прозрачности воды в существенной мере зависит интенсивность развития и видовое разнообразие водных организмов. Имеется достаточно данных [100, 108, 157, 226], свидетельствующих об отсутствии или крайне ограниченном развитии планктонных организмов из-за большого количества взвесей в воде некоторых каналов и рек Азиатской части СССР.

Наличие большого количества взвешенных веществ не только затрудняет очистку воды и эксплуатацию насосно-фильтровальных сооружений, но и определяет интенсивность седиментационных процессов, вызывает заиление каналов, промежуточных водоемов, а также ирригационных систем. Изучение гранулометрических характеристик, химического состава и влияния насосов на орошаемые почвы в настоящее время считается одной из важных проблем [89, 102, 106].

Между тем сведения о закономерностях формирования режима взвешенных веществ в каналах пока что малочисленны. Накопление информации по этому вопросу очень важно в практическом отношении в связи с созданием в будущем разнообразных по режиму эксплуатации, протяженности и назначению каналов для переброски стока из одних регионов в другие.

Водоисточник канала — р. Иртыш отличается повышенным содержанием взвешенных веществ и невысокими значениями прозрачности воды. Существенное внутригодовое изменение водного стока определяет довольно резкие сезонные колебания этих показателей.

По данным сети гидрометслужбы [177], среднемесячное значение расходов взвешенных наносов р. Белой в районе головного водозабора канала за 1966 и 1968 гг. составило в зимние месяцы 0,12—2,10 кг/с, в период половодья 25—36 кг/с, количество взвешенных веществ при этом достигало 160—196 мг/л.

Сезонное распределение стока наносов р. Иртыша за период с 1939 по 1957 г. характеризуется следующими данными [175]:

у с. Шульбы (525 км выше г. Павлодара): зима — 5,7 %, весна — 84,0 %, лето — 10,3 %; у г. Омска (572 км ниже г. Павлодара): зима — 3,8 %, весна — 82,0 %, лето — 14,2 %.

Среднегодовые расходы взвешенных наносов р. Иртыша за 1939—1957 гг. составили у с. Шульбы 90,3 кг/с, у г. Омска 141,0 кг/с, что свидетельствует об увеличении количества взвешенных веществ по течению реки.

Изменение прозрачности воды р. Иртыша в период наших наблюдений показано на рис. 10. Наиболее высокие ее значения, отмеченные в осеннюю межень, составили 30—35 см. В периоды половодья она снижалась до 5—7 см, а в отдельных случаях количество взвесей увеличивается настолько, что прозрачность воды снижается до нуля.

Таким образом, канал Иртыш—Караганда питается речной водой с высокой мутностью, особенно в период половодья. В этом отношении он аналогичен многим каналам Средней Азии, таким как Каракумский, Кыз-Кеткенский (р. Амударья), им. Кирова (р. Сырдарья), Шариханский (р. Карадарья). Большой Ферганский (р. Нарын) и Большой Чуйский (р. Чу). Прозрачность их воды в пределах головных участков составляет от 0,0 до 10 см в половодье, до 30 см в другие сезоны года [52, 81, 101, 102, 108, 157]. В некоторых каналах Северного Кавказа — Самур-Дивичинском и Невинномысском, берущих начало соответственно из рек Самур и Кубань, прозрачность воды также не превышает 10 см [100].

В зависимости от особенностей каналов (наличие на них водохранилищ, боковой приточности, зарослей макрофитов и фитопланктона), состава пород, слагающих борта и дно каналов, скорости течения воды в них и некоторых других причин количество взвесей и прозрачность воды при движении по трассе могут существенно изменяться.

Так, чрезвычайно мутная амударьинская вода, поступающая в Каракумский канал, освобождается от взвесей в пределах Келифских озер, ниже которых прозрачность воды достигает временами 250—350 см. Только в пределах этих озер количество взвешенных веществ в воде канала в летнее время снижалось с 1870 мг/л до 7—8 мг/л. Однако далее по трассе канала вследствие активного размыва берегов прозрачность воды уменьшается до 100 см и ниже [108], а в районе г. Ашхабада значение ее составляло: в 1962—1965 гг. от 15 до 80 см, в 1970—1971 гг. — 10—70 см [109, 110].

Прозрачность воды канала Северский Донец — Донбасс в отдельные годы в зависимости от интенсивности и объема половодья на р. Северский Донец колеблется от 20 до 180 см, редко увеличиваясь до 200 см. Существенное влияние на ее режим оказывает водная растительность. Заросли нитчатки, задерживая взвеси, способствуют повышению прозрачности воды, а массовое развитие фитопланктона снижает ее до 5—10 см [59, 107, 158].

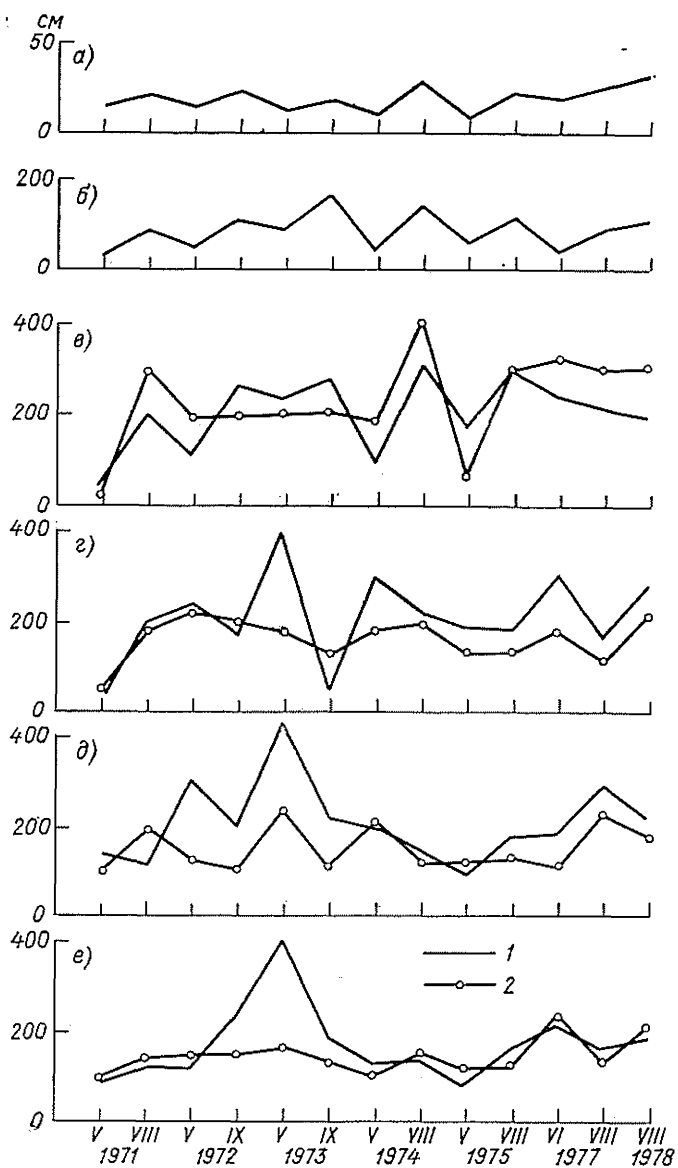


Рис. 10. Изменение прозрачности воды р. Иртыша и отдельных водохранилищ у плотины (1) и в верховьях (2).
 а — р. Иртыш; водохранилища: б — Экибастузское, в — 1, г — 3, д — 7, е — 8.

Под влиянием бытовых и ливневых стоков сильно меняется прозрачность воды по трассе канала Изебек в ФРГ [231, 232, 233]. Такая же картина характерна для канала Альберта в Бельгии, подвергающегося загрязнению [234, 239, 247].

В отличие от рассмотренных каналов, питаемых непосредственно из рек, в каналы, берущие начало из водохранилищ, обычно поступают сравнительно прозрачные воды. Однако под влиянием разнообразных условий на трассе каналов прозрачность воды может сильно падать, что нередко вызывает снижение ее качеств в районах водозаборов. В качестве примера можно привести каналы Днепр—Кривой Рог и Краснознаменский, берущие начало из приплотинного района Каховского водохранилища, имеющего прозрачность воды 80—200 см. Однако «цветение» воды, а также отчасти размыв берегов снижают ее прозрачность в первом канале до 25—50 см (иногда до 7—10 см), во втором — нередко до 5—20 см [82, 157, 158].

В каналах, расположенных в Азиатской части СССР и берущих начало из водохранилищ, прозрачность воды снижается исключительно за счет размыва и разрушения берегов. К их числу относятся Верхне-Карабахский и Верхне-Ширванский каналы, питающиеся из Мингечаурского водохранилища. Прозрачность воды в водохранилище 300—800 см, в головной части этих каналов 150—300 см, а далее по их трассе под воздействием упомянутых факторов она снижается до 50 см [100]. Такое же положение имеет место в Туркестанском канале, выходящем из Бугуньского водохранилища в Казахской ССР [157, 227].

Таким образом, качество воды на конечных участках каналов, в отношении взвешенных веществ в значительной мере зависит от ряда факторов на промежуточных участках трассы.

В головной транзитной части канала Иртыш—Караганда в режиме взвешенных веществ и прозрачности воды существенную роль играет осаждение взвесей в водохранилищах, расположенных по его трассе. Наиболее существенное значение в аккумуляции взвешенных веществ имеет Экибастузское водохранилище, находящееся в 130 км от головного водозабора канала. Интенсивное осаждение взвесей в этом водоеме приводит к значительному повышению прозрачности воды, величина которой достигала иногда 140—160 см (рис. 10).

Вода в водохранилище становится более прозрачной поздно осенью и зимой, когда количество взвесей в ней не превышает 4—5 мг/л. Весной с возобновлением интенсивной подачи иртышской воды количество взвесей в водохранилище увеличивается, достигая в отдельные годы 45—74 мг/л, иногда более 100 мг/л; прозрачность ее при этом снижается до 3—5 см [16, 25]. Заметное снижение прозрачности воды в этом водоеме весной прослеживается и по данным рис. 10. Повышение количества взвешенных веществ приводит к некоторому ухудшению качества воды и затрудняет ее очистку.

Увеличению количества взвешенных веществ в воде водохранилища в весенние периоды способствуют, во-первых, высокая мутность воды р. Иртыша, а также поступающего в водохранилище весеннего стока р. Дженгельды; во-вторых, водная эрозия рыхлых песчано-глинистых отложений, в которых проходит канал до Экибастузского водохранилища. Увеличение мутности при интенсивной транспортировке воды на трассе характерно для всего канала и в другие периоды года. Однако активность размыва неодинакова и зависит от характера отложений, в которых проходит канал.

Режим прозрачности воды в последующих за Экибастузским водохранилищем участках канала на примере основных водохранилищ представлен на рис. 10, где сведения для каждого водохранилища приведены по двум станциям, одна из которых расположена в районе плотины, вторая — в верховьях водохранилищ.

В водохранилищах Шидертинского каскада наибольшая прозрачность воды достигала 400 см. Это свидетельствует о значительной аккумуляции взвешенных веществ в водохранилищах Экибастузском и первом. Сезонная динамика прозрачности воды в водохранилище 1 аналогична с таковой для Экибастузского водохранилища, расположенного от него на расстоянии около 40 км. Это объясняется тем, что указанные водоемы сходны по водному режиму и почти в одинаковой мере подвержены влиянию интенсивной транспортировки воды в головной транзитной части канала.

Сравнивая данные по водохранилищам на р. Шидерты, можно отметить, что прозрачность воды у плотин в направлении к конечным участкам канала несколько снижается. В этом направлении заметно сглаживаются также пределы колебания ее во времени. Так, если в водохранилище 1, за исключением редких случаев, прозрачность воды находилась в основном в пределах 200—300 см, то в водохранилищах 3 и 7 она уменьшалась до 200 см и ниже, а в водохранилище 8 редко достигала 200 см.

Такое различие между водоемами, видимо, объясняется тем, что водохранилище 1 отличается большей глубиной, незначительной шириной, в большей части не выходящей за пределы естественного русла р. Шидерты, и высокими обрывистыми берегами, сложенными из каменных пород. Эти особенности водохранилища в значительной степени ограничивают сильное взмучивание его водных масс во время часто повторяющихся в этом районе ветров. Кроме того, в силу перечисленных особенностей этот водоем менее подвержен зарастанию мягкой и жесткой водной растительностью, следовательно, в нем нет заметного накопления растительных остатков и илов, вызывающих взмучивание воды при волнении.

около 1,2 °С. Охлаждение поверхностного горизонта до 0 °С при достаточно высокой температуре придонных слоев происходит из-за незначительного турбулентного перемешивания.

В упомянутой работе приводятся результаты натурных наблюдений, свидетельствующие о том, что с момента установления ледяного покрова под воздействием теплоотдачи грунта ложи канала и водохранилищ происходит медленное повышение температуры воды. Наибольшего среднего по сечению значения (в каналах около 0,9 °С, в водохранилищах — около 1,6 °С) она достигает в конце февраля — начале марта. Во второй половине марта температура воды понижается из-за истощения запаса тепла в грунте.

Повышенные значения температуры в придонных слоях воды водохранилищ наблюдались и нами. В 1970, 1972—1974 гг. в глубоководных участках водохранилищ (от 7 до 20 м) водная масса всегда имела температуру выше 1,0 °С, о чем свидетельствуют приводимые ниже данные:

Водохранилище	1	3	5	7	8
Температура, °С	1,0—2,6	2,8—3,4	2,3—4,0	3,0—3,6	1,4—2,

Повышение температуры воды у дна, как было указано выше, видимо, объясняется совпадением срока наибольшей теплоотдачи грунтом ложа с периодом наблюдений, а также выделением определенного количества тепла в процессе биохимического разложения большой массы растительных остатков.

Указанная термическая особенность канала и водохранилищ зимой, как показано в упомянутой работе [98], на многих участках канала при работе насосных станций приводит к образованию незамерзающих полыней длиной 50—300 м, а на участках сопряжения водохранилищ и каналов — до 1,0 км. Основной причиной образования полыней является вовлечение потоком придонных вод с повышенной температурой и усилением их влияния на ледяной покров при повышении скорости течения.

ГЛАВА 5. МИНЕРАЛИЗАЦИЯ И ИОННЫЙ СОСТАВ ВОДЫ

5.1. Минерализация и ионный состав воды р. Иртыша

Минерализация и химический состав воды каналов прежде всего зависит от состава воды водонисточника, из которого происходит водозабор.

Краткая характеристика гидрологического и гидрохимического режимов р. Иртыш, по имеющимся литературным данным, была дана в разделе 1.5. Поэтому здесь ограничимся рассмотрением лишь полученных нами результатов наблюдений за составом воды реки в районе головного водозабора канала в 1969—1978 гг. В 1970—1973 гг. пробы воды из р. Иртыша отбирали ежемесячно, в остальные годы посезонно.

Вода р. Иртыша отличается малой минерализацией (табл. 19). За период 1969—1978 гг. она колебалась в пределах 147—234 мг/л, среднее значение при этом составило 195 мг/л. В связи с внутригодовым изменением водного стока и объема пропусков воды из Бухтарминского водохранилища минерализация воды заметно меняется по сезонам. Наиболее высокие ее значения характерны для осенне-зимнего периода, весной и в начале лета минерализация обычно ниже (рис. 11).

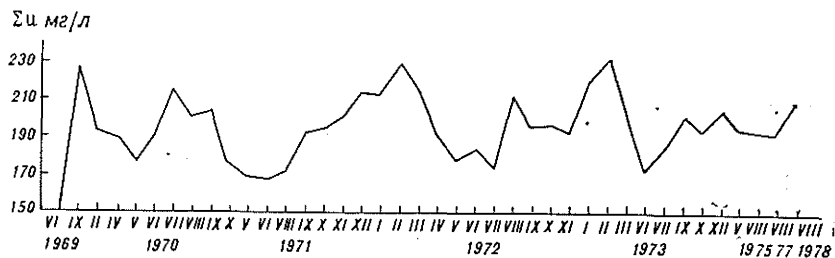


Рис. 11. Режим минерализации воды р. Иртыша у головного водозабора канала в 1969—1978 гг.

Среди главных ионов преобладают кальций и гидрокарбонаты. В течение года соотношение этих ионов заметно не меняется и индекс Ca^{+2} для речной воды остается характерным в течение всего года.

Таблица 19

Минерализация и ионный состав воды р. Иртыша у водозабора в 1969—1978 гг.

Дата	мг/л						Сумма ионов мг/л	% экв						Индекс воды по О. А. Але- кину
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ +K ⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻		Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ +K ⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	
18/VI 1969	20,8	6,2	12,8	73,2	24,7	9,6	147	25,2	12,4	12,4	29,1	14,3	6,6	C _{II} ^{Ca}
14/IX 1969	21,6	5,1	38,5	121	31,7	8,9	227	17,8	6,9	25,3	35,1	10,8	4,1	C _I ^{Na}
27/II 1970	26,7	4,4	22,2	98,2	28,8	13,1	193	25,8	7,0	17,2	31,2	11,6	7,2	C _{II} ^{Ca}
1/IV 1970	31,7	4,4	22,8	109	35,4	12,8	216	27,2	6,2	16,6	31,0	12,8	6,2	C _{II} ^{Ca}
20/IV 1970	26,6	4,4	20,5	92,7	34,2	9,9	188	26,5	7,2	13,3	30,3	14,1	5,6	C _{II} ^{Ca}
1/V 1970	23,2	4,0	21,0	85,4	29,6	11,0	174	24,9	7,1	18,0	30,1	13,3	6,6	C _{II} ^{Ca}
18/V 1970	28,0	4,5	24,8	103	36,6	11,0	208	25,4	6,7	17,9	30,6	13,8	5,6	C _{II} ^{Ca}
20/VI 1970	23,9	4,8	24,3	95,2	27,5	14,9	191	23,3	7,7	19,0	30,6	11,2	8,2	C _{II} ^{Ca, Na}
20/VII 1970	26,5	5,0	28,0	111	32,5	12,8	216	23,1	7,2	19,7	31,9	11,8	6,3	C _{II} ^{Ca, Na}
17/VIII 1970	25,1	3,8	21,7	106	32,9	11,4	201	21,7	5,4	22,9	32,6	11,8	5,6	C _I ^{Na, Ca}
1/IX 1970	27,3	7,6	20,5	105	25,1	19,9	205	24,3	11,0	14,7	30,7	9,3	10,0	C _{II} ^{Ca}
20/IX 1970	26,1	5,4	21,0	96,5	28,1	12,4	190	25,2	8,5	16,3	30,6	14,1	5,3	C _{II} ^{Ca}
16/X 1970	23,5	6,0	16,5	90,4	25,9	11,0	173	25,2	10,6	14,2	31,9	11,4	6,7	C _{II} ^{Ca}
30/V 1971	24,0	5,4	15,0	92,5	20,2	10,6	168	26,8	9,8	13,4	34,0	9,3	6,7	C _{II} ^{Ca}
15/VI 1971	24,0	7,3	10,9	93,8	20,9	10,3	167	26,4	13,2	10,4	33,9	9,7	6,4	C _{II} ^{Ca}
17/VIII 1971	23,2	4,4	18,5	91,5	24,3	9,2	171	25,7	7,9	16,4	33,0	11,3	5,7	C _{II} ^{Ca}
15/IX 1971	26,7	6,0	18,0	96,4	31,3	11,0	189	26,2	9,6	14,2	31,1	12,8	6,1	C _{II} ^{Ca}
15/X 1971	27,9	5,2	19,8	115	20,6	10,6	193	26,6	8,2	15,2	36,0	8,2	5,8	C _I ^{Ca}
25/XI 1971	28,0	4,9	19,3	116	16,2	14,2	199	26,5	7,6	15,9	35,9	6,5	7,6	C _I ^{Ca}
15/XII 1971	29,1	7,1	22,2	87,8	55,6	11,3	213	24,8	9,9	15,3	24,6	19,9	5,5	CS _{II} ^{Ca}

15/I 1972	32,0	4,9	19,6	122	21,8	14,2
15/II 1972	31,1	6,1	24,5	115	39,9	11,3
3/III 1972	25,7	7,3	25,0	101	44,2	10,6
17/VI 1972	22,5	7,4	22,1	97,6	36,0	12,0
30/V 1972	22,4	3,2	24,5	89,1	22,2	15,6
15/VI 1972	23,7	3,6	22,8	101	23,9	8,2
15/VII 1972	22,9	5,0	17,3	94,6	23,9	7,8
15/VIII 1972	28,5	2,4	28,3	110	31,3	10,6
15/IX 1972	28,3	7,5	15,0	104	23,9	14,9
15/X 1972	34,1	6,1	10,0	110	24,2	11,4
15/XI 1972	28,5	6,4	18,7	102	22,6	12,4
15/I 1973	31,9	8,1	17,2	122	24,3	15,6
15/II 1973	35,1	12,4	11,0	128	29,3	17,7
7/III 1973	29,9	9,1	10,8	114	23,9	10,6
3/VI 1973	21,2	7,3	15,5	88,5	22,2	13,1
15/VIII 1973	23,4	5,7	19,8	95,2	32,1	7,1
21/IX 1973	27,3	5,1	22,0	106	31,3	9,6
5/X 1973	33,6	5,1	11,8	110	17,7	14,2
15/XII 1973	31,0	11,2	8,8	110	22,2	19,9
28/VIII 1974	26,3	6,2	21,3	110	26,3	11,4
5/V 1975	29,9	7,2	12,2	112	22,1	10,0
4/VIII 1975	26,9	6,7	17,2	102	26,5	12,3
30/VIII 1977	25,2	6,1	19,7	91,5	35,0	11,3
15/VIII 1978	25,9	8,6	19,5	115	28,8	10,5

214	28,1	7,0	14,9	35,1	7,9	7,0	C_{II}^{Ca}
228	25,6	8,3	16,1	31,0	13,7	5,3	C_{II}^{Ca}
214	22,2	10,4	17,4	28,8	16,0	5,2	$C_{II}^{Ca, Na}$
198	20,8	11,4	17,8	29,8	13,9	6,3	$C_{II}^{Ca, Na}$
177	23,7	5,5	20,8	30,9	9,5	9,3	$C_{II}^{Ca, Na}$
183	24,7	6,3	19,0	34,7	10,5	4,8	C_{II}^{Ca}
172	25,4	9,2	15,4	34,6	10,5	4,9	C_{II}^{Ca}
211	25,8	3,6	20,6	32,7	11,8	5,5	C_{II}^{Ca}
194	26,8	11,8	11,4	32,5	9,5	8,0	C_{II}^{Ca}
196	32,5	9,5	8,0	34,4	9,5	6,1	C_{II}^{Ca}
191	28,4	10,6	11,0	33,6	9,4	7,0	C_{II}^{Ca}
219	26,9	11,4	11,7	33,9	8,6	7,5	C_{II}^{Ca}
234	27,2	15,9	6,9	32,7	9,5	7,8	C_{III}^{Ca}
198	27,9	14,0	8,1	35,0	9,4	5,6	C_{II}^{Ca}
168	23,2	13,2	13,6	31,8	10,1	8,1	C_{II}^{Ca}
183	24,1	9,7	16,2	32,1	13,8	4,1	C_{II}^{Ca}
201	25,6	7,9	16,5	32,7	12,2	5,1	C_{II}^{Ca}
192	32,7	8,2	9,1	35,0	7,2	7,8	C_{II}^{Ca}
203	27,5	16,3	6,2	31,9	8,2	9,9	C_{III}^{Ca}
202	24,7	9,6	15,9	33,7	10,3	6,0	C_{II}^{Ca}
193	29,0	11,5	9,5	35,6	8,9	5,5	C_{II}^{Ca}
192	26,0	10,6	13,4	32,6	10,6	6,8	C_{II}^{Ca}
189	24,7	9,8	15,5	29,4	14,3	6,3	C_{II}^{Ca}
208	24,0	13,8	12,2	35,3	9,8	4,9	C_{II}^{Ca}

5.2. Изменение минерализации и ионного состава воды по трассе канала

Одной из характерных особенностей режима минерализации и ионного состава воды канала Иртыш—Қарағанда является большая их изменчивость по его длине.

В табл. 20 приведены данные минерализации и ионного состава воды для отдельных характерных участков трассы канала за весь период исследования. Для каждого водохранилища в таблицу помещены только данные по станции, расположенной в районе плотины. Пределы колебания минерализации воды на каждой из приведенных станций в период наблюдений и ее средние значения показаны в табл. 21.

Данные табл. 20 и 21 свидетельствуют о неуклонном возрастании в воде канала количества растворенных солей по мере продвижения ее от головного водозабора к конечным участкам. При подходе к г. Қарағанде минерализация возросла более чем в 3 раза по сравнению со средним ее значением в р. Иртыше (195 мг/л).

Характер изменения минерализации воды по длине канала более наглядно виден на рис. 12. Здесь в качестве примера приведены данные за отдельные периоды 1971—1975 и 1977—1978 гг. В другие периоды были некоторые колебания в значениях минерализации воды на отдельных станциях, но показанная на рис. 12 тенденция всегда сохранялась.

Из приведенного материала следует, что на участке от головного водозабора до водохранилища 1 (0—175-й км трассы), за исключением 1973 г., минерализация воды существенно не возрастала, оставаясь в интервале 160—230 мг/л. Далее, на отрезке канала 175—255-й км, происходит заметное ее возрастание. Средняя минерализация воды водохранилища 5 (265-й км) составила 383 мг/л, что в 2 раза превышает минерализацию воды водосточника.

Более интенсивное возрастание концентрации растворенных солей происходит на 285—305-м км участках трассы канала, т. е. в пределах водохранилищ 7 и 8. Средняя минерализация воды за 1970—1978 гг. у плотины водохранилища 8 оказалась уже в 3 раза выше, чем в р. Иртыше.

В пределах водохранилищ 9 и 10 минерализация воды достигает наиболее высоких значений. На этом участке трассы минерализация воды увеличивается более чем в 3 раза по сравнению с р. Иртышом. Однако в этом районе прослеживается некоторое снижение интенсивности осолонения воды по сравнению с предыдущим участком.

Для Туздинского водохранилища характерно большое изменение минерализации воды в отдельные годы (табл. 20 и 21), что является следствием изменчивости его водного режима и особых условий эксплуатации как резервного водоема. На

участке от Туздинского водохранилища до г. Караганды минерализация воды существенно не меняется. Особенно заметно это прослеживается по данным за 1977—1978 гг. (табл. 20).

Из рис. 12 видно, что в 1975 и 1977—1978 гг. минерализация воды по всей трассе канала была ниже, чем в предыдущие годы. Более отчетливо это прослеживается на участке, начиная с 225-го км трассы. Такое уменьшение минерализации воды в последние годы обусловлено, во-первых, постепенным расслоением почв залитой территории в пределах водохранилищ и откосов транзитных участков канала, во-вторых, увеличением прочности канала и его водохранилищ вследствие повышения

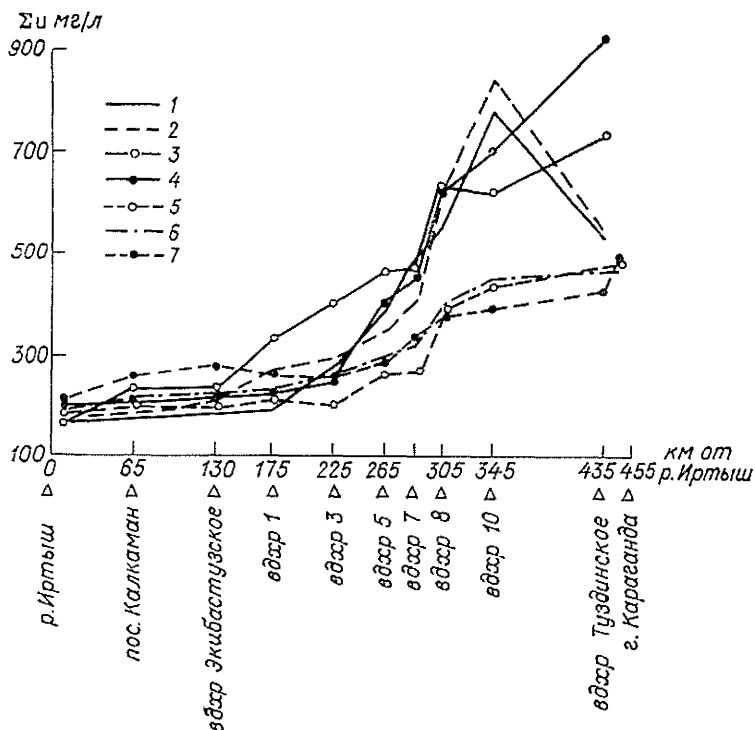


Рис. 12. Изменение минерализации воды по трассе канала в отдельные сезоны 1971—1978 гг.

1) 9—12/VIII 1971 г., 2) 3—22/VI 1973 г., 3) 3—20/VI 1973 г., 4) 15/VIII—3/IX 1974 г., 5) 4—31/VIII 1975 г., 6) 10—30/VIII 1977 г., 7) 11—24/VIII 1978 г.

интенсивности транспортировки иртышской воды по каналу (см. табл. 12 и 15).

Однако следует заметить, что основная тенденция увеличения минерализации воды по трассе канала четко сохраняется и в рассматриваемые годы с той лишь разницей, что в эти годы

Таблица 20

Минерализация и ионный состав воды канала Иртыш—Караганда в 1969—1978 гг.

Дата	мг/л						Сумма ионов, мг/л	% экв						Индекс воды по О. А. Але- кину
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ +K ⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻		Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ +K ⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Канал у пос. Калкаман (станция 2, 65-й км трассы канала)														
22/VI 1969	22,0	10,3	13,8	92,6	27,6	10,6	177	22,0	17,0	11,0	32,6	11,4	6,0	C _{II} Ca, Mg
15/IX 1969	34,9	18,0	48,0	158	74,1	33,7	367	16,9	14,4	18,7	25,6	15,0	9,4	C _{II} Na, Ca, Mg
28/II 1970	26,1	3,5	31,0	98,9	41,6	12,0	213	23,0	5,1	21,9	28,6	15,4	6,0	C _I Ca, Na
9/V 1970	26,8	5,4	28,5	102	42,8	10,6	216	23,0	7,5	19,5	29,0	15,2	5,8	C _{II} Ca
15/VII 1970	28,5	14,2	30,9	125	50,9	22,2	272	19,4	15,7	14,9	29,2	13,2	7,6	C _{II} Ca, Mg, Na
17/VIII 1970	32,5	6,1	42,0	131	52,2	17,4	281	21,3	6,6	22,1	29,4	14,2	6,4	C _I Na, Ca
16/X 1970	35,3	8,8	86,2	133	82,7	72,0	418	14,9	6,0	29,1	18,4	14,5	17,1	CCIS _{II} Na
28/XI 1970	30,2	6,0	46,9	116	54,8	28,0	282	20,5	6,3	23,2	26,5	14,8	8,7	C _{II} Na, Ca
22/V 1971	29,1	1,6	28,7	97,6	40,8	9,9	208	26,5	2,4	21,1	29,3	15,5	5,2	C _{II} Ca
17/VIII 1971	24,0	5,4	17,7	97,6	22,2	10,6	177	25,5	9,4	15,1	33,8	9,8	6,4	C _{II} Ca
15/X 1971	26,6	3,5	23,2	97,6	31,5	10,3	193	26,0	5,9	18,1	31,5	12,7	5,8	C _{II} Ca
3/III 1972	29,3	5,0	23,0	101	39,1	11,3	209	26,2	7,3	16,5	29,7	14,3	6,0	C _{II} Ca
30/V 1972	23,6	3,9	22,5	86,6	28,8	13,5	179	24,6	6,7	18,7	29,6	12,5	7,9	C _{II} Ca
21/VIII 1972	30,9	7,3	18,8	123	28,4	9,9	218	26,6	10,4	13,0	35,0	10,2	4,8	C _{II} Ca
3/IX 1972	27,9	5,4	21,4	104	32,1	11,6	202	25,8	8,1	16,1	31,5	12,3	6,2	C _{II} Ca
3/VI 1973	32,1	5,1	32,8	112	47,7	17,7	247	24,0	6,3	19,7	27,6	14,9	7,5	C _{II} Ca
21/IX 1973	34,3	8,5	41,8	122	60,5	29,1	296	21,0	8,6	20,4	24,5	15,4	10,1	C _{II} Ca, Na

4/X 1973	33,2	6,8	37,3	117	54,1	23,4	272	22,5	7,4	20,1	26,0	15,2	8,8	C _{II} ^{Ca, Na}
28/VIII 1974	28,1	6,0	21,3	114	23,3	13,5	206	25,6	8,9	15,5	34,1	9,0	6,9	C _{II} ^{Ca}
5/V 1975	28,9	7,8	16,8	109	34,6	8,5	206	26,2	11,6	12,2	32,5	13,1	4,4	C _{II} ^{Ca}
4/VIII 1975	28,7	6,0	16,8	104	35,8	5,0	196	27,6	9,5	12,9	32,8	14,5	2,7	C _{II} ^{Ca}
12/IX 1975	28,8	6,9	16,8	106	35,2	6,8	201	26,8	10,6	12,6	32,6	13,8	3,6	C _{II} ^{Ca}
30/VIII 1977	28,9	4,8	28,2	107	37,4	16,0	222	24,1	6,9	19,0	29,4	13,1	7,5	C _{II} ^{Ca}
15/VIII 1978	34,1	11,9	21,5	152	32,9	12,5	265	23,2	12,8	14,0	33,8	10,8	5,4	C _{II} ^{Ca}

Экибастузское резервное водохранилище (станция 3, 130-й км трассы канала)

23/VI 1969	25,3	9,2	33,2	99,1	50,9	22,7	240	18,8	11,4	19,8	24,6	15,8	9,6	C _{II} ^{Na, Ca}
16/IX 1969	34,7	14,7	59,0	164	53,9	49,3	376	16,3	11,4	22,3	26,3	10,6	13,1	C _{II} ^{Na}
28/II 1970	36,3	8,4	50,0	166	45,1	29,4	335	20,1	7,7	22,2	30,4	10,4	9,2	C _I ^{Na, Ca}
2/III 1970	35,3	7,0	21,4	134	27,9	17,4	243	26,9	8,9	14,2	33,6	8,8	7,6	C _{II} ^{Ca}
20/V 1970	26,8	5,4	40,0	106	56,4	14,9	249	19,7	6,5	23,8	26,5	17,3	6,2	C _I ^{Na, Ca}
15/VI 1970	32,0	12,2	15,4	122	32,1	21,3	235	22,5	17,0	10,5	31,0	10,0	9,0	C _{II} ^{Ca}
22/VIII 1970	38,1	8,6	38,5	182	58,0	30,9	356	18,6	6,9	24,5	29,8	11,7	8,5	C _I ^{Na}
16/X 1970	33,5	12,1	41,2	134	53,9	35,2	310	19,4	11,5	19,1	25,5	13,0	11,5	C _{II} ^{Ca, Na}
15/III 1971	31,5	8,0	28,5	102	45,5	25,8	241	23,4	9,6	17,0	25,1	14,0	10,9	C _{II} ^{Ca}
22/V 1971	26,1	6,5	47,0	95,1	93,8	8,5	277	17,5	7,2	25,3	21,0	25,7	3,3	SC _{II} ^{Na}
15/VI 1971	32,0	3,7	24,0	110	32,1	17,8	220	27,1	5,1	17,8	30,5	11,0	8,5	C _{II} ^{Ca}
17/VIII 1971	25,6	4,8	18,5	104	20,2	10,6	184	26,4	8,3	15,3	35,1	8,7	6,2	C _I ^{Ca}
15/X 1971	28,0	7,3	10,1	110	21,0	7,1	183	28,7	12,3	9,0	36,9	9,0	4,1	C _{II} ^{Ca}
15/XII 1971	28,0	12,2	5,8	110	21,8	14,2	192	26,4	18,8	4,8	33,9	8,5	7,6	C _{III} ^{Ca}
15/II 1972	34,0	7,3	33,8	134	51,2	18,1	278	22,6	8,0	19,4	29,2	14,0	6,8	C _{II} ^{Ca, Na}
3/III 1972	28,9	8,4	34,5	110	58,4	17,4	258	20,5	9,8	19,7	25,6	17,4	7,0	C _{II} ^{Ca, Na}

Дата	мг/л						Сумма ионов, мг/л	% экв						Индекс воды по О. А. Аленкину
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ +K ⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻		Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ +K ⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
25/V 1972	30,5	2,6	24,8	101	33,3	13,1	205	27,9	3,9	18,2	30,5	12,7	6,8	C _{II} ^{Ca}
15/VI 1972	31,3	4,4	26,0	111	37,9	12,4	223	26,3	6,1	17,5	30,8	13,3	5,9	C _{II} ^{Ca}
25/VIII 1972	25,3	4,9	30,3	101	30,9	14,5	207	21,9	7,0	21,1	31,7	11,2	7,1	C _I ^{Ca, Na}
25/X 1972	24,6	6,0	30,3	109	87,0	13,8	221	21,1	8,3	20,6	30,3	13,1	6,6	C _I ^{Ca, Na}
7/III 1973	43,9	17,1	38,2	162	69,5	36,2	367	21,4	13,7	14,9	26,0	14,1	9,9	C _{II} ^{Ca}
15/V 1973	40,0	7,3	11,5	122	28,8	17,8	227	32,2	9,7	8,1	32,2	9,7	8,1	C _{II} ^{Ca}
3/VI 1973	30,9	4,9	26,8	109	34,6	17,7	224	25,6	6,6	17,8	29,7	12,0	8,3	C _{II} ^{Ca}
21/IX 1973	34,3	8,5	41,8	122	60,5	29,1	296	21,0	8,6	20,4	24,5	15,4	10,1	C _{II} ^{Ca, Na}
26/II 1974	42,7	13,4	34,0	165	58,0	24,1	337	23,2	12,0	14,8	29,4	13,2	7,4	C _{II} ^{Ca}
31/V 1974	26,9	5,0	24,0	104	35,0	10,3	205	24,6	7,7	17,7	31,3	13,4	5,3	C _{II} ^{Ca}
28/VIII 1974	26,3	6,2	24,8	111	28,5	14,2	211	23,3	9,1	17,6	32,4	10,5	7,1	C _{II} ^{Ca}
7/V 1975	30,9	6,6	20,8	107	38,3	12,8	216	26,5	9,3	14,2	30,1	13,7	6,2	C _{II} ^{Ca}
4/VIII 1975	27,3	5,8	19,0	104	35,8	5,3	197	26,2	9,2	14,6	32,7	14,4	2,9	C _{II} ^{Ca}
16/IX 1975	29,1	6,2	19,9	105	37,1	9,1	206	26,4	9,2	14,4	31,4	14,0	4,6	C _{II} ^{Ca}
19/VII 1977	22,4	8,6	29,5	122	25,9	16,7	225	18,6	11,8	19,6	33,2	9,0	7,8	C _I ^{Na, Ca}
28/VIII 1977	29,1	4,8	21,2	104	29,6	13,5	202	26,9	7,4	15,7	31,5	11,5	7,0	C _{II} ^{Ca}
15/VIII 1978	36,9	8,6	31,0	134	43,6	24,3	278	24,3	9,4	16,3	29,0	12,0	9,0	C _{II} ^{Ca}
Водохранилище 1 (станция 4, 175-й км трассы канала)														
25/VI 1969	47,1	27,6	126	128	143	164	636	12,1	11,7	26,2	10,8	15,4	23,8	C _I ^{Na}
16/IX 1969	58,5	35,1	187	166	191	236	874	11,0	10,9	28,1	10,3	14,7	25,0	C _I ^{Na}

23/V 1970	35,5	12,5	76,0	116	85,2	75,5
1/IV 1970	32,9	12,2	68,5	122	75,3	66,0
20/VI 1970	35,5	15,5	76,5	120	79,8	78,4
1/VII 1970	32,9	14,9	75,0	132	79,8	77,0
20/VIII 1970	37,3	12,8	75,0	122	80,2	78,4
23/VIII 1970	36,5	13,3	43,0	143	99,1	79,1
11/X 1970	35,3	26,3	57,0	149	77,0	76,6
16/V 1971	40,3	12,5	39,2	124	60,1	46,4
18/VIII 1971	28,0	6,3	18,0	97,6	26,7	17,7
4/III 1972	32,1	8,0	43,7	111	77,8	20,2
26/V 1972	33,7	7,4	40,0	114	46,5	37,6
15/VI 1972	26,9	9,2	22,5	98,8	25,5	30,1
15/VIII 1972	28,9	9,5	41,5	102	61,3	32,3
28/VIII 1972	32,3	4,7	32,0	122	32,1	21,6
7/III 1973	39,3	16,4	22,5	135	42,4	39,4
19/V 1973	40,5	10,8	50,3	116	63,0	60,6
15/VI 1973	36,3	13,6	51,5	121	62,1	61,0
16/IX 1973	35,9	11,3	67,0	116	82,3	63,5
25/II 1974	40,9	16,9	58,8	143	81,1	61,7
20/V 1974	36,3	7,8	41,0	117	55,6	35,8
14/VIII 1974	27,1	6,9	26,5	113	29,4	18,1
12/II 1975	35,0	8,5	18,8	135	35,3	8,8
3/III 1975	34,0	8,5	24,8	146	34,1	10,0
27/IV 1975	36,0	10,9	8,8	134	24,3	12,0

401	15,2	8,8	26,0	16,5	15,2	18,3	$\text{ClCS}_{\text{II}}^{\text{Na}}$
377	15,2	9,3	25,5	18,6	14,1	17,3	$\text{CCIS}_{\text{II}}^{\text{Na}}$
406	12,8	10,9	26,3	16,8	14,2	19,0	$\text{ClCS}_{\text{II}}^{\text{Na}}$
412	14,8	10,2	25,0	18,0	13,9	18,1	$\text{CIC}_{\text{II}}^{\text{Na}}$
406	15,8	8,9	25,3	17,0	14,2	18,8	$\text{ClCS}_{\text{II}}^{\text{Na}}$
414	13,7	8,2	28,1	17,7	15,5	16,8	$\text{CCIS}_{\text{II}}^{\text{Na}}$
421	14,2	17,4	18,4	19,7	12,9	17,4	$\text{CCl}_{\text{II}}^{\text{Na, Mg, Ca}}$
322	21,8	11,1	17,1	22,2	13,6	14,2	$\text{C}_{\text{II}}^{\text{Ca, Na}}$
194	26,5	9,8	13,7	30,2	10,4	9,4	$\text{C}_{\text{II}}^{\text{Ca}}$
293	20,0	8,2	21,8	22,7	20,2	7,1	$\text{CS}_{\text{II}}^{\text{Na, Ca}}$
279	21,6	7,8	20,6	23,9	12,5	13,6	$\text{C}_{\text{II}}^{\text{Ca, Na}}$
213	22,3	12,7	15,0	27,0	8,8	14,2	$\text{C}_{\text{II}}^{\text{Ca}}$
275	18,5	10,1	21,4	21,7	16,5	11,8	$\text{C}_{\text{II}}^{\text{Na, Ca}}$
245	24,6	5,9	19,5	30,5	10,2	9,3	$\text{C}_{\text{II}}^{\text{Ca}}$
295	23,3	16,0	10,7	26,4	10,4	13,2	$\text{C}_{\text{II}}^{\text{Ca}}$
341	20,6	9,0	20,4	19,3	13,3	17,4	$\text{CCl}_{\text{II}}^{\text{Ca, Na}}$
345	18,1	11,2	20,7	19,9	12,9	17,2	$\text{CCl}_{\text{II}}^{\text{Na, Ca}}$
376	16,6	8,6	24,8	17,6	15,8	16,6	$\text{CCIS}_{\text{II}}^{\text{Na}}$
402	17,6	12,0	20,4	20,4	14,5	15,1	$\text{C}_{\text{II}}^{\text{Na, Ca}}$
293	22,1	7,8	20,1	23,5	14,2	12,3	$\text{C}_{\text{II}}^{\text{Ca, Na}}$
221	22,6	9,6	17,8	31,2	10,2	8,6	$\text{C}_{\text{II}}^{\text{Ca, Na}}$
241	27,4	10,9	11,7	34,5	11,6	3,9	$\text{C}_{\text{II}}^{\text{Ca}}$
257	25,1	10,3	14,6	35,4	10,5	4,1	$\text{C}_{\text{II}}^{\text{Ca}}$
226	29,5	14,8	5,7	36,0	8,4	5,6	$\text{C}_{\text{II}}^{\text{Ca}}$

Дата	мг/л						Сумма ионов, мг/л	% экв						Индекс воды по О. А. Але- кнну
	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺ +K ⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻		Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺ +K ⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
25/VI 1975	30,0	7,3	19,5	104	44,8	9,0	215	26,1	10,4	13,5	29,6	16,1	4,3	C _{II} ^{Ca}
5/VIII 1975	26,9	6,1	11,0	92,7	27,2	6,7	171	29,4	11,0	9,6	33,3	12,5	4,2	C _{II} ^{Ca}
17/IX 1975	32,4	8,3	16,6	122	33,1	9,3	222	27,5	11,5	11,0	33,8	11,8	4,4	C _{II} ^{Ca}
19/VI 1977	30,1	6,1	33,5	128	30,0	21,6	249	22,4	7,5	20,1	31,5	9,4	9,1	C _{II} ^{Ca, Na}
13/VIII 1977	28,5	4,8	25,0	122	27,6	18,4	226	25,2	7,1	17,7	35,5	10,1	4,4	C _I ^{Ca}
12/VIII 1978	30,9	11,1	24,5	135	35,0	16,8	253	22,4	13,3	14,3	32,4	10,6	7,0	C _{II} ^{Ca}

Водохранилище 3 (станция 9, 225-й км трассы канала)

30/V 1971	43,3	15,5	54,2	161	79,5	46,4	400	19,3	11,3	19,4	23,6	14,7	11,7	C _{II} ^{Na, Ca}
23/VIII 1971	30,4	10,7	36,0	122	40,3	35,4	275	19,8	11,5	18,7	26,1	10,9	13,0	C _{II} ^{Ca, Na}
3/III 1972	37,7	9,5	38,5	138	53,5	29,4	307	22,7	9,5	17,8	27,6	13,5	8,9	C _{II} ^{Ca, Na}
2/VI 1972	49,3	10,7	72,5	160	96,7	56,7	446	19,7	7,1	23,2	21,0	16,2	12,8	CS _{II} ^{Na, Ca}
1/IX 1972	31,7	9,0	42,0	127	44,0	35,5	289	19,7	9,3	21,0	26,0	11,5	12,5	C _{II} ^{Na, Ca}
6/III 1973	50,9	18,7	54,8	174	79,0	62,4	440	20,3	12,3	17,4	22,8	13,2	14,0	C _{II} ^{Na, Ca}
21/V 1973	42,7	11,7	65,3	140	70,4	68,4	398	18,7	8,4	22,9	20,2	12,9	16,9	CCl _{II} ^{Na, Ca}
15/IX 1973	35,3	13,9	76,5	145	80,6	67,7	419	14,8	9,6	25,6	19,9	14,1	16,0	CCl _{II} ^{Na}
21/II 1974	39,1	25,9	102	181	132	85,8	566	12,0	13,1	24,9	18,3	16,9	14,8	CSCl _{II} ^{Na}
21/V 1974	43,1	17,0	85,8	159	115	70,2	490	15,4	10,0	24,6	18,6	17,2	14,2	CSCl _{II} ^{Na}
15/VIII 1974	28,3	5,8	37,0	113	34,8	28,0	247	20,9	7,1	22,0	27,6	10,7	11,7	C _{II} ^{Na, Ca}
29/IV 1975	28,5	7,2	24,8	108	32,9	19,1	220	23,7	9,8	16,5	29,5	11,5	9,0	C _{II} ^{Na}

6/VIII 1975	24,8	6,9	18,5	91,5	37,0	10,1	189	24,3	11,2	14,5	29,4	15,1	5,5	C_{II}^{Ca}
21/VI 1977	20,4	9,7	44,5	79,3	49,4	45,0	248	14,2	11,1	24,7	18,1	14,3	17,6	$CCIS_{II}^{Na}$
24/VIII 1977	30,1	6,1	43,7	125	40,7	30,1	276	20,0	6,7	23,3	27,4	11,3	11,3	$C_{II}^{Na, Ca}$
13/VIII 1978	29,3	6,6	34,2	120	38,7	21,4	250	21,7	8,0	20,3	29,1	12,0	8,9	$C_{II}^{Ca, Na}$

Водохранилище 4 (станция 13, 240-й км трассы канала)

30/V 1971	38,5	19,0	61,7	178	85,8	44,3	427	16,1	13,2	20,7	24,5	15,0	10,5	$C_{II}^{Na, Ca, Mg}$
23/VIII 1971	36,0	12,2	49,5	146	53,1	45,4	342	18,8	10,5	20,7	25,0	11,6	13,4	$C_{II}^{Na, Ca}$
4/III 1972	40,1	9,6	60,0	144	63,4	53,6	371	19,3	7,6	23,1	22,8	12,7	14,5	$C_{II}^{Na, Ca}$
3/VI 1972	41,9	11,1	47,3	140	63,4	45,0	349	21,4	9,3	19,3	23,5	13,5	13,0	$C_{II}^{Ca, Na}$
3/IX 1972	34,1	14,7	46,5	140	56,0	46,1	337	17,8	12,7	19,5	24,1	12,3	13,6	$C_{II}^{Na, Ca}$
6/III 1973	50,1	18,2	75,2	186	95,5	69,9	495	17,8	10,7	21,5	21,8	14,2	14,0	$C_{II}^{Na, Ca}$
22/V 1973	38,7	16,9	60,5	140	79,4	63,5	399	16,8	12,1	21,1	20,0	14,4	15,6	$CCl_{II}^{Na, Ca}$
15/IX 1973	33,7	16,1	73,8	140	89,3	63,5	416	14,1	11,1	24,8	19,4	15,6	15,0	$CSCI_{II}^{Na}$
22/II 1974	45,3	21,2	86,5	177	104	83,0	517	15,1	11,7	23,2	19,5	14,6	15,9	$CCIS_{II}^{Na}$
28/V 1974	43,1	22,4	73,5	159	106	75,5	479	15,5	13,3	21,2	18,8	15,9	15,3	$CSCI_{II}^{Na}$
16/VIII 1974	30,9	12,4	60,5	127	63,6	56,0	350	15,5	10,2	24,3	20,9	13,3	15,8	C_{II}^{Na}
4/V 1975	29,3	7,1	23,8	107	35,4	17,7	220	24,4	9,7	15,9	29,3	12,4	8,3	C_{II}^{Ca}
11/VIII 1975	26,5	10,0	20,0	96,4	44,3	15,2	212	22,5	13,9	13,6	26,9	15,8	7,3	C_{II}^{Ca}
23/VI 1977	32,1	13,1	62,8	138	53,2	64,5	364	15,5	10,4	24,1	21,8	10,7	17,5	CCl_{II}^{Na}
24/VIII 1977	27,2	6,1	39,7	116	36,6	30,5	256	19,3	8,1	22,6	27,0	10,8	12,2	$C_{II}^{Na, Ca}$
13/VIII 1978	23,6	10,0	33,0	112	36,6	25,5	241	17,8	12,3	19,9	27,7	11,5	10,8	$C_{II}^{Na, Ca}$

Водохранилище 5 (станция 17, 265-й км трассы канала)

22/VIII 1971	36,8	16,5	57,7	159	53,5	63,8	387	16,7	12,3	21,0	23,6	10,1	16,3	C_{II}^{Na}
17/VI 1972	39,9	9,5	50,8	135	59,7	47,9	343	20,7	8,1	21,2	23,0	12,9	14,1	$C_{II}^{Na, Ca}$

Дата	мг/л						Сумма ионов, мг/л	% экв						Индекс воды по О. А. Але- кину
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ +K ⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻		Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ +K ⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
14/IX 1972	40,1	11,4	68,5	162	71,2	54,6	408	17,6	8,3	24,1	23,4	13,0	13,6	C _{II} ^{Na}
22/V 1973	44,5	13,6	78,5	171	85,6	67,4	461	17,1	8,6	24,3	21,6	13,7	14,7	C _{II} ^{Na}
23/II 1974	58,3	24,9	88,0	235	116	78,4	601	17,2	12,1	20,7	22,8	14,2	13,0	C _{II} ^{Na}
29/V 1974	48,5	23,1	81,8	198	107	75,2	534	15,9	12,5	21,6	21,3	14,7	14,0	C _{II} ^{Na}
3/IX 1974	33,3	17,4	65,5	130	79,3	68,4	394	14,5	12,5	23,0	18,7	14,4	16,9	CCIS _{II} ^{Na}
7/V 1975	31,5	9,8	33,3	117	55,6	22,3	269	21,2	10,9	17,9	25,9	15,6	8,5	C _{II} ^{Ca, Na}
14/VIII 1975	30,1	10,1	30,8	110	60,5	17,7	259	21,0	11,7	17,3	25,3	17,7	7,0	C _{II} ^{Ca, Na}
26/VI 1977	37,1	13,3	47,2	146	60,9	41,1	346	19,1	11,3	19,6	24,8	13,2	12,0	C _{II} ^{Na, Ca}
22/VIII 1977	31,5	4,8	54,0	123	52,7	37,2	303	18,7	5,4	25,9	24,2	13,2	12,6	C _I ^{Na}
20/VIII 1978	26,0	12,4	45,2	110	59,7	38,8	292	15,7	12,4	21,9	21,8	15,0	13,2	C _{II} ^{Na}

Водохранилище 7 (станция 21, 285-й км трассы канала)

21/VIII 1971	42,4	21,4	70,5	183	81,8	85,1	484	14,9	12,4	22,7	21,1	11,9	17,0	CC _{II} ^{Na}
5/III 1972	76,0	24,6	59,0	227	113	74,1	574	22,8	12,4	14,8	23,0	14,4	12,6	C _{II} ^{Ca}
13/VI 1972	45,7	12,2	57,8	167	65,0	53,2	401	20,4	8,9	20,7	24,5	12,1	13,4	C _{II} ^{Na, Ca}
16/IX 1972	44,9	13,6	63,5	172	71,2	56,7	422	19,0	9,5	21,5	23,9	12,5	13,6	C _{II} ^{Na, Ca}
15/III 1973	56,3	27,8	61,0	213	88,5	78,0	525	18,6	15,2	16,2	23,2	12,2	14,6	C _{II} ^{Ca, Na, Mg}
15/IV 1973	27,1	8,3	33,5	126	26,3	26,6	248	20,0	10,1	19,9	30,7	8,2	11,1	C _I ^{Ca, Na}
15/V 1973	50,1	18,3	64,5	195	39,1	91,1	458	19,0	11,4	19,6	24,3	6,2	19,5	CC _{II} ^{Na, Ca}
12/VI 1973	46,1	19,3	67,5	182	67,1	78,1	460	17,4	12,1	20,5	22,6	10,6	16,8	C _{II} ^{Na, Ca}

15/VII 1973	48,5	15,3	85,8	199	85,2	73,4	507	17,0	8,9	24,1	23,0	12,5	14,5	C _{II} ^{Na}
15/VIII 1973	49,7	15,8	77,5	194	79,0	72,7	489	18,0	9,4	22,6	23,1	12,0	14,9	C _{II} ^{Na, Ca}
24/IX 1973	50,9	17,1	87,3	202	93,4	77,3	528	17,1	9,5	23,4	22,2	13,1	14,7	C _{II} ^{Na}
15/X 1973	51,9	19,6	68,8	198	78,2	73,4	460	18,6	11,6	19,8	23,4	11,7	14,9	C _{II} ^{Na, Ca}
15/XI 1973	53,5	26,9	77,0	210	107	81,2	556	16,8	13,9	19,3	21,7	13,9	14,4	C _{II} ^{Na, Ca}
21/II 1974	55,5	28,6	80,0	235	99,2	85,1	583	16,6	14,1	19,3	23,2	12,4	14,4	C _{II} ^{Na, Ca}
14/VI 1974	49,1	26,9	95,3	199	136	83,5	590	14,5	13,0	22,5	19,3	16,8	13,9	CS _{II} ^{Na}
2/IX 1974	35,3	14,6	89,5	138	95,5	81,1	454	13,5	9,2	27,3	17,3	15,2	17,5	CICS _{II} ^{Na}
13/V 1975	36,1	10,1	28,3	123	47,7	26,6	272	24,0	11,0	15,0	26,9	13,2	9,9	C _{II} ^{Ca}
21/VIII 1975	26,7	13,6	32,0	110	63,0	22,0	267	17,8	15,0	17,2	24,1	17,6	8,3	C _{II} ^{Ca, Na, Mg}
3/VII 1977	36,1	13,6	43,0	146	52,3	40,8	332	19,4	12,1	18,5	25,9	11,7	12,4	C _{II} ^{Ca, Na}
15/VIII 1977	33,9	10,9	53,2	133	57,6	49,3	338	17,7	10,0	22,3	22,8	12,6	14,6	C _{II} ^{Na, Ca}
23/VIII 1978	31,3	12,6	53,8	137	60,1	44,4	339	16,4	11,0	22,6	23,6	13,2	13,2	C _{II} ^{Na}

Водохранилище 8 (станция 25, 305-й км трассы канала)

29/II 1970	68,3	79,3	202	350	201	278	1179	9,4	18,1	22,5	15,9	11,6	22,5	Cl _{II} ^{Na, Mg}
26/V 1970	54,3	22,6	126	184	117	143	647	14,1	9,7	26,2	16,3	12,7	21,0	Cl _{II} ^{Na}
26/VIII 1970	57,8	43,5	152	237	123	211	824	11,5	14,3	24,2	15,5	10,2	24,3	Cl _{III} ^{Na}
7/X 1970	60,2	58,1	157	244	128	262	909	10,7	17,0	22,3	14,2	9,5	26,3	Cl _{III} ^{Na}
30/V 1971	71,0	10,7	110	198	117	112	619	20,1	5,0	24,9	18,3	13,7	18,0	CCIS _{II} ^{Na, Ca}
9/VIII 1971	53,6	35,5	76,5	107	114	161	548	15,6	16,8	17,6	10,0	13,7	26,3	Cl _{III} ^{Na, Mg, Ca}
15/X 1971	49,6	35,5	92,5	110	113	175	576	13,6	16,1	20,3	9,9	12,9	27,2	Cl _{III} ^{Na, Mg, Ca}
5/III 1972	68,7	25,4	126	250	144	123	737	16,2	9,9	23,9	19,4	14,2	16,4	CCl _{II} ^{Na}
15/III 1972	100	21,4	143	207	251	135	857	20,0	7,1	22,9	13,6	21,1	15,3	S _{II} ^{Na, Ca}
15/IV 1972	59,3	18,6	113	288	59,7	108	647	16,4	8,5	25,1	26,1	6,9	17,0	C _I ^{Na}

Дата	мг/л						Сумма ионов, мг/л	% экв						Индекс воды по О. А. Алек- сину
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ +K ⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻		Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ +K ⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
15/V 1972	57,1	15,7	108	207	96,7	108	592	16,8	7,6	25,6	20,1	11,9	18,0	CCl _{II} ^{Na}
10/VI 1972	57,3	20,2	107	217	101	111	613	16,3	9,4	24,3	20,2	12,0	17,8	CCl _{II} ^{Na}
15/VII 1972	45,3	11,9	66,8	172	66,3	55,0	417	19,1	8,3	22,6	25,2	11,7	13,1	C _{II} ^{Na, Ca}
10/IX 1972	54,9	29,9	80,5	232	90,3	97,2	585	16,3	14,6	19,1	22,5	11,2	16,3	C _{II} ^{Na, Ca, Mg}
3/III 1973	71,5	32,8	111	267	122	134	738	16,7	12,6	20,7	20,4	11,9	17,7	CCl _{II} ^{Na, Ca}
15/V 1973	55,5	23,7	71,8	128	96,3	123	498	18,2	12,8	19,0	13,8	13,2	23,0	C _{III} ^{Na, Ca}
8/VI 1973	61,9	20,2	106	213	105	117	623	17,2	9,2	23,6	19,5	12,2	18,3	CCl _{II} ^{Na}
15/VII 1973	59,3	23,1	105	223	107	113	630	16,3	10,5	23,2	20,2	12,2	17,6	CCl _{II} ^{Na}
15/VIII 1973	54,5	29,9	106	224	105	127	646	14,4	13,0	22,6	19,5	11,6	18,9	CCl _{II} ^{Na}
26/IX 1973	55,3	25,0	120	230	117	122	669	14,3	10,7	25,0	19,5	12,7	17,8	CCl _{II} ^{Na}
15/X 1973	58,1	34,3	92,3	229	115	115	644	15,4	15,0	19,6	20,0	12,8	17,2	C _{II} ^{Na, Ca, Mg}
15/XII 1973	68,9	37,5	107	256	139	132	740	15,9	14,3	19,8	19,4	13,4	17,2	CCl _{II} ^{Na}
23/II 1974	60,5	36,2	130	256	149	139	771	13,5	13,3	23,2	18,7	13,8	17,5	CCIS _{II} ^{Na}
6/VI 1974	57,3	28,7	109	238	121	112	666	14,9	12,3	22,8	20,3	13,1	16,6	CCl _{II} ^{Na}
31/VIII 1974	45,3	21,9	123	195	113	122	620	12,6	10,0	27,4	17,8	13,1	19,1	CIC _{II} ^{Na}
13/V 1975	40,1	20,9	67,8	159	88,9	70,2	447	15,6	13,4	21,0	20,2	14,4	15,4	CCl _{II} ^{Na}
20/VIII 1975	40,1	17,6	47,3	163	80,2	36,1	383	18,7	13,6	17,7	25,1	15,6	9,3	C _{II} ^{Ca, Na}
29/VI 1977	40,1	11,4	83,8	183	70,8	64,5	453	15,9	7,5	26,6	23,8	11,7	14,5	C _I ^{Na}
19/VIII 1977	35,7	18,2	61,2	149	59,3	74,8	398	15,4	13,5	21,1	21,1	10,7	18,2	CCl _{II} ^{Na}
24/VIII 1978	35,3	15,6	60,0	145	71,6	55,5	383	16,2	11,8	22,0	21,9	13,7	14,4	C _{II} ^{Na}

Водохранилище 9 (станция 34, 330-й км трассы канала)

10/VIII 1971	53,6	35,5	76,5	107	114	161	548	15,6	16,8	17,6	10,0	13,7	26,3	$C_{III}^{Na, Mg, Ca}$
11/VI 1972	65,7	15,9	123	226	117	120	668	17,2	6,9	25,9	19,4	12,8	17,8	CCl_{II}^{Na}
9/IX 1972	41,3	33,7	122	229	117	117	660	10,6	14,3	25,1	19,4	13,6	17,0	CCl_{II}^{Na}
14/VI 1973	56,5	29,2	118	223	121	133	681	14,2	12,1	23,7	18,4	12,7	18,9	ClC_{II}^{Na}
15/VII 1973	52,9	26,8	154	229	136	131	730	12,9	10,7	26,4	18,3	13,8	17,9	$CCIS_{II}^{Na}$
15/VIII 1973	55,7	27,2	130	223	135	133	704	13,6	10,9	25,5	17,9	13,8	18,3	$ClCS_{II}^{Na}$
29/IX 1973	58,9	30,0	128	199	151	146	713	14,0	11,7	24,3	15,5	14,9	19,6	$ClCS_{II}^{Na}$
4/XI 1973	56,9	34,8	144	244	156	149	785	12,4	12,5	25,1	17,5	14,2	18,3	$ClCS_{II}^{Na}$
18/VI 1974	56,9	31,4	136	224	165	133	746	13,1	11,9	25,0	16,9	15,8	17,3	$ClCS_{II}^{Na}$
6/VII 1974	59,3	31,1	136	237	158	135	756	13,5	11,7	24,8	17,7	14,9	17,4	$CCIS_{II}^{Na}$
7/IX 1974	37,7	27,7	118	134	131	140	588	10,6	12,8	26,6	12,3	15,4	22,3	Cl_{II}^{Na}
12/XI 1974	38,9	26,0	146	193	133	141	678	9,8	10,8	29,4	16,0	14,0	20,0	ClC_{II}^{Na}
12/V 1975	40,1	23,1	85,0	159	123	75,5	506	13,7	13,0	23,3	17,8	17,6	14,6	$CSCI_{II}^{Na}$
19/VIII 1975	39,3	18,5	52,3	154	95,9	37,2	397	17,6	13,6	18,8	22,6	18,0	9,4	$CS_{II}^{Na, Ca}$
30/VI 1977	32,9	19,8	73,2	166	70,4	70,2	432	13,2	13,2	23,6	22,2	11,8	16,0	C_{II}^{Na}
14/VIII 1977	36,9	16,9	65,2	157	68,7	65,2	410	15,7	12,0	22,3	22,1	12,2	15,7	C_{II}^{Na}
22/VIII 1978	33,7	17,5	60,0	145	70,4	59,2	386	15,2	13,0	21,8	21,6	13,3	15,1	C_{II}^{Na}

Водохранилище 10 (станция 36, 345-й км трассы канала)

30/V 1971	70,7	11,1	124	216	117	117	656	17,8	4,9	27,3	19,4	13,0	17,6	$CCIS_{II}^{Na}$
9/VIII 1971	48,0	34,0	176	110	158	253	779	9,8	11,5	28,7	7,4	13,4	29,2	Cl_{III}^{Na}
16/VI 1972	63,3	25,0	179	223	157	193	840	12,8	8,3	28,9	14,7	13,2	22,1	Cl_{II}^{Na}
9/IX 1972	58,1	15,4	81,8	232	70,8	77,0	535	19,5	8,5	22,0	25,5	9,9	14,6	$C_{II}^{Na, Ca}$
3/III 1973	80,2	33,1	116	300	129	134	792	17,6	11,9	20,5	21,6	11,8	16,6	$C_{II}^{Na, Ca}$

Дата	мг/л					
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ +K ⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻
1	2	3	4	5	6	7
17/VI 1973	61,9	25,0	94,3	236	79,4	121
29/IX 1973	55,5	23,7	120	250	103	116
22/II 1974	62,5	36,0	141	281	151	141
17/V 1974	57,7	27,8	127	245	136	121
7/IX 1974	47,7	26,3	143	209	136	142
12/V 1975	41,7	28,9	93,0	165	133	95,7
19/VIII 1975	41,7	21,6	58,3	165	104	46,5
4/VII 1977	38,7	17,4	74,2	163	78,2	71,6
16/VIII 1977	36,9	14,5	85,2	157	81,9	77,3
24/VIII 1978	28,6	19,2	54,5	151	43,2	64,5

Регулирующее водохранилище 11

29/II 1970	65,9	20,7	106	299	122	62,8
27/V 1970	50,1	13,1	50,2	168	63,8	52,1
27/VIII 1970	27,7	30,7	74,7	195	74,0	71,0
17/IX 1970	40,1	22,9	55,7	232	63,0	32,3
12/V 1971	44,0	13,5	68,0	210	76,2	28,4
8/VIII 1971	40,0	17,5	14,5	91,5	47,3	54,9
5/III 1972	33,7	17,3	38,5	155	53,9	34,8
16/VI 1972	48,7	8,8	44,0	167	41,2	41,5

Сумма ионов, мг/л	% экв						Индекс воды по О. А. Але- кину
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ +K ⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	
8	9	10	11	12	13	14	15
618	17,3	11,5	21,2	21,7	9,2	19,1	CCl _{II} ^{Na, Ca}
668	14,6	10,3	25,1	21,6	11,3	17,1	CCl _{II} ^{Na}
812	13,3	12,6	24,1	19,6	13,4	17,0	CCl _{II} ^{Na}
714	14,0	11,2	24,8	19,6	13,8	16,6	CCl _{II} ^{Na}
704	11,6	10,5	27,9	16,7	13,8	19,5	ClC _{II} ^{Na}
557	12,7	14,5	22,8	16,6	16,9	16,5	SCCl _{II} ^{Na}
437	16,8	14,4	18,8	21,8	17,6	10,6	CS _{II} ^{Na, Ca, Mg}
443	15,2	11,3	23,5	21,1	12,9	16,0	C _{II} ^{Na}
453	14,2	9,4	26,4	19,9	13,2	16,9	CCl _{II} ^{Na}
361	13,8	15,2	21,0	23,8	8,7	17,5	C _{II} ^{Na}

(станция 40, 355-й км трассы канала)

676	17,8	9,2	23,0	26,6	13,8	9,6	C _{II} ^{Na}
397	22,3	9,7	18,0	24,9	12,0	13,1	C _{II} ^{Ca, Na}
473	10,0	18,3	21,7	24,4	11,1	14,5	C _{II} ^{Na, Mg}
446	16,4	15,4	18,2	31,9	10,7	7,4	C _I ^{Na, Ca, Mg}
440	19,0	9,5	21,5	29,6	13,6	6,8	C _I ^{Na, Ca}
266	24,8	18,0	7,2	18,5	12,2	19,3	ClC _{III} ^{Ca}
333	18,1	15,3	16,6	27,4	12,1	10,5	C _{II} ^{Ca, Na, Mg}
351	24,8	7,3	17,9	27,9	10,2	11,9	C _{II} ^{Ca}

9/IX 1972	49,3	11,3	59,0	198	53,5	49,3	420	21,4	8,1	20,5	28,2	9,7	12,1	C _{II} ^{Ca, Na, Mg}
2/III 1973	68,9	20,8	69,3	259	74,9	75,2	568	21,7	10,8	17,5	26,8	9,8	13,4	C _{II} ^{Ca, Na}
13/VI 1973	53,3	9,7	57,8	171	57,6	62,8	412	23,1	6,9	20,0	24,3	10,4	15,3	C _{II} ^{Ca, Na}
15/VII 1973	57,3	23,6	37,0	197	66,7	58,9	440	22,8	15,4	11,8	25,7	11,1	13,2	C _{II} ^{Ca}
15/IX 1973	64,7	32,2	126	288	125	127	763	14,8	12,1	23,1	21,7	11,9	16,4	C _{II} ^{Na}
29/XII 1973	66,1	26,0	152	242	161	148	795	14,3	9,3	26,4	17,2	14,6	18,2	CIC _{II} ^{Na}
15/I 1974	64,1	39,9	112	285	132	126	759	14,6	14,9	20,5	21,3	12,5	16,2	C _{II} ^{Na}
30/III 1974	84,1	30,4	103	244	134	143	738	19,4	11,6	19,0	18,5	12,9	18,6	CIC _{II} ^{Ca, Na}
12/V 1975	96,8	53,1	144	207	394	110	1005	16,4	14,8	18,8	11,5	27,9	10,6	S _{II} ^{Na, Ca, Mg}
19/VIII 1975	85,8	53,0	184	144	439	160	1066	13,4	13,6	23,0	7,4	28,6	14,0	S _{II} ^{Na}
4/VII 1977	52,7	25,6	130	186	104	168	666	13,2	10,6	26,2	15,3	10,9	23,8	Cl _{II} ^{Na}
16/VIII 1977	46,5	29,0	172	195	172	173	787	9,9	10,5	29,6	13,7	15,4	20,9	Cl _{II} ^{Na}
22/VIII 1978	33,9	38,7	219	127	240	232	891	6,2	11,7	32,1	7,7	18,3	24,0	Cl _{II} ^{Na}

Туздинское водохранилище (станция 41, 435-й км трассы канала)

12/V 1971	40,6	12,9	43,2	107	93,8	40,3	338	21,0	11,0	18,0	18,3	19,9	11,8	SC _{II} ^{Ca, Na}
7/VIII 1971	56,0	38,9	56,5	125	123	129	528	16,9	19,4	13,7	12,4	15,5	22,1	Cl _{III} ^{Mg, Ca}
15/IV 1972	52,5	8,0	100	141	120	87,6	509	18,0	4,5	27,5	15,9	17,1	17,0	SCIC _{II} ^{Na}
15/V 1972	53,3	13,9	85,0	138	121	86,2	497	18,5	7,9	23,6	15,7	17,4	16,9	SCIC _{II} ^{Na}
22/VI 1972	59,3	15,1	89,5	140	134	95,4	533	19,0	8,0	23,0	14,8	17,9	17,3	SCIC _{II} ^{Na, Ca}
15/VII 1972	60,9	17,9	107	174	144	102	606	17,3	8,4	24,3	16,3	17,1	16,6	SCIC _{II} ^{Na}
15/VIII 1972	61,3	18,5	107	181	143	104	615	17,2	8,6	24,2	16,7	16,8	16,5	SCCl _{II} ^{Na}
21/IX 1972	85,3	25,2	170	223	214	178	895	16,2	7,9	25,9	13,9	16,9	19,2	CIS _{II} ^{Na}
15/V 1973	47,1	31,4	122	143	147	156	646	12,0	13,1	24,9	12,0	15,6	22,4	Cl _{II} ^{Na}

Дата	мг/л						Сумма ионов, мг/л	% экв						Индекс воды по О. А. Але- кнну
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ +K ⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻		Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ +K ⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
20/VI 1973	65,1	28,8	135	167	169	169	734	19,4	8,5	22,1	20,5	13,7	15,8	CCl _{II} ^{Na, Ca}
15/XII 1973	65,7	41,3	75,3	254	120	107	663	16,9	17,6	15,5	21,5	12,9	15,6	C _{III} ^{Mg, Ca, Na}
2/III 1974	79,4	46,0	172	263	180	232	972	13,6	12,9	23,5	14,8	12,8	22,4	Cl _{II} ^{Na}
1/IV 1974	76,1	25,7	192	235	169	220	918	13,9	7,8	28,3	14,2	13,0	22,8	Cl _{II} ^{Na}
30/VIII 1974	57,1	32,1	208	221	183	226	927	10,3	9,6	30,1	13,1	13,8	23,1	Cl _{II} ^{Na}
20/X 1974	67,1	33,6	236	245	170	284	1036	10,8	8,9	30,3	12,9	11,4	25,7	Cl _{II} ^{Na}
20/XII 1974	70,3	41,5	196	266	181	235	990	11,9	11,5	26,6	14,8	12,8	22,4	Cl _{II} ^{Na}
20/III 1975	70,9	41,8	195	263	180	239	990	12,0	11,6	26,4	14,6	12,7	22,7	Cl _{II} ^{Na}
8/V 1975	45,1	24,4	124	198	110	130	631	12,2	10,9	26,9	17,6	12,5	19,9	Cl _{II} ^{Na}
10/VII 1975	44,7	29,5	137	190	132	152	685	11,0	12,0	27,0	15,3	13,6	21,1	Cl _{II} ^{Na}
20/VIII 1975	43,3	24,3	133	179	135	132	646	11,4	10,6	28,0	15,5	14,9	19,6	Cl _{II} ^{Na}
15/XII 1975	69,1	28,2	140	237	142	160	776	15,2	10,2	24,6	17,1	13,0	19,9	Cl _{II} ^{Na}
15/I 1977	66,5	23,7	113	209	177	95,8	685	16,9	10,0	23,1	17,4	18,8	13,8	SCl _{II} ^{Na}
15/IV 1977	47,1	21,9	78,0	143	120	85,9	496	16,2	12,3	21,5	16,2	17,2	16,6	SCl _{II} ^{Na}
17/VI 1977	44,1	20,2	95,5	183	95,5	95,4	534	14,3	10,8	24,9	19,5	13,0	17,5	CCl _{II} ^{Na}
15/VII 1977	45,7	23,1	75,0	165	95,0	88,7	492	15,9	13,2	20,9	18,8	13,8	17,4	CCl _{II} ^{Na, Ca}

10/VIII 1977	32,9	14,5	95,7	154	86,4	86,5	470	12,1	9,6	28,3	18,6	13,3	18,1	CCl _{II} ^{Na}
11/VIII 1978	31,3	24,0	69,2	138	88,1	77,9	428	12,4	15,6	22,0	17,9	14,6	17,5	CClS _{II} ^{Na}

Канал у г. Караганды (станция 42, 455-й км трассы канала)

15/VII 1973	81,0	42,8	182	227	211	238	982	13,6	11,9	24,5	12,5	14,8	22,7	Cl _{II} ^{Na}
29/IX 1973	88,8	43,9	186	232	222	250	1023	14,3	11,7	24,0	12,3	14,9	22,8	Cl _{II} ^{Na}
22/II 1974	82,6	41,8	153	259	166	213	915	15,0	12,6	22,4	15,5	12,6	21,9	Cl _{II} ^{Na}
15/III 1975	72,3	42,1	179	312	192	181	978	12,7	12,2	25,1	18,0	14,1	17,9	CClS _{II} ^{Na}
23/IV 1975	42,7	21,8	93,0	161	117	90,8	526	13,9	11,7	24,4	17,3	16,0	16,7	CClS _{II} ^{Na}
15/V 1975	48,1	24,8	83,0	168	96,3	106	526	15,5	13,1	21,4	17,7	13,0	19,3	ClC _{II} ^{Na}
15/VII 1975	45,7	25,3	141	190	137	144	683	11,4	10,4	28,2	15,5	14,3	20,2	ClC _{II} ^{Na}
31/VIII 1975	42,9	23,5	67,0	173	114	54,6	475	15,9	14,3	19,8	21,0	17,6	11,4	CS _{II} ^{Na, Ca}
15/XI 1975	62,5	30,9	125	247	125	142	732	14,6	11,9	23,5	19,0	12,2	18,8	CCl _{II} ^{Na}
20/II 1977	80,2	36,6	141	282	168	160	868	15,8	11,9	22,3	18,3	13,8	17,9	CClS _{II} ^{Na}
15/V 1977	48,5	18,1	55,0	139	86,0	72,0	419	19,9	12,2	17,9	18,7	14,7	16,6	CClS _{II} ^{Ca, Na}
17/VI 1977	47,3	15,6	102	183	101	93,3	542	15,3	8,3	26,4	19,4	13,6	17,0	CCl _{II} ^{Na}
15/VII 1977	47,5	18,7	67,0	164	89,1	72,9	459	18,0	11,7	20,3	20,4	14,0	15,6	CCl _{II} ^{Na, Ca}
10/VIII 1977	32,5	18,2	87,0	149	93,0	81,2	461	12,1	11,8	26,1	18,3	14,5	17,2	CClS _{II} ^{Na}
11/VIII 1978	27,5	23,4	96,5	157	91,8	94,5	491	9,6	13,4	27,0	18,0	13,4	18,6	ClC _{II} ^{Na}

Таблица 21

Изменение минерализации воды по длине канала в 1969—1978 гг.

№ станции	Водный объект	Расстояние от р. Иртыша, км	Годы исследования	Минерализация, мг/л	
				пределы	средняя
1	р. Иртыш	0	1969—1978	147—234	195
2	Канал у п. Қалкаман	65	1969—1978	177—367	238
3	вдхр Экибастузское	130	1969—1978	183—376	249
4	вдхр 1	175	1969—1978	171—874*	328(300)**
9	вдхр 3	225	1971—1978	189—566	341
13	вдхр 4	240	1971—1978	212—517	361
17	вдхр 5	255	1971—1978	259—534	383
21	вдхр 7	285	1971—1978	248—590	442
25	вдхр 8	305	1970—1978	383—1179*	635(596)**
34	вдхр 9	330	1971—1978	397—785	611
36	вдхр 10	345	1971—1978	437—840	625
41	вдхр Туздинское	435	1971—1978	338—1036	676
42	Канал у г. Караганды	455	1973—1978	419—1023	672

* Максимальное значение, отмеченное в 1969—1970 гг. при первоначальной аккумуляции стока р. Шидерты.

** В скобках — средняя минерализация без учета максимальных значений для станции 4 в 1969 г. и для станции 25 в 1970 г.

величина суммы ионов воды, особенно в конечных участках канала, значительно ниже по сравнению с предыдущими годами. Это, видимо, свидетельствует о том, что влияние основных факторов, вызывающих возрастание минерализации воды по трассе канала, будет сохраняться и в перспективе, в условиях значительного увеличения расходов воды, хотя минерализация ее, очевидно, по всей трассе канала будет заметно ниже.

Существенным изменениям по трассе канала подвергается концентрация и соотношение в воде главных ионов. Ионный состав воды во всех характерных пунктах канала за 9 лет наблюдений был приведен в табл. 20. Характер изменения концентрации главных ионов в воде по трассе канала более наглядно демонстрирует осредненные данные, приведенные в табл. 22. Из таблицы следует, что по мере продвижения воды по каналу повышение содержания отдельных ионов происходит не в одинаковой степени. Так, при увеличении суммы ионов от 195 мг/л в иртышской воде до 672 мг/л в воде канала у г. Караганды, т. е. в 3,5 раза, среднее содержание Mg^{2+} , SO_4^{2-} , $Na^{+}+K^{+}$ увеличивалось соответственно в 4,8, 4,6 и 6,0 раз, а концентрация Cl^{-} — более чем в 11 раз. Наименьшее увеличение (всего лишь в 2 раза) наблюдалось для содержания ионов Ca^{2+} и HCO_3^{-} . Это свидетельствует о том, что повышение минерализации воды по трассе канала происходит главным образом за счет хлоридов и сульфатов щелочных и щелочноземельных металлов.

Таблица 22

Средняя концентрация в воде (мг/л) главных ионов
в характерных пунктах канала в 1969—1978 гг. **

№ станции	Расстояние от р. Ирты- ша, км	Ca^{2+}	Mg^{2+}	$\text{Na}^{+} + \text{K}^{+}$	HCO_3^{-}	SO_4^{2-}	Cl^{-}	Σ
1	0	28,6	6,0	19,4	103	28,1	12,0	195
2	65	29,3	7,0	29,8	113	42,1	17,3	238
3	130	31,2	7,8	28,9	120	42,0	19,0	249
4	175	33,6	10,7	40,3	122	53,8	39,6	300
9	225	35,3	11,6	51,9	134	64,0	44,5	341
13	240	35,7	13,8	54,6	140	66,6	50,0	361
17	255	38,1	13,9	58,4	150	71,8	51,1	383
21	285	45,1	17,7	64,2	174	76,5	64,5	442
25	305	56,0	23,9	97,1	202	108	109	596
34	330	48,1	26,2	110	191	121	115	611
36	345	52,9	25,9	111	206	114	115	625
41	435	57,0	26,2	124	188	140	141	676
42	455	56,7	28,5	117	203	134	133	672

* Годы отбора проб воды на каждой станции показаны в табл. 21. Для водохранилищ 1 (станция 4) и 8 (станция 25) данные за 1969 и 1970 гг. не учтены.

На рис. 13 показано изменение концентрации главных ионов в воде по длине канала в июне 1973 г. и в августе 1977 г. Эти два периода, особенно первый, выбраны как экстремальные по водообмену водохранилищ в период 1970—1978 гг.

Из рисунка прежде всего следует, что, несмотря на абсолютный рост концентрации, относительное содержание в воде всех ионов по мере продвижения ее по каналу постепенно сближается. Так, если в воде р. Иртыш относительная концентрация главных ионов изменялась в пределах от 6 до 32 % экв, то в конечных участках канала она находилась в интервале 14—20 % экв, в 1973 и в 1977 гг. 14—21 % экв. Подобная картина наблюдалась при всех гидрохимических съемках.

Таким образом, одной из главных особенностей формирования ионного состава воды по трассе канала является переход его от явно выраженного гидрокарбонатно-кальциевого состава к смешанному со значительной долей хлоридов, сульфатов и ионов щелочных металлов.

В абсолютном содержании наиболее высокие значения по всей трассе канала занимают гидрокарбонатные ионы, наименьшие — ионы магния.

Из рис. 13 также наглядно видно, что соотношение ионов (как в абсолютном, так и в относительном содержании), характерное для воды р. Иртыша, сохраняется почти без изменения до 175—225-го км участка трассы канала. Изменение соотношения происходит после входа иртышской воды в пределы бассейна р. Шидерты. Эти изменения, как правило, обусловлены

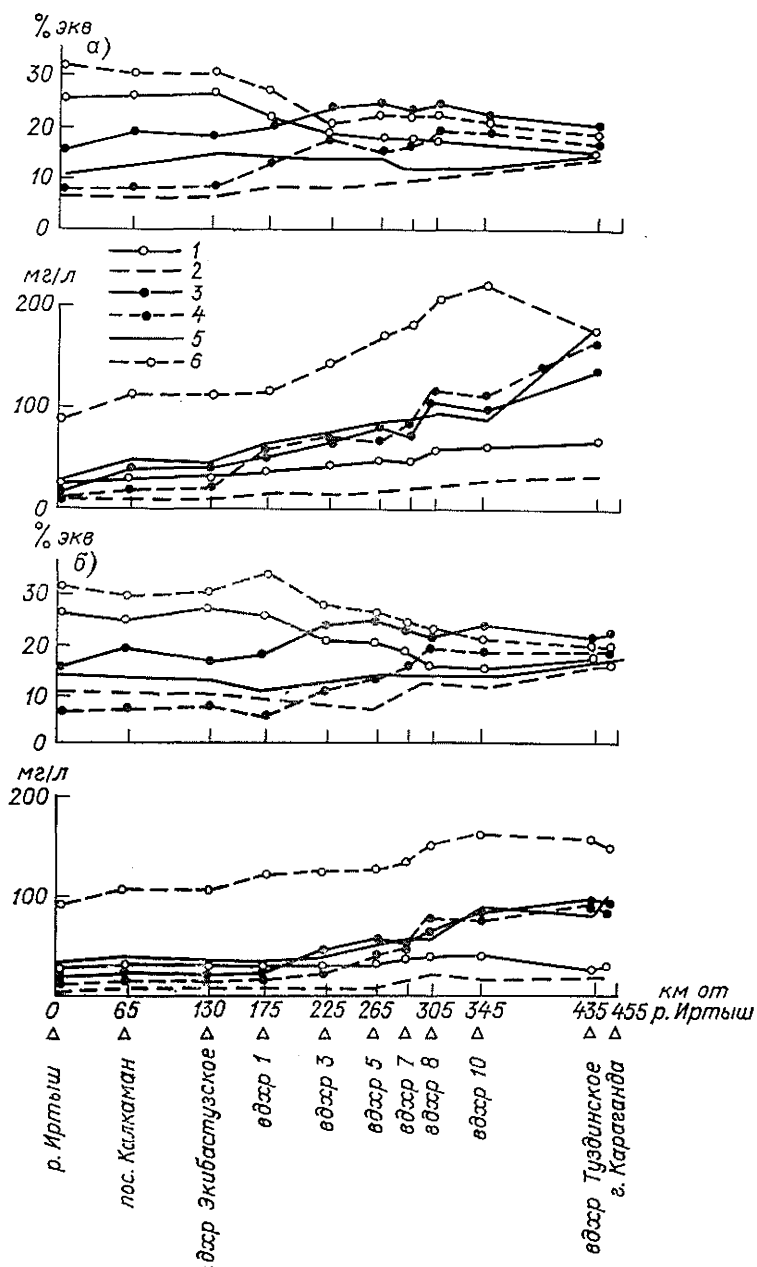


Рис. 13. Изменение ионного состава воды по трассе канала в июне 1973 г. (а) и в августе 1977 г. (б).

1 - Cu^{2+} , 2 - Mg^{2+} , 3 - $\text{Na}^{+} + \text{K}^{+}$, 4 - HCO_3^{-} , 5 - SO_4^{2-} , 6 - Cl^{-} .

довольно резким возрастанием абсолютного и относительного содержания ионов хлора и щелочных металлов, характерных для воды бассейна этой реки.

Ионный состав воды по длине канала подвергался заметным изменениям по мере становления режима канала и возрастания влияния иртышской воды на формирование его гидрохимического режима. Из сравнения данных за 1973 и 1977 гг. видно, что преобладание сульфатов над ионами хлора (в % экв) в 1973 г. имело место лишь на участке от головного водозабора до водохранилищ 1 и 3 (175—225-й км участка трассы), а в 1977 г. в связи со снижением общей минерализации воды преобладающее положение ионов сульфата сохранялось до водохранилища 7 (285-й км трассы). Сходное явление обнаруживается и в соотношениях относительного содержания гидрокарбонатов и щелочных металлов. Преобладание первых над вторыми в 1973 г. прекратилось в пределах водохранилищ 1 и 3, а в 1977 г. оно имело место до водохранилища 8 (305-й км трассы).

Рассмотрим основные факторы, обуславливающие изменение минерализации и ионного состава воды по трассе канала и на отдельных его характерных участках. Они определяют также сезонное и пространственное изменения минерализации воды в пределах отдельных водохранилищ.

К числу существенных факторов относятся почвенные и гидрогеологические условия трассы канала. Подробные сведения о распространении и характере засоления почв и подземных вод территории были приведены в разделах 1.3 и 1.4. Здесь лишь кратко рассмотрим наиболее характерные черты изменения минерализации и ионного состава воды канала под влиянием этих факторов.

На рис. 14 приведены материалы Гидропроекта им. С. Я. Жука о засоленности почв и подземных вод непосредственно по трассе канала до его строительства и наши данные об изменении минерализации воды по длине канала (4—13/VIII 1975 г.). Из рисунка следует, что одной из главных причин резкого повышения минерализации воды в пределах водохранилища 8, 9, 10, 11 и Туздинского, т. е. начиная от 290—305-го км участка трассы канала и далее (см. рис. 12 и 13), является высокая засоленность подземных вод и почвогрунтов этого района. Важная роль этого района в повышении минерализации воды канала заключается также и в том, что в водохранилище 8 впадает р. Бала-Шидерты, которая из всех притоков р. Шидерты отличается наиболее высокой минерализацией воды.

М. Н. Тарасов и И. М. Павелко [200] на основе подробных исследований установили резкое повышение минерализации воды р. Шидерты в районе впадения в нее р. Бала-Шидерты (рис. 15). Из рисунка видно, что минерализация речной воды в этом месте (315-й км трассы канала) увеличивается до 2000 мг/л, в то время как минерализация воды в верховьях реки около

1000 мг/л. Ниже этого участка минерализация воды остается достаточно высокой и лишь незначительно уменьшается к устью. Приведенные на этом рисунке данные наших гидрохимических съемок за периоды 15/VIII—3/IX 1974 г. и 10—30/VIII 1977 г. показывают аналогичный скачок минерализации и в воде канала, что вызвано как наличием засоленных подземных вод и почв, о чем сказано выше, так и впадением р. Бала-Шидерты.

Подробные сведения о химическом составе воды р. Бала-Шидерты приведены в разделе 1.5. Здесь лишь укажем, что, по

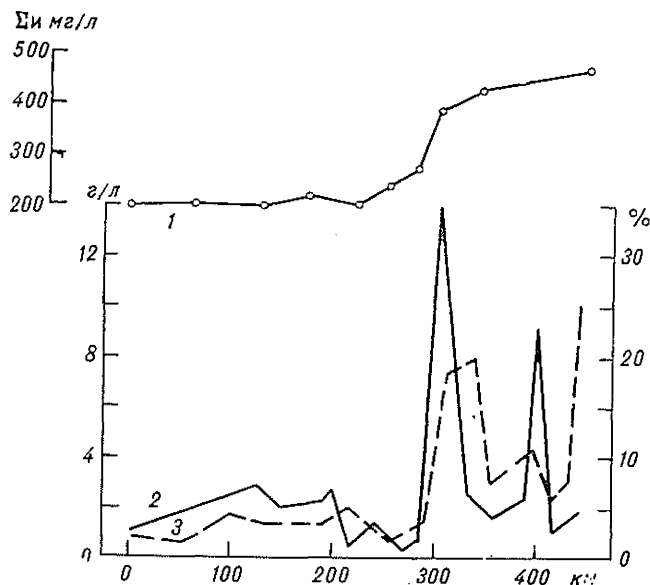


Рис. 14. Изменение минерализации воды канала (1), подземных вод (2) и засоленности почвогрунтов (3) по трассе.

данным ГГИ [175], в период межени минерализация ее воды достигала 3,0—6,0 г/л. В отобранных нами в летние периоды 1975—1978 гг. пробах на разобренных плёсах вблизи устья реки сумма главных ионов составляла 3,5—4,3 г/л. Среди ионов резко преобладали хлор и щелочные металлы (35—36 % экв). В 1972—1978 гг. минерализация воды в устье реки при наличии подпора со стороны водохранилища достигала 962—1400 мг/л, в районе плотины водохранилища 331—667 мг/л. Это определяет неравномерное распределение минерализации воды на акватории водохранилища 8.

Анализ материалов предшествовавших исследований и собственных наблюдений убеждает в том, что первостепенная роль в формировании минерализации и ионного состава воды канала в пределах бассейна д. Шидерты принадлежит подземным во-

дам и почвам, имеющим в этой районе высокую засоленность. Сильное влияние гидрогеологического фактора, видимо, обуславливается и тем, что поверхностные и грунтовые воды в рассматриваемом бассейне очень тесно взаимосвязаны и находятся в активном гидродинамическом равновесии [95, 171, 172].

Одним из показательных примеров для подтверждения сказанного является широкое распространение подрусловых вод в р. Шидерты и в ее притоках. Об этих водах более подробно было сказано в разделе 1.5. Здесь же в качестве примера приведем лишь данные экспедиции института Гидропроект о составе воды р. Шидерты и подрусловых вод в районе существующего водохранилища 5. Эти материалы (табл. 23) указывают на близость подземных аллювиальных вод и речной воды как по составу, так и по минерализации.

В отдельные месяцы 1973 г. по нашей просьбе службой ПЭКИК отбирались пробы воды в верхнем и нижнем бьефах насосных станций 14 и 15 (см. рис. 9) в периоды их нерегулярной работы. Результаты анализа проб (табл. 24) показали, насколько интенсивно идет осолонение воды в нижних бьефах указанных насосных станций по сравнению с приплотинными участками водохранилищ 8 и 9.

Из данных таблицы видно также существенное изменение и в ионном составе воды водохранилищ и канала перед насосными станциями. При этом следует отметить, что минерализация подземных вод в районах насосных станций 14 и 15, по данным института Гидропроект, составляла соответственно 12,5—16,9 и 1,7—3,5 г/л. Наиболее характерный относительный состав был следующим:

для района НС 14 $\frac{\text{Cl } 42 \text{ SO}_4 7 \text{ HCO}_3 1}{\text{Na} + \text{K } 31 \text{ Mg } 13 \text{ Ca } 6}$;

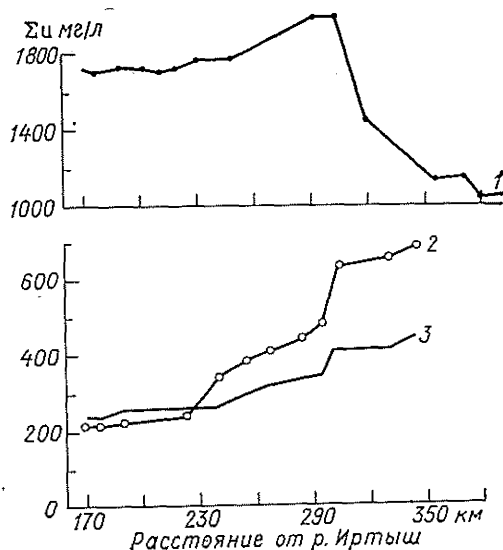


Рис. 15. Характер изменения минерализации воды по длине р. Шидерты в периоды 7—13/VII 1960 г. (1) и канала Иртыш—Караганда в периоды 15/VII—3/IX 1974 г. (2) и 10—30/VIII 1977 г. (3).

Стрелкой указано направление течения р. Шидерты в бытовом режиме.

для района НС 15 $\frac{\text{Cl} 34 \text{ SO}_4 11 \text{ HCO}_3 5}{\text{Na} + \text{K} 30 \text{ Mg} 11 \text{ Ca} 9}$.

Все эти данные свидетельствуют о чрезвычайно большой роли осолоненных подземных вод на формирование минерализации и ионного состава воды канала, особенно на участках глубокого его вреза в толщу почвогрунтов.

Таблица 23

Минерализация (г/л) и относительный состав воды р. Шидерты и аллювиальных вод

Дата	Аллювиальные воды	Вода р. Шидерты
6/VIII 1960	$M_{3,0} \frac{\text{Cl} 26 \text{ SO}_4 15 \text{ HCO}_3 9}{\text{Na} + \text{K} 32 \text{ Mg} 11 \text{ Ca} 7}$	$M_{1,5} \frac{\text{Cl} 27 \text{ SO}_4 14 \text{ HCO}_3 9}{\text{Na} + \text{K} 33 \text{ Mg} 11 \text{ Ca} 6}$
19/VIII 1960	$M_{2,3} \frac{\text{Cl} 25 \text{ SO}_4 15 \text{ HCO}_3 10}{\text{Na} + \text{K} 32 \text{ Mg} 10 \text{ Ca} 8}$	$M_{1,0} \frac{\text{Cl} 28 \text{ SO}_4 13 \text{ HCO}_3 9}{\text{Na} + \text{K} 31 \text{ Mg} 11 \text{ Ca} 8}$
22/VIII 1960	$M_{2,6} \frac{\text{Cl} 27 \text{ SO}_4 15 \text{ HCO}_3 8}{\text{Na} + \text{K} 31 \text{ Mg} 11 \text{ Ca} 8}$	$M_{1,8} \frac{\text{Cl} 27 \text{ SO}_4 13 \text{ HCO}_3 10}{\text{Na} + \text{K} 30 \text{ Mg} 10 \text{ Ca} 10}$

Одним из распространенных графических способов, позволяющих выявить сходство или различие природных вод по их ионному составу, являются зависимости между содержанием отдельных ионов и их суммой. Для построения графика зависимости между указанными характеристиками (рис. 16) использованы данные института Гидропроект о ионном составе подземных вод в районе ложа водохранилища 8 и насосной станции 14, а также наши данные по составу воды в отдельных плёсах р. Бала-Шидерты (табл. 7), в ее устье и в южной оконечности водохранилища 8, куда распространяется влияние стока р. Бала-Шидерты. Кроме того, сюда включены данные по составу воды нижнего бьефа НС 14 (табл. 24).

Из рисунка следует, что, несмотря на большой интервал изменения минерализации (от 400—500 мг/л до 14 г/л и выше), абсолютная и относительная концентрация ионов в рассматриваемых водах по мере возрастания их суммы изменяется достаточно последовательно, с единой для всех вод тенденцией. Это служит убедительным доказательством непосредственной генетической близости рассматриваемых подземных вод и воды канала на упомянутых участках.

Опубликованных сведений о гидрохимическом режиме каналов СССР, как указывалось выше, пока что немного. Судя по имеющимся публикациям, изменение минерализации и ионного состава воды от головных частей к конечным участкам различных каналов по интенсивности весьма неодинаково и зависит от особенностей почвенных, климатических, гидрогеологических и других условий территории, а также от антропогенных воздействий.

Таблица 24

Минерализация и индексы воды в нижнем и верхнем бьефах насосных станций 14 и 15 в 1973 г.

Насосная станция	Дата	Верхний бьеф*			Нижний бьеф	
		уровень воды, м	минерализация, мг/л	индекс воды	минерализация, мг/л	индекс воды
14	15/IV	379,35	553,9	$\text{CCl}_{\text{II}}^{\text{Na}}$	446,0	$\text{Cl}_{\text{II}}^{\text{Na}}$
	15/VII	379,28	631,3	$\text{CCl}_{\text{II}}^{\text{Na}}$	1588	$\text{Cl}_{\text{II}}^{\text{Na}}$
	15/VIII	379,27	644,5	$\text{CCl}_{\text{II}}^{\text{Na}}$	2776	$\text{Cl}_{\text{II}}^{\text{Na}}$
	15/XI	379,00	646,1	$\text{CCl}_{\text{II}}^{\text{Na}}$	2822	$\text{Cl}_{\text{II}}^{\text{Na}}$
	15/XII	378,96	739,9	$\text{CCl}_{\text{II}}^{\text{Na}}$	нет данных	
15	15/IV	399,30	нет данных		726,4	$\text{ClCS}_{\text{II}}^{\text{Na}}$
	15/VI	398,80	680,8	$\text{ClCS}_{\text{II}}^{\text{Na}}$	1806	$\text{SCl}_{\text{II}}^{\text{Na}}$
	15/VII	398,80	705,4	$\text{ClCS}_{\text{II}}^{\text{Na}}$	2264	$\text{SCl}_{\text{II}}^{\text{Na}}$
	15/VIII	398,60	710,9	$\text{ClCS}_{\text{II}}^{\text{Na}}$	2301	$\text{SCl}_{\text{II}}^{\text{Na}}$
	29/IX	398,45	712,5	$\text{ClCS}_{\text{II}}^{\text{Na}}$	нет данных	

* Верхние бьефы насосных станций 14 и 15 являются приплотинными частями водохранилищ 8 и 9.

В ряде каналов общая минерализация и ионный состав не подвергаются существенным изменениям. Так, согласно данным А. А. Коненко [113], в 1962—1965 гг. минерализация воды в конечных участках канала Днепр—Кривой Рог составляла 187—360 мг/л при минерализации воды водонисточника — Марьянского залива Каховского водохранилища, равной 181—330 мг/л. Аналогичные результаты по этому каналу получены и Л. М. Дунаевской и др. [82] в первые годы его эксплуатации.

По данным И. А. Гетьман [59], сумма ионов в воде канала Северский Донец—Донбасс составила в его головной части 395—723 мг/л в 1959 г. и 216—466 мг/л в 1960 г., в конечном участке — соответственно 365—609 и 217—490 мг/л.

В Донском магистральном и Нижне-Донском каналах повышение минерализации воды (от 326 до 525 мг/л) за счет выщелачивания легко растворимых солей из откосов и ложа имело место в 1952 г., лишь в первые месяцы их эксплуатации [205]. Следовательно, в условиях небольшой протяженности каналов (около 100 км) и высоких расходов воды (до 250 м³/с) оказалось достаточно всего лишь несколько месяцев для того, чтобы практически прекратилось поступление солей из откосов и ложа каналов.

Результаты более поздних исследований, выполненных М. Н. Тарасовым и др. [201], также показали невысокую минерализацию воды Нижне-Донского канала (272—351 мг/л) в течение вегетационного периода.

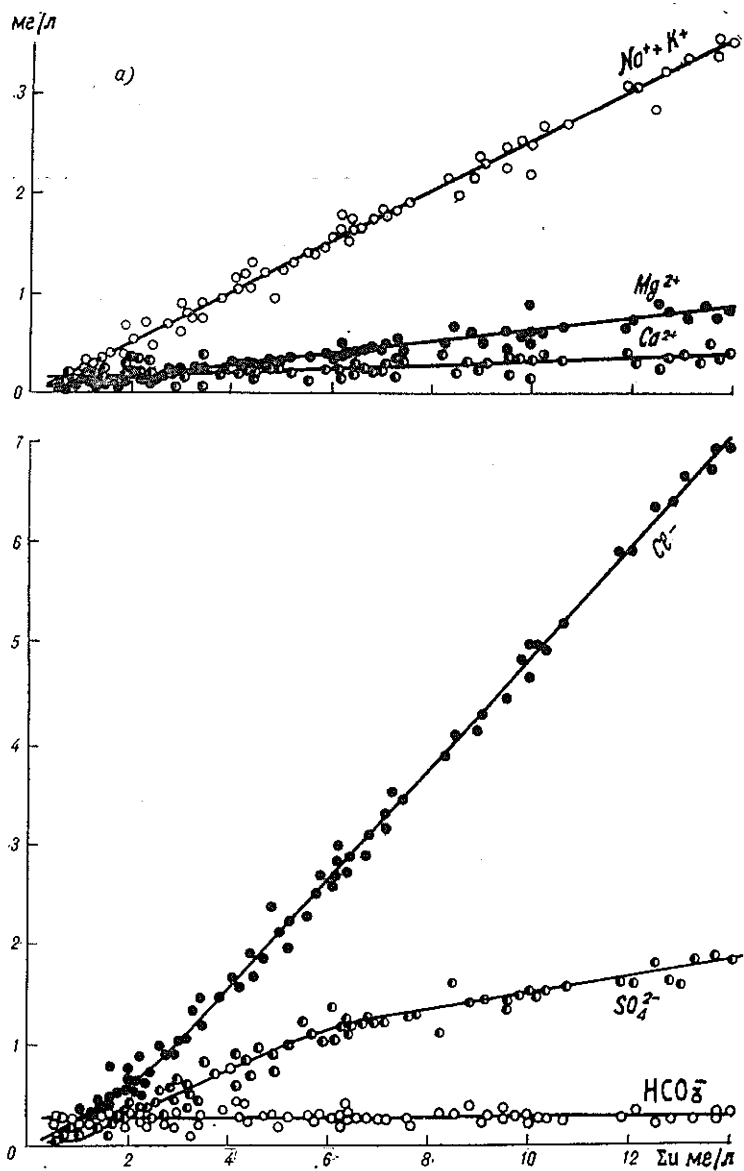
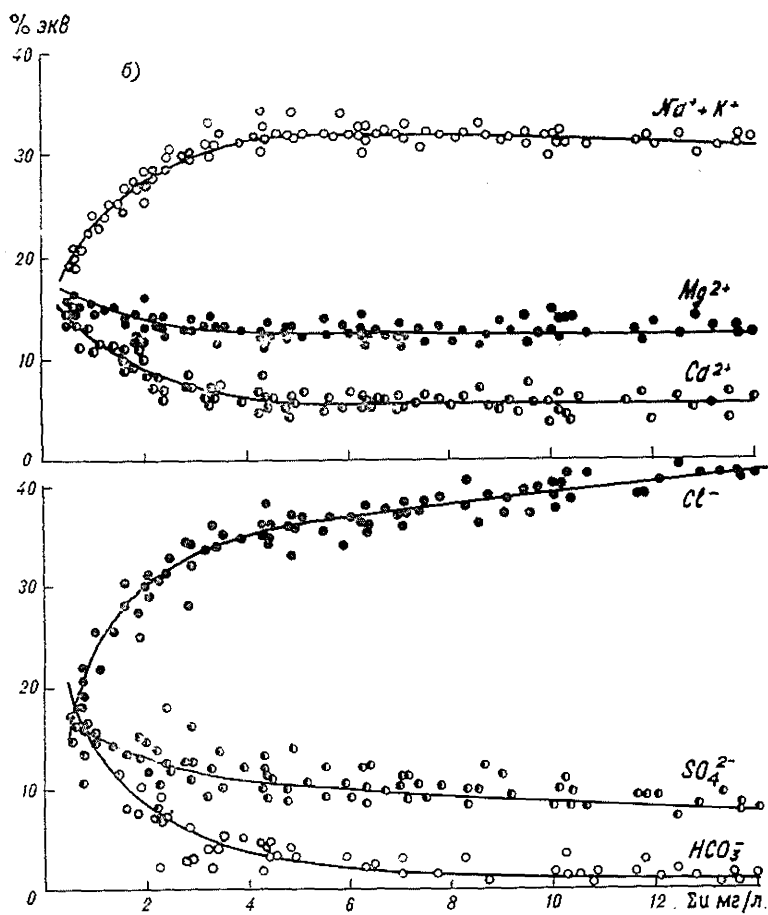


Рис. 16. Характер связи между минерализацией, абсолютной (а) ты, а также некоторых участков канала в пределах водохранили-



и относительным (б) содержанием ионов в водах р. Бала-Шидер-ща 8 и в подземных водах этого района.

Для полного выщелачивания солей из откосов и ложа Азовского магистрального канала, берущего начало из Веселовского водохранилища, понадобилось еще меньше времени. По данным Н. Г. Фесенко и А. А. Зенина [209], на всей 92-километровой трассе канала уже через месяц после первоначального пропуска по ней воды минерализация ее оставалась почти постоянной.

Минерализация воды по длине Невинномысского [203, 209] и Северо-Крымского [182] каналов характеризуется сравнительным постоянством, а далее, в пределах Егорлыкско-Манычской и Северо-Крымской оросительных систем, содержание солей в воде этих каналов значительно возрастает. Некоторое повышение минерализации воды по длине характерно для Беломорско-Балтийского канала (от 19,6—21,3 мг/л на южном склоне до 29,1—45,2 мг/л на северном), хотя соотношение главных ионов заметным изменениям не подвергается [143].

Иная картина наблюдается в ряде каналов Средней Азии и Западной Европы. С. М. Драчев [81] отмечает резкое повышение минерализации воды в Большом Ферганском канале после впадения в него р. Кара-Дарьи. Основной причиной возрастания минерализации воды и изменения режима других ее компонентов в каналах Дортмунд-Эмс (ФРГ) и Бургундский (Франция) также является поступление воды из осолоненных рек [247, 251].

Исследования, выполненные в 1954—1963 гг. на Каракумском канале [108, 109, 132], показали возрастание минерализации воды в районе г. Ашхабада до 950—1270 мг/л, тогда как минерализация воды р. Амударьи в районе водозабора (у г. Керки) и воды канала в районе озер Келифского Узбоя составляла 400—500 мг/л. Соответственно менялся и ионный состав воды. Значительное возрастание минерализации воды на отдельных участках этого канала наблюдалось также и в 1972 г. [101]. Рассмотренные случаи осолонения воды канала обуславливаются, по мнению авторов, влиянием засоленных почвогрунтов и подземных вод, а также интенсивным испарением.

Некоторые каналы подвержены заметным антропогенным воздействиям. К их числу можно отнести канал Изебек (ФРГ), принимающий загрязненные стоки г. Гамбурга [232] и в какой-то степени Ингулецкий магистральный канал, в котором значительное повышение минерализации воды происходит из-за поступления (по р. Ингулец) высокоминерализованных шахтных вод из Криворожского бассейна [113].

Таким образом, влияние физико-географических условий территории сказывается на гидрохимических особенностях многих каналов, однако степень их воздействия зависит от морфометрических и ряда других локальных особенностей. Наиболее характерным в этом отношении является канал Иртыш-Караганда с входящими в его систему водохранилищами.

5.3. Режим минерализации и ионного состава воды в отдельных водохранилищах

Наряду с рассмотренными выше общими закономерностями изменения минерализации и ионного состава воды по трассе канала, результаты проведенных исследований позволяют судить об изменениях режима этих компонентов в отдельных водохранилищах по мере их становления.

Основная масса воды аккумулируется в 13 водохранилищах, созданных на трассе канала. Суммарный объем водохранилищ при их нормальном подпорном горизонте достигает 1,0 млрд. м³, а площадь 237 км². В связи с этим их роль в общем гидрохимическом режиме канала довольно велика. Не меньший интерес представляют частные вопросы гидрохимического режима отдельных водохранилищ.

В пределах водохранилищ, расположенных на реках Шидерты, Тузды и Женгельды, как упоминалось выше, канал имеет естественную водосборную площадь со специфическими почвенными и гидрогеологическими условиями. Поэтому в формировании состава воды этих водохранилищ принимают участие воды различных генетических категорий (поверхностно-склоновые, поверхностно-почвенные и грунтовые), образующиеся на их водосборных бассейнах. Вследствие этого в водохранилищах происходят существенные изменения ионного состава воды, определяющие в итоге изменения в составе воды на конечных участках канала. Под воздействием локальных гидрогеологических, почвенных и других условий в пределах некоторых водохранилищ возникает неоднородность в распределении минерализации воды и концентрации отдельных ионов.

В период становления водохранилищ минерализация и ионный состав воды изменялись в довольно широких пределах. Общее представление об этом дают данные, приведенные ранее (см. табл. 20). Наиболее высокие значения минерализации воды отмечались в период первоначального наполнения водохранилищ [13—16, 21]. Это, на примере трех водохранилищ, наглядно показано на рис. 17.

В Экибастузском водохранилище в период первоначального наполнения его водой из р. Иртыша и отчасти местным стоком р. Женгельды (в 1968—1969 гг.) минерализация воды достигала 1300—1400 мг/л. В ионном составе при этом преобладали: из катионов щелочные металлы, из анионов — сульфаты, реже хлориды. Повышению минерализации воды в этот период способствовало вымывание с поверхности залитой территории и из толщи почвогрунтов легко растворимых солей, а также поступление в водоем осолоненных подземных вод [25].

В водохранилищах 1 и 8 наиболее высокие значения минерализации воды отмечены в 1969 и 1970 гг., когда в них первоначально (до поступления иртышской воды) аккумулировался

сток солоноватой р. Шидерты, в пойме которой расположены эти водоемы. Существенная роль в этом принадлежала также засоленным почвам и подземным водам, подробные сведения о которых были приведены выше.

В последующие годы по мере установления регулярной транспортировки иртышской воды по каналу и постепенному вымыванию растворимых солей из почвогрунтов затопленной территории минерализация воды водохранилищ, как видно из рис. 17, резко снизилась.

Таким образом, одним из существенных факторов, повлиявших на уменьшение минерализации воды канала и водохрани-

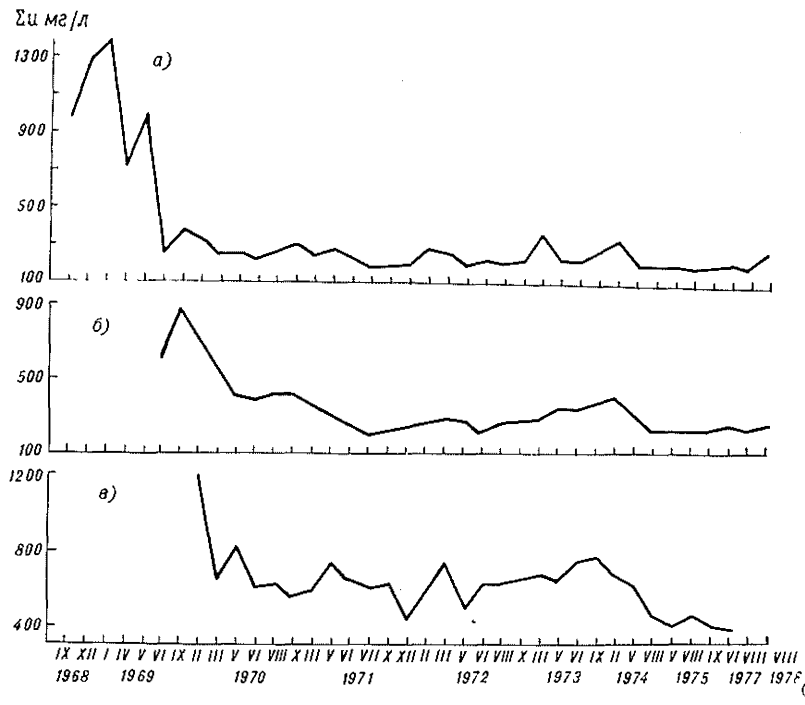


Рис. 17. Изменение минерализации воды Экибастузского (а), первого (б) и восьмого (в) водохранилищ в 1968—1978 гг.

лищ в период формирования их гидрохимического режима, явилась интенсивность транспортировки воды по каналу, вызвавшая повышение уровней и увеличение проточности водохранилищ.

Подробные сведения об изменении уровней и интенсивности водообмена в водохранилищах приведены выше. Здесь, в дополнение к сказанному, приведем результаты анализа статистических связей между уровнями и минерализацией воды некоторых водохранилищ в период становления их режима (рис. 18). По-

лученные данные свидетельствуют о наличии между этими характеристиками четко выраженной обратной зависимости.

«Доверительные коридоры» корреляционных связей, изображенные на рис. 18 пунктиром, показывают, что более тесная связь между рассматриваемыми признаками характерна для водохранилища 1.

В водохранилищах 3 и 8 связь несколько слабее, что, видимо, объясняется наличием и ряда других факторов, оказывающих влияние на формирование минерализации воды этого водоема.

По мере увеличения из года в год степени наполнения водохранилищ и их проточности существенные изменения претерпел и ионный состав воды. При этом произошло не только снижение концентрации отдельных ионов, но заметно изменилось и их соотношение (табл. 25).

Таблица 25

Изменение соотношений в содержании отдельных ионов (ммоль/л) в воде р. Иртыша и некоторых водохранилищ

Водный объект	Год	$\text{Na}^+ + \text{K}^+$	HCO_3^-	SO_4^{2-}
		Ca^{2+}	Cl^-	Cl^-
р. Иртыш	1970	0,62	4,83	1,79
	1971	0,56	5,23	1,81
	1972	0,61	5,18	1,79
вдхр Экибастузское	1968	3,15	0,64	1,07
	1969	3,08	0,69	1,06
	1970	0,83	3,30	1,36
	1972	0,83	4,33	2,05
	1974	0,73	5,03	2,32
	1975	0,55	6,05	2,96
	1977	0,59	4,47	1,63
	1978	0,60	4,43	1,34
вдхр 1	1969	2,34	0,43	0,62
	1970	1,54	0,99	0,80
	1972	0,94	2,25	1,26
	1974	0,72	4,00	1,73
	1975	0,41	7,73	2,65
	1977	0,60	8,00	2,28
	1978	0,64	4,63	1,52
вдхр 8	1970	1,69	0,83	0,50
	1972	1,35	1,24	0,81
	1973	1,40	1,27	0,90
	1974	1,33	1,44	0,98
	1975	1,17	1,77	1,18
	1977	1,28	1,16	0,59
	1978	1,16	1,52	0,95

Из данных таблицы следует, что в воде р. Иртыша соотношения между концентрациями рассматриваемых ионов во времени заметно не изменились. В воде же водохранилищ, по мере становления их гидрохимического режима, соотношение

$\text{HCO}_3^-/\text{Cl}^-$ увеличивалось, а $\text{Na}^+ + \text{K}^+/\text{Ca}^{2+}$, наоборот, уменьшалось. Некоторое возрастание характерно для соотношения $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-$, хотя в отдельные годы оно было подвержено заметным колебаниям. Таким образом, анализ соотношений между концентрацией отдельных ионов свидетельствует о том, что вода водохранилищ с увеличением водообмена в них постепенно переходила от хлоридно-натриевой к гидрокарбонатно-кальциевой.

Известно, что гидрохимический режим каналов в первую очередь зависит от состава воды водонесточников, особенно в тех случаях, когда канал не имеет боковой приточности.

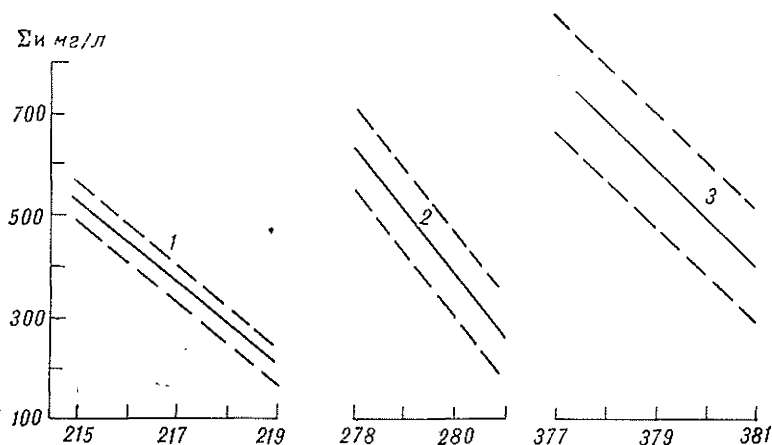


Рис. 18. Характер связей между уровнями и минерализацией воды первого (1), третьего (2) и восьмого (3) водохранилищ.

Однако, как указывалось выше, канал Иртыш—Караганда в большей части его трассы имеет собственную водосборную площадь (9260 км²). В связи с этим в каскаде водохранилищ аккумулируются воды местного стока различного происхождения и в условиях замедленного водообмена в водохранилищах наблюдаются достаточно четкие сезонные изменения химического состава воды. При этом сезонные колебания минерализации и ионного состава прослеживаются менее четко, чем колебания других компонентов: органических и биогенных веществ, газового состава и некоторых физических свойств воды.

Из данных табл. 20 и рис. 17 следует, что заметные снижения минерализации и концентраций главных ионов в воде водохранилищ в большинстве случаев наблюдались в весенне-летний период, хотя некоторое опреснение отмечалось иногда и в другие сезоны года. Уменьшение минерализации воды в весенне-летний период объясняется тем, что, во-первых, в этот период обычно осуществляется более интенсивная перекачка воды по

всей трассе канала, во-вторых, влиянием накопленных в водоемах опресненных вод во время снеготаяния в их бассейнах и таяния льда, образовавшегося зимой.

Наиболее высокие значения минерализации и концентрации главных ионов обычно приурочены к зимнему и поздним осенним периодам, когда водоемы приобретают более застойный режим (из-за нерегулярной работы насосных станций) и когда поступление осолоненных подземных вод и процесс ледообразования способствуют осолонению воды в водоемах.

При характеристике отдельных водоемов следует отметить, что режим минерализации и химического состава воды регулирующего водохранилища 11 и Туздинского резервного водохранилища имеет свои особенности в соответствии с режимом их эксплуатации и назначением в общем комплексе сооружений канала.

В регулирующее водохранилище 11 иртышская вода не поступает, оно аккумулирует сток верхней части течения р. Шидерты и временного водотока Сарапан. Вода из него по мере надобности сбрасывается в канал и в случае необходимости водоем полностью опорожняется.

В периоды наиболее высокого уровня воды в водохранилище (в 1970—1973 гг.), достигавшего по среднемесячным значениям 432—433 м н более (см. рис. 8), минерализация воды находилась в интервале 266—473 мг/л (табл. 20, рис. 19). По ионному составу вода была гидрокарбонатно-кальциевой, реже гидрокарбонатно-натриевой. В последующие годы, вследствие их маловодности и сброса накопившихся в водохранилище весенних вод в канал, уровень воды снизился, а минерализация в летние периоды 1975 г. возросла до 1006—1066 мг/л. При этом в воде сильно увеличилось содержание сульфатных ионов (до 27,9—28,6 % экв). Среди катионов повысилась концентрация щелочных металлов и кальция (соответственно до 18,9—23,0 и 13,4—16,4 % экв). Вода приобрела резко выраженный сульфатно-натриевый состав. Абсолютное содержание ионов хлора возрастает незначительно, а относительное даже несколько снижается. Также следует заметить, что в воде этого водоема в подавляющем большинстве случаев концентрации Ca^{2+} и $\text{N}^{+} + \text{K}^{+}$ близки друг к другу, тогда как в воде других водохранилищ (табл. 20) кальция значительно меньше.

Повышение минерализации воды почти исключительно за счет сульфатов щелочных металлов и кальция является четким отражением характера засоленности подземных вод и почвогрунтов в пределах этого водоема. В районе расположения этого водохранилища и насосной станции 18, по данным Гидропроекта (см. раздел 1.4), сосредоточены подземные воды сульфатно-натриевого состава повышенной минерализации. Сравнение состава подземных вод и воды водоема за 1975 г. убедительно свидетельствует об их аналогии:

$$M_{1,32-1,96} \frac{SO_4 30 \text{ Cl } 14 \text{ HCO}_3 6}{Na + K 24 \text{ Ca } 16 \text{ Mg } 11} \text{ — подземные воды;}$$

$$M_{1,07} \frac{SO_4 29 \text{ Cl } 14 \text{ HCO}_3 1}{Na + K 23 \text{ Ca } 14 \text{ Mg } 13} \text{ — вода водохранилища в августе 1975 г.}$$

Исследованиями Гидропроекта также установлено высокое содержание (от 4,9 до 18,5 %) в почвогрунтах этого района гипса, залегающего на глубине 0,4—1,2 м при практически полном отсутствии солей хлора (см. табл. 2).

Водный и гидрохимический режим Туздинского резервного водохранилища, сооруженного на 435-м км трассы, весьма непостоянен в силу ряда причин. Во-первых, в нем происходит смешение вод различных генетических категорий: воды Иртыша, транспортируемой по каналу, и воды р. Тузды с минерализацией

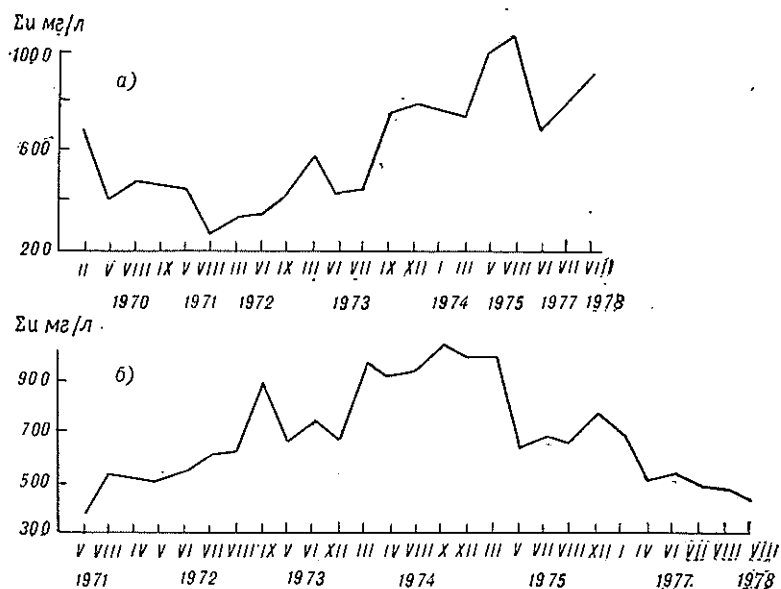


Рис. 19. Изменение минерализации воды водохранилища 11 (а) и Туздинского водохранилища (б) в 1970—1978 гг.

от 224 мг/л на пике половодья до 918 мг/л в момент его прохождения [176]. Кроме того, в водохранилище поступают подземные воды аллювиальных отложений речной долины с минерализацией 5—8 г/л хлоридно-сульфатно-натриевого или сульфатно-кальциевого состава, которые активно дренируются руслом реки, о чем свидетельствует возрастание минерализации воды летом в разобщенных плёсах реки до 5,5—9,5 г/л [175]. Во-вторых, подобно водохранилищу 11, в этом водоеме не всегда удерживается определенная отметка уровня. В случае необходимости

вода из него полностью сбрасывается в нижние участки канала, что не раз наблюдалось в период исследований.

Таким образом, в силу указанных особенностей в режиме и эксплуатации водохранилища не удалось четко определить каких-либо общих закономерностей в динамике растворенных в воде солей как в многолетнем, так и во внутригодовом цикле. Изменение минерализации воды в 1971—1978 гг. показано на рис. 19. Весьма разнообразным был ионный состав воды (см. табл. 20), который, очевидно, зависел от соотношений в водоеме вод различного происхождения, их минерализации и состава в отдельные периоды. При минерализации воды до 500 мг/л в большинстве случаев преобладают гидрокарбонаты, иногда сульфаты, выше 500 мг/л — первое место в основном занимают ионы хлора, редко сульфатов. Среди катионов превалирующую роль играют щелочные металлы.

Следует особо рассмотреть распределение минерализации воды по акваториям водохранилищ и по горизонтам воды в них. Выше было указано, что при исследовании гидрохимического режима канала на каждом его водохранилище в зависимости от их площади и конфигурации (рис. 9) находились от 1 до 9 постоянных станций отбора проб воды. Небольшие площади большинства водохранилищ, вытянутая их форма по продольной оси канала и значительная проточность обуславливают более или менее равномерное распределение минерализации и главных ионов по их акваториям.

Однако поступление в систему канала солоноватых вод р. Шидерты и некоторых ее притоков способствует повышению минерализации в отдельных участках некоторых водохранилищ, создавая по их акватории неоднородность состава воды. К таким водохранилищам относятся водохранилища 1 и 8.

Между водохранилищами 1 и 2 канал на протяжении около 50 км проложен в сторону от русла р. Шидерты (см. рис. 7). Сток этого отрезка реки и частично его притока Ащи-Карасу аккумулируется в небольшом русловом водохранилище, используемом для полива огородов и других целей. Результаты анализа воды, отобранной из этого водоема, показаны в табл. 26.

Из этого водоема вода в небольших количествах постоянно поступает в водохранилище 1 в районе насосной станции 7, значительно увеличивая минерализацию воды водохранилища на этом участке [21]. Различие в сумме главных ионов между приплотинным участком (станция 4, рис. 9) и южной оконечностью водохранилища (станция 8) постоянно обнаруживалось во все сезоны года (табл. 27).

Из данных таблицы следует, что наибольшие различия в составе воды рассматриваемых районов водохранилища наблюдались в 1970—1973 гг. В последние годы, с повышением интенсивности транспортировки воды по каналу и увеличением его

Таблица 26

Минерализация и ионный состав воды р. Шидерты
в районе насосной станции 7

Дата отбора проб	Минерализация, мг/л	Относительное содержание ионов
15/VI 1972	1008	$\frac{Cl_{20} SO_3 15 HCO_3 15}{Na + K_{27} Mg_{12} Ca_{13}}$
3/III 1973	2468	$\frac{Cl_{28} SO_4 14 HCO_3 8}{Na + K_{34} Mg_{10} Ca_6}$
16/IX 1973	1788	$\frac{Cl_{25} SO_4 14 HCO_3 11}{Na + K_{32} Mg_{13} Ca_5}$
14/VIII 1974	1579	$\frac{Cl_{24} SO_4 16 HCO_3 10}{Na + K_{30} Mg_{10} Ca_{10}}$
7/VIII 1975	1408	$\frac{Cl_{20} SO_4 15 HCO_3 15}{Na + K_{29} Mg_{11} Ca_{10}}$
29/VI 1977	1087	$\frac{Cl_{22} SO_4 16 HCO_3 12}{Na + K_{29} Mg_{11} Ca_{10}}$
13/VIII 1977	1694	$\frac{Cl_{26} SO_4 16 HCO_3 8}{Na + K_{33} Mg_{10} Ca_7}$
12/VIII 1978	1915	$\frac{Cl_{24} SO_4 18 HCO_3 8}{Na + K_{32} Mg_{11} Ca_7}$

Таблица 27

Неоднородность минерализации (мг/л) и ионного состава воды
по акватории водохранилища I

Дата	Станция 4		Станция 8	
	минерализация	индекс состава воды	минерализация	индекс состава воды
23/V 1970	387	$ClCS_{II}^{Na}$	1280	Cl_{II}^{Na}
23/VIII 1970	414	$CCIS_{II}^{Na}$	819	Cl_{II}^{Na}
11/X 1970	421	$CC_{II}^{Na, Mg, Ca}$	843	Cl_{II}^{Na}
16/V 1971	242	C_{II}^{Ca}	434	$ClC_{II}^{Na, Ca}$
18/VIII 1971	186	C_{II}^{Ca}	248	$C_{II}^{Ca, Na}$
19/V 1973	341	$CC_{II}^{Ca, Na}$	585	C_{II}^{Na}
16/IX 1973	350	$CCIS_{II}^{Na, Ca}$	725	C_{II}^{Na}
25/II 1974	403	$C_{II}^{Na, Ca}$	448	ClC_{II}^{Na}
18/V 1974	393	$C_{II}^{Ca, Na}$	413	$CC_{II}^{Na, Ca}$
14/VIII 1974	221	$C_{II}^{Ca, Na}$	232	$C_{II}^{Ca, Na}$
27/IV 1975	222	C_{II}^{Ca}	347	$C_{II}^{Ca, Mg}$
5/VIII 1975	170	C_{II}^{Ca}	184	C_{II}^{Ca}
19/VI 1977	249	C_{II}^{Ca}	262	C_{II}^{Ca}
13/VIII 1977	226	C_{II}^{Ca}	233	C_{II}^{Ca}
12/VIII 1978	231	C_{II}^{Ca}	239	$C_{II}^{Ca, Na}$

проточности, степень влияния осолоненного стока р. Шидерты существенно сглаживается, хотя минерализация и ионный состав воды из года в год остаются практически постоянными.

Неоднородность минерализации и ионного состава воды по акватории водохранилища 8 происходит из-за впадения в него р. Бала-Шидерты с высокой минерализацией воды, о чем более подробно было сказано выше. В табл. 28 показана неоднородность указанных характеристик воды в районе плотины (станция 25), южной оконечности водохранилища (станция 32) и в устье р. Бала-Шидерты (станция 33).

Таблица 28

Неоднородность минерализации (мг/л) и ионного состава воды по акватории водохранилища 8

Дата	Станция 25		Станция 32		Станция 33	
	минерализация	индекс состава воды	минерализация	индекс состава воды	минерализация	индекс состава воды
10/IX 1972	585	$C_{II}^{Na, Ca, Mg}$	653	C_{II}^{Na}	1400	C_{II}^{Na}
8/VI 1973	624	CCl_{II}^{Na}	655	CCl_{II}^{Na}	1036	C_{II}^{Na}
26/IX 1973	659	CCl_{II}^{Na}	669	CCl_{II}^{Na}	1102	C_{II}^{Na}
18/VI 1974	667	CCl_{II}^{Na}	703	CCl_{II}^{Na}	962	C_{II}^{Na}
31/VIII 1974	620	CCl_{II}^{Na}	646	CCl_{II}^{Na}	812	C_{II}^{Na}
13/V 1975	447	CCl_{II}^{Na}	472	CS_{II}^{Na}	744	C_{II}^{Na}
20/VIII 1975	331	C_{II}^{Ca}	381	$C_{II}^{Ca, Na, Mg}$	513	C_{II}^{Na}
29/VI 1977	453	C_{II}^{Na}	471	C_{II}^{Na}	546	C_{II}^{Na}
19/VIII 1977	398	CCl_{II}^{Na}	387	C_{II}^{Na}	515	C_{II}^{Na}
24/VIII 1978	383	C_{II}^{Na}	394	$CCl_{II}^{Na, Mg}$	410	C_{II}^{Na}

Таким образом, осолоненные воды рек Шидерты и Бала-Шидерты оказывают заметное влияние на состав воды канала, создавая в пределах отдельных водохранилищ локальные зоны с повышенной минерализацией воды даже в условиях нормальной эксплуатации канала и значительной проточности водохранилищ.

Одновременный отбор проб воды из поверхностных и придонных горизонтов проводился на более глубоководных приплотинных участках водохранилищ. Для большинства водохранилищ с глубиной до 5—8 м минерализация воды по вертикали заметно не менялась. В табл. 29 представлены результаты анализов проб воды, отобранных у поверхности и у дна водохранилищ 1, 3, 7 и 8, где более или менее была заметна разница в минерализации.

Из данных таблицы следует, что в водохранилищах 1 и 3, за исключением единственного случая, минерализация поверхност-

Таблица 29

Неоднородность минерализации (мг/л) и ионного состава воды некоторых водохранилищ по вертикали

Дата	У поверхности		У дна	
Водохранилище 1, станция 4 (глубина 20—23 м)				
24/V 1970	$CCIS_{II}^{Na}$	387	$CICS_{II}^{Na}$	399
16/V 1971	C_{II}^{Ca}	242	$C_{II}^{Mg, Ca}$	298
18/VIII 1971	C_{II}^{Ca}	186	$C_{II}^{Ca, Na}$	248
4/III 1972	$CS_{II}^{Na, Ca}$	293	$SCIC_{II}^{Na, Ca}$	361
26/V 1972	C_{II}^{Ca}	260	$C_{II}^{Ca, Na}$	291
28/VIII 1972	$C_I^{Ca, Na}$	237	$C_{II}^{Ca, Mg, Na}$	316
7/III 1973	C_{II}^{Ca}	295	$C_{II}^{Ca, Mg, Na}$	488
19/V 1973	CCI_{II}^{Na}	359	$CCIS_{II}^{Na}$	378
16/IX 1973	$CCIS_{II}^{Na, Ca}$	350	$CCI_{II}^{Na, Ca}$	360
25/II 1974	$C_{II}^{Na, Ca}$	403	CIS_{II}^{Na}	776
18/V 1974	$C_{II}^{Ca, Na}$	294	CS_{II}^{Na}	331
14/VIII 1974	$C_{II}^{Ca, Na}$	221	$C_{II}^{Na, Ca}$	318

Дата	У поверхности		У дна	
27/IV 1975	C_{II}^{Ca}	222	C_{II}^{Ca}	230
5/VIII 1975	C_{II}^{Ca}	171	C_{II}^{Ca}	198
19/VI 1977	$C_{II}^{Ca, Na}$	249	$C_{II}^{Ca, Na}$	280
13/VIII 1977	C_{II}^{Ca}	226	$C_{II}^{Ca, Na}$	269
12/VIII 1978	C_{II}^{Ca}	254	C_{II}^{Ca}	255

Водохранилище 3, станция 9 (глубина 8—10 м)

23/VIII 1971	$C_{II}^{Ca, Na}$	275	$C_{II}^{Ca, Na}$	275
2/VI 1972	$CS_{II}^{Na, Ca}$	446	$C_{II}^{Na, Ca}$	370
1/IX 1972	$C_{II}^{Na, Ca}$	289	$C_{II}^{Na, Ca}$	299
6/III 1973	$C_{II}^{Ca, Na}$	440	$CSCl_{II}^{Mg, Na, Ca}$	535
15/IX 1973	CCl_{II}^{Na}	419	$CClS_{II}^{Na}$	425
24/II 1974	$CSCl_{II}^{Na}$	566	SCl_{II}^{Na}	887
15/VIII 1975	$C_{II}^{Na, Ca}$	247	$C_{II}^{Na, Ca}$	252

Дата	У поверхности	У дна
------	---------------	-------

Водохранилище 7, станция 21 (глубина 13—15 м)

13/VI 1972	$C_{II}^{Na, Ca}$	401	$C_{II}^{Na, Ca}$	417
16/IX 1972	$C_{II}^{Na, Ca}$	422	$C_{II}^{Na, Ca}$	419
4/III 1973	$C_{II}^{Ca, Na, Mg}$	525	$C_{II}^{Ca, Na}$	525
12/VI 1973	$C_{II}^{Na, Ca}$	460	$C_{II}^{Na, Ca}$	482
24/IX 1973	C_{II}^{Na}	528	C_{II}^{Na}	505
21/II 1974	$C_{II}^{Na, Ca}$	583	$CCl_{II}^{Na, Ca}$	664
14/VI 1974	CS_{II}^{Na}	591	C_{II}^{Na}	556
2/IX 1974	$CICS_{II}^{Na}$	454	$CICS_{II}^{Na}$	448
2/VIII 1975	$C_{II}^{Ca, Na, Mg}$	276	$C_{II}^{Ca, Na}$	251
15/VIII 1977	$C_{II}^{Na, Ca}$	338	C_{II}^{Na}	342

Водохранилище 8, станция 25 (глубина 12—13 м)

5/III 1972	CCl_{II}^{Na}	737	Cl_{II}^{Na}	760
------------	-----------------	-----	----------------	-----

Дата	У поверхности		У дна	
10/VI 1972	$\text{CCl}_{\text{II}}^{\text{Na}}$	614	$\text{CCl}_{\text{II}}^{\text{Na}}$	596
10/IX 1972	$\text{C}_{\text{II}}^{\text{Na, Ca, Mg}}$	585	$\text{C}_{\text{II}}^{\text{Na}}$	597
3/III 1973	$\text{CCl}_{\text{II}}^{\text{Na, Ca}}$	738	$\text{CCl}_{\text{II}}^{\text{Na, Ca}}$	777
8/VI 1973	$\text{CCl}_{\text{II}}^{\text{Na, Ca}}$	624	$\text{CCl}_{\text{II}}^{\text{Na, Ca}}$	581
26/IX 1973	$\text{CCl}_{\text{II}}^{\text{Na}}$	669	$\text{CCl}_{\text{II}}^{\text{Na}}$	660
23/II 1974	$\text{CClS}_{\text{II}}^{\text{Na}}$	771	$\text{CClS}_{\text{II}}^{\text{Na}}$	825
6/VI 1974	$\text{CCl}_{\text{II}}^{\text{Na}}$	667	$\text{CCl}_{\text{II}}^{\text{Na}}$	665
31/VIII 1974	$\text{CCl}_{\text{II}}^{\text{Na}}$	620	$\text{ClCS}_{\text{II}}^{\text{Na}}$	592
13/V 1975	$\text{CCl}_{\text{II}}^{\text{Na}}$	446	$\text{CSCl}_{\text{II}}^{\text{Na}}$	460
20/VIII 1975	$\text{C}_{\text{II}}^{\text{Ca, Na}}$	384	$\text{C}_{\text{II}}^{\text{Ca}}$	331
29/VI 1977	$\text{C}_{\text{II}}^{\text{Na}}$	453	$\text{C}_{\text{II}}^{\text{Na}}$	492
19/VIII 1977	$\text{CCl}_{\text{II}}^{\text{Na}}$	398	$\text{C}_{\text{II}}^{\text{Na}}$	388
24/VIII 1978	$\text{C}_{\text{II}}^{\text{Na}}$	383	$\text{C}_{\text{II}}^{\text{Na}}$	389

ного слоя воды была ниже придонного. В водохранилище 7 в пяти случаях из десяти, а в водохранилище 8 в семи из четырнадцати поверхностные горизонты воды были более минерализованы, чем придонные. В подавляющем большинстве случаев различия в минерализации воды поверхностных и придонных горизонтов незначительны, иногда почти отсутствуют.

Для зимнего периода характерно постоянное возрастание минерализации воды от поверхности к дну и при этом, как правило, значительно увеличивается разница в значениях. Так, на станции 4 оно составляло 68—373 мг/л, а на станциях 9, 21 и 25 соответственно 95—321, 0—41 и 23—54 мг/л.

В соответствии с изменением минерализации с глубиной меняется и ионный состав воды. Если в поверхностном слое воды почти всегда преобладали гидрокарбонаты, то в придонных горизонтах, особенно при увеличении минерализации, в числе доминирующих анионов оказываются SO_4^{2-} и Cl^- . В катионном составе существенных различий не обнаруживается.

Можно заключить, что вертикальное распределение минерализации воды в водохранилищах зависит в основном от глубины и степени проточности. Увеличение стратификации воды зимой, видимо, обуславливается более застойным режимом водохранилищ в этот период и наличием подземного питания.

5.4. Отношения между концентрацией отдельных ионов и их суммой

Одним из вопросов, связанных с особенностями формирования ионного состава природных вод, является изучение связей между минерализацией и отдельными ее составляющими. Характер связи между абсолютным и относительным содержанием главных ионов и их суммой в воде канала и водохранилищ показан на рис. 20*.

Несмотря на значительный в отдельных случаях разброс точек, рис. 20 дает наглядное представление о характере связи между минерализацией и отдельными ее составляющими. Для ионов магния, щелочных металлов, хлора и сульфатов характерно абсолютное и относительное увеличение их концентраций по мере возрастания минерализации воды. Относительное содержание ионов кальция и гидрокарбонатов с увеличением минерализации непрерывно снижается, хотя абсолютная концентрация их возрастает.

На рис. 21 и 22 показана связь между ионным составом и минерализацией воды для водохранилищ 11 и Туздинского.

* В рисунок вошли данные по Туздинскому водохранилищу и водохранилищу 11, заметно отличающиеся по составу воды от основной части канала, а также материалы, использованные для построения рис. 16.

Сравнивая рис. 20, 21 и 22, можно видеть сходство общего характера связей за некоторыми исключениями. В водах канала и большинстве водохранилищ (рис. 20) с повышением суммы ионов относительное содержание кальция снижается более интенсивно, а в воде водохранилища 11 этот ион при минерализации выше 600 мг/л почти прекращает свое снижение, оставаясь около 15 % экв.

Существенные различия между сравниваемыми графиками обнаруживаются в режиме анионов. Прежде всего следует отметить интенсивное увеличение сульфатных ионов в воде водохранилища 11 по мере возрастания ее минерализации (рис. 21). Это обусловлено поступлением в водоем засоленных подземных вод сульфатно-натриевого состава со сравнительно повышенной концентрацией ионов кальция, о чем упоминалось выше.

Таким образом, существенные различия в соотношении между ионами и минерализацией воды в отдельных пунктах канала являются следствием влияния разнообразных гидрогеологических, почвенных и других факторов на формирование состава вод канала и водохранилищ.

Наряду с рассмотрением характера изменений концентрации отдельных ионов по мере возрастания минерализации воды, для получения количественной зависимости между рассматриваемыми показателями использован метод математической статистики.

Коэффициент корреляции рассчитывается по уравнению

$$r = \frac{\sum (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{n\sigma_X\sigma_Y},$$

где X_i , Y_i — i -тые значения сравниваемых признаков; $\bar{X}$, $\bar{Y}$, σ_X , σ_Y — соответственно средние значения и стандартные отклонения этих признаков; n — общее число наблюдений в выборке.

Для количественного выражения статистической связи между минерализацией (Y) и содержанием отдельных ионов (X) использовалось уравнение регрессии вида

$$Y = a + bX.$$

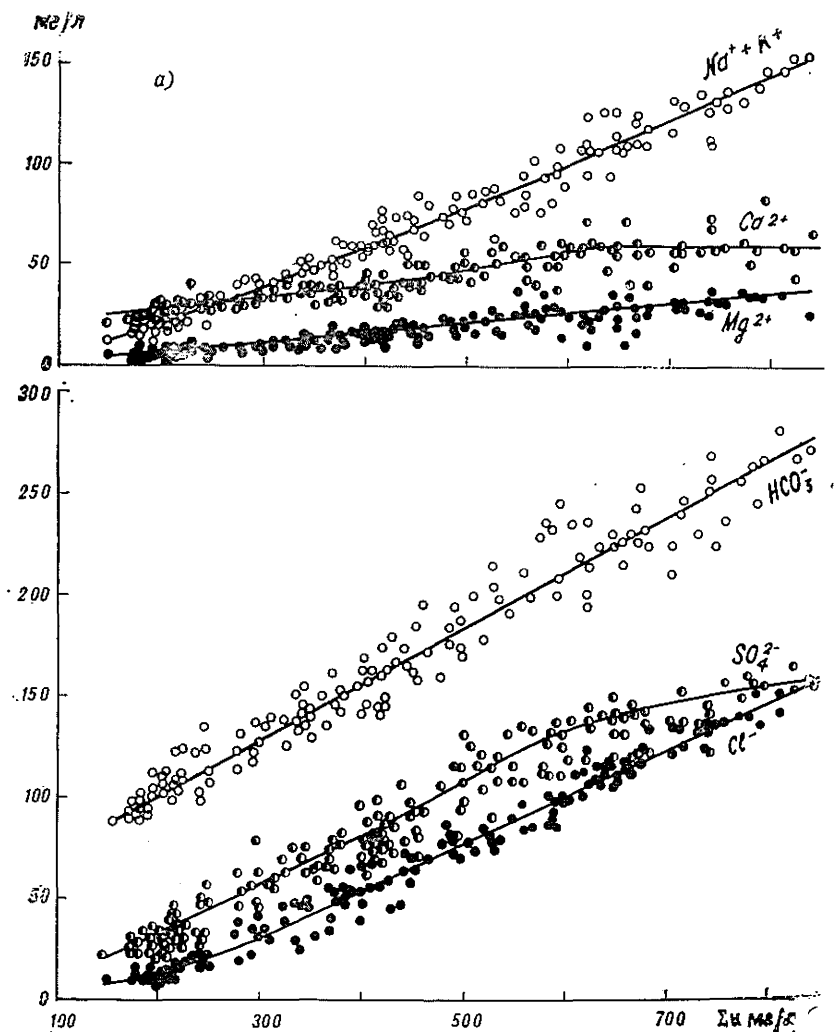
Коэффициенты уравнения регрессии (a , b) определялись по следующим формулам:

$$b_{YX} = r \frac{\sigma_Y}{\sigma_X}; \quad a = \bar{Y} - b\bar{X}.$$

Возможная ошибка индивидуальных определений минерализации по установленным уравнениям регрессии определялась по формуле

$$S = \sigma_Y \sqrt{1 - r^2}.$$

Коэффициенты корреляции между содержанием отдельных ионов и их суммой по трассе канала и в отдельных водохранилищах при примерно равном количестве наблюдений имеют существенные различия (табл. 30). В воде р. Иртыша наиболее высокими они оказались для доминирующих в воде ионов кальция и гидрокарбонатов (0,85—0,94), наиболее низкими — для ионов хлора и магния (0,37—0,43), а также для щелочных металлов (0,46). В Экибастузском водохранилище коэффициенты корреляции между минерализацией и содержанием отдельных



ионов характеризовались сравнительно высокими и близкими между собой значениями (0,76—0,90). В последующих водохранилищах более высокими коэффициентами (до 0,96—0,98) отличались ионы щелочных металлов, сульфатов и хлора. Наиболее слабая связь почти повсеместно отмечалась между минерализацией и концентрацией ионов магния. Для ионов кальция коэффициент корреляции по трассе канала существенно не менялся (0,79—0,88).

Более тесная связь содержания гидрокарбонатных ионов с минерализацией, отмеченная в водах р. Иртыша и Экибастузского водохранилища (0,94—0,90), на последующих участках канала заметно ослабевает. Из данных табл. 30 также видно, что ошибки уравнений довольно велики даже и в тех случаях, когда связь между концентрацией ионов и минерализацией достаточно тесна.

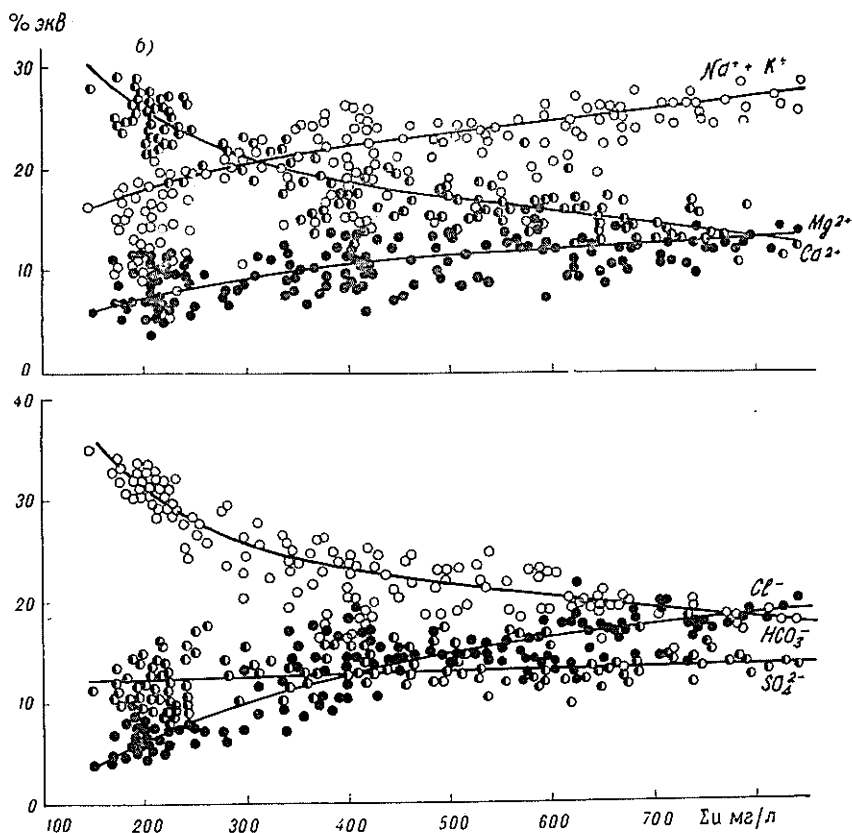


Рис. 20. Характер связи между минерализацией, абсолютным (а) и относительным (б) содержанием главных ионов в воде канала и водохранилищ.

Таблица 30

Коэффициенты корреляции между содержанием отдельных ионов и их суммой в воде канала и водохранилищ. Уравнения статистической связи и их ошибки

№ п/п	Водный объект	Коэффициент корреляции r	Уравнение связи	Ошибка S
1	р. Иртыш	0,85	$\Sigma_{\text{и}} = 194,09 + 0,70\text{Ca}^{2+}$	$\pm 27,99$
2		0,37	$\Sigma_{\text{и}} = 179,52 + 4,19\text{Mg}^{2+}$	$\pm 26,91$
3		0,46	$\Sigma_{\text{и}} = 163,84 + 1,97\text{Na}^+ + \text{K}^+$	$\pm 25,85$
4		0,94	$\Sigma_{\text{и}} = 29,19 + 1,63\text{HCO}_3^-$	$\pm 10,58$
5		0,60	$\Sigma_{\text{и}} = 122,10 + 2,78\text{SO}_4^{2-}$	$\pm 23,69$
6		0,43	$\Sigma_{\text{и}} = 156,17 + 4,14\text{Cl}^-$	$\pm 26,21$
7		0,81	$\Sigma_{\text{и}} = -21,87 + 8,94\text{Ca}^{2+}$	$\pm 39,17$
8		0,76	$\Sigma_{\text{и}} = 151,57 + 13,18\text{Mg}^{2+}$	$\pm 41,58$
9		0,80	$\Sigma_{\text{и}} = 197,14 + 2,48\text{Na}^+ + \text{K}^+$	$\pm 46,75$
10	Экибастузское водохранилище	0,90	$\Sigma_{\text{и}} = 265,20 + 0,05\text{HCO}_3^-$	$\pm 58,62$
11		0,78	$\Sigma_{\text{и}} = 102,16 + 3,58\text{SO}_4^{2-}$	$\pm 40,48$
12		0,89	$\Sigma_{\text{и}} = 157,02 + 4,99\text{Cl}^-$	$\pm 35,35$
13		0,79	$\Sigma_{\text{и}} = -63,86 + 10,80\text{Ca}^{2+}$	$\pm 44,85$
14		0,71	$\Sigma_{\text{и}} = 163,57 + 14,16\text{Mg}^{2+}$	$\pm 48,80$
15		0,96	$\Sigma_{\text{и}} = 136,58 + 3,69\text{Na}^+ + \text{K}^+$	$\pm 21,80$
16		0,38	$\Sigma_{\text{и}} = -664,00 + 8,82\text{HCO}_3^-$	$\pm 60,23$
17		0,94	$\Sigma_{\text{и}} = 119,17 + 3,39\text{SO}_4^{2-}$	$\pm 24,02$
18		0,96	$\Sigma_{\text{и}} = 178,90 + 2,81\text{Cl}^-$	$\pm 21,17$
19	Водохранилище 8	0,82	$\Sigma_{\text{и}} = 26,59 + 10,51\text{Ca}^{2+}$	$\pm 60,26$
20		0,45	$\Sigma_{\text{и}} = 351,45 + 10,60\text{Mg}^{2+}$	$\pm 82,20$
21		0,95	$\Sigma_{\text{и}} = 221,16 + 3,73\text{Na}^+ + \text{K}^+$	$\pm 32,88$
22		0,90	$\Sigma_{\text{и}} = -125,88 + 3,41\text{HCO}_3^-$	$\pm 41,02$
23		0,88	$\Sigma_{\text{и}} = 125,50 + 4,53\text{SO}_4^{2-}$	$\pm 55,85$
24	Водохранилище 11	0,96	$\Sigma_{\text{и}} = 226,21 + 3,56\text{Cl}^-$	$\pm 31,10$
25		0,88	$\Sigma_{\text{и}} = 4,49 + 9,62\text{Ca}^{2+}$	$\pm 16,94$
26		0,90	$\Sigma_{\text{и}} = 191,23 + 15,11\text{Mg}^{2+}$	$\pm 14,42$
27		0,98	$\Sigma_{\text{и}} = 134,9 + 5,27\text{Na}^+ + \text{K}^+$	$\pm 72,46$
28		0,37	$\Sigma_{\text{и}} = 239,87 + 1,55\text{HCO}_3^-$	$\pm 22,67$
29	Водохранилище Туздинское	0,90	$\Sigma_{\text{и}} = 341,34 + 1,79\text{SO}_4^{2-}$	$\pm 10,84$
30		0,87	$\Sigma_{\text{и}} = 168,44 + 5,37\text{Cl}^-$	$\pm 14,98$
31		0,87	$\Sigma_{\text{и}} = -44,49 + 10,90\text{Ca}^{2+}$	$\pm 89,03$
32		0,45	$\Sigma_{\text{и}} = 461,00 + 5,94\text{Mg}^{2+}$	$\pm 12,95$
33		0,87	$\Sigma_{\text{и}} = 246,44 + 3,53\text{Na}^+ + \text{K}^+$	$\pm 89,12$
34		0,74	$\Sigma_{\text{и}} = -382,00 + 5,68\text{HCO}_3^-$	$\pm 10,43$
35		0,92	$\Sigma_{\text{и}} = 8,92 + 4,23\text{SO}_4^{2-}$	$\pm 58,83$
36		0,88	$\Sigma_{\text{и}} = 238,07 + 3,14\text{Cl}^-$	$\pm 87,38$

На основе корреляционного анализа выявить какой-либо ион, связь содержания которого была бы тесной и надежной с другими ионами по всей трассе канала, не удалось. Так, в воде р. Иртыша и Экибастузского водохранилища наиболее тесная связь (0,84—0,85) наблюдается между ионами Ca^{2+} и HCO_3^- . В водохранилищах 1 и 4 высока связь между содержанием сульфатов и ионов (0,91), Mg^{2+} (0,84) и Cl^- (0,93). В водохранилище 8 довольно тесную связь с ионами Ca^{2+} (0,82), $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ (0,91) и HCO_3^- (0,82) имеет SO_4^{2-} . Однако коэффициент корреляции его с ионами Mg^{2+} низок (0,42). В воде водохранилища 11 связь сульфатного иона оказалась достаточно тесной (0,82—

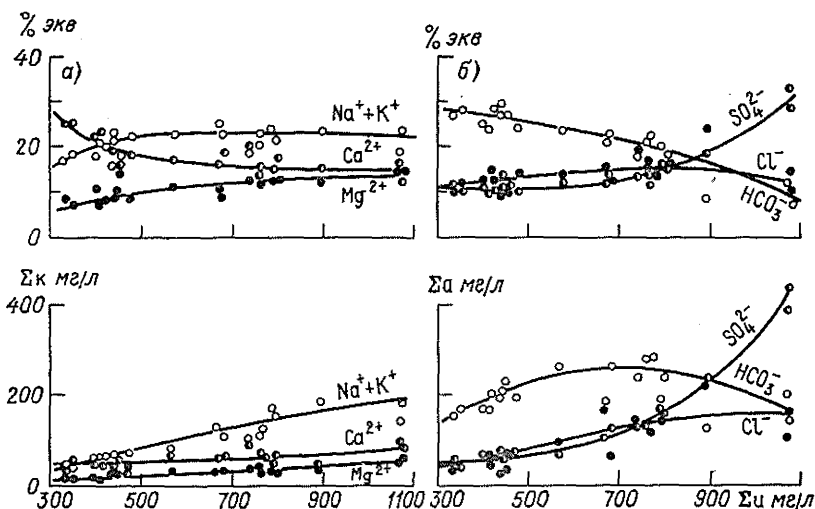


Рис. 21. Характер связи между минерализацией и ионным составом воды водохранилища 11:

а — катионы, б — анионы.

0,88) со всеми катионами, а связь хлора лишь с Mg^{2+} (0,85) и $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ (0,87). В Туздинском водохранилище более или менее надежную связь имеют сульфаты с ионами Ca^{2+} (0,83), $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ (0,93) и Cl^- (0,85).

Таким образом, по материалам, полученным в период формирования режима и в первые годы нормальной эксплуатации канала, не представляется возможным выявить какого-либо определенного иона, по содержанию которого на основе полученных уравнений можно было бы достоверно рассчитывать концентрации других ионов и общую минерализацию воды. Однако для ориентировочного расчета минерализации могут быть использованы следующие уравнения (см. табл. 30): для р. Иртыша и Экибастузского водохранилища соответственно № 4 и

10, для водохранилищ 1 и 8 — № 18 и 24, для водохранилищ 11 и Туздинского — № 29 и 35.

Широкие пределы изменения коэффициентов корреляции между концентрацией ионов и их суммой, а также непостоянство связей между содержанием отдельных ионов в воде водохранилищ объясняется большой изменчивостью состава воды водных объектов, вызванной главным образом смешением в водохранилищах вод различных генетических категорий, а также разнообразными физико-географическими условиями района трассы.

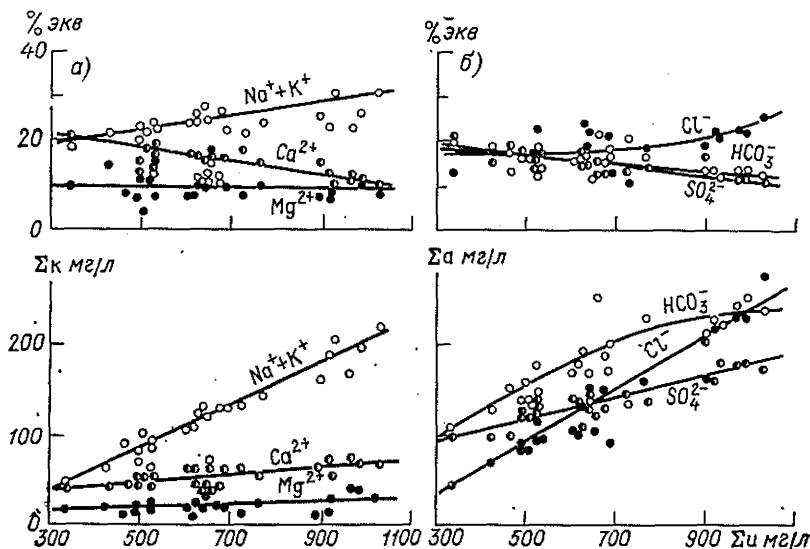


Рис. 22. Характер связи между минерализацией и ионным составом воды Туздинского водохранилища.

а — катионы, б — анионы.

5.5. Концентрация натрия и калия

В предыдущих разделах при рассмотрении режима минерализации и отдельных ее составляющих сведения о щелочных металлах приводились в виде их суммы. С 1971 г. представилась возможность раздельного определения концентрации Na^+ и K^+ в водах на пламенном фотометре.

Исследование режима и соотношений Na^+ и K^+ в воде канала заслуживает внимания прежде всего в связи с тем, что эти элементы в поверхностных водах рассматриваемого региона и республики в целом изучены слабо. Имеются лишь немногочисленные сведения по отдельным речным бассейнам и водоемам [23, 91, 119, 134, 146].

Между тем изучение динамики Na^+ , K^+ и их соотношений имеют немаловажное значение в выяснении особенностей миграции их в поверхностных водах и других природных объектах в условиях различных климатических и почвенных зон, в характеристике биологической продуктивности и качества природных вод, в поисковых целях и т. д. Важность щелочных элементов, особенно калия, в биологической жизни водоемов и в их миграции заключается не только в стимуляции роста, но и в аккумуляции их в растительных и живых организмах.

Известно, что целый ряд водных организмов, служащих кормовой базой для рыб, могут жить и размножаться лишь при определенных соотношениях в воде концентраций калия и кальция. По мере возрастания величины отношения $\text{K}^+/\text{Ca}^{2+}$ (выше 0,20) усиливаются неблагоприятные для водных организмов свойства воды за счет присутствия излишних количеств K^+ [215]. Исследования Л. П. Малькольм [144] показали различное по количеству и соотношению накопление Na^+ и K^+ в печени одного и того же вида рыб при обитании их в пресных и в морских водах. В пресной воде в печени рыб концентрация Na^+ и K^+ составляла соответственно 50—55 и 280—300 мг/100 г ткани (соотношение 0,17—0,19), в морской — 80—105 и 350—370 мг/100 г ткани (соотношение Na^+/K^+ составляет 0,23—0,28).

Влияние на формирование химического состава воды канала Иртыш—Караганда разнообразных физико-географических условий, а, следовательно, и вод различных генетических категорий, определяло целесообразность расчета и уточнения эмпирических коэффициентов, характеризующих соотношения концентрации натрия и калия в воде канала. Кроме того, при исследовании динамики и содержания щелочных элементов ставилась также задача определить пределы расхождения между суммой концентраций натрия и калия, полученных прямым определением и вычисленной по разности между суммой анионов и катионов.

Полученный в 1971—1978 гг. материал по содержанию Na^+ и K^+ представлен в табл. 31. Из данных таблицы следует, что концентрация их в воде водоисточника (р. Иртыш) невысокое и колебалось в пределах: натрий от 7,6 до 16,0 мг/л, калий от 0,8 до 4,1 мг/л.

Подобно описанному выше изменению минерализации и содержания главных ионов, концентрация Na^+ и K^+ возрастает по длине канала. Свидетельством общности факторов, влияющих на изменение концентрации натрия и калия, а также минерализации воды в целом, является большое сходство в ходе изменения этих показателей в отдельных пунктах по длине канала (рис. 23). Содержание рассматриваемых компонентов, как и общая минерализация воды, резко возрастает в пределах водохранилища 8 и далее по длине канала, чему способствует усиление в этом направлении влияния подземных вод и засоленных

Таблица 31

Пределы изменения концентраций натрия и калия в воде канала и водохранилищ в 1971—1978 гг., мг/л

№ стан- ции	Участок канала	Ингре- диент	Концентрация ингредиента по годам						
			1971	1972	1973	1974	1975	1977	1978
1	р. Иртыш	Na ⁺	7,9—16,1	8,6—15,8	7,6—13,8	8,0—14,2	13,3—14,5	9,4—10,1	10,4
		K ⁺	1,9—4,1	0,8—2,0	1,2—2,3	1,2—2,2	1,0—1,3	0,8—1,0	1,3
2	канал у п. Калка- ман	Na ⁺	9,5—18,5	9,2—10,4	19,9—29,9	12,0—13,8	13,0—13,8	12,8—14,0	10,1
		K ⁺	2,3—4,6	0,8—2,2	1,0—1,6	1,0—1,3	0,8—1,0	1,0—1,2	1,3
3	вдхр Экибастуз- ское	Na ⁺	10,5—20,2	11,5—21,2	16,1—29,9	11,0—16,1	13,3—18,4	12,8—14,3	13,8
		K ⁺	2,9—4,7	0,9—2,7	1,6—2,7	1,0—1,2	1,0—1,4	0,8—1,2	1,6
4—8	вдхр 1	Na ⁺	15,8—38,9	14,5—34,0	32,2—47,2	16,8—31,0	14,5—21,4	15,0—20,0	13,8—15,0
		K ⁺	3,0—4,5	1,2—2,7	1,6—2,0	1,0—2,0	0,4—1,0	1,2—1,5	1,3—1,6
9—12	вдхр 3	Na ⁺	18,6—39,0	19,9—55,9	48,3—66,2	30,0—66,6	20,2—24,8	23,2—34,5	20,0—24,2
		K ⁺	3,2—5,1	1,2—2,7	1,6—2,7	1,0—2,3	1,0—1,3	1,2—1,3	1,3—2,0
13—16	вдхр 4	Na ⁺	23,0—43,4	30,0—45,6	48,3—61,6	51,7—73,1	23,7—36,8	24,6—36,8	23,0—29,8
		K ⁺	3,2—4,2	1,5—2,7	2,0—2,7	1,8—3,1	1,0—3,3	1,2—1,6	1,3—1,9
17—20	вдхр 5	Na ⁺	49,2—50,8	48,3—49,5	51,3—52,9	60,3—74,2	33,4—40,3	28,7—34,5	30,4—31,7
		K ⁺	2,4—3,0	2,3—2,7	2,3—3,1	3,5—4,7	1,4—1,8	1,2—2,0	1,6—2,5
21—24	вдхр 7	Na ⁺	49,0—53,1	45,5—52,9	55,9—70,8	77,6—79,3	35,7—44,4	34,5—37,9	36,8—39,1
		K ⁺	2,5—4,5	2,7—5,0	2,7—3,9	2,3—3,9	1,4—2,0	1,6—2,0	1,6—3,0
25—33	вдхр 8	Na ⁺	86,2—100	81,2—100	81,2—106	97,7—109	51,3—80,5	43,7—73,6	44,8—57,0
		K ⁺	6,9—9,2	4,7—9,2	4,3—6,3	5,3—5,5	2,3—2,9	2,0—2,3	2,0—2,7
34—35		Na ⁺	83,0—99,2	83,5—112	93,8—131	121—135	78,9—85,8	54,0—56,3	48,8—55,0
		K ⁺	6,8—9,0	4,6—7,5	5,5—6,6	5,5—7,6	2,9—3,0	2,7—2,9	2,4—2,9
36—39	вдхр 10	Na ⁺	96,8—11,9	99,6—155	82,8—117	121—138	85,8—101	57,5—62,1	54,7—57,0
		K ⁺	6,9—8,3	5,1—7,0	6,3—7,4	5,9—7,6	3,3—3,9	2,3—2,7	2,3—2,4
40	вдхр 11	Na ⁺	38,5—41,6	41,8—44,4	44,4—132	120—172	165—199	124—130	172
		K ⁺	7,9—8,0	4,1—4,7	4,3—6,3	5,0—6,9	5,5—5,7	5,5—5,6	4,3
41	вдхр Туздинское	Na ⁺	52,7—103	77,7—143	74,0—108	82,6—111	69,9—98,6	65,5—73,6	63,9
		K ⁺	13,5—15,2	5,5—7,8	4,7—5,2	4,9—6,8	3,2—3,8	2,7—3,1	2,4
42	Канал у г. Кара- ганды	Na ⁺	—	—	—	—	99,6—101	65,5—79,3	67,2
		K ⁺	—	—	—	—	3,5—4,3	2,7—3,5	2,4

Примечание. Прочерк — отсутствие данных.

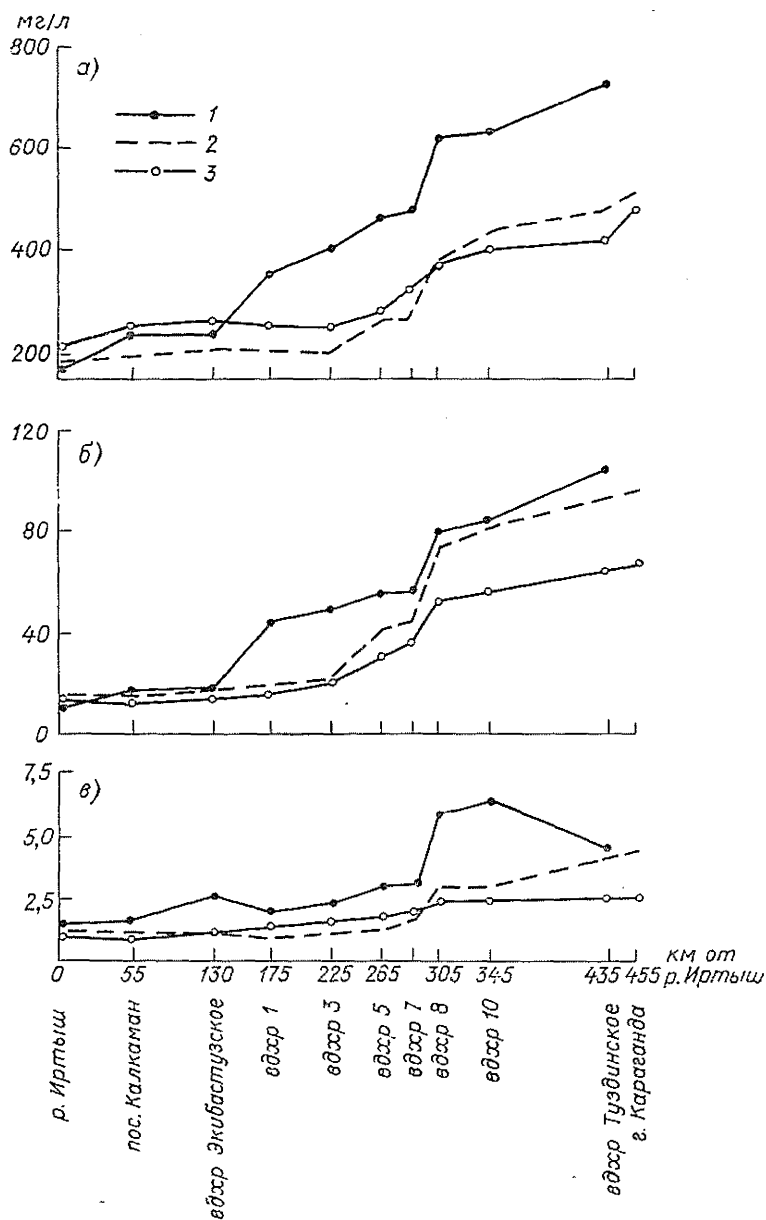


Рис. 23. Изменение минерализации воды (а), концентраций натрия (б) и калия (в) по трассе канала в периоды 3—20/VI 1973 г. (1), 4—31/VIII 1975 г. (2), 11—24/VIII 1978 г. (3).

почвогрунтов на химический состав воды канала, о чем неоднократно упоминалось выше.

В табл. 32 приведены величины минерализации и концентраций Na^+ и K^+ в воде рек Шидерты, Бала-Шидерты и на некоторых других участках канала, подверженных влиянию минерализованных подземных вод. Сравнивая данные рис. 23 и табл. 32, можно заметить, что в пределах водохранилищ 8 и 10 (рис. 23) и на участках, приведенных в табл. 32, более интенсивное возрастание характерно для натрия, концентрация же калия при минерализации от 450 до 4000 мг/л и выше заметно не меняется. Это в известной мере свидетельствует о справедливости сделанных выше выводов о том, что резкое возрастание концентрации щелочных элементов на упомянутых участках канала является результатом влияния подземных вод, содержащих повышенные концентрации натрия, определяющих высокое содержание Na^+ также в воде некоторых рек Северного Казахстана [122].

Таблица 32

Минерализация и концентрация Na^+ и K^+ (мг/л) в воде отдельных участков канала, подверженных влиянию подземных вод

Участок канала	Дата	Минерализация	Na^+	K^+
р. Шидерты у НС 7	29/VI 1977	1087	230	3,5
	13/VIII 1977	1637	373	3,9
	12/VIII 1978	1915	448	3,9
р. Бала-Шидерты, устье	10/IX 1972	1400	299	6,6
	8/VI 1973	1036	176	5,1
р. Бала-Шидерты в 2,0—2,5 км от устья	20/VIII 1975	3515	807	5,6
	29/VI 1977	4354	976	6,7
	19/VIII 1977	4292	952	6,7
	25/VII 1978	3915	898	6,0
	24/VIII 1978	4317	908	5,9
	15/VIII 1973	2776	628	3,9
Нижний бьеф НС 14 (канал 51)	15, IX 1973	2822	590	3,3
Нижний бьеф НС 15 (канал 52)	15/VII 1973	2264	400	3,1
	15/VIII 1973	2301	412	3,5

Согласно полученным данным, в водохранилищах канала, за исключением Туздинского и 11, прослеживается постепенное, из года в год (по мере увеличения водообмена в них) снижение концентрации N^+ и K^+ . В двух упомянутых водохранилищах в соответствии с особенностями режима их эксплуатации изменение концентраций Na^+ и K^+ в многолетнем аспекте имело несколько иной характер. Содержание их снижалось в периоды максимального наполнения водохранилищ и увеличения их проточности, в периоды же значительной сработки этих водохранилищ концентрация щелочных элементов, как и всех главных ионов воды, возрастала.

В конечных участках канала, при подходе его к г. Караганде, содержание в воде рассматриваемых ионов в последние годы заметно снизилось, составляя для Na^+ 65,5—79,3 мг/л и для K^+ 2,4—3,5 мг/л.

Между минерализацией воды и концентрациями Na^+ и K^+ существует определенная связь, которая графически для всей трассы канала в целом представлена на рис. 24. По мере возрастания минерализации воды концентрация натрия, как правило, интенсивно возрастает. Характер связи между Na^+ и общей минерализацией воды сходен с таковой между расчетной суммой $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ и минерализацией, показанной на рис. 20. Связь между этими компонентами выражается прямолинейной зависимостью.

Характер связи концентрации K^+ с минерализацией воды несколько отличается от аналогичной связи Na^+ , хотя четко выраженная тенденция увеличения концентраций K^+ по мере возрастания минерализации сохраняется.

Для количественной оценки связей концентрации Na^+ и K^+ с минерализацией воды полученный материал математически обработан с использованием упомянутых выше способов. Результаты обработки представлены в табл. 33. Из приведенных данных следует, что концентрация натрия по сравнению с калием имеет более тесную связь с минерализацией. Однако значение коэффициентов корреляции между ними не остается постоянным: в водах конечных участков канала оно несколько снижается.

Связь между минерализацией и концентрацией K^+ отличается большей изменчивостью: пределы колебания коэффициента корреляции весьма широки — от 0,15 (в водохранилище 5) до 0,94 (в водохранилище 7). Некоторое различие в характере зависимости между содержанием калия и минерализацией при различных значениях последней также видно и на рис. 24.

Таким образом, концентрация калия при разнообразных по

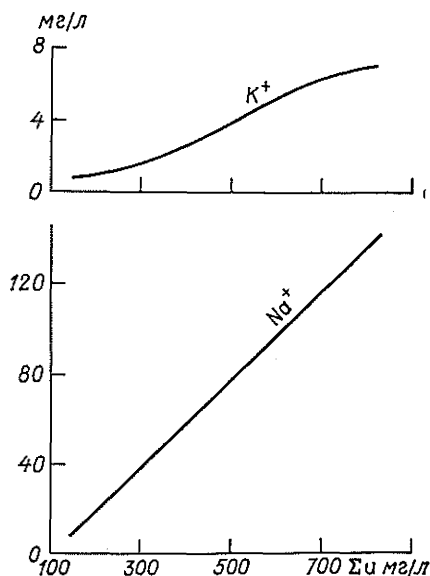


Рис. 24. Характер связей между концентрациями Na^+ и K^+ с минерализацией воды канала (1971—1978 гг.).

Таблица 33

Коэффициент корреляции между минерализацией и содержанием натрия, калия в воде канала и отдельных водохранилищ; уравнение статистической связи и их ошибки

№ п/п	Водный объект	Коэффициент корреляции r	Уравнение связи	Ошибка S
1	р. Белая	0,93	$\Sigma_n = 143,97 + 3,97 \text{ Na}^+$	$\pm 8,02$
2		0,28	$\Sigma_n = 179,26 + 14,05 \text{ K}^+$	$\pm 21,35$
3	вдхр 1	0,97	$\Sigma_n = 154,20 + 3,92 \text{ Na}^+$	$\pm 26,56$
4		0,60	$\Sigma_n = 79,57 + 154,07 \text{ K}^+$	$\pm 102,21$
5	вдхр 5	0,94	$\Sigma_n = 80,99 + 5,97 \text{ Na}^+$	$\pm 82,47$
6		0,15	$\Sigma_n = 367,94 + 10,42 \text{ K}^+$	$\pm 122,71$
7	вдхр 7	0,82	$\Sigma_n = 94,96 + 5,43 \text{ Na}^+$	$\pm 54,34$
8		0,94	$\Sigma_n = 76,15 + 131,53 \text{ K}^+$	$\pm 33,91$
9	вдхр 10	0,79	$\Sigma_n = 475,86 + 1,86 \text{ Na}$	$\pm 106,39$
10		0,51	$\Sigma_n = 506,48 + 29,44 \text{ K}^+$	$\pm 103,19$

трассе канала гидрогеологических, почвенных и других условиях, а также вследствие присущей для этого элемента большей миграционной способности в различных природных объектах подвергается значительно большим колебаниям, чем концентрация натрия.

Среди факторов, влияющих на режим концентрации щелочных металлов, в частности калия, видимо, немаловажную роль играет процесс зарастания водоемов и регенерация калия из отмерших частей растений.

Исследования Н. А. Кудрявцевой [129, 130] показали, что при отмирании водной растительности значительная часть щелочных металлов переходит в воду. Из сухой растительной массы, по результатам опытов, в среднем извлекается: калия 79,2 %, натрия 77,9 % от валового их содержания. Оказывается, водные растения способны концентрировать калий избирательно. Например, в рдесте пронзеннолистном и горце земноводном содержание калия составляло соответственно 41,4 и 54,7 % от суммы кальция, магния, калия и натрия. Упомянутым автором подсчитано, что из абсолютной массы указанных выше растений в воду может перейти в среднем около 2,0 % калия.

Очевидно, что указанный источник пополнения вод щелочными металлами имеет вполне определенное значение для канала Иртыш—Караганда и водохранилищ, которые подвержены интенсивному зарастанию высшей водной растительностью. Кроме того, осаждение и разложение в воде канала большой массы перекати-поля, приносимой из окружающих степных просторов, служат дополнительным источником накопления в канале продуктов распада растительности [14—17, 22].

При исследовании натрия и калия в природных водах несомненный интерес представляют величины соотношения концентраций этих ионов. Большое разнообразие соотношения Na^+ и K^+ в природных объектах обусловлено различной их миграционной

способностью, хотя по величине Кларка они близки (Na^+ — 2,64 %, K^+ — 2,60 %) и источник их поступления, по мнению ряда авторов, один и тот же — изверженные породы [40, 51, 80, 116].

Большая подвижность натрия по сравнению с калием (потенциал ионизации натрия 5,12, калия 4,32) определяется лучшим вымыванием его из осадочных образований, калий же накапливается в продуктах выветривания, легко адсорбируется породами, почвами и их коллоидной частью, что сильно ограничивает его миграцию. В результате, в почвах и породах концентрация калия выше концентрации натрия. Так, по данным Г. С. Коновалова и В. И. Кореневой [116], величина отношения Na^+/K^+ (в ммоль) в глинистых осадках и почвах составляла соответственно 0,65 и 0,78. Аналогичные соотношения получены для серых лесных и подзолистых почв — 0,49—0,56 (в % на сухое вещество) и в среднем для почв СССР — 0,64 [128]. Значение этого соотношения для подпочвенных пород (суглинки, супеси, глинистые пески) колебалось в пределах 0,43—0,58 [188], а в донных отложениях Волжских водохранилищ оно составило 0,39 [130].

Пути миграции Na^+ и K^+ отличаются также в связи с тем, что калий энергично поглощается живыми организмами, особенно растениями. Исследования состава зольных остатков водной растительности [129] показали следующее. В среднем рдест пронзеннолистный содержит Na^+ — 0,63 %, калия — 2,16 %, рдест блестящий соответственно 0,80 и 2,24 %, горец земноводный — 0,17 и 2,07 %. Величина соотношения Na^+/K^+ (в %) составляла для рдестов соответственно 0,28 и 0,35, для горца — 0,07. Такие же, примерно, величины соотношения Na^+/K^+ в зольных остатках (0,08—0,14) оказались характерными для морской полыни.

Однако совершенно иное соотношение установлено в некоторых древесных видах наземной растительности. Так, в зольных остатках саксаула черного, саксаула белого и буюргуна величина соотношения Na^+/K^+ оказалась высокой и составляла соответственно 2,86; 2,13 и 3,05, несмотря на то, что эти растения произрастали в одинаковых с морской полынью условиях на такыровидных солонцеватых почвах Южного Прибалхашья [187]. Таким образом, отдельные виды растений аккумулируют щелочные металлы в различных соотношениях.

Среди природных объектов наибольшие величины соотношения Na^+/K^+ характерны для природных вод. По мере возрастания их минерализации соотношение между указанными ионами увеличивается. Так, в атмосферных осадках на территории Казахстана и в некоторых пунктах Средней Азии величина его (в мг/л) составляла 0,78—3,72 [161]. В речных водах Северной и Южной Америки при средней минерализации 142 и 69 мг/л соотношение Na^+/K^+ равно соответственно 3,57 и 0,75, в реках

Австралии при сумме ионов 59 мг/л оно составляет 1,93 [245].

В морских и океанских водах величина этого соотношения находится в интервале 22,70—24,0 [12], а в морских льдах [212] — в интервале 23,3—36,8.

В работах Г. С. Коновалова и В. И. Кореновой [116, 117, 119, 122] приведены величины соотношения Na^+/K^+ для главных рек Советского Союза. В зависимости от физико-географических условий они изменялись от 0,75 до 58. При этом наибольшие значения характерны для рек Центрального и Северного Казахстана, находящихся в условиях засушливого климата и постоянного влияния минерализованных подземных вод и засоленных почв.

Значительное разнообразие физико-географических условий по трассе канала Иртыш—Караганда и участие в формировании его гидрохимического режима вод различных генетических категорий с различной концентрацией в них Na^+ и K^+ определяют широкие пределы соотношения между ними в воде канала. Полученные нами данные, характеризующие соотношение Na^+ и K^+ в воде р. Иртыша и канала, приведены в табл. 34. Как видно, наибольшие отношения калия (7,5—19,4 %) от суммы натрия и калия характерны для вод р. Иртыш. Вдоль трассы канала процентное отношение калия снижается до 3,1—3,5, а отношение натрия соответственно возрастает. Наибольшие расхождения их процентных отношений характерны для районов канала, более подверженных влиянию подземных вод. В указанных районах при минерализации воды от 1036 до 4354 мг/л концентраций натрия и калия составляют соответственно 176—976 и 3,1—6,7 мг/л (см. табл. 32), при этом содержание калия снижалось до 0,6—2,8 %, а натрия возрастало до 97,2—99,4 % (табл. 35).

Величина отношения Na^+/K^+ (мг/л) в воде р. Иртыша в период исследования находилась в интервале 4,2—12,3, в среднем составляла 7,1 (табл. 34). По трассе канала она постепенно возрастает, составляя в пределах водохранилищ 7—10 в среднем 19,1—19,8. Наиболее высокие величины отношения Na^+/K^+ (от 34 до 160) отмечены на участках трассы канала, подверженных влиянию подземных вод (см. табл. 35).

В 1975 и 1977—1978 гг. в воде конечных участков канала отношение Na^+/K^+ в среднем составляло 16,7. Полученные данные также свидетельствуют о том, что из года в год, по мере становления режима канала, величина отношения Na^+/K^+ постепенно снижалась.

Значительный интерес представляет эмпирический эквивалент ($\Sigma_{\text{Na}^+ + \text{K}^+}$), используемый для расчета суммарной концентрации. Известно, что эмпирические эквиваленты для озерной рапы (23,5) и для пресных вод и водных вытяжек из почв (24,5) впервые определил П. А. Кашинский [103]. Впослед-

Таблица 34

Пределы концентраций, величины отношения и эмпирического эквивалента натрия и калия в воде канала в 1971—1978 гг.

№ станции	Водный объект	Число проб	Na ⁺ ‰	K ⁺ ‰	Na ⁺ /K ⁺ мг/л	ЭNa ⁺ +K ⁺
1	р. Иртыш	31	80,6—92,5 87,6	7,5—19,4 12,4	4,2—12,3 7,1	24,2—26,1 25,0
2	Канал у пос. Калкаман	16	86,6—92,0 90,1	7,0—13,2 9,5	7,6—15,0 9,1	23,6—25,9 24,4
3	вдхр Экибастузское	25	89,5—94,2 91,6	5,8—10,5 8,4	8,5—16,1 10,9	23,9—24,7 24,3
4—8	вдхр 1	190	87,6—96,3 92,9	3,7—12,4 7,1	7,1—26,3 13,1	23,6—25,0 24,1
9—12	вдхр 3	84	87,7—96,8 94,2	3,2—12,3 5,8	6,8—30,2 16,2	23,5—25,1 23,9
13—16	вдхр 4	84	93,4—96,5 94,1	3,5—6,6 5,9	14,2—27,6 16,0	23,5—24,2 23,9
17—20	вдхр 5	60	92,8—96,6 94,2	3,4—7,2 5,8	12,9—28,4 16,2	23,5—24,1 23,9
21—24	вдхр 7	105	90,5—96,9 95,2	3,1—9,9 4,8	9,5—30,9 19,8	23,5—24,7 23,8
25—33	вдхр 8	304	91,6—96,8 94,8	3,2—8,4 5,2	10,9—30,5 18,6	23,5—24,3 23,8
34—35	вдхр 9	51	92,6—96,5 95,0	3,5—7,4 5,0	12,5—27,6 19,1	23,5—24,2 23,8
36—39	вдхр 10	75	92,9—96,3 95,1	3,7—7,1 4,9	13,1—26,0 19,5	23,6—24,1 23,8
40	вдхр 11	17	83,9—96,2 91,1	3,8—16,1 8,9	5,2—34,9 10,2	23,4—25,6 24,4
41	вдхр Туздинское	27	83,0—95,8 93,4	4,2—17,0 6,6	5,4—22,9 14,1	23,7—25,7 24,0
42	Канал у Караганды	15	88,4—96,7 94,1	3,3—11,6 5,9	7,7—28,9 16,7	23,5—24,8 23,9

Примечание. В числителе — пределы, в знаменателе — средние значения.

Таблица 35

Величина отношения и эмпирические эквиваленты натрия и калия на отдельных участках трассы канала

Участок	Na ⁺ ‰	K ⁺ ‰	Na ⁺ /K ⁺ мг/л	ЭNa ⁺ +K ⁺
р. Шидерты у НС 7	98,9—99,1	0,9—1,1	89—111	23,1—23,2
р. Бала-Шидерты, устье	97,2—97,8	2,2—2,8	34—45	23,2—23,4
р. Бала-Шидерты, в 2,0—2,5 км от устья	99,3—99,4	0,6—0,7	140—150	23,1
НС 14 и 15 (каналы 51 и 52)	99,2—99,4	0,6—0,8	118—160	23,1

ствии О. А. Алекин [7, 8] предложил эквивалент, равный 25 для пресных вод и 24 для минерализованных вод.

Позднее получены эмпирические эквиваленты для вод различных регионов и генетических категорий. В работах И. Г. Енаки и А. М. Алмазова [12, 85] для воды морей и эстуарьев эмпирический эквивалент Na^+ и K^+ составил 23,5—23,7, для поверхностных вод Украины: при минерализации до 50 мг/л — 32, от 100 до 500 мг/л — 27, от 500 до 1000 мг/л и свыше 1000 мг/л — 23,5. Г. С. Коновалов и В. И. Коренева [116, 117, 119, 122] установили эквиваленты щелочных металлов для многих главных рек Советского Союза при различных фазах их гидрологического режима. Для рек горных областей эквивалент оказался равным: в паводок 27—28, в межень — 26, для рек степных и полупус-

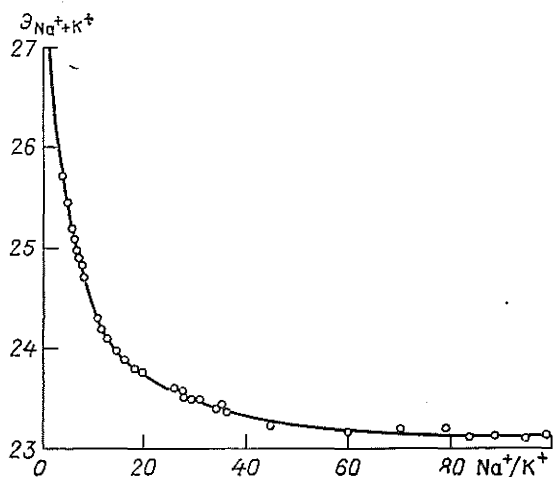


Рис. 25. Изменение эмпирического эквивалента суммы $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ в зависимости от величины соотношения Na^+/K^+ .

тых зон он снижается соответственно до 25—24 и 24—23,5.

Изменение эмпирического эквивалента в зависимости от величины отношения Na^+/K^+ в воде трассы канала графически представлено на рис. 25. Из графика следует, что между этими характеристиками существует довольно строгая зависимость, изображаемая кривой гиперболического вида. При величинах Na^+/K^+ выше 60 значение эквивалента практически не изменяется, остается в пределах 23,2—23,1.

Сравнивая подобные кривые, приведенные другими авторами, можно отметить, что характер зависимости между соотношением Na^+/K^+ и эмпирическим эквивалентом в поверхностных водах различных почвенно-климатических зон может существенно отличаться в зависимости от комплекса условий формиро-

вания химического состава вод. Так, если для вод трассы канала Иртыш—Караганда (рис. 34) и рек различных зон СССР [119] снижение эквивалента происходит до величины отношения между этими элементами, равной 60—70, что в поверхностных водах Украины [85] эквивалент остается практически неизменным уже при величине отношения около 20—25.

Величина эмпирического эквивалента в воде канала Иртыш—Караганда изменялась в довольно широких пределах как по длине его трассы, так и в период формирования режима. В воде р. Иртыша в 1971—1978 гг. она колебалась в пределах 24,2—26,1 (табл. 34) и в среднем составила 25,0. По длине канала эквивалент постепенно снижается до 23,8—23,9. Лишь в водохранилищах 11 и Туздинском, имеющих специфический водный и гидрохимический режим и иные соотношения щелочных металлов, величина его несколько выше — 24,4 и 24,0. На участках канала, где имеет место более активное влияние подземных вод, значение эмпирического эквивалента снижается до 23,2—23,1 (табл. 35).

На основании анализа всех полученных данных по концентрациям Na^+ и K^+ в воде и изучения ряда других характеристик можно определить средние величины $\Sigma_{\text{Na}^+ + \text{K}^+}$, соответствующие определенным значениям минерализации воды. В целом по трассе канала величины эти следующие:

Минерализация, мг/л	до 200	200—300	300—600	600—1000
Эквивалент	25,1	24,4	23,9	23,8

Таким образом, для воды канала при минерализации от 200 до 1000 мг/л осредненные значения эквивалента довольно близки (24,4—23,8). Поэтому для воды канала можно рекомендовать средний эквивалент, равный 24,0, а для р. Иртыша в районе водозабора — 25,0.

Расчеты по оценке допустимых пределов расхождения между суммой Na^+ и K^+ , полученных фотометрическим и расчетным методами и использованием графика, предложенного В. И. Кореневой и Г. С. Коноваловым [121], показали вполне удовлетворительную сходимость этих величин, за исключением единичных случаев.

ГЛАВА 6. БИОГЕННЫЕ И ОРГАНИЧЕСКИЕ ВЕЩЕСТВА

Среди множества компонентов химического состава природных вод особое место занимают биогенные и органические вещества, от содержания и динамики которых зависит качество воды водных объектов, существование и развитие в них живых организмов, а также многие другие вопросы, связанные с использованием воды в народном хозяйстве.

Имеющиеся в литературе сведения по содержанию этих веществ в водах рассматриваемого региона в основном касаются изучения минеральных форм биогенных веществ и перманганатной окисляемости. Небольшое число работ [20, 33, 34, 137] содержит некоторые сведения о бихроматной окисляемости и содержании органического углерода в водах отдельных водоемов Северного Казахстана. В отдельных из них рассмотрены соотношения между компонентами органического вещества воды. В отдельных работах [134, 137] имеются данные о содержании различных минеральных и органических форм азота и фосфора.

Изучение динамики биогенных и органических веществ особое значение имеет для каналов питьевого назначения, так как излишнее количество этих веществ приводит к ухудшению качества воды как в прямом отношении, так и косвенно вследствие многообразных взаимопревращений элементов биолого-биохимического комплекса, выделения промежуточных продуктов распада веществ в условиях усиления процессов эвтрофирования водоемов и т. д. Среди каналов СССР наиболее подробные сведения по режиму биогенных и органических веществ имеются для каналов Украины [59, 60, 82, 113]. Согласно указанным данным, главными факторами формирования режима биогенных и органических веществ в воде являются чрезвычайно интенсивные продукционные процессы в самих каналах и в их донерах.

По каналам, расположенным в других регионах СССР, сведения об этих компонентах малочисленные. Нами в воде канала Иртыш—Караганда исследовались концентрация и ее динамика по всем основным компонентам биогенных и органических веществ. Достаточно подробно изучены соотношения между отдельными элементами органических веществ для выяснения особенностей формирования их режима, качественного состава и степени трансформирования в различных условиях эксплуатации канала. Полученный материал позволяет установить главные

закономерности формирования и динамики органических и биогенных веществ в воде канала.

Следует отметить, что в период первоначального наполнения и эксплуатации канала и водохранилищ на формирование режима рассматриваемых компонентов оказывало влияние множество факторов: содержание их в воде рек Иртыша, Шидерты и ряда мелких водотоков, интенсивность водообмена в водохранилищах, смыв органических и биогенных веществ с залитой территории, разложение растительности в зоне затопления и др. По мере становления режима канала высокую интенсивность приобретали биологические и биохимические процессы в пределах водохранилищ в связи с массовым их зарастанием водной растительностью. Указанное многообразие факторов вызывает большую пестроту концентрации и изменчивость режима рассматриваемых компонентов, а в отдельных случаях существенно затрудняет выделение характерных черт в динамике тех или иных веществ во времени и в пространстве.

В настоящей главе для иллюстрации полученного материала приведены таблицы, показывающие колебания концентраций биогенных и органических веществ для всех участков трассы за весь период исследования. При этом для водохранилищ, на которых находилось несколько станций наблюдений, приведены материалы по всем станциям.

Для более наглядной иллюстрации межгодовых и сезонных изменений концентраций биогенных и органических веществ на рисунках для р. Иртыша и четырех характерных пунктов канала приведены все полученные режимные материалы. Для водохранилищ в этом случае сведения даны лишь по одной станции, расположенной в районе плотины. При наличии неоднородности концентраций веществ по длине канала также приведены соответствующие графики.

6.1. Биогенные вещества

Аммонийный азот. В воде р. Иртыша крайние значения концентрации аммонийного азота составили зимой 0,08—0,33, весной и в начале лета 0,06—0,20, в летне-осенний период 0,04—0,09 мг N/л (табл. 36). Эти данные свидетельствуют о том, что концентрация его в речной воде в целом невысока, но сезонные и межгодовые изменения ее находятся в довольно широких пределах. Об этом свидетельствуют и данные рис. 26, где приведены более подробные сведения для р. Иртыша и некоторых водохранилищ канала. Наиболее высокие содержания отмечались в зимнее время, а наименьшие — в летние периоды.

В головной транзитной части канала режим аммонийного азота в основном сходен с таковым в р. Иртыше, хотя в отдельных случаях, особенно в первые годы заполнения водой этого

Таблица 36

Пределы изменения содержания биогенных веществ в воде р. Иртыша, канала и водохранилищ по сезонам в 1969—1978 гг.
(в числителе — поверхностные, в знаменателе — придонные пробы)

Водный объект	Азот, мг/л			Фосфор минеральный, мгР/л			Si мг/л	Fe мг/л
	NH_4^+	NO_2^-	NO_3^-	общий	растворенный	взвешенный		
Зима (февраль—март)								
р. Иртыш	0,08—0,33	0,001—0,004	0,14—0,34	0,010—0,020	0,004—0,009	0,006—0,011	2,8—3,5	0,04—0,09
Канал у пос. Калкаман	0,16—0,23	0,001—0,003	0,02—0,14	0,011—0,030	0,009—0,010	0,002—0,020	2,6—3,4	0,04—0,10
вдхр Экибастузское	0,04—0,25	0,001—0,003	0,01—0,34	0,011—0,013	0,004—0,009	0,007—0,012	1,7—3,8	0,06—0,09
	0,04—0,39	0,001—0,002	0,01—0,13	0,008—0,017	0,004—0,008	0,004—0,010	1,2—1,6	0,04—0,09
вдхр 1	0,16—0,36	0,001—0,004	0,05—0,16	0,011—0,044	0,008—0,026	0,003—0,020	2,7—2,8	0,02—0,09
	0,08—0,36	0,002—0,003	0,01—0,23	0,008—0,018	0,003—0,010	0,005—0,010	1,2—2,7	0,02—0,11
вдхр 3	0,06—0,36	0,001—0,002	0,01—0,11	0,012—0,021	0,004—0,005	0,007—0,016	1,7—2,8	0,02—0,03
вдхр 4	0,06—0,36	0,001—0,003	0,01—0,07	не опр.	0,001—0,005	не опр.	1,1—1,4	0,03—0,10
вдхр 5	0,04—0,26	0,001—0,002	0,02—0,24	0,011—0,024	0,003—0,005	0,006—0,020	1,4—1,9	0,07—0,13
	0,05—0,36	0,001—0,002	0,02—0,09	0,009—0,028	0,003—0,005	0,006—0,023	1,5—2,3	0,03—0,13
вдхр 7	0,08—0,33	0,002—0,006	0,01—0,11	0,011—0,060	0,004—0,006	0,006—0,054	1,8—2,1	0,05—0,18
	0,04—0,42	0,001—0,004	0,05—0,58	0,006—0,010	0,003—0,008	0,003—0,008	1,8—3,5	0,08—0,23
вдхр 8	0,05—0,46	0,001—0,002	0,01—0,65	0,006—0,015	0,003—0,004	0,003—0,011	1,5—3,1	0,07—0,10
вдхр 10	0,06—0,40	0,002—0,002	0—0,21	0,008—0,018	0,003—0,004	0,003—0,014	1,5—3,7	0,01—0,07
вдхр 11	0,19—0,36	0,001—0,003	0,07—0,14	0,013—0,023	0,003—0,012	0,010—0,011	2,2—5,6	0,06—0,15
Весна—лето (май—июнь)								
р. Иртыш	0,06—0,20	0—0,003	0,02—0,45	0,006—0,064	0,003—0,005	0,003—0,060	3,8—4,9	0,09—0,23
Канал у пос. Калкаман	0,04—0,11	0—0,002	0,03—0,22	0,006—0,050	0,001—0,003	0,005—0,047	3,1—6,8	0,04—0,25
вдхр Экибастузское	0,04—0,21	0—0,003	0—0,23	0,007—0,052	0,001—0,003	0,006—0,048	0,9—4,9	0,01—0,28
	0,03—0,12	0,001—0,003	0,01—0,34	0,005—0,039	0,001—0,004	0,004—0,035	1,4—9,3	0,01—0,23
вдхр 1	0,05—0,11	0,001—0,005	0,01—0,45	0,006—0,050	0,001—0,004	0,005—0,046	1,6—3,8	0,04—0,20
	0,04—0,08	0,001—0,002	0—0,11	0,006—0,012	0,001—0,004	0,004—0,008	1,2—2,7	0,02—0,11
вдхр 3	0,04—0,05	0,001—0,004	0—0,04	0,007—0,015	0,001—0,003	0,006—0,012	1,7—2,8	0,02—0,03
	0,03—0,09	0,001—0,003	0—0,06	0,008—0,016	0,001—0,007	0,007—0,009	1,2—2,9	0,01—0,12
вдхр 4	0,04—0,08	0,001—0,002	0,01—0,02	0,008—0,020	0,001—0,004	0,007—0,016	1,4—2,2	0,04—0,14

вдхр 5	0,05—0,12	0,001—0,003	0—0,05	0,006—0,033	0,003—0,004	0,003—0,030	0,9—4,3	0,01—0,07
	0,08—0,38	0,001—0,003	0,01—0,05	0,036—0,056	0,001—0,004	0,035—0,052	1,6—3,7	0,01—0,09
вдхр 7	0,03—0,08	0—0,006	0,01—0,09	0,012—0,041	0,001—0,010	0,010—0,031	0,9—3,5	0,01—0,08
	0,03—0,07	0,002—0,009	0,01—0,07	0,014—0,043	0,002—0,025	0,012—0,018	1,4—2,5	0,01—0,06
вдхр 8	0,01—0,43	0,001—0,004	0—0,55	0,007—0,031	0,001—0,005	0,004—0,026	1,1—7,8	0,02—0,08
вдхр 9	0,07—0,48	0,001—0,003	0,01—0,46	0,004—0,040	0,003—0,008	0,001—0,032	0,9—2,9	0,04—0,06
	0,01—0,05	0,001—0,003	0,01—0,05	не опр.	0,002—0,003	не опр.	1,1—9,0	0,02—0,14
вдхр 10	0,01—0,45	0—0,003	0—0,07	0,010—0,034	0,001—0,004	0,009—0,030	1,3—3,1	0,01—0,14
	0,02—0,34	0—0,004	0—0,07	0,012—0,038	0,002—0,004	0,010—0,034	1,1—2,2	0,01—0,18
вдхр 11	0,06—0,25	0,001—0,010	0,01—0,56	0,011—0,016	0—0,003	0,010—0,013	1,4—6,5	0,01—0,18
вдхр Туздинское	0,09—0,14	0,002—0,004	0,01—0,11	0,010—0,032	0,001—0,010	0,009—0,022	1,7—2,6	0,02—0,25
Канал у г. Караганды	0,05—0,09	0,001—0,003	0—0,01	0,015—0,028	0,002—0,010	0,013—0,018	0,9—1,4	0,02—0,15

Лето—осень (август—сентябрь)

р. Иртыш	0,04—0,09	0—0,006	0—0,41	0,012—0,037	0,001—0,006	0,011—0,031	2,1—4,4	0,02—0,20
Канал у пос. Калкаман	0,03—0,24	0—0,004	0—0,38	0,011—0,025	0—0,006	0,011—0,019	1,3—7,8	0,01—0,21
вдхр Экибастузское	0,04—0,25	0—0,004	0—0,11	0,008—0,035	0—0,004	0,008—0,031	1,1—3,0	0,01—0,20
	0,01—0,35	0,001—0,010	0—0,23	0,010—0,047	0,001—0,012	0,009—0,035	0,8—4,2	0,01—0,15
вдхр 1	0,04—0,49	0,001—0,064	0,01—0,45	0,012—0,120	0,001—0,107	0,011—0,013	1,3—3,6	0,01—0,18
	0,01—0,12	0,001—0,006	0—0,11	0,015—0,033	0,001—0,004	0,014—0,029	0,9—3,9	0,02—0,14
вдхр 3	0,01—0,16	0,001—0,003	0—0,01	0,018—0,020	0,001—0,008	0,019—0,012	1,6—2,8	0,04—0,07
	0,01—0,15	0,001—0,004	0—0,11	0,008—0,023	0,001—0,004	0,007—0,019	1,3—3,4	0,01—0,12
вдхр 4	0,01—0,15	0,001—0,008	0—0,07	0,008—0,030	0,001—0,004	0,007—0,026	1,5—2,4	0,04—0,14
	0,02—0,13	0,001—0,002	0—0,01	0,011—0,029	0,001—0,005	0,010—0,024	0,9—3,5	0,02—0,06
вдхр 5	0,01—0,05	0,002—0,023	0,01—0,11	0,010—0,024	0,001—0,008	0,009—0,016	2,4—3,2	0,04—0,06
	0,04—0,29	0—0,006	0,01—0,09	0,010—0,037	0,001—0,010	0,009—0,027	0,8—3,5	0,01—0,08
вдхр 7	0,03—0,37	0,002—0,007	0,01—0,07	0,011—0,037	0,002—0,025	0,009—0,012	1,4—2,5	0,01—0,06
	0,04—0,28	0—0,030	0—0,10	0,005—0,050	0,001—0,005	0,004—0,045	0,9—4,4	0,01—0,10
вдхр 8	0,04—0,25	0—0,034	0,01—0,10	0,018—0,055	0,001—0,008	0,017—0,047	1,6—4,5	0,01—0,15
вдхр 9	0,04—0,40	0—0,010	0,01—0,07	не опр.	0,001—0,006	не опр.	0,9—6,7	0,04—0,15
вдхр 10	0,02—0,30	0,001—0,002	0—0,07	0,010—0,048	0,001—0,005	0,009—0,043	1,4—4,8	0,02—0,14
вдхр 11	0,03—0,11	0—0,013	0—0,11	0,006—0,030	0,001—0,005	0,005—0,025	1,5—6,9	0,01—0,15
вдхр Туздинское	0,04—0,21	0—0,001	нет	0,021—0,067	0,001—0,002	0,020—0,065	2,9—4,3	0,02—0,14
Канал у г. Караганды	0,02—0,04	0—0,002	0—0,01	0,015—0,029	0,001—0,007	0,014—0,022	1,5—3,0	0,01—0,12

участка, концентрация его здесь была несколько выше. Далее по трассе канала в пределах его многочисленных водохранилищ режим аммонийного азота подвергается существенным изменениям в зависимости от степени воздействия различных факторов (рис. 26).

Согласно приведенным выше иллюстрациям, следует указать на довольно широкий размах варьирования концентрации аммонийного азота в воде канала на всем его протяжении. Нетрудно заметить, что резкие колебания и повышенные содержания аммонийного азота отмечались в течение 2—3 лет после заполнения канала и его водохранилищ. Это свидетельствует о том, что в начальные периоды существования канала решающая роль в

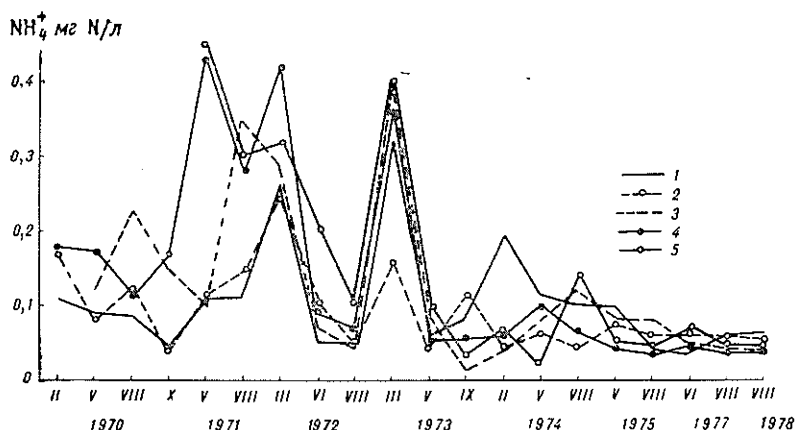


Рис. 26. Изменение содержания аммонийного азота в воде канала в 1970—1978 гг.

1 — р. Иртыш, 2 — вдхр Экибастузское, 3 — вдхр 1, 4 — вдхр 3, 5 — вдхр 10.

формировании режима рассматриваемого ингредиента принадлежала смыву и биохимическому разложению почв и растительности залитой территории. Кроме того, как было показано в главе 2, в первые годы эксплуатации проточность канала и его водохранилищ была низка и на отдельных участках продолжительное время он имел застойный характер.

В последующие годы, благодаря установлению постоянной проточности и некоторой стабилизации уровня режима канала, а также с прекращением влияния залитой территории, содержание аммонийного азота заметно снизилось и сократились межгодовые и сезонные пределы его колебания. Наибольшие его значения в последние годы на всем протяжении канала не достигали 0,10 мгN/л. Наряду с указанными факторами, уменьшение концентрации в последние годы, видимо, обуславливается потреблением его водной растительностью в периоды вегетации.

Из приведенных данных следует, что достаточно резкие сезонные колебания концентрации аммонийного азота также оказались характерными для периода первоначального наполнения канала и водохранилищ. Повышение его концентрации на всем протяжении канала наблюдалось зимой 1972 и 1973 гг., т. е. в первые два года после наполнения его отдельных участков. При этом аммонийный азот в воде канала в основном присутствовал в количестве: у поверхности от 0,25 до 0,42 мгN/л, у дна — от 0,36 до 0,46 мгN/л.

В вегетационный период содержание рассматриваемого компонента в воде заметно снижается, ограничиваясь в подавляющем большинстве случаев пределами значений 0,01—0,15 мгN/л. Довольно высокие его значения (от 0,25—0,40 мгN/л и выше) в воде отдельных водохранилищ наблюдались в первые годы наполнения и эксплуатации канала в результате поступления азотсодержащих соединений из залитых угодий.

Уменьшение количества аммонийного азота в летний период, естественно, следует рассматривать как результат потребления его водной растительностью, интенсивно развивающейся во всех водохранилищах канала. Кроме того, создание в водохранилищах в летний период благоприятных аэрационных, температурных и других условий, по-видимому, приводит к заметному ускорению бактериального окисления аммонийных соединений в нитраты и нитриты. Воздействием этих двух основных факторов, вероятно, можно объяснить резкое снижение концентрации аммонийного азота в летнее время.

Содержание аммонийного азота в поверхностных и придонных горизонтах воды водохранилищ не подвергалось заметным различиям, о чем свидетельствуют данные по всем рассматриваемым сезонам. Не обнаруживается также каких-либо существенных изменений его концентраций и по длине канала.

Нитриты. Вода р. Иртыша и канала отличается невысоким содержанием нитритного азота. За весь период исследования в речной воде количество его редко достигало 0,004—0,006 мгN/л, летом иногда он вообще отсутствовал (рис. 27, табл. 36).

На трассе канала под влиянием различного рода факторов режим его подвергается заметным изменениям. Подобно аммонийному азоту, наиболее высокие концентрации нитритов наблюдались в первые годы существования канала и отдельных водохранилищ, когда процессы деструкции органических веществ залитого ложа были наиболее интенсивны. При этом максимальные ее значения достигали в поверхностных горизонтах воды 0,010—0,013 мгN/л (в единичных случаях 0,030 мгN/л), в придонных 0,023—0,064 мгN/л. В последние годы количество нитритов в воде по всей трассе канала не превышало 0,002 мгN/л, за исключением проб, собранных в августе 1975 г., когда их содержание в воде р. Иртыша, Экибастузского и первого водохранилищ резко возросло.

Следует также заметить, что повышение концентрации нитритов до указанных значений или полное их отсутствие, т. е. большой диапазон колебаний, имел место в основном только в летне-осенний период. Кроме того, именно в этот период происходит заметное возрастание их количества в придонных горизонтах воды, где в большинстве случаев их накапливается заметно больше, чем в поверхностных.

Зимой, весной и в начале лета содержание нитритов редко превышает 0,005—0,006 мгN/л, оставаясь в большинстве случаев

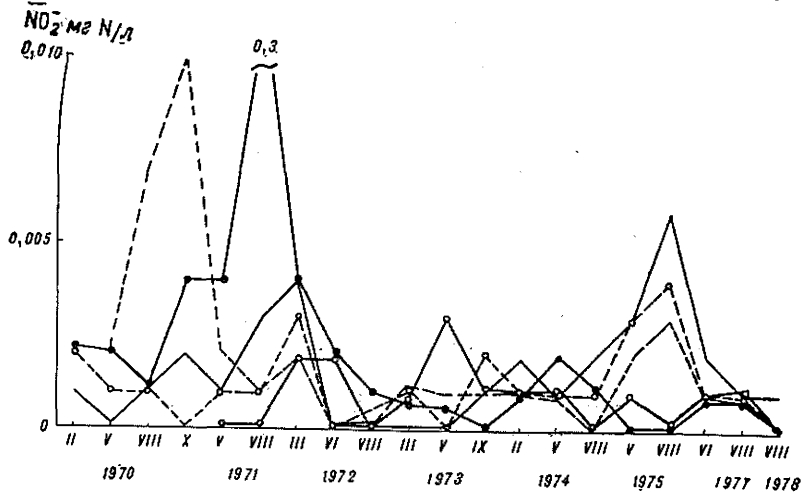


Рис. 27. Изменение содержания нитратного азота в воде канала в 1970—1978 гг.

Усл. обозн. см. на рис. 26.

в интервале 0,001—0,003 мгN/л. В эти периоды концентрация нитритов более равномерна и в отдельных слоях воды.

Таким образом, анализ полученного материала свидетельствует о том, что режим нитритов в воде канала в период его наполнения и эксплуатации отличался большой изменчивостью как во времени, так и в толще водной массы наиболее глубоководных районов водохранилищ. Наряду с влиянием залитой территории, большая динамичность концентрации нитритного азота, вероятно, обуславливается особенностями внутриводоемных процессов. Если часто наблюдаемое в летнее время отсутствие нитритов в поверхностных слоях воды объясняется интенсивным потреблением их фитопланктоном и отчасти окислением до нитратов, то достаточно резкое повышение их количества в придонных слоях иногда и на мелководных участках водохранилищ можно рассматривать как результат процессов, идущих в противоположном направлении и, в условиях восстановительной среды при наличии в водохранилищах соответствующих термических, кислородных и других условий.

Нитраты. В воде р. Иртыша содержание нитратного азота колеблется в широких пределах: зимой 0,14—0,34, весной — 0,02—0,45, летом 0,0—0,41 мгN/л (табл. 36, рис. 28). Большая изменчивость и резкие временные возрастания содержания нитратов в воде среднего течения р. Иртыша подтверждается и рядом опубликованных работ [62, 175, 177].

Повышение концентрации в воде р. Иртыша наблюдается зимой и довольно часто весной, а в последние годы достаточно высокие ее значения (0,10—0,40 мгN/л) отмечены и в летний период. В подавляющем большинстве случаев увеличение содержания нитратов в воде р. Иртыша влечет за собой повышение его в воде головной транзитной части канала, распростра-

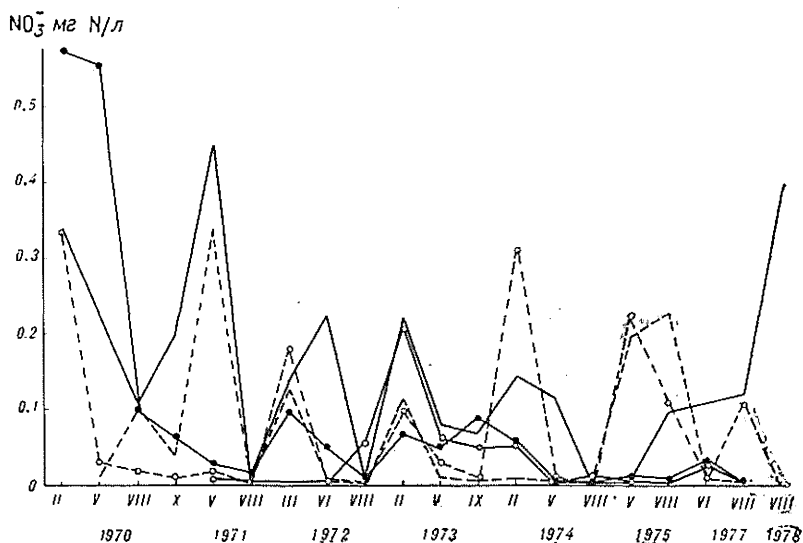


Рис. 28. Изменение содержания нитратного азота в воде канала в 1970—1978 гг.

Усл. обозн. см. на рис. 26.

няясь часто до Экибастузского и первого водохранилища Шидертинского каскада. В водохранилищах 8, 9, 10 и других, расположенных ближе к конечным участкам канала, влияние речной воды сказывается значительно меньше, и поэтому режим нитратов в них часто становится иным.

Как видно из приведенных данных, резкие колебания содержания нитратного азота в воде р. Иртыша в головной части канала, а также в водохранилищах Экибастузском и 1 наблюдались почти в течение всего периода исследования. В отличие от них, в водохранилищах конечных участков канала повышение в воде концентрации нитратов имело место лишь в первые годы

их существования, начиная же с 1974 г. в весенне-летние периоды содержание нитратов не превышало 0,05 мгN/л. Следовательно, в этих водохранилищах существенная роль в формировании режима нитратного азота принадлежит потреблению его водной растительностью. Аналогичный режим нитратов оказался характерным и для водохранилища II, аккумулирующего речной сток с верховьев р. Шидерты.

Концентрация нитратного азота в отдельных горизонтах водной массы водохранилищ существенно не различается. В большинстве случаев она несколько выше у дна, чем в поверхностных горизонтах воды.

Фосфор. В настоящем разделе рассмотрен режим общего минерального фосфора и его составляющих — взвешенного и растворенного. В воде р. Иртыша концентрация общего минерального фосфора колебалась в интервале: зимой 0,010—0,020, весной и в начале лета — 0,006—0,064, в летне-осенний период — 0,012—0,037 мгP/л. Крайние его значения в поверхностных горизонтах воды канала и водохранилищ в эти же сезоны составили соответственно 0,006—0,030; 0,004—0,052 и 0,005—0,067 мгP/л. Достаточно большая изменчивость характерна также для взвешенной и растворенной форм фосфора (табл. 36). Как видно, содержание общего, а также взвешенного и растворенного фосфора в воде канала и водохранилищ изменяется в более широком интервале, чем в воде р. Иртыша. Это вызвано созданием в канале и водохранилищах ряда специфических условий, отличных от режима реки. К ним, в частности, относятся, с одной стороны, более интенсивное потребление фосфора развивающейся в водохранилищах водной растительностью, с другой — пополнение его запасов за счет минерализации органических веществ, образующихся в самих водоемах и вносимых с поверхности местных водосборов во время весеннего снеготаяния.

В отношении изменения во времени на основе данных рис. 29 следует отметить, что характер внутригодовых колебаний в содержании общего и взвешенного минерального фосфора весьма аналогичен. Это свойственно как для воды канала на всем его протяжении, так и для р. Иртыша. Для этих компонентов более широкий диапазон колебаний и наиболее высокие концентрации обнаруживаются в вегетационный период. Причем в течение всего этого периода как в воде р. Иртыша, так и канала не удается четко проследить определенных сроков достижения их максимальных значений, хотя в большинстве случаев увеличение их концентраций наблюдалось в августе и сентябре. Уменьшение содержания взвешенного фосфора и соответственно общего, так как последний состоит в основном из взвешенного, как это и следовало ожидать, происходит зимой в подледной воде, когда в условиях отсутствия ветрового перемешивания и замедленного водообмена воды в канале происходит седиментация взвешенных веществ.

Для минерального растворенного фосфора сезонная динамика заметно отличается от взвешенного. Максимальные его концентрации приурочены к зимнему периоду, когда сильно замедлено его биологическое потребление, наряду с чем проис-

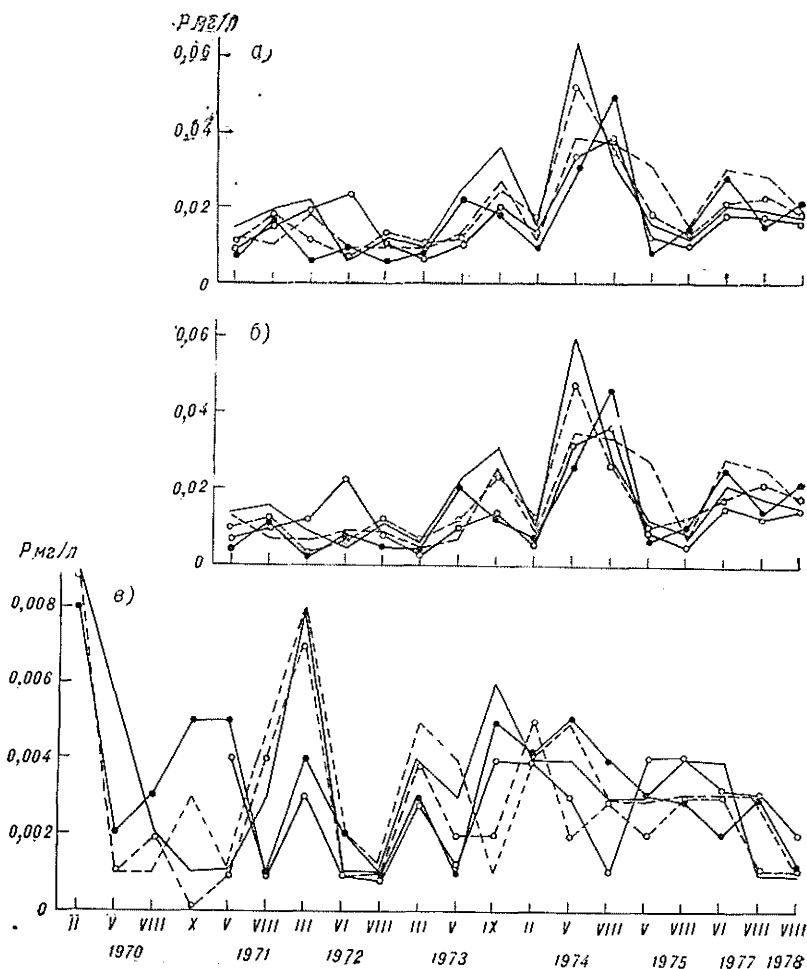


Рис. 29. Изменение содержания отдельных форм минерального фосфора в воде канала в 1970—1978 гг.

Усл. обозн. см. на рис. 26.

ходит накопление за счет регенерации органических веществ; наименьшие концентрации чаще всего наблюдаются в первой половине лета.

Анализ достаточно большого числа проб воды, отобранных в придонных горизонтах водохранилищ, показывает высокую изменчивость концентрации минеральных форм фосфора и по вертикали. Крайние ее значения в придонной воде за все сезоны составляли (в мгР/л): для растворенного фосфора 0,001—0,026, взвешенного — 0,001—0,054 и общего — 0,004—0,060. Лишь в августе 1974 г. у дна воды водохранилища 1 на глубине 23,5 м содержание общего минерального фосфора составило 0,120 мгР/л, растворенного — 0,107 мгР/л.

Содержание взвешенного и общего фосфора, за исключением лишь единичных случаев, в придонных горизонтах воды водохранилищ выше, чем в поверхностном. Режим растворенного фосфора по вертикали несколько иной. Зимой и весной довольно часто он одинаков по глубинам и выше у поверхности, а в конце лета и осенью, как и предыдущие формы, растворенный фосфор больше накапливается в придонном слое воды.

Возникновение глубинной стратификации фосфора наблюдается в водохранилищах Днепровского и Волжского каскадов [11, 77, 88]. Главной причиной, вызывающей это явление в водохранилищах канала Иртыш—Караганда, как и в упомянутых водоемах, является накопление фосфатов в придонных горизонтах воды за счет минерализации остатков отмершего планктона. Кроме того, появление наиболее высоких концентраций общего минерального фосфора (до 0,120 мгР/л), как это имело место летом 1974 г. в придонном горизонте водохранилища 1, видимо, объясняется десорбцией фосфора из донных отложений в условиях, близких к анаэробным. В параллельно отобранной пробе придонной воды концентрация кислорода составляла лишь 1,0 мг/л, $pH = 7,1$. Причем из указанного выше общего количества минерального фосфора (0,120 мг Р/л) 80 % составила растворенная форма. По-видимому, это результат создания в придонных горизонтах именно таких условий, при которых основная масса фосфатов может находиться в растворенном состоянии.

Таким образом, в воде канала и водохранилищ на режим минерального фосфора решающее влияние оказывают: иртышская вода, потребление фосфора водной флорой, процессы регенерации органического вещества растительного и животного происхождения. Это подтверждается следующими соображениями.

В водах р. Иртыша и канала часто наблюдается синхронное возрастание концентрации общего и взвешенного минерального фосфора. Это дает основание считать, что таким путем в систему канала из р. Иртыша поступает главным образом взвешенный минеральный фосфор. На рис. 29 нетрудно заметить, что в подавляющем большинстве случаев концентрация взвешенного, а соответственно и общего минерального фосфора в воде Экибастузского и первого водохранилищ, расположенных

ближе к головной части канала, заметно выше, чем в водах последующих водохранилищ и участков канала. Это вполне согласуется с материалами, приведенными в главе 4, где было показано, что именно вода упомянутых водохранилищ отличается наиболее высоким содержанием взвешенных веществ. В этих водоемах также происходит осаждение основной массы взвешенных веществ, влекомых водным потоком в пределах головного транзитного участка канала.

Кроме того, вполне вероятно и некоторое дополнительное поступление взвешенного фосфора в воду в результате размыва откосов канала и берегов водохранилищ во время интенсивной перекачки воды и ветровых волнений в водохранилищах.

Следствием влияния минерализации органического вещества на динамику минерального фосфора является увеличение его концентрации в воде канала в летне-осенний период, а также накопление его в придонных горизонтах воды во все сезоны года.

Известно, что пополнение запаса минерального фосфора за счет регенерации органического вещества для евтрофных и мезотрофных водоемов является решающим фактором его режима. Это явление характерно для многих крупных и малых водохранилищ Советского Союза [11, 77, 88, 134, 135, 178].

Согласно данным Б. А. Скопинцева [192], одним из главных условий, ускоряющих оборачиваемость фосфора (фосфатификации), является температура воды. Повышение температуры воды в водохранилищах канала в летний период до 23—24 °С и выше создает благоприятные условия для интенсивного протекания указанного процесса.

Согласно литературным данным [50, 66], за 4—5 суток происходит полное обращение фосфора в водоемах за счет регенерации органического вещества. Опыты А. А. Былинкиной [46] показали, что в водохранилищах Верхней Волги скорость оборота фосфатов составляла от 0,2 до 22,2 мкг Р/л в час, значительно изменяясь в зависимости от температурных условий и концентрации в воде фосфатов. Время полного оборота фосфора в зависимости от ряда условий изменялось от 1 ч до 4,7 суток.

На основе анализа режима минерального фосфора следует отметить, что количество фосфора, которое образуется при регенерации органического вещества, превышает потребление его водной растительностью, благодаря чему общее содержание фосфора в воде канала остается достаточно высоким. Значительное уменьшение концентрации характерно летом лишь для растворенной формы минерального фосфора.

Определенный интерес представляют величины соотношения отдельных форм минерального фосфора к его сумме. Из приведенного выше материала было видно, что основную часть общего минерального фосфора составляет взвешенная форма. Од-

нако по глубинам водохранилищ и сезонам года величина этого соотношения заметно меняется.

Из табл. 37, где приведены осредненные данные соотношений, прежде всего следует, что во все сезоны года в придонных горизонтах воды растворенного фосфора значительно больше, чем в поверхностных, что является следствием создания у дна благоприятных условий для существования фосфора в растворенной форме. Содержание взвешенного фосфора, наоборот, ко дну убывает. Зимой содержание растворенного фосфора во всей толще воды в 2 раза выше, чем в вегетационный период. Соответственно у поверхности содержание взвешенного фосфора значительно выше, чем у дна, особенно в вегетационный период (84—85 %).

Таблица 37

Среднее содержание отдельных форм минерального фосфора и их соотношение в воде канала

Горизонт	Общий		Растворенный		Взвешенный	
	мг/л	%	мг/л	%	мг/л	%
Зима (февраль—март)						
У поверхности	0,016	100	0,006	31	0,010	69
У дна	0,013	100	0,005	38	0,008	62
Весна—лето (май—июнь)						
У поверхности	0,019	100	0,003	16	0,016	84
У дна	0,022	100	0,006	27	0,016	73
Лето—осень (август—сентябрь)						
У поверхности	0,020	100	0,003	15	0,017	85
У дна	0,030	100	0,010	33	0,020	67

Величина отношения $\frac{P_{\text{раст}}}{P_{\text{взв}}}$ в воде канала в среднем составила зимой у поверхности воды 0,6, у дна 0,5, весной соответственно 0,2 и 0,4, летом и осенью 0,2 и 0,5.

Кремний. Концентрация кремния в воде р. Иртыша и канала в целом невысокая. В составе речной воды кремний присутствовал в следующих количествах (в мг/л): зимой — 2,8—3,5, весной и в начале лета — 3,8—4,9, в летне-осенний период — 2,1—4,4. В воде канала и водохранилищ содержание его составляло соответственно 1,1—5,6; 0,9—9,0 и 0,8—7,0 мг/л (табл. 36).

Из приведенных данных следует, что в воде р. Иртыша содержание кремния не подвергается большим изменениям. Однако в канале и в водохранилищах благодаря созданию специфического водного, термического, биологического и гидрохи-

мического режима диапазон колебания его концентрации значительно увеличивается.

В сезонном аспекте возрастание концентрации кремния в речной воде в основном происходит весной, а снижение чаще всего зимой, иногда летом. Для канала и его водохранилищ сезонная динамика выражена очень нечетко (рис. 30). Каких-либо явных закономерностей трудно обнаружить и в вертикальном разделении кремния в толще воды.

Известно, что основными условиями, регулирующими режим кремния в водах суши, являются водный режим водоемов (скорости течения, степень аэрозийных и абразийных процессов), потребление кремния водной флорой, особенно диатомовыми водорослями, регенерацией его из остатков отмершей расти-

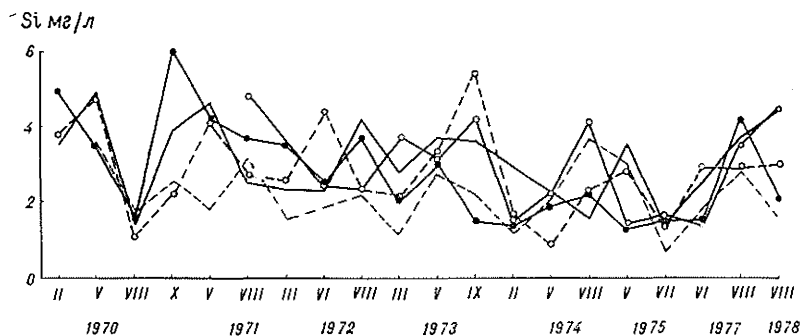


Рис. 30. Изменение содержания кремния в воде канала в 1970—1978 гг.
Усл. обозн. см. на рис. 26.

тельности, водных животных и др. Эти же факторы в основном принимают участие в формировании режима кремния в воде канала и водохранилищ.

Однако в условиях каналов, в формировании водного, биологического и гидрохимического режима которых сочетается влияние разнообразных естественных и искусственных факторов, вполне объяснимо отсутствие в сезонной динамике отдельных компонентов определенных закономерностей, как это в частности, наблюдается для кремния. Это, видимо, обуславливается различной степенью воздействия на состав воды в каждом конкретном случае разнообразных факторов, накладыванием эффекта многих процессов, действующих часто в противоположных направлениях и т. д.

Вместе с тем в изменении концентраций кремния вдоль трассы канала обнаруживается некоторая особенность. Содержание его от р. Иртыша до водохранилища 7 имеет тенденцию к снижению. Однако в пределах водохранилища 8 в конце лета и осенью оно заметно возрастает, оставаясь повышенным на последующих участках канала. Это, видимо, обусловлено сравни-

Таблица 38

Пределы изменения величин отдельных показателей органических веществ в воде р. Иртыша, канала и водохранилищ в 1969—1978 гг.

Водный объект	Окисляемость, мгО/л		Органический углерод, мг/л (C _{орг})	Органический азот, мг/л (N _{орг})	Органический фосфор, мг/л (P _{орг})	Цветность, град.
	перманганатная (ПО)	бихроматная (БО)				
Зима (февраль—март)						
р. Иртыш	3,0—5,0	15,4—21,3	5,8—8,0	0,26—1,37	0,023—0,051	8—10
Канал — пос. Калкаман	3,9—5,6	13,8—27,5	5,2—10,3	0,26—1,43	0,026—0,079	8—10
вдхр Экибастузское	3,9—8,5	9,0—74,1	3,4—27,8	0,36—2,29	0,046—0,096	8—20
вдхр 1	4,5—6,7	12,4—54,3	4,6—20,4	0,80—4,28	0,030—0,152	8—20
вдхр 1; у дна	6,4—7,8	51,7—109	19,4—40,9	0,27—1,20	0,055—0,063	8—20
вдхр 3	4,7—7,9	17,6—31,9	6,6—12,0	0,41—3,03	0,037—0,068	8—20
вдхр 4	4,6—7,6	23,0—40,3	8,6—15,1	0,35—3,23	0,040—0,064	10—20
вдхр 5	6,8—8,9	44,8—47,0	16,8—17,6	0,40—3,43	0,044—0,072	10—35
вдхр 7	6,4—11,8	24,2—74,1	9,0—27,8	0,27—2,04	0,028—0,086	12—25
вдхр 7; у дна	5,8—9,9	22,2—48,7	8,3—18,3	0,55—3,95	0,030—0,079	10—25
вдхр 8	5,6—10,8	39,5—80,3	14,8—30,1	0,42—3,11	0,054—0,085	10—25
вдхр 8; у дна	10,6—11,5	45,6—52,5	17,1—20,0	0,47—0,68	0,055—0,068	15—20
вдхр 9	5,8—10,5	30,6—50,1	11,5—18,8	0,50—3,93	0,060—0,080	10—25
вдхр 10	6,3—11,4	32,0—49,1	12,0—18,4	1,20—4,70	0,045—0,094	20—30
вдхр 11	6,8—8,9	24,3—38,3	9,1—14,4	0,60—1,56	0,062—0,063	15—25
Весна — лето (май—июнь)						
р. Иртыш	2,7—9,5	10,2—27,4	3,8—10,3	0,50—2,20	0,040—0,068	8—25
Канал у пос. Калкаман	3,6—10,6	13,6—26,6	5,1—10,0	0,50—1,30	0,050—0,140	8—20
вдхр Экибастузское	4,1—9,4	13,6—61,7	5,1—23,1	0,45—4,34	0,047—0,110	10—20
вдхр 1	3,8—10,4	10,5—119	3,9—44,6	0,30—4,91	0,030—0,261	10—25
вдхр 1; у дна	2,5—6,2	19,8—38,3	7,4—14,4	0,44—3,14	0,042—0,138	10—20
вдхр 3	3,3—9,4	16,0—44,2	6,0—16,6	0,64—3,80	0,039—0,095	10—25
вдхр 4	3,8—9,7	17,3—47,8	6,5—17,9	0,40—3,75	0,041—0,130	8—30
вдхр 5	4,4—7,5	24,7—38,7	9,3—14,5	0,38—3,60	0,028—0,125	8—20
вдхр 7	4,0—10,4	10,5—63,9	5,1—24,0	0,31—3,42	0,031—0,120	10—25
вдхр 7; у дна	5,7—7,7	18,5—63,9	6,9—24,0	0,30—3,42	0,052—0,088	10—25
вдхр 8	4,5—15,2	21,0—135	7,9—50,6	1,21—4,70	0,030—0,114	10—35
вдхр 8; у дна	6,1—12,0	24,7—95,3	9,3—35,7	1,42—3,81	0,043—0,107	15—40
вдхр 9	4,2—11,0	29,0—99,5	10,9—37,3	0,84—3,53	0,030—0,098	10—40
вдхр 10	4,2—11,0	28,7—99,7	10,7—37,4	0,94—4,25	0,036—0,115	10—30
вдхр 11	7,6—10,2	24,7—104	9,3—39,0	1,03—3,73	0,036—0,098	10—20
вдхр Туздинское	8,4—10,6	41,8—87,7	15,7—32,9	1,10—4,16	0,049—0,090	10—30
Канал у г. Караганды	6,7—11,4	50,1—97,2	18,8—36,4	1,82—3,24	0,049—0,056	15—25
Лето—осень (август—сентябрь)						
р. Иртыш	4,0—5,1	9,4—42,0	3,5—15,8	0,92—4,40	0,028—0,061	10—15
Канал у пос. Калкаман	3,7—7,1	14,1—38,1	5,3—14,3	1,01—3,12	0,029—0,070	8—20
вдхр Экибастузское	4,2—9,5	16,5—35,8	6,2—13,4	0,61—3,07	0,037—0,091	10—20
вдхр 1	3,0—9,6	11,7—45,0	4,4—16,9	0,43—4,26	0,035—0,147	10—20

Водный объект	Окисляемость, мгО/л		Органический углерод, мг/л (C _{орг})	Органический азот, мг/л (N _{орг})	Органический фосфор, мг/л (P _{орг})	Цветность, град.
	перманганатная (ПО)	бихроматная (БО)				
вдхр 1; у дна	3,6—7,7	12,7—38,4	4,8—14,4	1,01—6,11	0,042—0,131	10—45
вдхр 3	3,2—10,2	19,3—27,5	7,2—10,3	1,51—3,90	0,035—0,073	10—35
вдхр 4	3,5—7,8	15,4—39,4	5,8—14,8	0,60—0,61	0,041—0,041	10—25
вдхр 5	4,6—9,4	16,8—48,0	6,3—18,0	0,73—2,83	0,036—0,089	10—25
вдхр 7	4,3—11,8	13,7—90,8	5,1—34,0	1,00—3,01	0,074—0,084	10—30
вдхр 7; у дна	9,4—11,8	14,9—48,0	5,6—18,0	1,81—2,95	0,037—0,152	10—25
вдхр 8	5,4—13,9	13,1—107	4,9—40,1	0,84—4,61	0,047—0,146	10—45
вдхр 8; у дна	7,0—8,9	20,0—102	7,5—38,2	3,69—9,91	0,030—0,090	15—35
вдхр 9	6,5—12,8	24,0—65,0	9,0—24,4	1,90—4,50	0,040—0,118	15—40
вдхр 10	5,3—9,2	38,3—102	14,4—38,2	1,70—3,42	0,042—0,108	15—40
вдхр 11	5,7—10,6	43,5—71,0	16,8—26,6	0,61—4,35	0,034—0,110	15—35
вдхр Туздинское	7,7—14,1	45,0—61,7	16,9—23,1	1,19—2,20	0,011—0,096	15—30
Канал у г. Ка-раганды	6,6—10,2	32,0—44,0	12,0—26,5	1,81—3,64	0,066—0,083	15—30

тенденция уменьшения ее из года в год, т. е. по мере формирования режима канала и стабилизации его проточности, хотя в отдельных водохранилищах и в последние годы в конце летнего периода происходит заметное возрастание перманганатной окисляемости.

Одной из характерных особенностей режима перманганатной окисляемости и других показателей органического вещества воды является большая изменчивость его по длине трассы канала. Как следует из рис. 33, на участке от головного водозабора до водохранилища 5 (265-й км трассы) окисляемость заметно не изменяется, а далее она резко возрастает, достигая максимальных значений в воде водохранилищ 8 и 10, иногда в Туздинском. Это главным образом обуславливается усилением в конечных водохранилищах канала продукционных процессов. По сравнению с Экибастузским, первым, третьим и четвертым водохранилищами указанные водоемы больше как по общей площади водного зеркала, так и по площади мелководья и застойных участков, в результате чего они подвержены более интенсивному зарастанию. Кроме того, они аккумулируют основную массу весенних вод р. Шидерты и ее притоков, окисляемость воды которых весной достигает нескольких десятков мгО/л.

Таким образом, повышенная в этих водохранилищах окисляемость воды является следствием накопления в них сравнительно большого количества легкоокисляющихся органических веществ автохтонного и аллохтонного происхождения. Также следует учесть и то обстоятельство, что в эти водохранилища поступают значительно большие количества перекачки-полю, по сравнению, например, с Экибастузским, первым и третьим водохранилищами.

Отчетливой закономерности в изменении перманганатной окисляемости воды в водохранилищах по горизонтам не обнаруживается, хотя в большинстве случаев, особенно в летний период, величина ее у поверхности несколько выше, чем у дна. Это можно объяснить большей продукцией фитопланктона у поверхности воды.

Во внутригодовом цикле наблюдается некоторая тенденция повышения окисляемости в летнее и осеннее время.

Бихроматная окисляемость. В воде р. Иртыша, поступающей в канал, бихроматная окисляемость (мгО/л) в целом невысока: зимой 15,4—21,3, весной и в начале лета 10,2—27,4, в конце лета и осенью 9,4—42,0. В сезонном аспекте значения перманганатной и бихроматной окисляемости между собою связаны слабо, что можно объяснить заметным изменением состава органического вещества на речной воде в течение года.

Ясно выраженной сезонной динамики бихроматной окисляемости не отмечено.

В воде канала и водохранилищ бихроматная окисляемость изменялась в пределах: от 9,0 до 100 мгО/л, временами, преимущественно летом, на мелководьях отдельных водохранилищ значение ее превышало 100 мгО/л (см. табл. 38).

Подобно режиму перманганатной окисляемости, бихроматная окисляемость резко возрастает к конечным участкам канала (см. рис. 32 и 33). Основные причины, вызывающие это явление, были рассмотрены выше. Как видно из приведенных рисунков, в течение почти всего периода исследования бихроматная окисляемость, как и перманганатная, в ходе водохранилищ 8 и 10 была значительно больше, чем в воде расположенных выше по трассе участков канала и р. Иртыш.

Возрастание бихроматной окисляемости чаще всего прослеживается в вегетационный период, в целом же сезонная динамика ее выражена очень слабо. С глубиной бихроматная окисляемость уменьшается, в основном это связано с деятельностью фитопланктона в поверхностных горизонтах воды.

Органический углерод. Содержание органического углерода рассчитывается по значению бихроматной окисляемости, по Б. А. Скопинцеву [194].

В воде р. Иртыша за весь период исследования оно изменялось в интервале от 3,5 до 15,8 мг/л (табл. 38). Эти величины близки к данным, полученным прямым определением органического углерода [34]. Согласно им, содержание органического углерода в воде р. Иртыша от г. Усть-Каменогорска до с. Железинка (среднее течение) изменялось в пределах 5,4—16,9 мг/л. В воде канала интервал изменения концентрации органического углерода увеличивается, составляя: зимой 3,4—40,9, весной 3,9—50,6, летом и осенью 3,5—40,1 мг/л. Динамика органического углерода во времени на отдельных участках канала и на горизонтах воды.

Органический азот и фосфор. По полученным нами данным, содержание органического азота и фосфора в воде р. Иртыша изменялось в пределах соответственно 0,26—4,40 мг N/л и 0,023—0,068 мгР/л (табл. 38). Наиболее высокие их значения наблюдались в летний и летне-осенний периоды.

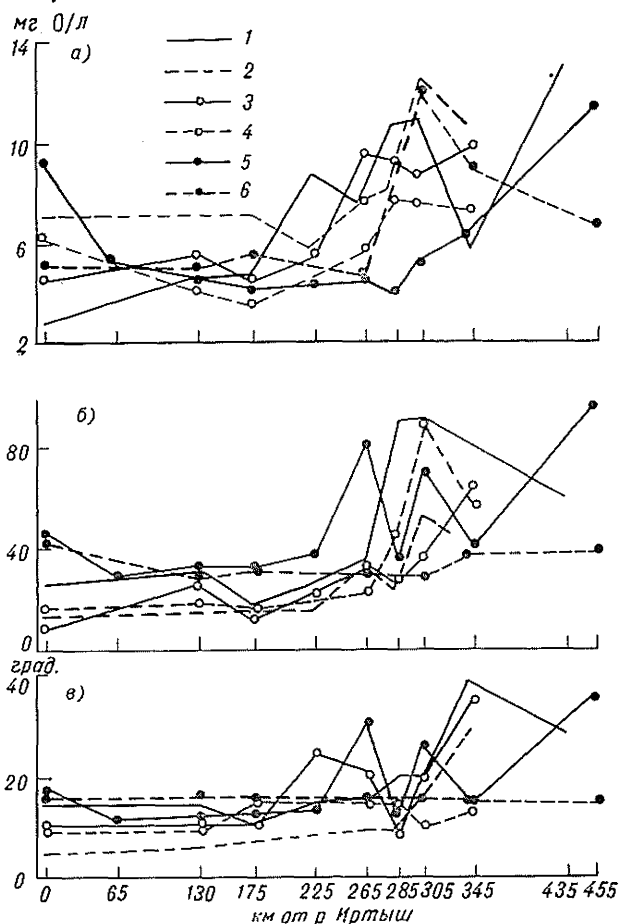


Рис. 33. Изменение перманганатной (а), бихроматной (б) окисляемости и цветности (в) воды по трассе канала в отдельные периоды 1971—1978 гг.

1) 9—22/VIII 1971 г., 2) 3—22/VI 1972 г., 3) 11—28/VIII 1972 г., 4) 15/VIII—3/IX 1974 г., 5) 2—19/V 1975 г., 6) 11—24/VIII 1978 г.

В воде канала и водохранилищ содержание органического азота (мгN/л) и фосфора (мгР/л) существенно повышается и возрастают пределы его колебания, составляя соответственно: зимой 0,26—4,70 и 0,026—0,152, весной 0,30—4,91 и 0,028—0,140, в летне-осенний период 0,43—9,91 и 0,028—0,152.

В годовом цикле повышение содержания рассматриваемых компонентов происходит в летний и летне-осенний периоды, что указывает на существенную роль процессов деструкции органического вещества в накоплении этих элементов в воде. Зимой наблюдается уменьшение концентрации этих веществ, хотя в феврале 1974 г. в воде водохранилищ конечных участков канала она оставалась на достаточно высоком уровне (рис. 34).

Для органических форм азота и фосфора характерен заметный рост их концентраций в целом по длине канала, что свой-

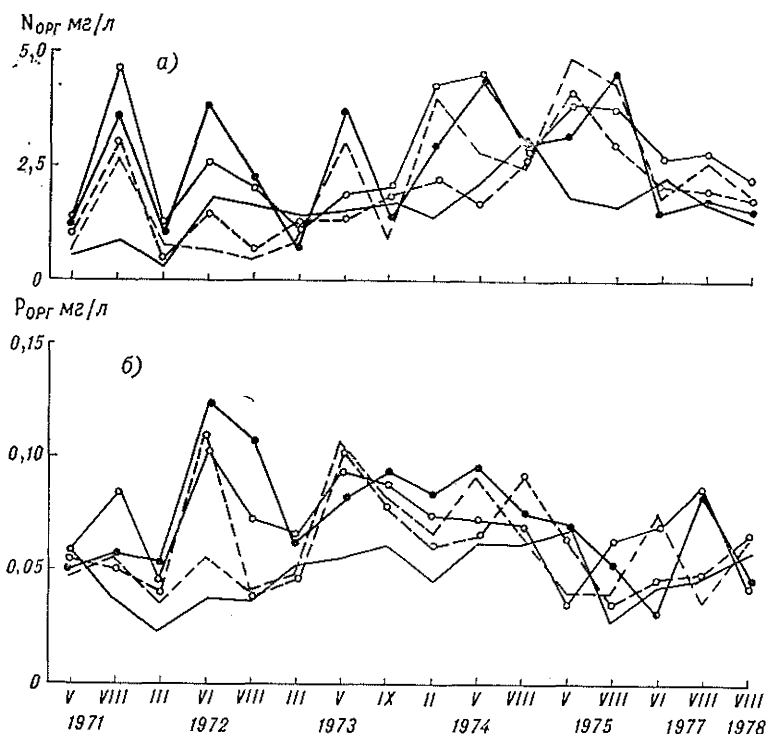


Рис. 34. Изменение содержания органического азота (а) и органического фосфора (б) в воде канала в 1971—1978 гг.

Усл. обозн. см. на рис. 26.

ственно и для окисляемости воды. Это главным образом обусловлено, как было указано выше, сравнительно большей интенсивностью в конечных водохранилищах продукционных процессов. Отчасти этому, видимо, способствует каскадное расположение водохранилищ, т. е. поступление из первых к последним водохранилищам воды, обогащенной органическими формами биогенных элементов. Такое явление при наличии каскада водохранилищ наблюдалось рядом автором [77, 221].

Некоторое возрастание концентрации $N_{орг}$ и $P_{орг}$ отмечалось также в первые годы наполнения водохранилищ в результате накопления в воде продуктов распада органических веществ залитой территории. Отчетливой закономерности в изменении концентраций этих компонентов в отдельных горизонтах воды водохранилищ не наблюдается.

Из водоемов Казахстана сведения о содержании и динамике органических форм азота и фосфора имеются лишь по Вячеславскому и Сергеевскому водохранилищам, расположенным на р. Ишиме [134, 137]. Сравнивая эти данные с нашими, можно отметить значительную аналогию, однако в воде канала и водохранилищ концентрации органического азота и фосфора отличаются более широким диапазоном колебаний. Это можно объяснить специфическими особенностями режима и эксплуатации системы канала и большим разнообразием факторов, влияющих на динамику этих компонентов.

Цветность. В воде р. Иртыша крайние значения изменения цветности воды составляют от 8 до 25°. Наибольшая цветность, в результате смыва с поверхности водосбора гумусных соединений, характерна для весеннего периода (табл. 38, рис. 32). Зимой в подледной воде цветность наименьшая.

В воде канала и водохранилищ интервал колебания цветности более широк. Максимальные ее значения (до 40—45°) наблюдались в первые годы, что обусловлено вымыванием окрашенных органических веществ из залитого ложа, а также разложением растительности, попавшей в зону затопления. Резкое периодическое увеличение проточности на отдельных участках и водохранилищах канала, в свою очередь, вызывало разбавление воды канала иртышской водой с низкой цветностью. Все эти обстоятельства способствовали большому колебанию цветности воды канала в первые годы формирования его режима.

В последующие годы с уменьшением влияния залитой территории, установлением по трассе более интенсивной проточности воды цветность ее заметно снижалась и сократились интервалы варьирования как во времени, так и на отдельных участках.

Из приведенного материала (табл. 38 и рис. 32, 33) видно также увеличение цветности воды по длине трассы канала, что характерно и для некоторых других рассмотренных выше показателей органических веществ. В конечных водохранилищах канала цветность воды оказалась значительно выше (особенно в первые годы существования канала), чем в начальные, что обусловлено в основном меньшей площадью и более высокой проточностью первых водохранилищ по сравнению с большинством последних.

В сезонном отношении изменение цветности выражено слабо, некоторое возрастание ее отмечалось весной.

Для оценки качественного состава органических веществ обычно используется ряд отношений между концентрациями

отдельных его показателей. Как известно, отношение $\frac{ПО}{БО}$ ниже 40 % характерно для вод, содержащих органические вещества преимущественно планктонного происхождения [193]. В таких водах также и отношения $C_{орг} : N_{орг}$ и $C_{орг} : P_{орг}$ ниже, чем в водах, в составе которых преобладают более трансформированные органические вещества терригенного происхождения.

Согласно литературным данным [11, 193], в природных водах отношения между различными показателями находятся в интервалах $C_{орг} : N_{орг} = 6-35$; $C_{орг} : P_{орг} = 80-500$; $\frac{ПО}{C_{орг}} = 0,8-1,6$; $\frac{ПО \cdot 100}{БО} = 25-70$ %. Однако в зависимости от качественного состава органических веществ и условий его формирования, значения указанных отношений не остаются постоянными. Так, например, по данным А. В. Мальцевой, М. Н. Тарасова и М. П. Смирнова [142], отношение перманганатной окисляемости и органического углерода для речных вод различных почвенно-климатических зон изменяется от 0,77 до 1,15. В воде некоторых водохранилищ Северного и Центрального Казахстана, согласно нашим данным, оно изменялось в интервале 0,3—1,5 [137].

Отношения между главными показателями органических веществ в воде р. Иртыш, канала и водохранилищ приведены в табл. 39. Согласно им, прежде всего следует отметить, что значения рассматриваемых показателей как в воде р. Иртыша, так канала и водохранилищ изменяются в широком интервале.

Таблица 39

Пределы величин отношений между отдельными показателями органических веществ в воде р. Иртыша, канала и водохранилищ

Показатель	Зима (февраль — март)	Весна — лето (май — июнь)	Лето — осень (август — сентябрь)
р. Иртыш			
$C_{орг} : N_{орг}$	5—12	5—16	4—14
$C_{орг} : P_{орг}$	122—280	98—323	100—342
$\frac{ПО}{C_{орг}}$	0,6—0,8	0,5—1,0	0,6—1,3
$\frac{ПО}{БО}$	18—25	20—50	20—47
Канал и водохранилища			
$C_{орг} : N_{орг}$	5—9	4—18	4—10
$C_{орг} : P_{орг}$	143—495	86—644	93—511
$\frac{ПО}{C_{орг}}$	0,6—0,9	0,5—1,4	0,4—1,4
$\frac{ПО}{БО}$	20—33	19—42	17—52

В межгодовом аспекте для воды р. Иртыша существенных колебаний не обнаруживается. В воде канала и водохранилищ максимальные значения этих отношений отмечались в первые годы их заполнения. Это, по-видимому, является следствием того, что в эти годы в воде преобладающее значение имели биохимически более устойчивые органические вещества, поступавшие с водой р. Иртыша и из залитого ложа. В последующие годы по мере усиления продукционных процессов в водохранилищах и преобладания в воде органических веществ планктонного происхождения пределы колебания большинства показателей заметно сокращаются и снижаются их значения. В годовом цикле это особенно характерно для летне-осеннего периода. Такое явление наблюдалось многими исследователями [11, 36, 77, 193].

Поскольку интенсивность продукционных процессов неодинакова в отдельных водохранилищах и на различных их участках, то и отношения показателей меняются по длине канала и районам водохранилищ. В конечных водохранилищах канала и на их мелководьях значения рассматриваемых отношений несколько снижаются и уменьшаются пределы их колебаний.

Полученные данные позволяют прийти к выводу, что основную часть органических веществ воды канала и водохранилищ составляют вещества планктонного происхождения. Большая изменчивость величин приведенных отношений свидетельствует о качественной неоднородности органических веществ в воде канала и водохранилищ в периоды их наполнения и эксплуатации. Это является результатом сложной совокупности различных факторов и условий, определяющих формирование состава органических веществ. К ним относятся: поступление терригенных взвешенных веществ, вносимых в канал иртышской водой, водой р. Шидерты и ее притоков, распад затопленной растительности и почв, автохтонные органические вещества планктонного и бактериального происхождения и многие другие.

7.1. Кислород

Литературные сведения по кислородному режиму каналов весьма малочисленны. В каналах Днепр — Кривой Рог и Краснознаменском магистральном он характеризуется большими колебаниями по сезонам [113]. Летом в них периодически отмечался некоторый дефицит кислорода (60—80 % насыщения), что связано с разложением отмирающего фитопланктона и водорослевых обрастаний. В то же время на участках скопления вегетирующих водорослей и рдестов содержание кислорода в воде достигало 146 % насыщения.

Согласно данным И. А. Гетьман и Н. М. Кузьменко [60], кислородный режим канала Северский Донец—Донбасс в большой мере зависит от содержания кислорода в воде р. Северского Донца. Вдоль канала обычно сохраняется дефицит кислорода, и только на отдельных участках развития растительности содержание его достигает 135 % насыщения. Более высокая и равномерная концентрация кислорода характерна для воды Северо-Крымского канала [182]. Наибольшее насыщение воды кислородом в этом канале происходит на участках высокого развития водной растительности.

Сведения, имеющиеся по каналу Альберта (Бельгия), свидетельствуют о снижении в воде содержания кислорода (до 60 % насыщения) на участках поступления в него промышленных и хозяйственных сточных вод [234, 239, 240].

Таким образом, в упомянутых выше работах рассмотрены лишь характер сезонных изменений кислорода и влияние на его режим биологических процессов. Степень и особенности воздействия на кислородный режим каналов ряда других факторов (почвенно-гидрологических, термических, гидрологических и др.) в этих работах не рассматриваются. Не удалось также встретить каких-либо данных о режиме и формировании газового режима каналов, имеющих каскад промежуточных водохранилищ, собственный водосбор и боковую приточность, чем характеризуется система канала Иртыш — Караганда.

Вода р. Иртыша, поступающая в канал, отличается достаточно высоким содержанием кислорода. По данным за 1969—

1978 гг. среднее его значение составляло зимой 12,0 мг/л, в весенне-летний период 10,0 мг/л, в летне-осенний 11,0 мг/л, в относительном выражении соответственно 86, 103 и 108 % насыщения. Наибольшее насыщение речной воды кислородом достигало 110—117 %.

Во внутригодовом режиме кислорода реки прослеживается повышение абсолютного его количества зимой. Как видно из рис. 35 и табл. 40, во время зимних исследований концентрация его не снижалась ниже 11,0 мг/л. В остальные сезоны отмечалось уменьшение ее до 8,4—9,2 мг/л, хотя в относительном выражении в теплое время года насыщение воды кислородом, естественно, выше, чем зимой.

В головной транзитной части канала до каскада Шидертинских водохранилищ какого-либо заметного изменения в кислородном режиме не происходит. Об этом свидетельствуют материалы наблюдений у пос. Калкаман (станция 2), находящегося в 65 км от головного водозабора. Среднее насыщение воды кислородом составило здесь зимой 99 %, в весенне-летний и летне-осенний периоды соответственно 118 и 101 % (табл. 40).

Наиболее существенные изменения в кислородном режиме и его формировании происходят в пределах водохранилищ. Это обусловлено созданием в них специфического водного, термического и гидробиологического режима в условиях засушливого Центрального Казахстана. Поэтому результаты наблюдений на водохранилищах могут в полной мере характеризовать кислородный режим и условия его формирования для всего канала в целом. В пределах небольших по длине каналов, соединяющих отдельные водохранилища, каких-либо заметных изменений содержания кислорода в воде не происходит.

В водохранилищах по сравнению с р. Иртышом и головной частью канала значительно увеличиваются пределы изменения концентрации кислорода как во времени, так и в пространстве. В поверхностных горизонтах воды всех водохранилищ содержание колебалось в интервалах: зимой от 67 до 128 % насыщения (9,3—17,5 мг/л), в весенне-летний период — от 75 до 171 % насыщения (7,0—15,3 мг/л), а в летне-осенний — от 64 до 175 % насыщения (7,1—15,3 мг/л).

Более равномерное и сравнительно высокое, чем в другие сезоны, содержание кислорода наблюдается зимой. Средняя его концентрация за этот период составила 12,8 мг/л (93 % насыщения), а в остальные сезоны она была равна: весной 10,0 и летом 10,1 мг/л (100 и 101 % насыщения). Зимнее возрастание концентрации кислорода в воде водохранилищ наглядно видно на рис. 35, где приведены данные по станциям, расположенным в районах плотин ряда основных водохранилищ канала. Высокие значения концентрации кислорода зимой обусловлены снижением температуры и ослаблением интенсивности процессов окисления в водной толще. Кроме того, в зимний период обога-

Таблица 40

Содержание кислорода, свободной двуокиси углерода и величины рН
в воде р. Иртыша, канала и водохранилищ в 1969—1978 гг.

№ станции	Водный объект	О ₂				СО ₂ мг/л		рН	
		мг/л		% насыщения		пределы	среднее	пределы	среднее
		пределы	среднее	пределы	среднее				
Зима (февраль—март)									
1	р. Иртыш	11,4—12,9	12,0	77—105	86	2,5—3,1	2,7	7,50—7,65	7,55
2	Канал у пос. Калкаман	11,8—15,6	14,1	81—111	99	1,8—3,0	2,2	7,50—7,70	7,60
3	вдхр Эки-бастузское	12,8—17,5	13,7	74—128	98	0,0—2,5	2,0	7,50—8,25	7,85
4—8	вдхр 1	12,3—15,4	14,0	92—109	101	1,0—2,2	1,8	7,62—8,10	7,75
9—12	вдхр 3	10,3—13,5	12,4	75—118	90	1,2—4,0	3,0	7,50—7,75	7,65
13—16	вдхр 4	10,0—14,2	13,0	74—122	99	1,0—2,4	2,1	7,60—7,75	7,70
17—20	вдхр 5	14,4—15,1	14,8	111—118	115	нет		8,10—8,35	8,20
21—24	вдхр 7	10,4—16,6	13,0	78—118	93	0,8—2,2	1,4	7,65—8,10	7,90
25—32	вдхр 8	11,4—12,0	11,6	80—89	85	0,0—1,8	1,2	7,75—8,25	7,95
36—39	вдхр 10	9,3—12,6	10,7	67—100	78	1,3—2,7	2,1	7,55—7,70	7,75
40	вдхр 11	9,9—10,7	10,3	70—76	75	2,2—5,7	4,0	7,60—7,70	7,65
Весна—лето (май—июль)									
1	р. Иртыш	8,4—11,3	10,0	90—110	103	1,3—1,8	1,5	7,65—7,80	7,70
2	Канал у пос. Калкаман	8,7—13,8	11,2	95—138	118	0,0—1,1	0,2	7,85—8,40	8,20
3	вдхр Эки-бастузское	8,2—12,2	10,0	90—127	106	нет		8,20—8,55	8,30
4—8	вдхр 1	8,4—13,1	10,7	90—124	102	0,0—2,6	0,5	7,45—8,40	8,00
9—12	вдхр 3	8,2—13,2	10,2	84—114	98	0,0—1,1	0,3	7,60—8,30	8,06
13—16	вдхр 4	8,7—11,3	10,0	92—126	101	0,0—2,2	0,3	7,60—8,50	8,15
17—20	вдхр 5	7,3—11,4	9,6	75—107	97	0,0—1,5	0,3	7,60—8,45	8,15
21—24	вдхр 7	7,6—10,9	9,5	80—107	98	нет		8,20—8,50	8,30
25—32	вдхр 8	7,0—11,8	9,6	76—109	99	"		8,20—8,55	8,30
34—35	вдхр 9	8,0—13,1	9,4	87—140	97	"		8,25—8,50	8,30
36—39	вдхр 10	8,0—15,3	10,2	87—171	108	"		8,20—8,70	8,40
40	вдхр 11	8,3—11,6	10,3	88—124	103	"		8,20—8,50	8,40
41	вдхр Туз-динское	7,3—9,9	8,9	70—86	78	0,0—2,6	0,4	7,70—8,25	8,05
Лето—осень (август—сентябрь)									
1	р. Иртыш	9,6—12,9	11,0	94—117	108	0,0—2,2	0,6	7,65—8,30	8,15
2	Канал у пос. Калкаман	8,8—12,9	10,3	91—114	101	0,0—1,3	0,2	7,80—8,55	8,25
3	вдхр Эки-бастузское	8,9—12,2	10,5	93—132	107	нет		8,20—8,65	8,30
4—8	вдхр 1	6,7—15,3	10,2	79—173	108	0,0—1,5	0,6	7,60—9,00	8,20
9—12	вдхр 3	8,4—15,1	10,4	89—175	107	нет		8,20—9,10	8,46
13—16	вдхр 4	8,3—13,4	9,9	89—139	104	"		8,20—8,70	8,40
17—20	вдхр 5	8,1—12,3	9,8	84—132	100	0,0—2,2	0,2	8,00—8,80	8,35
21—24	вдхр 7	7,1—13,6	9,5	64—158	96	нет		8,20—8,85	8,35
25—32	вдхр 8	7,2—13,5	10,1	76—149	102	"		8,20—8,70	8,40
34—35	вдхр 9	9,2—11,9	10,1	89—114	100	"		8,35—8,70	8,50
36—39	вдхр 10	8,4—11,9	9,5	88—114	95	"		8,20—8,70	8,45
40	вдхр 11	8,3—14,2	10,3	88—120	98	"		8,25—8,60	8,35
41	вдхр Туз-динское	9,1—10,0	9,6	80—103	91	"		8,20—8,40	8,30

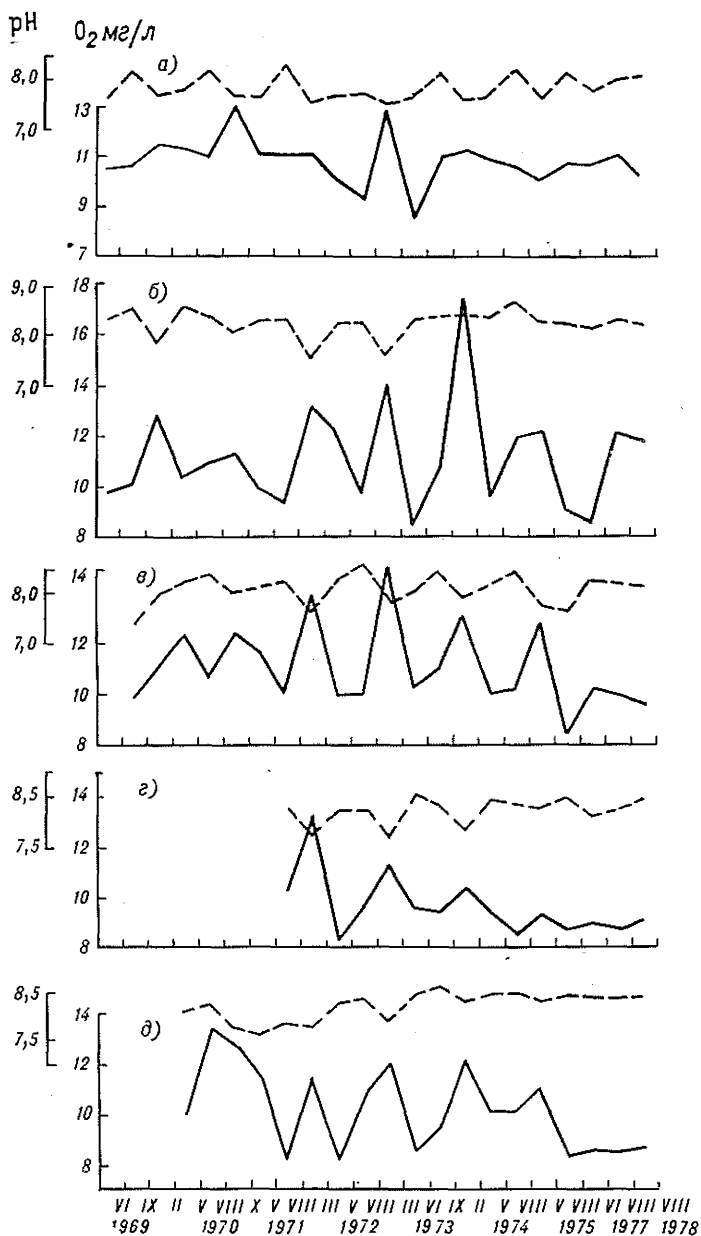


Рис. 35. Изменение pH (1) и содержания кислорода (2) в воде р. Иртыша и канала.
 а — р. Иртыш, б — водохранилище Экибастузское, в — водохранилище 1, г — водохранилище 7, д — водохранилище 8.

щению воды кислородом из атмосферы, очевидно, способствуют образующиеся на многих участках канала полыньи, имеющие местами значительные площади [98, 189].

Известно также, что не все виды погруженной растительности зимой отмирают. Наблюдения Е. В. Боруцкого [41] показали, что в оз. Белом (Московская обл.) подавляющая часть погруженной растительности выживает зимой подо льдом. По данным В. Н. Абросова [2], харовые виды водорослей в озерах Псковской области подо льдом не теряют способности к фотосинтезу. Особенность некоторых видов водорослей к фотосинтезу зимой в условиях Валдайских озер доказана Т. Н. Покровской [170].

Все это позволяет предполагать о возможности некоторого пополнения кислородного запаса в воде водохранилищ подо льдом за счет сохранения отдельными видами растений способности к фотосинтезу. Этому может также способствовать наличие во всех водохранилищах зарослей различных видов погруженной растительности, охватывающих акваторию водоемов до глубины 3,5—4,0 м [14, 15, 16]. Благоприятные условия для сохранения растениями способности к развитию и фотосинтетической деятельности создаются в связи с тем, что водная масса водохранилищ, особенно придонные ее горизонты зимой, отличаются повышенной температурой (до 3,0—4,0 °C). Снег, выпадающий на поверхность водохранилищ, частыми ветрами сдувается, что также облегчает проникновение солнечных лучей сквозь толщу льда.

Как было показано в табл. 40, в другие сезоны года содержание кислорода варьирует в более широких пределах, чем зимой. В летний период на хорошо прогреваемых, заселенных водной растительностью мелководных участках водохранилищ, где высока интенсивность фотосинтеза, часто происходит пере насыщение воды кислородом до 158—175 %. Абсолютные концентрации его при этом достигают 15,0 мг/л и выше [15, 17, 21, 22, 24]. В водах более глубоководных районов водохранилищ концентрация кислорода в теплые периоды остается преимущественно в пределах 9—11 мг/л (около 100 % насыщения).

Обычные каналы, проложенные в земляных выемках, имеют сравнительно небольшие глубины и сравнительно равномерные, часто повышенные на всем протяжении скорости течения. В этих условиях не проявляются особенности формирования газового режима в первые годы их наполнения и дальнейшей эксплуатации. Для них характерна монотонность режима. Наличие на канале Иртыш—Караганда каскада водохранилищ с замедленным водообменом, со свойственными для них глубоководными и литоральными зонами, покрытых зарослями растительности, а также затопление в пределах пойм рек Шидерты, Женгельды и Тузды разнообразных почв и наземной растительности обусло-

вили заметное различие в кислородном режиме на различных стадиях становления канала.

В первые годы наполнения канала формирование режима растворенных газов проходило в условиях, характерных для водохранилищ, расположенных на равнинных реках в засушливых условиях. Это было вызвано поэтапным наполнением водохранилищ по мере готовности гидротехнических сооружений на отдельных участках канала и нерегулярной подачей иртышской воды по его трассе. В этот период концентрация кислорода была невысокой — от 7,0 до 9,0 мг/л (65—85 % насыщения).

Наиболее характерной чертой водохранилищ в этот период была резко выраженная кислородная стратификация, которая отчетливо проявлялась в течение 2—3 лет после первоначального наполнения водохранилищ. Наиболее резкие различия чаще всего наблюдались в водохранилище 1, глубина которого в районе плотины достигает 20—23 м. Здесь на второй и третий годы после наполнения содержание кислорода у дна снижалось до 1,3—0,7 мг/л (14—7 % насыщения) при значениях его в поверхностных горизонтах 8,1—9,1 мг/л (91—96 % насыщения). В других глубоководных водохранилищах (от 8 до 15 м) вертикальная неоднородность концентраций кислорода отмечалась в меньших масштабах, хотя максимальная разница у дна и поверхности у них также иногда достигала 8,0—8,5 мг/л (табл. 41).

Наибольшая разность в вертикальном распределении кислорода в водохранилище 1 отмечалась в летне-осенний период, в других водохранилищах — в зимний, при наличии ледового покрова. Зимой во всех водохранилищах кислорода у поверхности содержалось больше, чем у дна.

Возникновение вертикальной неоднородности в содержании кислорода в водной толще водохранилищ канала в первые годы наполнения, как и во многих других водохранилищах, обусловлено расходом кислорода на окисление органических веществ, содержащихся в затопленных почвах, и растительности, в том числе и зимой. Согласно имеющимся данным [140, 223], минерализация растительных остатков продолжается и в зимний период подо льдом.

Известно немало случаев, когда в первые годы затопления водохранилищ дефицит кислорода охватывал большую часть их акватории, вызывая в ряде случаев заморные явления. Такая обстановка возникала на водохранилищах Волги [30, 71, 87, 88, 156, 183, 190, 204] Днепра и Дона [11, 75, 76, 210, 211], Оби и Ангары [4, 42, 166, 213]. Водохранилища канала отличаются меньшими размерами и глубинами, более активным водообменом. Кроме того, в зоне их затопления находилось значительно меньше органической массы, чем в упомянутых крупных водохранилищах. Эти обстоятельства, видимо, способствовали сохранению в водохранилищах канала более благоприятного

Таблица 41

Характеристика вертикального распределения растворенных газов и рН в водохранилищах канала

Дата	О ₂ мг/л		СО ₂ мг/л		рН	
	поверх- ность	дно	поверх- ность	дно	поверх- ность	дно
вдхр 1 (станция 4, глубина 20—23 м)						
24/V 1970	12,8	12,0	нет	нет	8,25	8,25
23/VIII 1970	8,4	8,8	0,4	0,1	8,15	8,00
16/V 1971	11,4	11,4	0,6	2,0	8,10	7,95
18/VIII 1971	9,8	2,0	нет	12,3	8,25	7,10
4/III 1972	14,0	6,0	1,8	5,7	7,70	7,25
26/V 1972	10,2	9,2	нет	0,9	8,20	7,80
28/VIII 1972	9,1	0,7	"	17,6	8,20	7,10
7/III 1973	15,0	7,9	1,8	6,2	7,65	7,25
19/V 1973	10,7	10,5	2,6	4,4	7,70	7,65
16/IX 1973	10,0	4,8	нет	9,6	8,40	7,50
25/II 1974	12,3	5,5	2,0	9,8	7,70	7,00
20/V 1974	10,0	9,8	нет	0,8	8,25	8,10
14/VIII 1974	8,1	1,3	"	4,4	8,30	7,10
27/IV 1975	11,8	11,9	1,8	1,3	7,70	7,63
5/VIII 1975	7,7	5,6	нет	2,4	8,21	7,60
19/VI 1977	9,2	10,5	0,3	6,2	8,20	7,45
13/VIII 1977	9,8	6,7	нет	16,7	8,30	7,00
12/VIII 1978	9,3	5,5	"	8,3	8,30	7,05
вдхр 3 (станция 9, глубина 8—10 м)						
23/VIII 1971	9,5	9,1	нет	нет	8,30	8,25
2/VI 1972	8,5	7,5	0,8	1,5	8,00	7,70
1/IX 1972	9,3	9,2	нет	нет	8,40	8,35
6/III 1973	12,7	4,3	3,5	6,2	7,50	7,25
21/V 1973	9,7	9,3	нет	нет	8,20	8,20
15/IX 1973	11,2	7,5	"	"	8,35	8,30
22/II 1974	11,7	7,4	2,5	5,3	7,65	7,30
22/V 1974	9,2	8,9	нет	нет	8,30	8,30
15/VIII 1974	9,7	9,7	"	"	8,55	8,40
вдхр 7 (станция 21, глубина 13—15 м)						
13/VI 1972	8,2	3,8	нет	8,8	8,20	7,65
16/IX 1972	9,5	9,4	"	нет	8,20	8,20
4/III 1973	11,1	3,3	2,2	6,2	7,65	7,30
12/VI 1973	9,5	6,8	нет	1,1	8,50	7,70
24/IX 1973	9,4	8,8	"	нет	8,25	8,25
21/II 1974	10,4	6,7	1,4	2,2	7,80	7,60
14/VI 1974	9,2	6,0	нет	нет	8,45	8,20
2/IX 1974	8,4	11,3	"	"	8,35	8,25
21/VIII 1975	8,5	8,1	"	"	8,40	8,30
15/VIII 1977	8,5	9,8	"	"	8,21	8,20
вдхр 8 (станция 25, глубина 12—14 м)						
5/III 1972	11,4	2,9	1,5	4,4	7,75	7,50
13/VI 1972	8,8	3,8	нет	8,8	8,20	7,65
10/IX 1972	10,1	8,3	"	нет	8,30	8,20
3/III 1973	12,0	8,2	1,8	5,7	7,85	7,40
8/VI 1973	8,5	4,3	нет	5,3	8,35	7,65
26/IX 1973	9,5	9,9	"	нет	8,50	8,50

Дата	O ₂ мг/л		CO ₂ мг/л		pH	
	поверх- ность	дно	поверх- ность	дно	поверх- ность	дно
23/II 1974	12,0	7,9	нет	2,1	8,25	7,70
6/VI 1974	9,7	7,3	"	нет	8,40	8,20
31/VIII 1974	9,8	9,7	"	"	8,40	8,40
13/V 1975	11,1	10,7	"	"	8,20	8,20
20/VIII 1973	8,4	7,5	"	"	8,35	8,20
29/VI 1977	8,6	9,7	"	"	8,30	8,21
19/VIII 1977	8,5	8,7	"	"	8,30	8,20
24/VIII 1978	8,6	8,9	"	1,0	8,35	7,70

кислородного режима в первые годы их наполнения. Отметим также, что газовый режим в рассматриваемых водохранилищах в начальный период их становления был аналогичен с режимом ряда водохранилищ Центрального и Северного Казахстана, о чем свидетельствуют результаты выполненных нами исследований [18, 19, 24].

Из приведенного выше табличного материала следует, что по истечению 2—3 лет после наполнения водохранилищ концентрация кислорода в отдельных горизонтах воды заметно выравнялась. Начиная примерно с 1974 г., это оказалось характерным почти для всех водохранилищ, за исключением водохранилища 1. В наиболее глубоководном участке последнего вертикальная неоднородность в содержании кислорода сохраняется и в последние годы, хотя количественно она не очень велика.

Многолетние наблюдения показывают, что в условиях канала Иртыш — Караганда стратификация кислорода и продолжительность ее проявления в отдельных водохранилищах зависит от их глубин, площадей, конфигурации, степени перемешивания водных масс и других характеристик. В русловом, более глубоководном и защищенном высокими берегами водохранилище 1 неоднородность в содержании кислорода по горизонтам была проявлена более ярко и дольше сохранялась. В мелководных водохранилищах с активным перемешиванием воды неоднородность выражена слабо и менее продолжительна во времени.

Таким образом, по мере становления водохранилищ влияние окислительных процессов на их газовый режим постепенно сокращалось, все более уступая продукционным процессам в связи с интенсивным развитием в водохранилищах микро- и макрофлоры при достаточной обеспеченности их солнечной радиацией и питательными веществами.

7.2. Двуокись углерода

Вода р. Иртыша отличается присутствием двуокиси углерода. За период наблюдений лишь в единичных случаях в летнее время отмечено ее отсутствие (табл. 40). Содержание ее в речной воде невысоко (до 2,5—3,0 мг/л). Средняя ее концентрация, по нашим данным, составляла: зимой 2,7 мг/л, в весенне-летний период 1,5 мг/л, в летне-осенний 0,6 мг/л. В головной части канала (станция 2) режим двуокиси углерода сходен с таковым в р. Иртыше, хотя здесь концентрация ее несколько ниже, а в летние периоды она имела нулевые значения чаще, чем в реке.

Подобно режиму многих других компонентов состава воды режим двуокиси углерода существенно меняется в пределах водохранилищ. В первые годы наполнения канала и водохранилищ наличие ее как в придонных, так и поверхностных горизонтах воды наблюдалось более часто. Однако у поверхности концентрация ее редко достигала 4,0—5,0 мг/л.

За весь период исследований присутствия двуокиси углерода в поверхностных горизонтах воды водохранилищ наблюдалось лишь зимой и ранней весной. При этом наличие ее у поверхности весной отмечалось в водохранилищах 1, Экибастузском и изредка в третьем, т. е. в водоемах, расположенных ближе к головному водозабору. В верхних горизонтах воды последующих водохранилищ в вегетационный период двуокись углерода чаще всего отсутствовала.

Постоянное присутствие двуокиси углерода имеет место в придонных горизонтах воды приплотинного участка водохранилища 1 при глубине его 20—23 м (см. табл. 41). При этом наиболее высокие ее концентрации (12,3—17,6 мг/л) наблюдались в конце лета, наименьшие — преимущественно весной.

7.3. Водородный показатель (рН)

Значение рН в воде в течение всего года находится в области слабо щелочной реакции (см. рис. 35 и табл. 40). Пределы колебания ее невелики: зимой 7,50—7,65, весной 7,65—7,80, в летне-осенний период 7,65—8,30. Возрастание значения рН речной воды выше 8,0 наблюдалось в единичных случаях.

Вода головной части канала, например, в районе пос. Калкаман, по значению рН близка к воде р. Иртыша. Однако в вегетационный период при малой подаче воды по каналу в последнем создаются благоприятные условия для прогревания воды и развития фитопланктона. В силу этих обстоятельств из воды удаляется двуокись углерода, концентрация которой, как указывалось выше, в целом невысока, и происходит повышение рН до 8,30—8,35, а в некоторых случаях — до 8,55.

По мере продвижения воды по каналу в водохранилищах Шидертинского каскада рН постепенно возрастает и увеличивается интервал внутригодовых его изменений. Зимой значения его изменялись в пределах 7,50—7,75, максимальные в единичных случаях достигали 8,25—8,35. Среднее значение рН зимой за весь период исследований составило 7,80.

В другие периоды года наиболее высокие значения рН достигали: в весенне-летний период 8,45—8,50, иногда 8,55, в летне-осенний — 7,80—8,80, в отдельных случаях 9,00—9,10. Максимальные значения водородного показателя наблюдались летом в дневные часы в хорошо прогреваемых мелководных зонах водохранилищ, где чрезвычайно интенсивен процесс фотосинтеза. На этих же участках происходит и пересыщение воды кислородом. В приплотинных районах (табл. 41) наиболее высокие значения рН изредка достигали 8,40—8,50.

Характеризуя изменение рН по длине канала, можно отметить, что в период наполнения и нормальной эксплуатации канала рН ниже 8,20 наблюдалось в весенне-летний период на участке от головного водозабора до водохранилища 5, а в летне-осенний — от головного водозабора до водохранилища 1. В воде последующих водохранилищ, лишь за единичным исключением, рН было выше 8,20 и соответственно отсутствовала двуокись углерода.

Подобно режиму рассмотренных выше газов, для рН также характерна значительная вертикальная неоднородность (табл. 41). Более часто она проявлялась в первые годы существования водохранилищ, в последние же годы почти во всех водохранилищах, за исключением первого, значения рН в поверхностных и придонных горизонтах воды постепенно выравнивались и сокращалась разность между ними.

Наибольшая стратификация рН, как и растворенных газов, наблюдалась в водохранилище 1 с разницей зимой от 0,40 до 0,70, весной — 0,05—0,40 (единично 0,75), летом — 0,90—1,30 (в единственном случае 0,60). В наиболее мелководном третьем водохранилище (глубина 8—10 м) разница в значениях рН составляла 0,05—0,30 и лишь зимой до 0,45. В остальных водохранилищах наибольшая разница достигала 0,55—0,70.

На основе всего изложенного в данном разделе можно заключить, что влияние р. Иртыша на режим растворенных газов и на рН распространяется лишь на головную транзитную часть канала на расстоянии 150—180 км, включая водохранилище 1. Далее режим рассматриваемых компонентов формируется в пределах водохранилищ, расположенных по трассе канала. Существенное влияние на динамику растворенных газов и рН оказывают продукционные процессы, интенсивность которых в хорошо прогреваемых и подвергающихся зарастанию водохранилищ очень высока. Зимой обогащению воды кислородом способствует наличие на канале полыней и снижение ее температуры.

ГЛАВА 8. МИКРОЭЛЕМЕНТЫ В ВОДЕ И ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ

Изучение микроэлементов в природных водах имеет важное прикладное и теоретическое значение. Оно способствует познанию закономерностей биогеохимической миграции элементов в природе. Часто исследование их связано с решением вопроса повышения продуктивности водоемов. Многие микроэлементы имеют важное физиологическое значение [236, 237, 241, 246] и поэтому концентрация их в водоемах питьевого и рыбохозяйственного назначения строго контролируется, особенно в последнее время, вследствие загрязнения природных вод отходами производства, сельского хозяйства и т. д.

Микроэлементы в водах и донных отложениях водоемов рассматриваемой территории и р. Иртыша изучены слабо. Сведения о них содержатся в небольшом ряде опубликованных работ [86, 90, 94, 136, 150, 153, 168, 214]. Нами режим этих компонентов в воде р. Иртыша, канала и водохранилищ изучался в 1970—1977 гг., а образцы донных отложений из водохранилищ собраны в 1975 г.

8.1. Микроэлементы в воде

С помощью спектрографа ДФС-8 количественно определялись следующие элементы: Ba, Sr, Cu, Zn, Mn, Co, Ni, Sn, Pb, Mo, Cr, V, Ti, Ag, B, Sc, Nb, Be, Ga, Y, La, Zr. Такие элементы, как As, Li, Cs, Rb, In, Te, Sb, Cd, U, Ce, Hf и другие в воде не обнаружены. Весь полученный материал приводится в табл. 42 и 43.

Барий и стронций по своим химическим свойствам близки и их соединения принадлежат к сравнительно малорастворимым. Барий характеризуется относительно высоким кларком в литосфере — $6,5 \cdot 10^{-2} \%$, для стронция он несколько ниже — $3,4 \cdot 10^{-2} \%$. Однако в ландшафте барий мигрирует менее энергично, чем стронций [120, 164].

Среднее содержание этих элементов в речных водах около 100 мкг/л. В водах рек СССР стронций изучался многими исследователями [118, 124, 185, 199]. Ими установлено, что наи-

Таблица 42

Микроэлементы в воде р. Иртыша, канала и водохранилищ
в 1970—1977 гг., мкг/л

Дата	Ba	Sr	Cu	Zn	Mn	Co	Ni	Sn	Pb	Mo	Cr	V	Ti	Ag	B
р. Иртыш (станция 1)															
18/V 1970	61	102	20	20	18	0,6	2,0	0,6	6,1	1,0	4,1	6,1	40	0,41	102
17/VIII 1970	60	101	16	16	16	0,4	1,0	0,4	2,0	0,6	2,0	2,0	100	0,20	101
16/X 1970	52	86	17	8,7	10	0,5	1,7	0,3	2,6	0,5	3,5	3,5	86	0,47	104
22/V 1971	65	65	32	11	20	0,7	2,2	0,2	2,2	1,1	2,2	4,3	22	1,3	130
17/VIII 1971	85	85	6,8	8,6	19	0,4	1,4	0,3	0,5	1,0	0,9	5,1	34	0,10	85
3/III 1972	128	428	42	21	17	0,4	4,3	0,3	3,2	2,1	10	2,1	128	0,21	120
30/V 1972	141	354	53	40	48	0,6	5,3	0,6	14	1,0	8,8	4,0	35	0,07	88
7/III 1973	229	458	46	23	49	не обн.	3,4	0,3	11	9,2	9,9	2,2	45	0,23	137
3/VI 1973	95	381	57	38	38	"	5,7	0,4	7,8	1,9	6,5	4,6	19	0,72	93
21/IX 1973	91	365	27	18	25	0,2	1,8	0,4	5,5	2,7	7,3	7,3	18	0,91	90
25/II 1974	240	450	28	20	20	не обн.	2,8	0,9	4,0	2,9	4,6	2,0	17	0,19	125
18/V 1974	280	370	24	25	28	"	3,4	0,3	4,5	3,5	4,2	7,1	19	0,17	89
28/VIII 1974	95	379	45	10	21	"	2,8	0,4	5,7	1,0	7,6	7,0	19	0,19	91
5/VIII 1975	60	102	32	12	25	"	1,6	0,2	2,3	0,9	3,2	3,2	20	0,08	95
30/VIII 1977	56	92	18	11	23	"	1,8	0,3	0,2	0,3	1,1	2,3	23	0,07	90
Экибастузское водохранилище (станция 3)															
20/V 1970	49	124	14	25	21	0,5	2,0	0,7	4,9	0,8	2,5	5,0	39	0,37	149
22/VIII 1970	142	214	17	16	20	0,4	0,4	0,4	1,1	1,1	3,6	3,6	35	0,18	214
16/X 1970	93	248	30	6,2	18	0,4	3,1	0,3	1,6	1,9	9,3	3,3	93	1,51	310
26/II 1974	202	1011	34	10	31	не обн.	2,7	0,3	2,7	3,4	3,4	3,4	17	2,0	315
Водохранилище 1 (станция 4)															
24/V 1970	116	232	15	18	30	0,9	0,8	0,4	4,0	1,2	1,0	0,8	38	0,69	287
23/VIII 1970	124	207	25	8,3	31	0,8	2,1	0,2	2,1	1,2	4,1	4,1	82	0,41	248
11/X 1970	126	252	16	8,4	27	0,8	1,3	0,4	1,3	2,4	2,1	4,2	42	1,2	293
16/V 1971	72	145	9,7	9,5	34	0,9	0,7	не обн.	1,2	1,2	1,2	4,8	24	0,48	145
18/VIII 1971	93	149	7,4	8,7	30	0,8	2,8	"	0,4	0,9	5,6	5,6	18	0,93	85
4/III 1972	117	586	14	23	21	0,6	4,4	"	12	8,8	11	5,8	88	0,29	151

Дата	Ba	Sr	Cu	Zn	Mn	Co	Ni	Sn	Pb	Mo	Cr	V	Ti	Ag	B
26/V 1972	155	779	15	26	53	0,8	2,6	не обн.	2,6	5,2	2,6	2,6	78	0,52	143
28/VIII 1972	118	473	15	47	51	0,7	2,4	"	6,7	4,7	4,7	4,7	23	0,24	250
7/III 1973	300	591	29	44	49	0,4	3,0	"	14	10	5,9	4,0	59	0,59	157
19/V 1973	170	341	68	37	61	0,4	2,7	"	3,4	3,4	3,4	0,7	68	1,7	247
16/IX 1973	188	979	37	19	51	0,3	3,0	"	5,6	3,8	3,8	0,8	30	1,5	275
25/II 1974	242	806	40	14	35	не обн.	2,0	"	0,8	4,0	8,2	0,8	40	0,2	301
18/V 1974	293	587	23	23	40	"	2,9	"	2,9	3,7	3,8	2,9	58	2,9	150
14/VIII 1974	132	443	44	22	30	"	3,0	"	6,5	3,3	6,6	2,2	17	0,66	138
27/IV 1975	68	136	17	20	34	"	1,7	"	2,5	0,7	не обн.	1,7	34	0,17	139
15/VIII 1975	48	110	21	17	27	"	1,4	0,3	2,1	0,4	"	4,1	68	0,07	143
19/VI 1977	108	352	53	17	27	"	1,9	0,2	0,2	0,5	"	1,8	17	0,11	88
19/VIII 1977	90	160	18	15	32	"	0,7	0,3	0,2	0,3	"	2,8	16	0,05	175

Водохранилище 5 (станция 17)

23/II 1974	601	1201	18	15	48	не обн.	4,8	0,3	3,0	6,0	4,8	1,5	36	0,12	371
29/V 1974	533	1067	32	25	54	"	2,7	0,2	5,3	5,3	5,3	1,6	107	0,42	210
3/IX 1974	315	788	32	21	39	"	2,0	0,3	1,2	3,9	3,9	3,9	23	0,20	192
7/V 1975	223	178	22	44	41	"	1,8	не обн.	10	0,9	не обн.	2,2	22	0,18	105
14/VIII 1975	95	142	71	35	95	"	2,4	0,2	7,1	1,4	"	4,1	48	0,04	103
26/VI 1977	173	432	20	19	21	"	1,0	0,2	0,3	0,6	"	не обн.	43	0,11	108
22/VIII 1977	153	452	30	16	11	"	1,5	0,2	0,3	0,6	"	"	23	0,09	113

Водохранилище 8 (станция 25)

7/X 1970	296	296	23	12	35	1,7	2,9	не обн.	1,2	1,2		1,2	59	0,01	277
9/VII 1971	288	346	11	17	39	1,2	1,2	"	0,5	1,7		5,8	57	0,17	346
5/III 1972	368	1473	44	44	37	1,1	3,7	"	7,4	7,4	14	1,5	73	0,73	415
10/VI 1972	370	1234	37	64	63	1,2	6,2	"	4,9	6,2	4,9	3,1	64	0,19	351
10/IX 1972	282	1128	23	34	58	0,9	5,6	"	2,8	16	5,6	1,1	56	0,06	218
3/III 1973	538	2214	74	22	55	0,8	4,4	"	11	14	14	1,8	59	0,30	431
8/VI 1973	374	934	50	37	76	0,6	1,9	"	6,2	5,0	5,0	1,2	49	1,2	319
26/IX 1973	417	2779	55	27	62	0,5	4,5	"	6,9	5,6	13	4,8	139	1,3	337
23/II 1974	571	1543	15	22	53	не обн.	3,9	"	1,5	6,2	не опр.	3,0	46	0,08	400
6/IV 1974	606	1333	20	30	50	"	2,0	"	4,0	6,7	не обн.	2,5	53	0,66	331
31/VIII 1974	496	1860	49	25	44	"	3,1	"	6,2	3,7	6,2	1,2	37	0,12	315

Дата	Ba	Sr	Cu	Zn	Mn	Co	Ni	Sn	Pb	Mo	Cr	V	Ti	Ag	B
13/V 1975	430	344	37	25	36	не обн.	2,1	не обн.	8,6	2,1	не обн.	0,4	43	0,03	210
20/VIII 1975	389	389	39	21	31	"	1,9	"	1,9	0,8	"	3,9	78	0,06	191
29/VI 1977	181	312	36	25	31	"	0,8	"	не опр.	0,9	"	1,3	31	0,06	256
19/VIII 1977	159	232	39	21	18	"	1,0	"	0,4	1,2	"	2,9	29	0,06	145
Водохранилище 10 (станция 36)															
20/II 1974	649	1623	16	32	49	не обн.	2,4	не обн.	1,6	4,1	5,2	1,4	40	0,08	440
17/VI 1974	726	1453	29	39	54	"	4,7	"	1,4	14	7,3	3,6	72	0,59	401
6/IX 1974	703	1407	35	28	40	"	2,1	"	3,0	4,2	7,0	1,4	35	0,14	384
12/V 1975	576	864	29	46	46	"	2,9	"	2,6	2,3	не обн.	5,8	113	0,03	230
19/VIII 1975	380	712	38	23	25	"	2,4	0,3	1,0	1,4	"	не обн.	47	0,02	140
16/VIII 1977	238	460	46	12	46	"	2,1	не обн.	не обн.	0,9	2,3	4,6	46	0,07	138
Водохранилище 11 (станция 40)															
27/V 1970	119	238	16	8	19	0,8	1,2	0,3	2,0	0,8	2,0	3,9	79	0,97	397
7/X 1970	134	223	18	9	31	1,3	2,9	0,4	2,2	0,9	13	3,4	44	0,44	357
12/V 1971	220	352	48	24	24	0,9	2,6	не обн.	1,3	1,3	2,1	3,2	88	0,22	440
13/VI 1973	247	824	43	41	74	1,1	4,1	"	4,1	2,5	4,1	4,1	165	0,47	218
29/IX 1973	477	1591	39	58	65	0,9	8,0	"	4,8	3,0	8,0	1,6	79	0,40	400
12/V 1975	145	2170	72	42	24	не обн.	1,4	"	1,3	1,4	не обн.	не обн.	145	0,07	518
19/VIII 1975	252	1519	76	22	45	"	1,5	"	1,5	2,2	"	"	152	не обн.	530
4/VI 1977	337	1348	54	26	16	"	1,3	0,2	не обн.	1,3	"	2,7	67	0,07	404
16/VIII 1977	313	1386	69	14	34	"	1,5	не обн.	"	1,6	"	не обн.	69	0,07	346
Туздинское водохранилище (станция 41)															
12/V 1971	169	270	33	17	40	0,6	1,7	не обн.	1,0	2,7	1,7	3,4	34	0,38	169
7/VIII 1971	317	423	10	14	63	0,5	1,6	"	0,5	1,6	не обн.	1,6	53	0,42	529
17/VI 1977	265	820	41	11	41	не обн.	0,5	"	не обн.	1,1	"	не обн.	41	0,04	205
16/VIII 1977	141	373	35	13	49	"	1,4	"	"	1,0	"	4,2	74	0,07	186
Канал у г. Караганды (станция 42)															
17/VI 1977	325	850	42	10	40	не обн.	2,2	не обн.	не обн.	1,5	не обн.	не обн.	42	0,17	212
10/VIII 1977	139	362	32	12	49	"	1,9	"	"	0,6	"	1,8	108	0,11	181

Таблица 43

Содержание некоторых слабоподвижных и инертных элементов в воде
р. Иртыша и водохранилищах, мкг/л

Водный объект	Sc	Nb	Be	Ga	Y	La	Zr
р. Иртыш	0,2—0,7	0,3—1,9	0,0—0,1	0,2—2,0	0,2—1,0	2,2—5,1	5,1—45
вдхр Эки- бастузское	0,4—0,6	0,5—0,7	0,0—0,01	0,3—0,5	0,3—1,8	3,6—9,3	7,5—67
вдхр 1	0,4—1,7	0,5—1,3	0,0—0,01	0,2—0,3	0,2—0,4	4,5—8,4	0,5—27
вдхр 5	не обн.	2,6—3,2	не обн.	0,0—0,4	0,1—0,4	1,0—9,2	0,9—44
вдхр 8	"	1,1—3,7	0,0—0,01	0,2—0,6	0,0—0,6	11—38	3,0—53
вдхр 10	"	2,4—5,6	0,0—0,04	не обн.	не обн.	3—23	2,1—43
вдхр 11	0,4—0,9	0,8—3,9	0,0—0,01	0,4—1,3	0,4—0,9	7—19	4,3—72
вдхр Туз- динское	не обн.	0,7—2,3	0,01—0,02	не обн.	0,3—0,5	2,3—15	3,7—16
Канал у г. Караганды	"	не обн.	не обн.	"	не обн.	0,5—3,1	0,0—2,3

большая концентрация стронция (до 100 мкг/л) наблюдается в реках, впадающих в Баренцево, Восточно-Сибирское, Охотское моря, наименьшее (до 1—5 мкг/л) в реках, впадающих в южные моря.

В воде р. Иртыша содержание стронция составляло 65—458 мкг/л, бария — 52—229 мкг/л. В течение года наибольшая их концентрация наблюдается в зимнее время, в остальные сезоны года она распределяется сравнительно равномерно (рис. 36).

Отношение Sr/Ba в воде р. Иртыша составляет 1—2, что близко к его значениям в литосфере. Полученные пределы отношения их также свидетельствуют о более активной водной миграции стронция.

В воде канала и водохранилищ содержание стронция и бария заметно возрастает по сравнению с р. Иртышом и находится соответственно в интервале 110—2779 и 49—726 мкг/л. Во внутригодовом режиме повышенные их концентрации, как и в воде р. Иртыша, наблюдались в осенне-зимние периоды (рис. 36, табл. 42).

По длине трассы канала концентрация бария и стронция увеличивается от 2 до 7 раз. Прослеживается прямая зависимость между содержанием этих элементов и минерализацией воды канала. Наиболее высокая их концентрация, поэтому, приурочена к водохранилищам 8, 10 и 11, подверженным более активным воздействиям гидрогеологических, почвенных и других условий, вызывающим увеличение минерализации воды. В водах разрозненных плёсов р. Бала-Шидерты, вблизи водохранилища 8, содержание стронция составляло 2730—4663 мкг/л, бария — 429—466 мкг/л, что в известной мере подтверждает влияние подземных вод на режим этих элементов на конечном участке трассы.

По длине канала также возрастает отношение Sr/Ba от 1 до 5.

Медь, цинк и марганец за период исследований в воде р. Иртыша присутствовали в следующих количествах: медь 6,8—57, цинк 8,6—40 и марганец 10—49 мкг/л. Река Иртыш по концентрации в воде этих элементов оказалась аналогичной с реками Обью, Енисеем, Днепром, Доном и некоторыми реками бассейнов Белого, Балтийского морей и Центрального Казахстана [111, 118, 120, 124, 136, 206]. Некоторое повышение количества

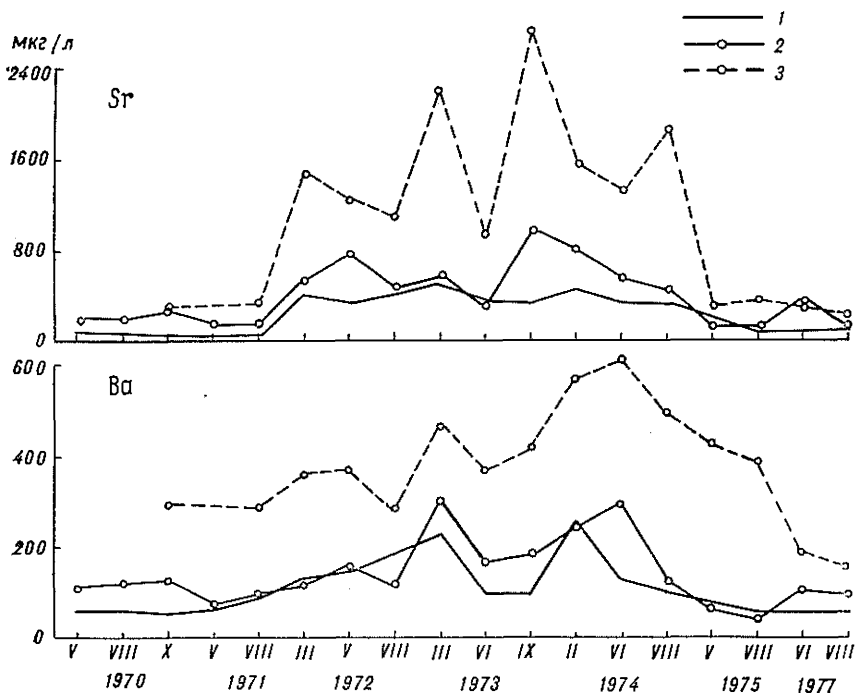


Рис. 36. Изменение содержания стронция и бария в воде р. Иртыша и некоторых водохранилищ канала.

1 — р. Иртыш, 2 — водохранилище 1, 3 — водохранилище 6.

меди и цинка в водах отдельных рек Советского Союза, в том числе Иртыша, по мнению Г. С. Коновалова [114, 120], объясняется наличием в бассейнах этих рек полиметаллических рудных месторождений.

В подавляющем большинстве случаев повышение концентрации меди, цинка и марганца наблюдается весной, в летне-осенний период оно значительно ниже (см. табл. 42 и рис. 37). Наиболее высокие их содержания наблюдались в 1972—1973 гг.

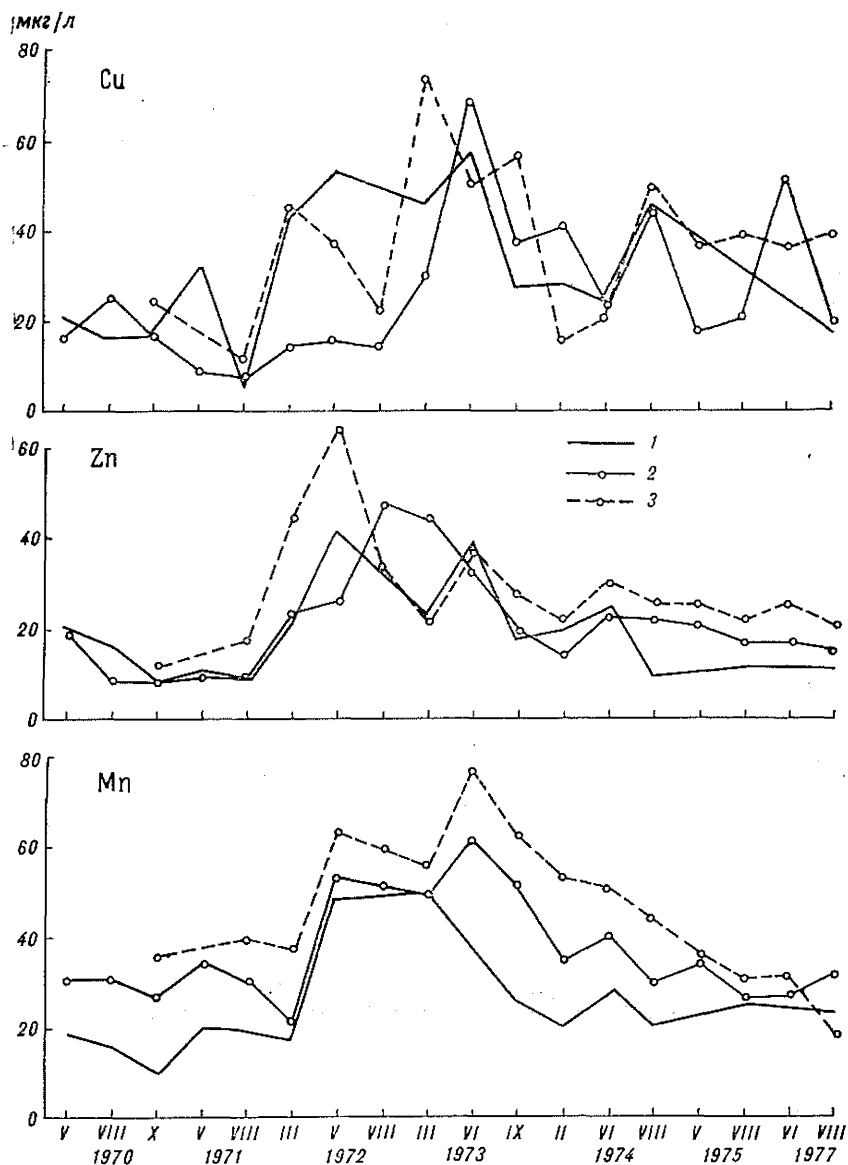


Рис. 37. Изменение содержания меди, цинка и марганца в воде р. Иртыша и некоторых водохранилищ канала.
Усл. обозн. см. на рис. 36.

Это, видимо, объясняется некоторым усилением подземного питания реки в эти маловодные годы.

В воде канала и отдельных водохранилищ концентрация этих элементов изменялась в широких пределах: медь 7,4—76, цинк 6,2—64 и марганец — 14—76 мкг/л.

Установить четкую сезонную динамику в распределении меди, цинка и марганца не удалось. Это, видимо, обусловлено непостоянством в отдельные сезоны водного режима водоемов и ряда других факторов, влияющих на динамику элементов. Однако, как видно из данных рис. 36, в большинстве случаев повышение их концентрации наблюдалось весной. Основной причиной этому является поступление в водохранилища воды во время весеннего половодья по рекам и временным водотокам бассейнов рек Шидерты, Дженгельды и Тузды.

Согласно данным П. Г. Грабарова и др. [67—69], почвы Центрального и Северного Казахстана, в частности темно-каштановые, широко распространенные (до 80 %) в районах канала, хорошо обеспечены этими элементами, особенно марганцем и медью. Они отличаются довольно высокой подвижностью, что, вероятно, способствует поступлению их в открытые водоемы во время снеготаяния на склонах.

За период исследований более высокие концентрации рассматриваемых элементов наблюдались в отдельные сезоны 1972—1973 гг. Это, на наш взгляд, вызвано аккумуляцией указанных элементов в водохранилищах в первые годы их наполнения за счет выщелачивания и смыва из затопленных почв и с поверхности водосборов, этому также способствовало поступление подземных вод, особенно в 1973 г., когда водоемы имели более устойчивый режим в условиях низкого водообмена. О повышенных содержаниях этих элементов в подземных водах можно судить по тому, что в воде отдельных плёсов р. Бала-Шидерты, вблизи впадения ее в водохранилище 8, обнаружено меди до 93, а марганца до 78 мкг/л.

В последующие годы с увеличением проточности канала и отчасти за счет сорбции глинистыми частицами, а также в результате биологического потребления концентрация рассматриваемых элементов значительно снизилась до значений, отмеченных в 1970—1971 гг.

Содержания этой группы элементов в воде канала и его водохранилищ значительно выше, чем в воде р. Иртыша. Причем по длине канала концентрация их постепенно возрастает, что особенно четко прослеживается для марганца (см. табл. 42 и рис. 37).

Наиболее высокие значения отмечены в водохранилищах 8, 10 и 11, более подверженных влиянию местных гидрогеологических, почвенных и других условий. Воды этих водоемов отличаются также повышенными значениями минерализации, органических и некоторых видов биогенных веществ.

Никель и кобальт, несмотря на близость своих химических свойств, имеют разную подвижность на земной поверхности и различаются содержанием в литосфере и почвах.

Среднее содержание никеля в речных водах около 3 мкг/л, а кобальта — доли микрограмма [165, 174].

В воде р. Иртыша содержание никеля составляло 1,0—5,7, кобальта 0,2—0,7 мкг/л, в отдельные сезоны последний отсутствовал (см. табл. 42). В воде канала и водохранилищ кобальт присутствовал в количестве 0,3—1,7 мкг/л, что соответствует нижним пределам величин, приводимых в литературе ($1 \cdot 10^{-7}$ г/л). Причем кобальт в воде трассы канала обнаружен только в первые годы его существования (в 1970—1973 гг.).

На содержание кобальта в воде водохранилищ, по-видимому, существенное влияние оказывают: биологическое поглощение его водными растениями и сорбция из воды взвешенными веществами, что способствует аккумуляции этого элемента в донных отложениях водохранилищ. Данные, свидетельствующие о накоплении кобальта в осадках водохранилищ, будут приведены в разделе 8.2.

Режим никеля в воде р. Иртыша и водохранилищ в целом аналогичен режиму кобальта. По трассе канала его содержание варьирует в интервале 0,5—8,0 мкг/л (табл. 42 и рис. 38). Более повышенные его концентрации отмечались в р. Иртыше в весенне-летний период (май—июнь), в воде канала — в летне-осенний (август—октябрь).

В отличие от описанных выше элементов концентрация никеля не подвергается заметным изменениям по длине трассы канала и не зависит от колебания минерализации воды в отдельных водохранилищах. Возрастание его содержания наблюдалось на второй и третий год наполнения водохранилищ (1972—1973 гг.), когда проточность канала была низкой. В последующие годы, в условиях более активной транспортировки иртышской воды по каналу, концентрация никеля заметно снижается по всей трассе, непосредственно приближаясь к его содержанию в воде р. Иртыша.

Олово в природных водах мигрирует преимущественно со взвешенными веществами. В ионной форме миграция олова затруднена, так как уже при $pH = 5,5$ происходит выпадение его гидроокиси, что лимитирует распространение этого микрокомпонента в природных водах.

В воде р. Иртыша олово содержится в пределах кларка ($2,5 \cdot 10^{-4} \%$), изменяясь в интервале 0,2—0,6 мкг/л (см. табл. 42). Сезонное варьирование его незначительно, не обнаруживается также и заметных межгодовых изменений в содержании его в речной воде.

В водохранилищах олово обнаружено не повсеместно. В основном в концентрациях 0,3—0,7 мкг/л оно присутствовало в воде Экибастузского водохранилища, находящегося под непо-

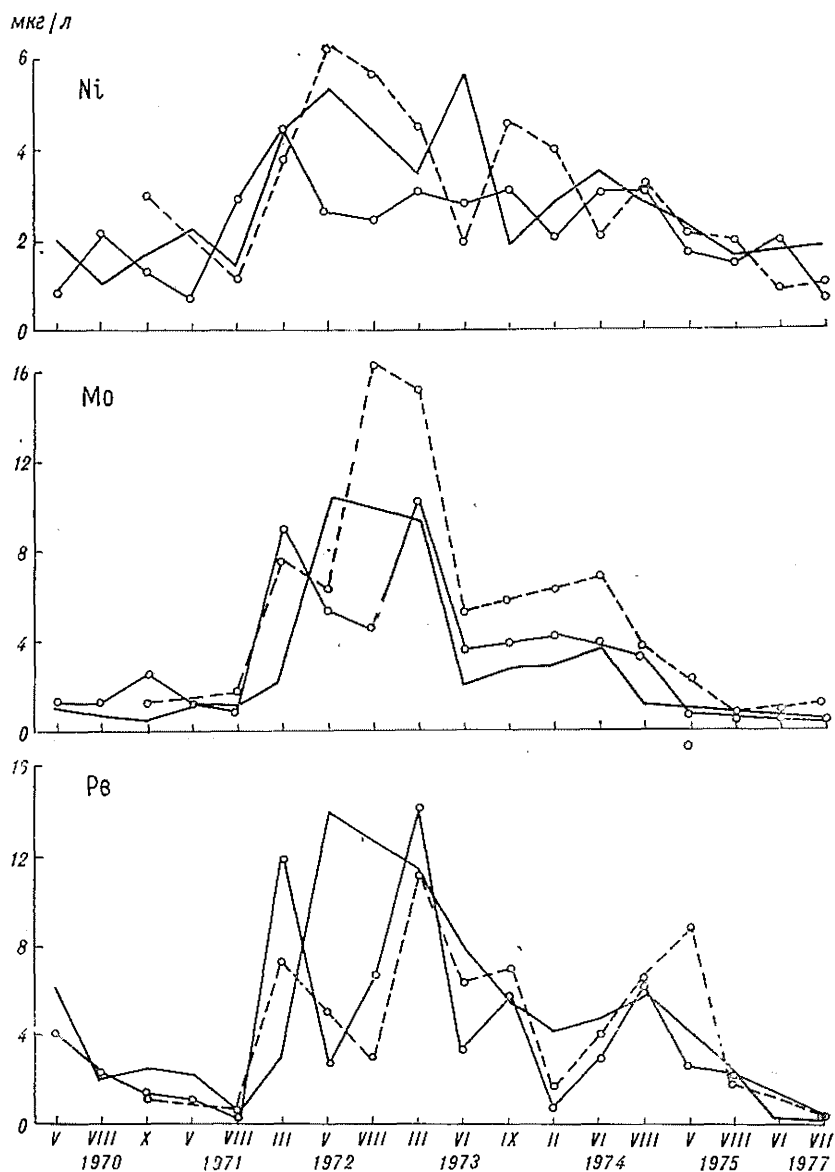


Рис. 38. Изменение содержания никеля, молибдена и свинца в воде р. Иртыша и некоторых водохранилищ канала.

Усл. обозн. см. на рис. 36.

средственным влиянием р. Иртыша. Как указано в главе 4, вода этого водоема отличается высоким содержанием взвешенных веществ. На последующих участках канала олово в основном отсутствовало, появляясь изредка в количестве от 0,2—0,4 мкг/л. Отсутствие олова в воде большей части канала, вероятно, обусловлено соосаждением его в виде гидроокиси со взвешенными веществами в пределах водохранилищ, расположенных выше по трассе канала.

Свинец в воде р. Иртыша содержится в количестве 0,2—14 мкг/л (см. табл. 42, рис. 38). Более повышенные его концентрации отмечены в 1972—1973 гг., что, по-видимому, связано с рядом региональных условий. По данным Е. В. Посохова [173, 174], содержание свинца в подземных водах Рудного Алтая и Центрального Казахстана в целом повышено и часто варьирует в интервале 40—100 мкг/л.

В воде канала и водохранилищ содержание свинца в большинстве случаев ниже, чем в воде р. Иртыша. За исключением единичных случаев, по длине канала концентрация его постепенно снижается. В летние периоды 1975 и 1977 гг. в воде замыкающих водохранилищ количество свинца было ниже чувствительности спектрографа. Снижение концентрации свинца в воде водохранилищ, видимо, обусловлено способностью его легко адсорбироваться и включаться в биогенную миграцию, как на это указывал А. И. Перельман [165].

Молибден отнесен А. И. Перельманом [165] к слабым водным мигрантам. В речных водах территории Советского Союза содержание его не превышает 18 мкг/л, а в воде р. Иртыша находится в интервале 2—4 мкг/л [153].

За пределы этих значений не выходят и полученные нами концентрации молибдена 0,3—2,7 в воде р. Иртыша. Наиболее высокое содержание его отмечено в мае 1972 г. и марте 1973 г. (см. табл. 42 и рис. 38). Сезонные изменения содержания этого элемента выражены нечетко.

В воде канала и водохранилищ концентрация молибдена несколько выше, чем в воде р. Иртыша. Однако значительного накопления его в водоемах канала не наблюдалось. Возрастание содержания молибдена до 14—16 мкг/л отмечено в отдельные сезоны 1972—1973 гг. В воде водохранилищ 11, Туздинском и конечного участка канала содержание его незначительно и за весь период исследования находилось в интервале 0,6—3,0 мкг/л.

Во внутригодовом цикле чаще всего повышение концентрации молибдена отмечалось осенью и зимой. Однако этот ритм нередко нарушался в связи с непостоянством водного режима водоемов и других факторов.

Хром в воде р. Иртыша обнаружен в концентрациях от 0,9 до 10 мкг/л, в канале и водохранилищах от 1,0 до 14 мкг/л (табл. 42). Наибольшее его содержание в основном наблюда-

ется зимой и осенью. Начиная с 1975 г. хром в воде канала не обнаружен.

Ванадий, согласно литературным данным [115, 118], в воде Куры, Дуная, Дона, Днестра, Сырдарьи, Амударьи и Иртыша содержится в количестве около 4 мкг/л. Близкие к этим значениям получены и для р. Ишим [136]. Относительно высокая концентрация этого элемента в водах Иртыша и Тобола объясняется [115] широким распространением в пределах их бассейнов месторождений полезных ископаемых.

Согласно полученным нами данным (см. табл. 42), содержание ванадия в воде р. Иртыша находилось в интервале от 2,0 до 7,3 мкг/л. По сезонам наиболее высокие значения отмечались в весенне-летний период, зимой содержание его снижается.

В воде канала и отдельных водохранилищ ванадий содержится в значительно меньшем количестве, чем в р. Иртыше. Нечетно выражена также его сезонная динамика. Более высокие концентрации ванадия характерны для первого и Экибастузского водохранилищ, по мере же удаления от головного водозабора концентрация его непрерывно снижается. В некоторые сезоны 1975—1977 гг. в воде отдельных водохранилищ он отсутствовал. На протяжении всего периода исследования общий уровень содержания ванадия в воде канала существенным изменениям не подвергался.

Титан относится к числу наиболее распространенных в природе элементов, его кларк $6 \cdot 10^{-10} \%$. В воде р. Иртыша и водоемов канала он содержится в количестве 16—165 мкг/л. Каких-либо закономерностей во внутригодовой и межгодовой его динамике установить не удалось.

Следует отметить несколько повышенное содержание титана в водохранилищах 11 и 8, что, вероятно, объясняется повышенной его концентрацией в воде р. Шидерты, наполняющей водохранилище 11 и ее притоков, для которых характерно активное подземное питание. В воде устьевой части р. Бала-Шидерты, впадающей в водохранилище 8, в летнюю межень содержание титана составляло 340—446 мкг/л.

Серебро в воде р. Иртыша и канала содержится в незначительном количестве. Ясно выраженных сезонных изменений и пространственных изменений в концентрации серебра не удалось обнаружить.

Бор — активный мигрант, содержание его в воде рек варьирует в широких пределах: в реках Японии от 100 до 1900 мкг/л, в реках Флориды от 19 до 400 мкг/л, в реках Советского Союза от 10 до 100 мкг/л и выше, причем максимальные значения характерны для рек юга Западной Сибири, Средней Азии и Казахстана. Повышенная концентрация бора в воде рек бассейна Иртыша (иногда до 150—300 мкг/л) установлена исследованиями ряда авторов [86, 136, 147, 153, 168].

По полученным нами данным, концентрация бора в воде

р. Иртыша в районе водозабора составляла 85—137 мкг/л. Режим его отличается стабильностью как по сезонам, так и в межгодовом цикле.

В водохранилищах содержание его находится в пределах 88—530 мкг/л. Установлена достаточно тесная зависимость содержания бора от минерализации воды канала. Наиболее высокие его концентрации характерны для воды водохранилищ 8, 10 и 11, где по сравнению с другими участками канала его минерализация выше. Именно эти водоемы, как неоднократно указы-

валось выше, более подвержены влиянию подземных вод и стока р. Шидерты и ее притоков. Вода р. Бала-Шидерты, например, в районе впадения в водохранилище 8 имела концентрацию бора до 1700—2800 мкг/л.

Тесная зависимость между концентрацией бора и минерализацией воды в различных типах водоемов установлена целым рядом авторов [86, 115, 136, 150, 214]. Для канала Ир-

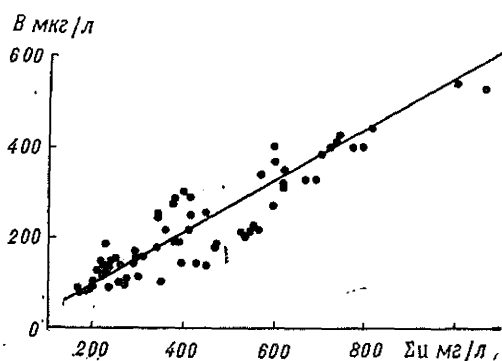


Рис. 39. Зависимость содержания бора от минерализации воды.

тыш—Караганда и его водохранилищ графически эта зависимость представлена на рис. 39.

Известно, что концентрация бора в природных водах связана не только с их минерализацией, но и с ионным составом. Наибольшее содержание бора характерно для карбонатных вод. В воде целого ряда водоемов подобного типа отношение $B \cdot 10^4 / \Sigma и$ в среднем составляет 4,7 [86, 115, 147]. В воде р. Иртыш и водоемов канала значение этого отношения составляло 3,1—7,0, в среднем около 4,7.

В соответствии с изменением минерализации воды, некоторое повышение содержания бора отмечалось в периоды наименьшего водообмена в канале и водохранилищах. В последние годы в условиях более интенсивной транспортировки иртышской воды его содержание заметно снижается, хотя по своему значению оно несколько выше, чем в воде р. Иртыша.

Элементы группы галогенов (фтор, бром, иод) нами не определялись. Согласно имеющимся литературным данным [92, 150, 153], в воде р. Иртыша и ее притоков концентрация их изменяется в пределах: для иода — 3—22, брома — 11—170, фтора — 100—350 мкг/л. Л. Н. Крепкогорский [125, 126] для рек и

некоторых водохранилищ Центрального Казахстана приводит среднюю концентрацию фтора, равную 250 мкг/л.

Кроме рассмотренных, в табл. 43 представлены полученные нами сведения о содержании некоторых слабоподвижных и инертных элементов. Геохимия их изучена в ландшафте слабо. Из данных видно, что концентрация скандия, ниобия, бериллия, галлия и иттрия в воде р. Иртыша и водохранилищ невелика и находится в пределах точности определения, содержание лантана и циркония близко или несколько выше кларкового ($Zr - 1,7 \cdot 10^{-2}$, $La - 2,9 \cdot 10^{-3}$).

Миграционная способность поступления того или иного элемента в придонные воды характеризуется коэффициентом водной миграции, предложенным А. И. Перельманом [164]. Этот коэффициент (K_x) представляет частное от деления содержания данного элемента x в минеральном остатке воды на его содержание в горных породах, дренирующих в придонные воды. Расчет значений этих коэффициентов позволил ранжировать рассмотренные микроэлементы по их подвижности в условиях канала в соответствии с классификацией А. И. Перельмана. Результаты приведены в табл. 44.

Таблица 44

Миграционная способность микроэлементов в условиях канала по классам А. И. Перельмана

Класс	Коэффициент водной миграции (K_x)	Элементы
Очень подвижные	$K_x \geq 10$	B
Умеренно подвижные	$1 < K_x < 10$	Sr, Cu, Mo
Подвижные	$0,1 < K_x < 1,0$	Zn, Ba, Sn, Pb, Cr, V, Co, Sn, Mn, Nb
Слабоподвижные	$0,01 < K_x < 0,1$	Zr, Ni, Ti, Be, Y

К числу очень подвижных мигрантов в воде канала относится только бор, к умеренно подвижным — стронций, медь и молибден. По классификации А. И. Перельмана [164], цинк отнесен к числу элементов с высокой интенсивностью миграции. Однако в изученных нами водах по значению миграционного коэффициента, за редким исключением, он становится в ряд подвижных элементов. Барий, хром и свинец, по нашим данным, попали в класс подвижных элементов, молибден — умеренно подвижных. По классификации же А. И. Перельмана, все они отнесены к группе слабоподвижных элементов. Цирконий, титан, бериллий и иттрий, как и по оценке этого автора, у нас вошли в класс слабоподвижных мигрантов.

Причина некоторых отмеченных различий заключается, видимо, в своеобразии ландшафтных условий региона, а также в высокой миграционной контрастности этих элементов в зависи-

мости от формы миграции, реакции среды, окислительно-восстановительных процессов, степени растворимости соединений и др.

Все исследованные микроэлементы, приведенные в табл. 42, могут быть расположены в порядке уменьшения их концентрации в воде канала в следующий ряд: $Sr > Ba \geq B > Ti > Mn > Cu \geq Zn > Cr = V > Pb > Mo \geq Ni > Co = Sn \geq Ag$.

Анализ полученных данных свидетельствует о том, что, наряду с гидрогеологическими, почвенными, биологическими и другими условиями, одним из основных факторов, регулирующих содержание микроэлементов в воде канала и водохранилищ, является интенсивность водообмена. Слабая проточность канала в начальный период эксплуатации явилась основной причиной повышения концентрации большинства элементов в воде по всей трассе канала. По мере увеличения водообмена концентрация элементов снижалась до пределов их содержания в воде р. Иртыша. Это, в свою очередь, позволяет полагать, что содержание микроэлементов в воде канала в условиях увеличения его проточности не будет существенно отличаться от их содержания в речной воде.

8.2. Микроэлементы в донных отложениях

Как было упомянуто выше, в донных отложениях водохранилищ определялось валовое содержание микроэлементов. С помощью спектрального метода в них обнаружено 16 элементов с содержанием, указанным в табл. 45.

Для оценки миграционной способности элементов в донные отложения водохранилищ в табл. 46 приведено сравнение среднего содержания обнаруженных нами компонентов с содержаниями их в литосфере [164, 165] и в темно-каштановых почвах, широко распространенных по трассе канала [51, 67].

Из данных таблицы следует, что среднее содержание молибдена, свинца, олова и титана в донных отложениях близко к их средним концентрациям в почвах зоны канала и в литосфере. Содержание же бора, хрома, ванадия, стронция и никеля близко к их кларкам в литосфере, но несколько ниже, чем в почвах. Это является следствием того, что почвы Центрального Казахстана, в частности, в районах канала, хорошо обеспечены этими элементами [67].

Содержание марганца, бария, кобальта, меди и цинка выше в донных отложениях водохранилищ, чем в литосфере и почвах территории. Видимо, накопление этих элементов в илах осуществляется, во-первых, за счет сорбции их из воды взвешенными веществами (адсорбция микроэлементов глинистыми частицами и гидроокисями изучалась и подтверждена многими авторами [124, 243, 249]), во-вторых, за счет биологического поглощения бария, кобальта, марганца и других элементов водными

Таблица 45

Содержание микроэлементов и органического вещества в донных отложениях водохранилищ в 1975 г., г/кг

№ станции	Водохранилища	Дата	Ba	Str	Cu	Zn	Mn	Co	Ni	Sn	Pb	Mo	Cr	V	Ti	Ag	B	Be	Органическое вещество, %
Апрель — июнь																			
3	Экибастузское	7/V	0,5	0,5	0,06	0,08	1,5	0,02	0,08	0,002	0,010	0,081	0,10	0,08	5,0	нет	0,02	нет	10,1
5	1	27/IV	0,6	нет	0,08	0,08	1,0	0,03	0,04	0,003	0,015	0,001	0,08	0,08	6,0	"	0,02	"	8,9
8	7	27/IV	0,6	0,5	0,06	0,08	1,5	0,03	0,04	0,002	0,010	0,002	0,08	0,08	5,0	"	0,02	"	12,5
21	7	13/V	0,6	нет	0,06	0,10	1,5	0,02	0,04	0,003	0,015	0,002	0,08	0,08	5,0	"	0,02	0,005	9,6
24	7	13/V	0,6	0,5	0,05	0,06	0,8	0,03	0,04	0,002	0,010	нет	0,10	0,08	8,0	"	0,02	нет	14,3
25	8	13/V	0,8	нет	0,05	0,08	1,5	0,02	0,04	0,003	0,015	0,002	0,08	0,08	5,0	"	0,02	"	10,6
27	8	13/V	0,8	0,5	0,06	0,10	1,5	0,03	0,03	0,003	0,010	нет	0,06	0,06	10,0	"	0,02	0,006	12,5
32	8	13/V	1,0	0,5	0,08	0,08	2,0	0,03	0,04	0,004	0,015	0,002	0,08	0,08	10,0	"	0,02	0,006	12,2
33	8	12/V	2,0	0,8	0,08	0,15	3,0	0,04	0,05	0,004	0,015	0,002	0,08	0,08	10,0	"	0,02	0,006	16,9
36	10	12/V	0,8	нет	0,06	0,08	1,5	0,03	0,04	0,003	0,010	0,001	0,08	0,08	8,0	"	0,02	нет	12,9
39	10	12/V	0,8	0,5	0,06	0,05	1,0	0,03	0,03	0,002	0,010	0,002	0,08	0,06	6,0	"	0,02	"	13,2
41	11	12/V	0,6	нет	0,08	0,15	1,5	0,03	0,03	0,003	0,015	0,001	0,08	0,08	5,0	"	0,02	"	11,3
Август																			
4	1	15/VIII	0,6	нет	0,08	0,08	1,0	0,03	0,03	0,002	0,010	0,002	0,06	0,08	4,0	нет	0,02	нет	10,9
5	1	15/VIII	0,6	"	0,08	0,08	1,0	0,03	0,04	0,002	0,010	0,002	0,08	0,08	4,0	"	0,02	"	10,4
8	1	15/VIII	0,6	0,5	0,06	0,06	0,6	0,02	0,03	0,002	0,010	0,001	0,08	0,06	3,0	"	0,02	"	11,9
17	5	11/VIII	0,6	нет	0,06	0,08	3,0	0,03	0,04	0,002	0,015	0,002	0,08	0,06	3,0	0,0001	0,02	"	11,8
18	5	13/VIII	0,6	"	0,08	0,08	1,5	0,04	0,08	0,003	0,015	0,002	0,10	0,10	6,0	нет	0,02	"	12,9
20	5	14/VIII	0,6	"	0,06	0,10	2,0	0,04	0,06	0,003	0,015	0,002	0,10	0,10	5,0	"	0,03	"	14,4
21	7	19/VIII	0,5	"	0,06	0,08	0,8	0,03	0,04	0,002	0,015	0,002	0,08	0,10	4,0	"	0,02	"	11,4
24	7	19/VIII	0,6	"	0,05	0,08	0,8	0,03	0,03	0,002	0,015	0,001	0,08	0,10	4,0	"	0,02	"	12,3
25	8	19/VIII	1,0	"	0,06	0,15	3,0	0,05	0,08	0,003	0,015	0,001	0,10	0,10	4,0	"	0,02	"	20,3
27	8	20/VIII	0,8	"	0,06	0,10	2,0	0,03	0,05	0,003	0,020	0,001	0,08	0,10	4,0	"	0,02	"	14,9
32	8	20/VIII	0,5	"	0,08	0,15	1,5	0,03	0,08	0,003	0,015	0,002	0,15	0,15	5,0	0,0001	0,02	"	10,4
36	10	25/VIII	0,8	0,5	0,06	0,10	2,0	0,04	0,06	0,003	0,015	0,002	0,10	0,10	4,0	нет	0,02	"	16,5
39	10	21/VIII	0,6	нет	0,06	0,08	0,8	0,03	0,04	0,003	0,010	0,002	0,08	0,06	4,0	"	0,02	"	12,5
41	11	21/VIII	0,6	"	0,06	0,08	0,8	0,03	0,04	0,003	0,010	0,001	0,08	0,08	5,0	"	0,02	0,005	10,8

Таблица 46

Среднее содержание микроэлементов в литосфере, темно-каштановых почвах территории канала и донных отложениях водохранилищ

Элемент	Содержание, %		
	в литосфере	в темно-каштановых почвах	в донных отложениях водохранилищ
Ba	$6,5 \cdot 10^{-2}$	$5,3 \cdot 10^{-3}$	$7,5 \cdot 10^{-2}$
Sr	$3,4 \cdot 10^{-2}$	$4,0 \cdot 10^{-2}$	$2,1 \cdot 10^{-2}$
Cu	$4,7 \cdot 10^{-3}$	$2,8 \cdot 10^{-3}$	$6,3 \cdot 10^{-3}$
Zn	$8,3 \cdot 10^{-3}$	$4,5 \cdot 10^{-3}$	$8,9 \cdot 10^{-3}$
Mn	$1 \cdot 10^{-1}$	$1,2 \cdot 10^{-1}$	$1,3 \cdot 10^{-1}$
Co	$1,8 \cdot 10^{-3}$	$8,2 \cdot 10^{-4}$	$3,1 \cdot 10^{-3}$
Ni	$5,8 \cdot 10^{-3}$	$7,7 \cdot 10^{-3}$	$4,5 \cdot 10^{-3}$
Sn	$2,5 \cdot 10^{-1}$	$3,0 \cdot 10^{-1}$	$2,4 \cdot 10^{-1}$
Pb	$1,6 \cdot 10^{-3}$	$1,5 \cdot 10^{-3}$	$1,1 \cdot 10^{-3}$
Mo	$1,1 \cdot 10^{-4}$	$1,2 \cdot 10^{-4}$	$1,2 \cdot 10^{-4}$
Cr	$8,3 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-2}$	$8,4 \cdot 10^{-3}$
V	$9 \cdot 10^{-3}$	$1,2 \cdot 10^{-2}$	$9,0 \cdot 10^{-3}$
Ti	$4,5 \cdot 10^{-1}$	$6,0 \cdot 10^{-1}$	$5,6 \cdot 10^{-1}$
B	$1,2 \cdot 10^{-3}$	$4,0 \cdot 10^{-3}$	$2,1 \cdot 10^{-3}$

растениями с последующим накоплением их в илах в результате разложения растительности и осаждения элементов в виде малорастворимых соединений. Биологическое накопление кобальта, меди, цинка и марганца широко известно по литературным данным [48, 49, 104, 105, 124, 230].

Из данных табл. 45 также следует, что более повышенные концентрации упомянутых элементов обнаруживаются именно в донных отложениях водохранилищ 8, 9 и 10, отличающихся высокой зарастаемостью, сравнительно большими площадями и более активным ветровым взмучиванием водных масс. Кроме того, эти водоемы более подвержены воздействиям подземных вод, что способствует повышению концентрации ряда элементов в их воде.

Степень аккумуляции микроэлементов в осадках водоемов оценивается коэффициентом аккумуляции (K_a), представляющим собой отношение содержания элемента в донных отложениях к содержанию его в почвах и породах. Значения этого коэффициента в водохранилищах для отдельных элементов характеризуется следующими величинами убывающего ряда:

Микроэлемент	Co	C	Zn	Mn	Ba	Mo	Ti	V	Sn	Cr	Pb	B	Sr	Ni
K_a	2,2	1,7	1,4	1,2	1,2	1,0	1,0	0,9	0,9	0,9	0,8	0,8	0,7	0,7

Из приведенных данных видно, что концентрация марганца, бария, кобальта, меди и цинка в донных отложениях водохранилищ больше, чем в почвах и породах ($K_a > 1$), следовательно, имеется тенденция к накоплению этих элементов в донных отложениях, а K_a для олова, бора, ванадия, хрома, стронция,

свинца и никеля меньше единицы, что характеризует сравнительно меньшую подвижность этих элементов в природных комплексах.

Имеющиеся в литературе данные [148—150, 206] показывают, что одним из определяющих факторов в распределении многих микроэлементов в донных отложениях водоемов является содержание в них органических веществ. Нами также обнаружена тенденция прямой зависимости между содержанием некоторых элементов и валовым содержанием органических веществ в донных отложениях водохранилищ. Например, изменению количества органических веществ от 8,9 до 20,3 % соответствует увеличение концентрации марганца от 0,8 до 3,0, цинка — от 0,08 до 0,15, кобальта — от 0,02 до 0,04 г/кг (табл. 45). Аналогичной зависимости для других элементов не обнаружено.

Отметим, что содержание подавляющего большинства рассмотренных элементов в донных отложениях водохранилищ канала оказалось близким к содержанию их в донных отложениях ряда водохранилищ Европейской части СССР и центральных областей Казахстана [72—74, 136, 206]. Лишь количество кобальта и марганца в отложениях водохранилищ в 1,5—2,5 раза выше, чем в указанных водоемах. Вероятно, здесь накладывают свой отпечаток распространение на территории, прилегающей к каналу, почв, богатых этими элементами, и наличие рудных месторождений.

Все обнаруженные в донных отложениях микроэлементы располагаются в последующий ряд в порядке уменьшения их содержания: $Ti > Mn > Ba > Zn > Cr = V > Cu > Ni > Co > B > Pb > Sn > Mo$. В самых общих чертах этот ряд аналогичен показанному выше ряду микроэлементов, содержащихся в воде.

ГЛАВА 9. ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВОДЫ КАНАЛА ДЛЯ ХОЗЯЙСТВЕННО-ПИТЬЕВЫХ, ТЕХНИЧЕСКИХ И ИРРИГАЦИОННЫХ ЦЕЛЕЙ

9.1. Качество воды для хозяйственно-питьевых целей

Важным показателем при определении качества воды для хозяйственно-питьевых целей является ее минерализация. Согласно принятым в СССР нормативам, она не должна превышать 1,0 г/л [216]. По градации О. А. Алекина [9], предельная концентрация минеральных солей в питьевой воде равна 2,5—3,0 г/л.

Подробные сведения о величине и режиме минерализации воды канала и водохранилищ приведены в главе 5 (см. табл. 21—23). Здесь лишь отметим, что по этому показателю вода удовлетворяет требованиям существующих нормативов. Минерализация из года в год снижается, в последние годы на всем протяжении канала она находилась в основном в пределах 180—700 мг/л.

Согласно существующим нормативам, в водоемах питьевого назначения строго лимитируется концентрация целого ряда микроэлементов (Mo, Sr, Pb, Be, Ba, Cu, Zn, Ni, Co, F, Fe и др.). Сведения о их содержании приведены в главе 8. В связи со строгой санитарной охраной канала от антропогенных загрязнений их содержание в воде определяется главным образом естественными факторами. Поэтому концентрация подавляющего большинства перечисленных элементов в воде канала в десятки и сотни раз меньше установленных для них допустимых пределов. Лишь содержание стронция, фтора и железа изредка достигает нормативных уровней.

Органолептические свойства воды характеризуются величинами цветности, содержанием взвешенных веществ, запахами и привкусами. Нормируемый предел цветности воды до 20° [53]. Интервал колебания предельных ее значений в воде канала 8—45° (см. табл. 38). Наиболее высокая цветность характерна для конечных участков канала, преимущественно в вегетационный период. На большей части трассы канала, особенно в последние годы, цветность воды не достигала 20° (см. рис. 32 и 33). Следовательно, по величине этого показателя вода канала удовлетворяет нормативным требованиям.

Более жестко лимитируется количество взвешенных веществ, которое в питьевой воде не должно превышать 1,5 мг/л. При централизованном водоснабжении это достигается на стан-

циях водоподготовки путем фильтрования, отстаивания и коагуляции, так как в воде открытых водоемов взвесей, как правило, значительно больше.

Как было указано в главе 4, вода р. Иртыша, поступающая в канал, особенно в весенний период, содержит большое количество взвешенных веществ — до 160—196 мг/л. В результате этого и под влиянием размыва откосов канала мутность воды в головной части канала и в Экибастузском водохранилище достаточно высока.

На последующих участках канала количество взвешенных веществ в воде значительно уменьшается из-за осаждения их в водохранилищах и возрастает ее прозрачность. Некоторое увеличение мутности воды в канале и водохранилищах происходит в результате интенсивной перекачки ее по трассе, вследствие поступления склоновых вод, ветрового перемешивания и т. д. Однако количество взвешенных веществ не достигает величин, способных сильно затруднять работу водоочистных сооружений.

Неприятный запах воды обычно появляется из-за присутствия в ней отдельных видов водорослей, причем ароматичность их, в частности диатомовых водорослей, зависит от ряда условий среды, например, от концентрации в воде азотосодержащих соединений [157, 202].

Появление достаточно интенсивного, травянистого и рыбьего запахов в воде канала наблюдалось в летне-осенние периоды 1972 и 1973 гг., когда имело место резкое увеличение в водохранилищах численности фитопланктона. В последние годы интенсивность запаха заметно снизилась и местами он совсем не ощущался.

По содержанию в воде растворенного кислорода (норма не менее 4 мг/л) вода канала и водохранилищ вполне удовлетворяет необходимым требованиям (см. табл. 40 и 41).

Таким образом, качество воды канала и водохранилищ, особенно в последние годы, по гидрохимическим характеристикам, можно считать удовлетворительным для хозяйственно-питьевого водоснабжения.

9.2. Качество воды для технических целей

Жесткость воды. В связи с широким использованием воды из канала для промышленных нужд, в частности для объектов энергетики, этот показатель имеет особое значение.

В целом за весь период исследования жесткость воды канала, как и ее общая минерализация, изменялась в широком интервале. Некоторые сведения об изменении жесткости в воде отдельных участков канала приведены в табл. 47. Из этих данных следует, что в последние годы вследствие более регулярной транспортировки воды по каналу величина ее значительно

Таблица 47

Жесткость воды канала и водохранилищ в 1969—1978 гг.
($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$, ммоль/л)

Водный объект	1969—1978 гг.		1977—1978 гг.	
	пределы	среднее	пределы	среднее
р. Иртыш	1,38—2,77	1,82	1,76—2,08	1,88
Канал у пос. Калкаман	1,50—3,22	2,11	1,84—2,58	2,21
вдхр Экибастузское	1,66—3,23	2,17	1,83—2,55	2,03
вдхр 1	1,80—3,92	2,57	1,82—2,55	2,12
вдхр 3	1,81—4,08	2,66	1,89—2,00	1,96
вдхр 4	1,86—4,96	2,94	1,86—2,68	2,18
вдхр 5	1,97—4,98	3,05	1,97—2,94	2,41
вдхр 7	2,03—5,74	3,56	2,59—2,92	2,70
вдхр 8	2,94—6,75	4,31	2,94—3,28	3,08
вдхр 9	3,12—5,70	4,60	3,12—3,27	3,21
вдхр 10	3,01—6,72	4,60	3,01—3,36	3,13
вдхр 11	3,10—9,20	5,16	4,71—4,87	4,77
вдхр Туздинское	2,83—7,74	5,10	2,83—5,27	3,97
Канал у г. Караганды	3,12—8,04	5,17	3,12—7,01	4,15

снизилась по сравнению с начальным периодом существования канала.

По данным последних лет, в соответствии с грациями, рекомендованными О. А. Алекиным [9], можно считать, что на участке от головного водозабора до водохранилища 8 (305 км) вода канала, имеющая жесткость 1,82—2,92 ммоль/л, относится к мягкой. На последующих участках канала, за исключением единичных случаев, вода относится к категории умеренно жесткой.

ГОСТом 2874-73 для централизованного водоснабжения допускается вода с жесткостью не выше 7,0 ммоль/л. В отношении жесткости воды для технических нужд ставятся более повышенные требования. Однако в этих условиях вода используется в основном после соответствующего умягчения.

Изложенный материал позволяет заключить, что вода канала по степени ее жесткости в целом удовлетворяет необходимым требованиям. В будущем при значительном увеличении проточности канала следует ожидать снижение жесткости воды.

Агрессивность воды. Согласно имеющимся данным [166, 168, 213], речные воды Обь-Иртышского бассейна в большей части года обладают агрессивными свойствами на бетон. Поэтому оценка этого показателя в специфических условиях региона при наличии каскада водохранилищ и других гидротехнических сооружений, способных к химической эрозии при неблагоприятных свойствах воды, имеют определенный практический интерес.

Согласно строительным нормам (СН 249-63), различают следующие пять видов агрессивного действия воды на бетон:

углекислотный, выщелачивающий, общекислотный, сульфатный и магниальный.

Последние два вида агрессивности несвойственны воде канала вследствие невысокого содержания в ней Mg^{2+} и SO_4^{2-} , так как по указанным выше нормам вода может обладать сульфатной агрессивностью при содержании SO_4^{2-} лишь более 1,5 г/л (по отношению к сульфатостойким цементам допускается его концентрация 2,5—5,0 г/л). Предельная допустимая концентрация магния в воде от 1,0 до 2,5 г/л. Концентрация указанных ионов в воде канала и водохранилищ намного ниже.

Для воды канала несвойственна и общекислотная агрессивность в связи с тем, что pH воды, за исключением единичных случаев, выше 8,0, этот же вид агрессивности характерен при pH ниже 6,0.

Из числа указанных пяти видов агрессивности природные воды часто обладают выщелачивающей и углекислотной агрессивностью.

Выщелачивающая агрессивность в зависимости от сорта цемента, условий, в которых находится гидротехническое сооружение, свойственна воде при содержании в ней $HCO_3^- < 0,7—2,0$ ммоль/л [9]. Сведения о выщелачивающей агрессивности можно также получить путем расчета степени насыщенности воды карбонатом кальция, так как уровень данного вида агрессивности определяется не только концентрацией ионов HCO_3^- , но и состоянием карбонатного равновесия в целом и величиной всех основных компонентов карбонатно-кальциевой системы. Степень насыщенности воды $CaCO_3$ рассчитывалась для отдельных участков канала (табл. 48) с использованием общепринятой методики [10]. Более подробно этот вопрос был нами освещен в отдельном сообщении [26], здесь же остановимся на нем очень коротко.

Как видно из табл. 48, вода р. Иртыша в большую часть года остается не насыщенной карбонатом кальция и, следовательно, обладает в некоторой степени выщелачивающей агрессивностью.

По мере продвижения воды по каналу в пределах каскада водохранилищ, созданных на р. Шидерты, насыщенность ее $CaCO_3$ возрастает в результате интенсификации в водохранилищах процесса фотосинтеза, повышения минерализации воды, а также концентраций кальция, гидрокарбонатов и величины pH воды. Степень насыщенности $CaCO_3$ воды Экибастузского водохранилища, расположенного на 130—134-м км трассы канала, несколько выше последующего по трассе водохранилища 1. Это объясняется мелководностью Экибастузского водохранилища и сравнительно высокой его зарастаемостью водной растительностью.

Наименьшие значения степени насыщенности воды $CaCO_3$ наблюдаются зимой. Вода р. Иртыша, Экибастузского и первого

Таблица 48

Степень насыщенности воды р. Иртыша и водохранилищ
карбонатом кальция

Участок канала	Зима (февраль — март)	Весна — лето (май — июнь)	Лето — осень (август — сентябрь)
р. Иртыш	0,35—0,65	0,24—0,62	0,48—1,65
вдхр Экибастузское	0,45—1,80	1,20—4,16	1,52—5,00
вдхр 1	0,64—0,88	0,47—2,15	1,50—2,44
вдхр 3	0,90—2,45	1,15—2,70	1,63—3,95
вдхр 5	—	1,09—3,15	1,65—5,50
вдхр 8	1,16—6,25	2,49—7,70	2,21—9,08
вдхр 10	1,05—4,85	2,00—7,92	3,43—8,93
вдхр 11	0,91—1,96	1,40—5,81	2,70—7,63
вдхр Туздинское	—	0,89—4,77	4,13—6,30

Примечание. Прочерк означает, что данные отсутствуют.

водохранилищ в этот период бывает недонасыщенной карбонатом кальция. Заметное пересыщение воды водохранилищ CaCO_3 отмечается в летне-осенний период. Присутствие в воде водохранилищ CaCO_3 в количестве, значительно превышающем предел его растворимости, объясняется возрастанием в этот период интенсивности процесса фотосинтеза, способствующего ассимиляции двуокиси углерода и повышению величины pH, что обеспечивает сдвиг карбонатно-кальциевой системы в сторону образования карбоната кальция.

В заключение следует отметить, что наблюдаемые временами невысокие значения выщелачивающей агрессивности воды канала и водохранилищ, по-видимому, не представляют опасности для бетонных конструкций гидротехнических сооружений. Согласно литературным сведениям [9] и строительным нормам, вода при концентрации в ней HCO_3^- выше 2,0 ммоль/л не опасна в отношении выщелачивающей агрессивности даже при недосыщении ее CaCO_3 .

Наличие углекислотной агрессивности при содержании CO_2 от 0,1 до 2,0 мг/л отмечалось в основном в воде р. Иртыша в условиях недонасыщенности ее CaCO_3 . Агрессивная CO_2 в воде канала (0,3—0,9 мг/л) присутствовала в единичных случаях, что не может вызвать эрозии бетонных сооружений, так как по принятым строительным нормам опасность агрессивной двуокиси углерода может быть при ее концентрации выше 8,3 мг/л [213].

9.3. Качество воды для ирригации

Выше (в главе 2) было отмечено, что водные ресурсы канала широко используются для орошения сельскохозяйственных угодий. Площадь орошаемых земель в зоне канала сейчас уже

превысила 50 тыс. га, а в перспективе значительно возрастет. Это определяет необходимость оценить степень пригодности воды канала в целях орошения.

Ирригационное качество воды канала оценено рядом показателей, к числу которых относятся: минерализация и ионный состав воды, ирригационный коэффициент, величина отношения одновалентных катионов к двухвалентным и коэффициент потенциального поглощения натрия (*SAR*).

О допустимых пределах минерализации поливных вод единого мнения не существует. По утверждению большинства специалистов [9, 44, 127], воды с минерализацией до 1,0—1,5 г/л вполне пригодны для орошения.

Величина ирригационного (щелочного) коэффициента (K_a), предложенного Х. Стеблером, обычно вычисляется для каждого типа воды отдельно. Вода канала в основном относится ко второму типу, поэтому при вычислении ирригационного коэффициента использована формула, применимая для этого типа:

$$K_a = \frac{6620}{Na^+ + 2,6 Cl^-}.$$

При $K_a > 18$ вода считается хорошей, при значении 18—6 удовлетворительной, при 5,9—1,2 неудовлетворительной и при < 1,2 плохой [9].

При оценке поливного качества воды по отношению $\frac{Na^+ + K^+}{Ca^{2+} + Mg^{2+}}$, осолонцевание почв по М. Ф. Буданову возможно при величине отношения более 0,7, по Келли и др. — более 1,0, по А. М. Можейко и Г. К. Воротник — > 2 [205].

Натриевое абсорбционное отношение *SAR* (применяемое департаментом сельского хозяйства США) рассчитывалось по формуле

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2}}}.$$

Если значения *SAR* равно 10, то опасность засоления почв малая, при $SAR = 10 \div 18$ средняя, при 18—26 высокая, при > 26 очень высокая.

Для оценки поливных качеств воды канала использован многолетний материал, полученный в вегетационные периоды. Согласно полученным данным, следует отметить, что вода канала по всем показателям вполне пригодна для орошения.

Минерализация воды в канале (см. табл. 20—23) невысокая, в основном от 180 до 700 мг/л, лишь в первые годы наполнения его она достигала местами 1000 мг/л. Учитывая ожидаемое снижение минерализации воды канала в будущем, в связи с увеличением забора ее из р. Иртыша можно ожидать и зна-

чительного улучшения качества воды для орошения по этому показателю.

Величина ирригационного коэффициента для воды канала находится в пределах, характеризующих ее хорошее качество (табл. 49). Единичные случаи снижения этого коэффициента до удовлетворительной оценки (8—10) в водохранилищах Туздинском и 11 связано с их водным режимом.

Таблица 49

Оценка ирригационных качеств воды канала и водохранилищ по различным показателям

Участок канала	Годы, за которые использованы данные для расчетов	Коэффициент Стеблера (K_a)		$\frac{Na^+ + K^+}{Ca^{2+} + Mg^{2+}}$		SAR	
		пределы	среднее	пределы	среднее	пределы	среднее
р. Иртыш	1969—1978	154—229	191	0,2—0,6	0,4	0,36—0,61	0,48
Канал у поселка Калкаман	1970—1978	100—188	144	0,3—0,7	0,5	0,38—0,85	0,66
вдхр 1	1970—1978	48—175	75	0,4—1,0	0,6	0,54—1,16	0,85
вдхр 5	1971—1978	26—72	38	0,7—0,9	0,8	1,13—1,80	1,46
вдхр 8	1970—1978	17—35	26	0,7—1,1	0,9	1,57—2,62	2,04
вдхр 10	1971—1978	11—30	20	0,7—1,4	1,0	1,92—3,27	2,60
вдхр 11	1970—1978	8—59	29	0,6—1,8	0,9	1,30—4,80	3,05
вдхр Туздинское	1971—1978	10—42	26	0,6—1,9	1,2	1,85—2,89	2,37

Хорошее качество воды для орошения подтверждают также величины отношения одновалентных катионов к двухвалентным и SAR.

По оценке Л. С. Шильниковской, А. П. Белан [224] и Н. И. Угланова [205], речные воды Центрального Казахстана в бассейнах рек Нуры, Сарысу, Тургая и других, особенно в летнюю межень, по отдельным показателям бывают опасными и даже непригодными для орошения. Однако поступление в перспективе в систему Нуры, Сарысу и других рек иртышской воды из канала Иртыш—Караганда значительно улучшит качество речных вод для орошения и других целей.

Таким образом, вода канала вполне пригодна для орошения. Вместе с тем, известны случаи засоления почв орошаемых массивов даже при использовании для полива воды хорошего качества. Это обычно связано с характером засоления почв и грунтовых вод, особенностями вертикальной циркуляции последних, большим испарением, плохим состоянием дренажных систем и т. д. Эти нежелательные явления иногда возникают и при неумелом ведении орошения. Поэтому к числу главных условий, необходимых для рационального использования воды для орошения, относится строгое соблюдение в каждом конкретном

случае агротехнических и других требований с учетом почвенных, гидрогеологических и других условий, в которых находятся орошаемые массивы в зоне канала.

9.4. Некоторые вопросы сохранения удовлетворительного качества воды канала

На основе изложенного выше материала можно полагать, что в перспективе в условиях значительного увеличения подачи воды по каналу качество ее должно оставаться удовлетворительным. Некоторые качественные показатели, связанные с содержанием в воде минеральных солей, будут ухудшаться вследствие некоторого опреснения воды в канале.

Однако есть некоторые опасения в возникновении биологических помех. Это нежелательное явление может быть вызвано, во-первых, интенсивным развитием в водохранилищах водной растительности, во-вторых, поступлением в канал и водохранилища больших количеств перекасти-поля.

Заросли водной растительности в водохранилищах из года в год увеличиваются. Довольно интенсивно они распространяются на отдельных участках канала. В ряде случаев имеет место цветение воды, обусловленное развитием сине-зеленых водорослей. Продукты распада водной растительности являются основным источником поступления в водные массы канала и водохранилищ биогенных и органических веществ (см. глава 6).

Постоянным источником накопления в канале органических и биогенных веществ является также перекасти-поле, оседающее на дно водоемов в больших количествах. Казалось бы, что этот источник большого влияния оказать не может, однако лабораторные исследования показали, что перекасти-поле является существенным поставщиком органических и биогенных веществ в воду канала. Так, эксперимент, проведенный в течение 5 месяцев с навеской 5 г сухого растения на 1 л воды, показал, что концентрация органических и биогенных веществ в воде в десятки и сотни раз превышала их исходные значения, кислород отсутствовал, цветность воды достигала 380—600°. Также установлено, что по количеству выделяемого в воду на единицу массы органического вещества перекасти-поле может приравниваться с выделением его древесной растительностью. Для полной деградации этого растения требуется примерно столько же времени, сколько для древесины.

Водная растительность, оказывающаяся в канале и поступающее в него перекасти-поле оказывает влияние не только на качество воды канала, но и затрудняет транспортировку воды по каналу и работу насосных станций. В связи с этим для сохранения хорошего качества воды в канале необходимо осуществлять мероприятия по ограничению зарастания канала и во-

дохранилищ и предотвращению попадания в него перекаати-поля.

В настоящее время разработан и применяется на практике целый ряд способов борьбы с биопомехами при эксплуатации каналов (химические, механические, биологические). Применение химических способов на канале, предназначенном для хозяйственно-питьевого водоснабжения, не может быть рекомендовано в связи с возможными их токсическими последствиями. Для ограничения зарастания канала высшей водной растительностью можно применять имеющиеся механические способы ее скашивания.

Наиболее перспективным способом борьбы с зарастанием водоемов в настоящее время считается разведение в них растительноядных рыб. Вселение этих видов рыб в водохранилища канала по рекомендациям Казахского научно-исследовательского института рыбного хозяйства было начато в последние годы. В настоящее время в канале они еще малочисленны и поэтому оценить их роль как биомелиораторов в условиях канала пока не представляется возможным.

В предупреждении попадания в канал и водохранилища перекаати-поля положительно сказалось бы форсирование лесонасаждений в пределах санитарной зоны канала, строительство проволочного ограждения по всей его трассе и систематическое удаление этого растения из канала и водохранилищ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аббакумов В. П. Биологические основы формирования ихтиофауны и рыбохозяйственное освоение водохранилищ канала Иртыш—Караганда. Автореф. дисс. на соискание ученой степени канд. биол. наук. — Л., 1977. — 21 с.
2. Абросов В. Н. О значении зарослей харовых водорослей (Charales) в жизни озер. — Ботанический журнал, 1959, т. 44, № 5, с. 684—687.
3. Агаркова А. П. Климатические характеристики Казахской ССР по месяцам. — Л.: Гидрометеониздат, 1975. — 168 с.
4. Агроклиматические ресурсы Карагандинской области Казахской ССР под редакцией Р. Н. Титовой. — Л.: Гидрометеониздат, 1976. — 113 с.
5. Акимова В. В. Гидрохимический режим Братского водохранилища. — Сборник работ Иркутской ГМО им. А. В. Вознесенского, 1970, вып. 5, с. 67—69.
6. Алекин О. А. К вопросу о химической классификации природных вод. — Труды н.-и. учреждений ГУГМС, 1946, сер. 4, вып. 32, с. 25—39.
7. Алекин О. А. Основы гидрохимии. — Л.: Гидрометеониздат, 1953. — 296 с.
8. Алекин О. А. Химический анализ вод суши. — М.: Гидрометеониздат, 1954. — 199 с.
9. Алекин О. А., Моричева Н. П. Расчет характеристик карбонатного равновесия. — В кн.: Современные методы анализа природных вод. М., 1962, с. 158—171.
10. Алекин О. А. Основы гидрохимии. — Л.: Гидрометеониздат, 1970. — с. 444.
11. Алмазов А. М., Денисова А. И., Майстренко Ю. Г., Нахшина Е. П. Гидрохимия Днепра, его водохранилищ и притоков. — Киев: Наукова думка, 1967. — 316 с.
12. Алмазов А. М., Енаки И. Г. О содержании натрия и калия в природных водах различной минерализации. — Гидрохимические материалы, 1968, т. 63, с. 131—137.
13. Амиргалиев Н. А. Гидрохимическая характеристика канала Иртыш—Караганда в период его наполнения. — В кн.: Тезисы докладов конференции по гидробиологии каналов и биологических помех в их эксплуатации. Киев, 1972, с. 8—9.
14. Амиргалиев Н. А. О режиме и формировании химического состава воды канала Иртыш—Караганда и некоторые вопросы рационального использования его водных ресурсов. — В кн.: Круговорот вещества и энергии в озерах и водохранилищах. Ливенское-на-Байкале, 1973, с. 52—54.
15. Амиргалиев Н. А. Характеристика химического состава воды канала Иртыш—Караганда и его водохранилищ в первые годы наполнения и эксплуатации. — В кн.: Гидробиология каналов СССР и биологические помехи в их эксплуатации. Киев, 1976, с. 254—259.
16. Амиргалиев Н. А. К вопросу формирования качества воды канала Иртыш—Караганда. — В кн.: Круговорот вещества и энергии в водоемах. Гидрохимия и качество вод. Ливенское-на-Байкале, 1977, с. 141—144.
17. Амиргалиев Н. А. Режим растворенных газов и pH в водах водохранилищ канала Иртыш—Караганда. — В кн.: Материалы конференции «Биологические основы рыбного хозяйства водоемов Средней Азии и Казахстана»/Под ред. А. О. Конурбаева. Фрунзе, 1978, с. 14—16.
18. Амиргалиев Н. А., Лопарева Т. Я. Формирование режима растворенных газов и pH в водохранилищах Северного Казахстана в период их наполнения. — В кн.: Биологические основы рыбного хозяйства республик средней Азии и Казахстана. Алма-Ата, 1970, с. 202—207.
19. Амиргалиев Н. А., Лопарева Т. Я. Режим растворенных газов и pH в воде Каратамарского водохранилища в период его наполнения. —

В кн.: Сборник работ Казахского филиала ВГБО. Алма-Ата, 1970, с. 178—183.

20. Амиргалиев Н. А., Лопарева Т. Я. Органическое вещество в воде Вячеславского и Сергеевского водохранилищ на р. Ишим в период их становления. — В кн.: Химия и химическая технология. Вып. 14. Алма-Ата, 1973, с. 166—170.

21. Амиргалиев Н. А., Бижанов К. Б., Накупбеков С. О формировании химического состава воды водохранилища на канале Иртыш—Караганда. — В кн.: Рыбные ресурсы водоемов Казахстана и их использование. Вып. 8. — Алма-Ата, «Наука», 1973, с. 20—24.

22. Амиргалиев Н. А., Лопарева Т. Я. Особенности евтрофирования водоемов засушливых зон Казахстана на примере водохранилищ канала Иртыш—Караганда. — В кн.: Антропогенное евтрофирование водоемов. Тез. докл. на I Всесоюз. симпозиум по антропогенному евтрофированию водоемов/Под ред. Л. Л. Россолимо. Черноголовка, ред.-издат. отдел ИХФ АН СССР, 1974, с. 122—124.

23. Амиргалиев Н. А., Лопарева Т. Я. Концентрация щелочных и щелочноземельных металлов в водоемах Казахстана. — В кн.: Тезисы докладов конференции по биологическим основам рыбного хозяйства республик Средней Азии и Казахстана. Ашхабад, 1974, с. 34—36.

24. Амиргалиев Н. А., Лопарева Т. Я. Особенности формирования газового режима водохранилищ р. Ишим и канала Иртыш—Караганда. — В кн.: Биологические основы рыбного хозяйства Средней Азии и Казахстана. Душанбе, 1976, с. 36—37.

25. Амиргалиев Н. А., Иванова Л. В., Мухамеджанов Е. М. Формирование качеств воды Экибастузского водохранилища на канале Иртыш—Караганда. — В кн.: Материалы 27 Всесоюз. гидрохим. совещания «Вопросы методологии гидрохимических исследований в условиях антропогенного влияния». Л., 1979, с. 23—24.

26. Амиргалиев Н. А., Амиргалиева Ф. А., Пильгук В. Я. Карбонатно-кальциевое равновесие в воде канала Иртыш—Караганда. — В кн.: Исследование гетерогенных систем. Алма-Ата, 1979, с. 51—57.

27. Ахмедсафин У. М. Методика составления карт прогнозов и обзор артезианских бассейнов Казахстана. — Алма-Ата, Изд-во АН КазССР, 1961. — 106 с.

28. Ахмедсафин У. М., Садыков Ж. С. Подземные воды Центрального Казахстана и сопредельных районов. — В кн.: Проблема водоснабжения Центрального Казахстана. Алма-Ата, 1960, с. 93—114.

29. Ахмеджанов Х. А. Вода в рудном поясе Казахстана. — Человек и стихия. — Л.: Гидрометеиздат, 1974, с. 66.

30. Баранов И. В. Термический и гидрохимический режим Волги и Куйбышевского водохранилища в 1955—1957 гг. — Труды Татарского отделения Всесоюзного н.-н. ин-та озерного и речного рыбного хозяйства, 1958, вып. 8, с. 32—68.

31. Баскаков В. В., Курманбаев Ф. М., Горемов Г. Я., Калаченко А. А. Алгоритм и программы статистического анализа. — В кн.: Математические методы в геологии. Вып. 2. Алма-Ата, 1971, с. 161—176.

32. Беремжанов Б. А., Пильгук В. Я., Ибрагимова М. А. К вопросу химической характеристики притоков р. Иртыш. — В кн.: Материалы годичной конференции преподавателей КазГУ, посвященной 24 съезду КПСС. Алма-Ата, 1971, с. 5—7.

33. Беремжанов Б. А., Снегирева Н. Е., Фогель Н. А. и др. Органическое вещество в воде Иртыш—Зайсанского бассейна. — В кн.: Химия и химическая технология. Вып. 16. Алма-Ата, 1974, с. 25—27.

34. Беремжанов Б. А., Снегирева Н. Е., Пильгук В. Я. и др. Органическое вещество в воде р. Иртыш и ее притоков. — В кн.: Химия и химическая технология. Вып. 16. Алма-Ата, 1974, с. 28—31.

35. Беркалнев З. Т. Гидрологический режим рек Центрального Северного и Западного Казахстана. — Алма-Ата: Изд-во АН КазССР, 1959.

36. Бесчетнова Э. Н., Мумжу В. А. Показатели трансформации органического вещества в нижнем течении Волги и ее дельте. — Водные ресурсы, 1978, № 6, с. 180—184.

37. Бикмухаметов М. А., Хайбуллин А. С. Почвенно-мелиоративные условия массива орошения совхоза им. Ю. А. Гагарина вдоль трассы канала Иртыш—Караганда. — Изв. АН КазССР. Сер. биол., 1972, вып. 5, с. 1—6.

38. Бикмухаметов М. А. Почвенно-мелиоративные условия территории вдоль трассы канала Иртыш—Караганда. — Алма-Ата: Наука, 1977. — 203 с.

39. Бижанов К. Б. Канал Иртыш—Караганда. О-во «Знание» КазССР, Алма-Ата, 1970. — 35 с.

40. Болибэк-Крученко С. С., Беремжанов Б. А. Изменение содержания калия при концентрации вод континентального происхождения. — В кн.: Химия и химическая технология. Вып. 21. Алма-Ата, 1977, с. 28—33.

41. Боруцкий Е. В. Материалы по динамике биомассы макрофитов озер. — В кн.: Труды Всесоюз. гидробиол. о-ва. Т. 2. М., 1950, с. 43—68.

42. Бочкарев П. Ф., Миронова В. Ф. Гидрохимический режим Братского водохранилища в период становления (1964—1965 гг.). — Труды Иркутского университета. Сер. хим., 1970, вып. 3, ч. 1, с. 3—8.

43. Браславский А. П., Шергина К. Б. Потери воды на испарение из водохранилищ засушливой зоны Казахстана. — Алма-Ата: Изд-во АН КазССР, 1954. — 226 с.

44. Буданов М. Ф. Требования к качеству оросительных вод. — Водное хозяйство, 1965, вып. 1, с. 38—56.

45. Буторин И. В., Хрящев Н. П. Канал Днепр—Кривой Рог. — Бюллетень науч.-техн. информ. Гидропроекта, 1962, вып. 14, с. 32—43.

46. Былинкина А. А. О времени и скорости оборота минерального фосфора в поверхностных водах. В кн.: Материалы к совещанию по прогнозированию содержания биогенных элементов и органического вещества в водохранилищах. Рыбинск, 1969, с. 37—44.

47. Водные ресурсы и водный баланс территории Советского Союза. — Л.: Гидрометеондат, 1967. — 198 с.

48. Варенко Н. И., Чуйко В. Т. Динамика содержания марганца в Днепродзержинском и Днепровском водохранилищах. — Гидрохимические материалы, 1975, т. 64, с. 71—76.

49. Вернадский В. И., Виноградов А. П. О химическом элементарном составе рясок (*Lemna*) как видовом признаке. — ДАН СССР, 1931, № 6, серия А, с. 148—152.

50. Винберг Г. Г., Годнев Т. Н., Гапоненко В. И. Опыт применения радиоизотопа P^{32} при изучении удобрения прудов. — ДАН СССР. Нов. сер., 1955, т. 100, № 3, с. 575.

51. Виноградов А. П. Редкие и рассеянные элементы в почвах. — М.: Изд-во АН СССР, 1957. — 237 с.

52. Вилкулова Л. И., Калганова М. В. Формирование русла искусственной реки (на примере Каракумского канала). — Водные ресурсы, 1978, № 5, с. 177—189.

53. Вода питьевая. Методы анализа (Государственные стандарты). — М.: Изд-во стандартов, 1976. — 191 с.

54. Водное хозяйство Казахстана/Под ред. С. М. Сарсембаева. — Алма-Ата: Кайнар, 1971. — 191 с.

55. Воронков П. П. Основные закономерности формирования химического состава поверхностных вод. — В кн.: Труды III Всесоюз. гидрол. съезда. Т. 10. Л.: Гидрометеондат, 1959, с. 7—18.

56. Воронков П. П. Закономерности процесса формирования и зональность химического состава вод местного стока. Труды ГГИ, 1963, вып. 102, с. 43—119.

57. Воронков П. П., Соколова О. К. и др. Гидрохимические особенности местного стока в период весеннего половодья и почвенного покрова

водосборов Европейской территории СССР. — Труды ГГИ, 1966, вып. 137, с. 5—57.

58. Воронков П. П. Гидрохимия местного стока Европейской территории СССР. — Л.: Гидрометеониздат, 1970. — 187 с.

59. Гетьман И. А. Затруднения, вызываемые периодическими ухудшениями качества воды в канале Северский Донец—Донбасс по опыту двухлетней его эксплуатации. — В кн.: Труды Всесоюз. гидробиол. о-ва. М., 1963, т. 14, с. 115—123.

60. Гетьман И. А., Кузьменко Н. М. Гидрохимическая характеристика канала Северский Донец—Донбасс. В кн.: Каналы СССР. Киев, 1968, с. 60—65.

61. Гидробиология каналов СССР и биологические помехи в их эксплуатации. — Киев: Наукова думка, 1976. — 285 с.

62. Гидрологический ежегодник за 1965 г. Бассейн Карского моря. (Западная часть). Т. 6, вып. 4—9. — Свердловск, 1968. — 558 с.

63. Горбатенький Г. Г. Использование диффузионного метода Конвея для определения аммонийного азота в природных и сточных водах. — В кн.: Биологические ресурсы водоемов Молдавии. Вып. 3. Кишинев, Картя Молдовеняска, 1965, с. 107—111.

64. Горбатенький Г. Г., Бызгу С. Е., Зубкова Е. И. Влияние антропогенного евтрофирования на состав и качество воды Дубоссарского водохранилища как водоема комплексного использования. — В кн.: Антропогенное евтрофирование природных вод. Звенигород, 1977, с. 110—116.

65. Горский Н. Н. Вода—чудо природы. — М.: Изд-во АН СССР, 1962. — 223 с.

66. Горшкова Т. И. О скорости распада органического вещества фитопланктона Таганрогского залива. — ДАН СССР. Геохимия, 1955, т. 104, № 1, с. 112—113.

67. Грабаров П. Г., Солодников Е. А. Содержание микроэлементов в почвах Центральной части Казахстана. — В кн.: Агрохимическая характеристика почв СССР. М., 1968, с. 154—164.

68. Грабаров П. Г., Солодников Е. А. Картограмма соединения подвижных форм микроэлементов в почвах Карагандинской области. — Труды ин-та почвоведения АН КазССР, 1970, т. 18, с. 181—192.

69. Грабаров П. Г., Харитопова А. Ф. Содержание микроэлементов в почвах освоенных целинных земель Казахстана. — Изв. АН КазССР. Сер. биол., 1974, вып. 3, с. 20—25.

70. Григорьев А. А., Авсюк Г. А., Макеев П. С. Рельеф и географическое строение. — В кн.: Казахстан. Общая физико-географическая характеристика. М.; Л., 1950, с. 27—139.

71. Гусева Н. А. Некоторые черты формирования подледного газового режима Куйбышевского водохранилища в период его становления. — В кн.: Труды зонального совещания по типологии и биологическому обоснованию рыбохозяйственного использования внутренних (пресноводных) водоемов южной зоны СССР. Кишинев, 1962, с. 17—20.

72. Дацко В. Г., Климов И. Т., Краснов В. Н. О содержании некоторых тяжелых металлов в водах и илах Цимлянского водохранилища. — Гидрохимические материалы, 1964, т. 36, с. 50—55.

73. Дацко В. Г., Краснов В. Н. О содержании некоторых микроэлементов (тяжелых металлов) в воде и илах Веселовского водохранилища. — Гидрохимические материалы, 1964, т. 38, с. 38—45.

74. Дацко В. Г., Краснов В. Н. О содержании некоторых микроэлементов (тяжелых металлов) в воде и илах Старо-Бешевского водохранилища. — Гидрохимические материалы, 1965, т. 40, с. 99—108.

75. Денисова А. И., Майстренко Ю. Г. Гидрохимия Каховского водоемника. Киев: Изд-во АН УССР, 1962. — 200 с.

76. Денисова А. И. Основные особенности в формировании газового режима водохранилищ р. Днепра (на примере Каховского и Кременчугского). — Гидрохимические материалы, 1965, т. 39, с. 28—43.

77. Денисова А. И. Формирование гидрохимического режима водохранилищ Днепра и методы его прогнозирования. Киев.: Наукова думка, 1979. — 290 с.

78. Джанпейсов Р., Соколов А. А., Фанзов К. Ш. Почвы Павлодарской области Алма-Ата: Изд-во АН КазССР, 1960. — 266 с.

79. Диканская А. Г. Материалы по исследованию гидробиологического режима водохранилищ канал Иртыш—Караганда в период их наполнения. — В кн.: Тезисы докладов конференции по гидробиологии каналов и биологическим помехам в их эксплуатации. Киев, 1972, 1960, с. 28—29.

80. Диогенов Г. Г. История открытия химических элементов. — М.: Учпедгиз, 1960. — 231 с.

81. Драчев С. М. Водохранилища и каналы как источники хозяйственно-питьевого водоснабжения. — М.: Медгиз, 1956. — 255 с.

82. Дунаевская Л. М., Субботина А. С., Морьянская Б. Ю. Санитарный режим канала Днепр—Кривой Рог и южного водохранилища в первый год эксплуатации. — Гигиена и санитария, 1964, вып. 11, с. 90—93.

83. Ешимбаев Д. Химическая характеристика поверхностных вод низовьев и дельты Амударьи. Автореф. дисс. на соискание учен. степени канд. хим. наук. — Алма-Ата, 1969. — 24 с.

84. Ефимов А. Н., Калаченко А. А., Толеубаев Э. С. Алгоритм и программа парного корреляционного анализа. — В кн.: Математические методы в геологии. Алма-Ата, 1968, вып. 1, с. 210—221.

85. Енаки И. Г. О соотношении натрия и калия в поверхностных водах Украины. — Гидробиологический журнал, 1968, т. 14, № 6, с. 28—33.

86. Жаймина Р. Е. Распределение бора в воде и донных отложениях водоемов Казахстана. Автореф. дисс. на соискание учен. степени канд. хим. наук. Алма-Ата, 1966. — 22 с.

87. Зенин А. А. Режим биогенных веществ и газового состава Куйбышевского водохранилища по наблюдениям в 1956—1959 гг. — В кн.: Тезисы докладов совещания по технологии и биологическому обоснованию рыбохозяйственного использования внутренних (пресноводных) водоемов южной зоны СССР. Кишинев, 1960, с. 9—10.

88. Зенин А. А. Гидрохимия Волги и ее водохранилищ. — Л.: Гидрометеониздат, 1965. — 258 с.

89. Зиминова Н. А., Кольцова Г. В. Содержание некоторых макро- и микроэлементов во взвешенных веществах Верхней Волги. — В кн.: Факторы формирования водных масс и районирование внутренних водоемов. Л., 1974, с. 80—89.

90. Ибрагимова М. А., Беремжанов Б. А. Содержание микроэлементов в воде рек, питающих оз. Балхаш. — В кн.: Материалы 22 Гидрохимического совещания. Новочеркасск, 1968, с. 31.

91. Ибрагимова М. А. Физико-химическая характеристика воды рек бассейна оз. Балхаш. Автореф. дисс. на соискание учен. степени канд. хим. наук. — Алма-Ата, 1969. — 27 с.

92. Ибрагимова М. Н., Пильгук В. Я., Джамбулатов Е. К. Бром и иод в воде рек Иртышского бассейна. В кн.: Материалы научной конференции молодых ученых. Алма-Ата, 1972, с. 120—122.

93. Ибрагимов А. И. Физико-химическая характеристика воды р. Сырдарьи. Автореф. дисс. на соискание учен. степени канд. хим. наук. — Алма-Ата, 1973. — 33 с.

94. Идрисова Р. А., Бектуров А. Б., Мун А. И. О содержании кобальта, никеля, меди и цинка в озерах и реках Центрального Казахстана. — В кн.: Химия и технология минеральных удобрений и природных солей. Алма-Ата, 1964, с. 83—93.

95. Канал Иртыш—Караганда. Инженерно-геологические условия/Под ред. академика К. И. Сатпаева. — Алма-Ата: Наука, 1965. — 168 с.

96. Каналы СССР (гидрохимия и гидробиология). — Киев: Наукова думка, 1968. — 330 с.

97. Каракумский канал и изменение природной среды в зоне его влияния. — М.: Наука, 1978. — 232 с.

98. Қариович В. Н., Литвинюк А. Ф., Кудинов В. Г. и др. Особенности зимней эксплуатации канала Иртыш—Қарағанда. — Гидротехника и мелиорация, 1978, № 3, с. 45—49.
99. Кассин Н. Г. Материалы по палеографии Казахстана. — Алма-Ата: Изд-во АН КазССР, 1947. — 51 с.
100. Касымов А. Г. Гидробиологическая характеристика некоторых оросительных каналов Азербайджана. — В кн.: Каналы СССР. Киев, 1968, с. 240—245.
101. Кирста Б. Т., Сарапов Б. С. Общая характеристика канала. — В кн.: Каракумский канал и изменение природной среды в зоне его влияния. М., 1978, с. 20—36.
102. Ключанова И. А., Кузнецов М. Н., Санин С. А. Вещественный состав взвешенных наносов каналов и его изменение. — В кн.: Каракумский канал и изменение природной среды в зоне его влияния. М., 1978, с. 206—214.
103. Кашинский П. А. К определению общего содержания щелочных металлов в воде и водных вытяжках почв и озерной грязи. — Гидрохимические материалы, 1936, т. 9, с. 143—153.
104. Ковальский В. В., Грибовская И. Ф., Самарина Б. Ф. Концентрирование микроэлементов водными растениями. — В кн.: Биология озер. Т. 3. Вильнюс. Изд-во АН Лит. ССР, 1970, с. 23—25.
105. Ковальский В. В. Геохимическая экология. — М.: Наука, 1974. — 203 с.
106. Ковда В. А., Захарьина В. Г., Шелякина О. А. Значение ирригационных наносов Амударьи в плодородии почв. — Почвоведение, 1959, № 4, с. 25—35.
107. Коврыжных А. И., Лученко Е. И., Максимова С. П. Влияние водорослей на качество воды в канале Северский Донец—Донбасс. — Водные ресурсы, 1977, № 5, с. 161—165.
108. Коган Ш. И., Кошкалда В. А. К гидрохимии и гидробиологии каналов Средней Азии. — В кн.: Каналы СССР. Киев, 1968, с. 246—262.
109. Коган Ш. И., Язгулаева В. Е. Водоросли Каракумского канала в районе Ашхабада. — В кн.: Каналы СССР. Киев, 1968, с. 263—285.
110. Коган Ш. И., Садыков Х. С., Кудимова Л. В., Костенко Н. В. К гидробиологии и гидрохимии Каракумского канала у г. Ашхабада. — В кн.: Гидробиология каналов СССР и биологические помехи в их эксплуатации. Киев, 1976, с. 230—241.
111. Колесникова Т. Х., Коновалов Г. С. Вынос Вг, J, Zn, Cu, растворенных в воде рек СССР. — Гидрохимические материалы, 1966, т. 42, с. 85—93.
112. Колодин М. В. Проблемы опреснения воды на Земле. — М.: Знание, сер. «Наука о Земле», 1975, вып. 8. — 60 с.
113. Коненко А. Д., Кузьменко Н. М., Никонович Н. К. Гидрохимическая характеристика каналов юга УССР. — В кн.: Каналы СССР. Киев, 1968, с. 47—59.
114. Коновалов Г. С. Микроэлементы в главнейших реках СССР. — В кн.: Труды III Всесоюз. гидрол. съезда. Т. 10. М., 1959, с. 45—52.
115. Коновалов Г. С., Иванова А. А., Колесникова Т. Х. Редкие и рассеянные элементы (микроэлементы) в воде и во взвешенных веществах рек Европейской территории СССР. — Гидрохимические материалы, 1966, т. 42, с. 99—111.
116. Коновалов Г. С., Коренева В. И. К вопросу содержания натрия и калия в речных водах. — В кн.: Материалы XXII гидрохимического совещания. Новочеркасск, 1968, с. 41—43.
117. Коновалов Г. С., Коренева В. И. Соотношение натрия и калия в воде рек различных климатических зон. — В кн.: Материалы XXIV гидрохимического совещания. Новочеркасск, 1970, с. 51—52.
118. Коновалов Г. С., Манихин В. И. Баланс микроэлементов в Отказненском водохранилище. — Гидрохимические материалы, 1971, т. 56, с. 39—44.

119. Коновалов Г. С., Коренева В. И. Соотношение натрия и калия в воде рек Советского Союза. — Гидрохимические материалы, 1973, т. 59, с. 33—41.
120. Коновалов Г. С., Коренева В. И. Показатели стока микроэлементов с территории СССР. — В кн.: Материалы 27 Всесоюз. гидрохим. совещания «Вопросы методологии гидрохимических исследований в условиях антропогенного влияния». Л., 1979, с. 61.
121. Коренева В. И., Коновалов Г. С. О допустимых пределах расхождения между суммой ионов натрия и калия, полученной расчетным путем и прямым определением их при химическом анализе воды. — Гидрохимические материалы, 1969, т. 54, с. 83—97.
122. Коренева В. И. Натрий и калий в речных водах Советского Союза. Автореф. дисс. на соискание учен. степени канд. хим. наук. — Ново-черкасск, 1977. — 24 с.
123. Корф Д. М., Еловская Л. Б. Прибалхашские соленые озера. — Труды соляной лаборатории АН СССР, 1936, вып. 11, с. 83—150.
124. Красинцева В. В., Кузьмина Н. П., Сенявин М. М. Формирование минерального состава речных вод. — М.: Наука, 1977. — 175 с.
125. Крепкогорский Л. Н. Фтор в поверхностных водах Казахстана. — Гидрохимические материалы, 1960, т. 30, с. 32—42.
126. Крепкогорский Л. Н. К характеристике концентрирования фтора в воде при зарегулировании поверхностного стока в условиях Центрального Казахстана. — Гидрохимические материалы, 1965, т. 39, с. 74—84.
127. Костяков А. Н. Основы мелнорапии. — М.: Сельхозгиз, 1960, с. 48—49.
128. Кудрин С. А. О среднем химическом элементарном составе почв. — Почвоведение, 1949, № 9, с. 505—617.
129. Кудрявцева Н. А. О содержании золы и зольных элементов в некоторых видах рдестов и горце земноводном. — В кн.: Материалы к совещанию по прогнозированию содержания биогенных элементов и органического вещества в водохранилищах. Рыбинск, 1969, с. 62—68.
130. Кудрявцева Н. А. Натрий и калий в илах волжских водохранилищ. В кн.: Гидрологические и гидрохимические аспекты изучения водохранилищ. Борок, 1977, с. 91—99.
131. Курлов М. Г. Классификация сибирских целебных минеральных вод. Томск, Изд-во физиотерапевтического ин-та, — 246 с.
132. Лазарев К. Г., Якушева А. С., Манихина Р. К. Ожидаемые изменения минерализации и относительного состава воды р. Амударьи в Каракумском канале и в водохранилищах на нем (на уровне 1980 г.). — Гидрохимические материалы, 1936, т. 40, с. 36—45.
133. Лобова Е. В. О новой почвенной карте Казахстана в масштабе 1 : 1 200 000. — Труды почвенного института им. В. В. Докучаева АН СССР, 1949, т. 30, с. 287—298.
134. Лопарева Т. Я. Гидрохимия Вячеславского, Сергеевского водохранилищ и питающей их р. Ишим. Автореф. дисс. на соискание учен. степени канд. геогр. наук — Ростов-на-Дону, 1979. — 25 с.
135. Лопарева Т. Я., Амиргалиев Н. А., Исмагилова Э. А. О химическом составе воды Каратамарского водохранилища (режим NH_4 , NO_2 , NO_3 , P, Si, Fe). — В кн.: Химия и химическая технология. Вып. 14. Алма-Ата, 1973, с. 154—158.
136. Лопарева Т. Я., Амиргалиев Н. А., Беремжанов Б. А., Ибрагимова М. А. Динамика микроэлементов в воде и донных отложениях Вячеславского и Сергеевского водохранилищ и питающих их рек. — В кн.: Химия и химическая технология. Вып. 16. Алма-Ата, 1974, с. 32—35.
137. Лопарева Т. Я., Амиргалиев Н. А. Формирование и динамика органического вещества в некоторых водохранилищах Северного Казахстана. — В кн.: Рыбные ресурсы водоемов Казахстана и их использование. Вып. 9. Алма-Ата, 1975, с. 15—18.

138. Лурье П. М. Каракумский канал им. В. И. Ленина, его влияние на водные ресурсы и водный баланс Туркмении. — Труды СредНИИ, 1975, вып. 35 (116), с. 161—167.
139. Львович А. И. Защита вод от загрязнения. — Л.: Гидрометеониздат, 1977. — 167 с.
140. Майстренко Ю. Г., Денисова А. И., Багнюк В. М. и др. К роли высшей водной растительности в накоплении органических и биогенных веществ в водоемах. — Гидробиологический журнал, 1969, т. 6, с. 28—39.
141. Малышев Е. Г. К геоморфологии Иртыш-Нуринского водораздела. — В кн.: Проблемы водоснабжения Центрального Казахстана. Алма-Ата, 1960, с. 115—130.
142. Мальцева А. В., Тарасов М. Н., Смирнов М. П. Отношение между величиной перманганатной окисляемости и содержанием органического углерода в речных водах. — Гидрохимические материалы, 1977, т. 66, с. 56—61.
143. Маслова Н. П. Гидрохимическая характеристика трассы Беломорско-Балтийского канала (ББК) — В кн.: Водные ресурсы Карелии и их использование. Петрозаводск, 1978, с. 151—163.
144. Малькольм Лавр. Р. Химическая биология рыб. — М.: Пищевая промышленность, 1976. — 349 с.
145. Минаева Е. Н. Расходование фильтрационных вод канала. — В кн.: Каракумский канал и изменение природной среды в зоне его влияния. М., 1978, с. 180—188.
146. Мун А. И., Морозов Н. П., Бектуров А. Б. Некоторые данные о содержании калия в поверхностных водах Казахстана. — Изв. АН КазССР. Сер. хим., 1962, вып. 2 (22), с. 3—10.
147. Мун А. И., Жаймина Р. Е., Бектуров А. Б. К геохимии бора в природных водах Казахстана. — В кн.: Химия и технология минеральных удобрений и природных солей. Алма-Ата, 1964, с. 43—57.
148. Мун А. И., Идрисова Р. Я., Бектуров А. Б. Распределение кобальта, никеля, меди и цинка в озерных осадках. — Изв. АН КазССР. — Сер. хим., 1964, № 3, с. 3—16.
149. Мун А. И., Идрисова Р. Я. К вопросу распределения меди, цинка, кобальта и никеля в водах и осадках водоемов. — В кн.: Труды института хим. наук АН КазССР. Вып. 16. Алма-Ата, 1967, с. 225—232.
150. Мун А. И., Бектуров А. Б. Распределение микроэлементов в водоемах Казахстана. Алма-Ата, 1971. — 261 с.
151. Мухамеджанов С. М. Некоторые особенности химизма подземных вод северо-востока Центрального Казахстана. — Изв. АН КазССР. Сер. геол., 1955, № 19, с. 109—128.
152. Некрасов В. М., Баль Б. А. Исследование работы насосных станций на канале Иртыш—Караганда. — Гидротехника и мелиорация, 1978, № 3, с. 68—71.
153. Нигматуллаева С. Ж., Филонец П. П. Содержание микроэлементов в поверхностных водах долины р. Иртыш. — Вопросы географии Казахстана, 1975, вып. 17, с. 120—123.
154. Николаева Е. А. О бихроматном методе определения окисляемости органических веществ пресных вод. — Гидрохимические материалы, 1953, т. 20, с. 68—78.
155. Ниязбаев Т. А. Динамика изменения гидрохимического режима Иртыша в нижнем бьефе Бухтарминского гидроузла. — Изв. АН КазССР. Сер. геол., 1975, № 2, с. 85—87.
156. Овчинников И. Ф. Краткий очерк Рыбинского водохранилища. — Труды биологической станции «Борок», 1950, вып. 1, с. 36—50.
157. Оксюк О. П. Водоросли каналов мира. — Киев.: Наукова думка, 1973. — 206 с.
158. Оксюк О. П., Кафтанникова О. Г. Морфометрические и гидрологические особенности каналов юга УССР. — В кн.: Каналы СССР. Киев, 1968, с. 39—46.

159. Островский В. Н. О формировании хлоридных вод в аридных условиях (на примере Центрального Казахстана). — Изв. ВГО, 1965, т. 97, с. 373—376.
160. Островский В. Н. О влиянии морфоструктур на формирование подземных вод Центрального Казахстана. — Гидроморфология, 1973, № 1, с. 74—79.
161. Островский В. Н. Формирование подземных вод в аридных районах Казахстана. — Л.: Гидрометеониздат, 1976. — 226 с.
162. Панов Н. П. Почвы Павлодарской области и их сельскохозяйственное использование. — В кн.: Почвенно-агрохимические исследования экспедиции по обследованию целинных и залежных земель в северных областях Казахстана. М., 1957, с. 104—159.
163. Пашанова А. П., Семенов А. Д., Немцева Л. И. и др. Использование диффузионного метода при определении органического азота в природных водах. — Гидрохимические материалы, 1966, т. 41, с. 58—62.
164. Перельман А. И., Батуллин С. Г. Миграционные ряды элементов в коре выветривания. — В кн.: Кора выветривания. Вып. 4. М., Изд-во АН СССР, 1962. — 288 с.
185. Перельман А. И. Геохимия ландшафта. — М.: Высшая школа, 1975. — 341 с.
166. Петренко М. В. Гидрохимический режим Новосибирского водохранилища в период его становления. Автореф. дисс. на соискание учен. степени канд. хим. наук. — Новочеркасск, 1965. — 25 с.
167. Пильгук В. Я., Беремжанов Б. А., Ибрагимова М. А. К вопросу химической характеристики среднего течения р. Иртыш. — В кн.: Химия и химическая технология. Вып. 10. Алма-Ата, 1970, с. 28—35.
168. Пильгук В. Я. Физико-химия воды р. Иртыш в условиях создания водохранилищ. Автореф. дисс. на соискание учен. степени канд. хим. наук. — Алма-Ата, 1975. — 29 с.
169. Покровская Т. Н. О значении экологических групп автотрофов в развитии антропогенного евтрофирования озер. — В кн.: Антропогенное евтрофирование водоемов. (Тез. докл. на I Всесоюз. симпоз. по антропогенному евтрофированию водоемов/Под ред. Л. Л. Россолимо. Черноголовка, ред.-издат. отдел ИХФ АН СССР, 1974, с. 30—34.
170. Покровская Т. Н. Экологические условия фотосинтеза литоральных гидрофитов. — В кн.: Антропогенное евтрофирование озер. М., 1976, с. 17—44.
171. Посохов Е. В. Гидрохимия вод аллювиальных отложений некоторых долин Центрального Казахстана. — Гидрохимические материалы, 1953, т. 29, с. 153—168.
172. Посохов Е. В. Очерки по гидрохимии подземных вод Центральных районов Казахстана. — М.: Изд-во АН СССР, 1960. — 159 с.
173. Посохов Е. В. Формирование химического состава подземных вод. — Л.: Гидрометеониздат, 1969. — 332 с.
174. Посохов Е. В. Общая гидрохимия. — Л.: Недра, 1975. — 207 с.
175. Ресурсы поверхностных вод районов освоения целинных и залежных земель. Павлодарская область КазССР. Л., Гидрометеониздат, 1959, вып. 4, 575 с.
176. Ресурсы поверхностных вод СССР. Центральный Казахстан (Карагандинская область). Т. 13, вып. 1. — Л.: Гидрометеониздат, 1966. — 481 с.
177. Ресурсы поверхностных вод СССР. Основные гидрологические характеристики. Верхний Иртыш, верхний Ишим, верхний Тобол. Т. 15, вып. 2. — Л.: Гидрометеониздат, 1977. — 384 с.
178. Рогожкин В. И. Режим биогенных элементов Цимлянского водохранилища (1952—1955 гг.). — Гидрохимические материалы, 1959, т. 28, с. 12—28.
179. Родин Д. Е., Рубцов Н. И. Полукустарниковые полынные и солянковые пустыни. — В кн.: Растительный покров СССР. Вып. 2. М.; Л., 1956, с. 731—796.

180. Россинский К. И. Термический режим водохранилищ. — М.: Наука, 1975. — 187 с.
181. Россолмо Л. Л. Изменение лимнических экосистем под воздействием антропогенного фактора. — М.: Наука, 1977. — 143 с.
182. Рудой В. З., Бержевикина Л. А. Гидрохимический режим каналов Каланчакского массива Северо-Крымской оросительной системы. — В кн.: Гидробиология каналов СССР и биологические помехи в их эксплуатации. Киев, 1976, с. 109—112.
183. Себенцов Б. М., Мейснер Е. В. Рыбохозяйственное освоение водохранилищ канала Москва—Волга. — Рыбное хозяйство, 1946, № 4—5, с. 17—23.
184. Семенов И. С. Канал Иртыш—Караганда. — Бюлл. научн.-техн. информ., М., 1960, вып. 10, с. 3—10.
185. Середа Г. А., Бобовникова Ц. Н. Стронций в пресных водоемах. — Гидрохимические материалы, 1965, т. 39, с. 85—90.
186. Серенко Л. А., Гавриленко М. Я. Цветение воды и евтрофирование. — Киев, Изд-во Наукова думка, 1978. — 230 с.
187. Серпиков С. К. Тақыровидные почвы. — В кн.: Агрохимическая характеристика почв СССР. М., 1968, с. 67—75.
188. Сибирцев Н. М. Почвоведение. Избр. соч. М., 1951, т. 2. — 472 с.
189. Соколов И. Н., Ковалевский С. И. Ледовые затруднения на каналах и пути их предотвращения. — В кн.: Сборник докладов Всесоюзного совещания по водозаборным сооружениям и русловым процессам (15—21 ноября 1971 г.). Ташкент, 1974, с. 98—102.
190. Сорокин Ю. И. Процесс образования сероводорода в волжских водохранилищах и его влияние на кислородный режим. — В кн.: Труды Всесоюзного совещания по биологическим основам рыбохозяйственного освоения водохранилищ. М.; Л., 1961, с. 65—70.
191. Скопинцев Б. А. Методы определения органического вещества в природных водах. — Труды биогеохимической лаборатории им. Вернадского, 1949, т. 9, с. 65—126.
192. Скопинцев Б. А. О скоростях регенерации биогенных элементов (N и P) при бактериальном разложении планктонных организмов. — Микробиология, 1938, № 7, вып. 6, с. 755—766.
193. Скопинцев Б. А. Органическое вещество в природных водах (водный гумус). — Труды ГОИН. Вып. 17 (29). — Л.: Гидрометеониздат, 1950. — 290 с.
194. Скопинцев Б. А. О соотношении между кислородом окисляемости, органическим углеродом и общим содержанием органического вещества в природных водах. — Гидрохимические материалы, 1950, т. 18, с. 57—58.
195. Смирнов Е. А. Канал Иртыш—Караганда. — Гидротехника и мелиорация, 1974, № 7, с. 54—59.
196. Справочник по климату СССР. Вып. 18, часть 2 — Казахская ССР (Атмосферные осадки). Алма-Ата, 1974. — 719 с.
197. Стороженко Д. М. Почвы Карагандинской области. — Алма-Ата: Наука, 1967. — 330 с.
198. Стороженко Д. М. Почвы мелкосопочника Центрального Казахстана. — Алма-Ата: Изд-во АН КазССР, 1952. — 124 с.
199. Страдомский В. Б., Коновалов Г. С. Стабильный стронций в некоторых поверхностных водах суши. — Гидрохимические материалы, 1969, т. 47, с. 51—62.
200. Тарасов М. Н., Павелко И. М. К гидрохимии р. Шидерты — части трассы канала Иртыш—Караганда. — Гидрохимические материалы, 1964, т. 36, с. 15—25.
201. Тарасов М. Н., Королев И. А. и др. Химия коллекторно-дренажных вод орошаемых территорий Северного Кавказа. — Л.: Гидрометеониздат, 1966. — 117 с.

202. Топачевский А. В., Францев А. В., Окснюк О. П., Кафтанникова О. Г. Состояние изученности гидрохимии и гидробиологии каналов Европейской части СССР. — В кн.: Каналы СССР. Киев, 1968, с. 29—38.

203. Топачевский А. В., Францев А. В., Окснюк О. П., Кафтанникова О. Г. Особенности гидрохимического и гидробиологического режимов каналов и биологические помехи в них. — В кн.: Каналы СССР. Киев, 1968, с. 322—329.

204. Трифонова Н. А. Гидрохимический режим Ивановского водохранилища. — В кн.: Труды Всесоюзного совещания по биологическим основам рыбохозяйственного освоения водохранилищ. — М.; Л., 1961, с. 76—79.

205. Угланов И. Н. Оценка качества воды рек и водохранилищ юга СССР для целей орошения. — В кн.: Качество вод и научные основы их охраны. Т. 9. (Труды 4 Всесоюз. гидрол. съезда). Л., 1976, с. 251—260.

206. Фельдман М. Б., Нахшина Е. Н. Микроэлементы воды в донных отложениях. — В кн.: Киевское водохранилище. Киев, 1972, с. 110—124.

207. Фесенко Н. Г. Определение кальция в природных водах комплексометрическим методом в присутствии мурексиды как индикатора. — Гидрохимические материалы, 1955, т. 23, с. 158—164.

208. Фесенко Н. Г., Зенин А. А. О химическом составе воды Донского магистрального и Нижнедонского каналов. — Гидрохимические материалы, 1955, т. 25, с. 170—175.

209. Фесенко Н. Г., Зенин А. А. О химическом составе воды Азовского магистрального канала и о вопросах его формирования. — Гидрохимические материалы, 1955, т. 25, с. 176—182.

210. Фесенко Н. Г. Гидрохимический облик Цимлянского водохранилища в период ввода его в эксплуатацию. — Гидрохимические материалы, 1955, т. 25, с. 69—97.

211. Фесенко Н. Г., Рогожкин В. И. Режим растворенных газов на отдельных участках Цимлянского водохранилища с затопленным растительным покровом. — В кн.: Труды Всесоюзного совещания по биологическим основам рыбохозяйственного освоения водохранилищ. М.; Л., 1961, с. 84—86.

212. Цуриков В. Л. Жидкая фаза в морских льдах. — М.: Наука, 1976. — 210 с.

213. Чайкина М. В. Гидрохимический режим Новосибирского водохранилища. — Новосибирск: Наука, 1975. — 130 с.

214. Черняев А. М., Черняева Л. Е., Бабченко В. Н. Гидрохимия малых, редких и рассеянных элементов. — Л.: Гидрометеондат, 1970. — 162 с.

215. Чекунова В. И. Влияние некоторых ионов солей морской воды на выживание каспийских беспозвоночных. — Информационный сборник ВНИРО, 1959, вып. 5, с. 42—59.

216. Черкинский С. Н. Гигиенические вопросы водоснабжения сельских населенных местностей. — М.: Медицина, 1965. — 314 с.

217. Чокан Ш. Энергетика и водное хозяйство Казахстана. — Алма-Ата, Казахстан, 1975. — 300 с.

218. Шапиро С. М. Грунтовые воды долин малых рек восточной части Центрального Казахстана. — Изв. АН КазССР. Сер. геол., 1965, вып. 25, с. 79—89.

219. Шевяков М. Н. и Речменский А. С. Канал Волга—Увody. — Бюллетень научн.-техн. информ. Гидропроекта, 1962, вып. 14, с. 85—89.

220. Шендерук Г. Н. Влияние хозяйственной деятельности на состояние водных ресурсов ФРГ. — Водные ресурсы, 1974, № 1, с. 191—198.

221. Шеломов И. К., Спичак М. К. О влиянии водохранилищ на гидрологический и гидрохимический режим низовьев рек. — ДАН СССР, 1960, т. 133, № 2, с. 457—458.

222. Шергина К. Б. Основные факторы формирования и приемы расчета снеговых паводков рек Центрального Казахстана. — В кн.: Проблемы водоснабжения Центрального Казахстана. Алма-Ата, 1960, с. 61—75.

223. Шилькрот Г. С. Литоральный природный комплекс и его роль в евтрофировании водоемов. В кн.: Антропогенное евтрофирование озер. М., 1976, с. 82—117.
224. Шильниковская Л. С., Белан А. П. Оценка вод некоторых рек Казахстана для ирригационных целей. — Гидрохимические материалы, 1975, т. 62, с. 55—61.
225. Шлыгин Е. Д. Геологическая история и геологическое строение Казахстана. В кн.: Очерки по физической географии Казахстана. Алма-Ата, 1952, с. 59—126.
226. Эргашев А. Э. Материалы к флоре водорослей ирригационных систем Узбекистана. — В кн.: Каналы СССР. Киев, 1968, с. 286—300.
227. Эргашев А. Э. К эльгофлоре некоторых оросительных каналов Казахстана и Киргизии. — Гидробиологический журнал, 1970, т. 6, № 5, с. 39—44.
228. Якшин Н. Н. Канал Северский Донец—Донбасс. — Бюллетень научн.-техн. информ. Гидропроекта, 1962, вып. 14, с. 3—31.
229. Ярославцева Н. И. Фитопланктон водохранилищ канала Иртыш—Караганда. — В кн.: Биологические основы рыбного хозяйства водоемов Средней Азии и Казахстана. — Фрунзе, Илим, 1978, с. 200—202.
230. Bowen H. J. Trace elements in biochemistry. London, N. Y. Acad., Press, 1966, 278 p.
231. Caspers H. Die Bodentierwelt und Biologie des Hamburger Alsterbeckens und der Stadtkanäle (Quantitative Untersuchungen zur Kennzeichnung eines Stadtsees). Mitt. Hamburg. Zool. Mus. Inst., 52, 1953, p. 116—129.
232. Caspers H., Schulz H. Studien zur Wertung der Saprobiensysteme. Erfahrungen an einem Stadtkanal Hamburgs. — Int. Revue des gesamten Hydrobiologie, 1960, vol. 45, Nr 4, S. 535—565.
233. Caspers H., Schulz H. Weitere Unterlagen zur Prüfung der Saprobiensysteme — Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie, 1962, vol. 47, Nr. 1, S. 100—117.
234. Devlaminek F. Etude biologique du canal Albert en vue d'en determiner le degre de pollution. Bulletin trimestriel CEBEDEAU, N 51, 1961, p. 31—55.
235. Gunf G. G. Ecological stability in a shallow equatorial lake (Lake Geogre, Uganda). — Proc. R. Soc. Lond. B., 1973, vol. 184, p. 321—346.
236. Goiberg E. D. Iron assimilation by marine diatoms. Biol. Bull., Woods Hole, 1952, vol. 102, p. 99—121.
237. Gratteau J. C. Potentialgicides for the control of algae. Water and Sewage Works, 1970, vol. 117, p. 24—31.
238. Hawes R. S. and Skavinski e. r. Diffusion micrometod for nitrogen. Ind. Eng. Chem., vol. 14, 1962, p. 917—921.
239. Herry C. et coll. Etude des eaux du Canal Albert (anee 1958). Bull. trim. CEBEDEAU № 46, 1959/IY. p. 216—221.
240. Herry S. et coll. Etude des eaux du Canal Albert (annee 1959). Bull. mensuel CEBEDEAU № 114—115, juin—juill 1960, p. 196—200.
241. Hayward J. Studies on the growth of Phaeodactylum tricornutum. III. The effect of iron on growth. J. Mar. Biol. Ass. UK., 1968, vol. 48, N 2, p. 295—302.
242. Hupp E. R. Plankton and its relationship to chemical factors and environment in white River Canal. Indianapolis, Indiana. Butler Univer., Bot. Stud., 1943, N 6, p. 148—161.
243. Krauskopf K. B. Factors controlling the concentratio of thirteen rare metals in sea-water. Geochim. et cosmochim. Acta, 1956, vol. 9, N 1/2, p. 264—278.
244. Lund J. W. G. Eutrophication. Proc. Roy. Soc. London, ser. B. 1972, vol. 180, N 1061, p. 371—382.
245. Livingstone Chemical composition of rivers and lakes U. S. D. I. Geol. Survey Paper, 440 g, 1961, p. 79—92.
246. Lewin J., Chen G. H. Available iron: a limiting factor for marine phytoplankton. Limnol. Oceanogr., 1971, vol. 16, N 4, p. 670—675.

247. Mangerel P., Mazoit L., Dupuy J. Observations sur la microflore d'un canal de navigation. Verh. Int. Verein Limnol., 14, 1, Stuttgart, Juli, 1961, p. 240—257.

248. Murray J. W. The interaction of metal ions of the manganese dioxide-solution interface. — „Geochim. et cosmochim. acta“, vol. 39, N 4, 1975, p. 69—92.

249. Nursall J. R. The general analysis of a eutrophic system. Verh. Int. Ver. theor. und angew. Limnol., 1969, 17, N 1, p. 109—115.

250. Ohle W. Gewässer und Umgebung als ökologische Einheit in ihrer Bedeutung für die Gewässereutrophierung. — Gewässerschutz Wasser—Abwasser, 1971, Bd. 4, p. 318—333.

251. Quirnbach J. Studien über das Plankton des Dortmund—Emskanals und der Werse Münster — Arch. Hydrobiol. Planktonk., 7, 1912, p. 349—381.

252. Reynolds C. S., Walsby A. E. Water—blooms. — „Biol. Rev.“, 1975, vol. 50, p. 437—481.

253. Seligson D., Seligson H. A microdiffusion method for the determination of nitrogen liberated as ammonia. I. lab. Chin Med (the journal of laboratory and Clinical Medicine), vol. 38, 1951, p. 324—330.

254. Schindler D. W., Kling H., Schmidt R. V., Prokopowich J., Frost V. E., Reid R. A., Capel M. Eutrophication of Lake 227 by addition of Phosphate and nitrate: the second, third and fourth years of environment 1970, 1971 and 1972. — „J. Fish. Res. Bd. Can.“, 1973, vol. 30, p. 1415—1440.

255. Stewart K. M., Rohlich G. A. Eutrophication—a Review Publ. N 34, State Water Quality Control Board, Sacramento, Calif., U. S. A., 1978. — p. 187.

256. Talling J. F., Wood R. B., Prosser M. V., Baxter R. M. The upper limit of Photosynthetic productivity by phytoplankton: Evidence from Ethiopian soda lakes. — „Fresh—Water Biology“, 1973, vol. 3, p. 53—76.

257. Vollenweider R. A. Scientific fundamentals of the eutrophication of lakes and flowing waters, with particular reference to nitrogen and phosphorus as factors in eutrophication. Organization for economic cooperation and development. Paris, 1968. — p. 218.

ОГЛАВЛЕНИЕ

От редактора	3
Введение	5
Глава 1. Физико-географическая характеристика района	9
1.1. Орография и геологическое строение	—
1.2. Климат	12
1.3. Почвы и растительность	14
1.4. Гидрогеологические условия	19
1.5. Гидрографическая сеть, гидрологический и гидрохимический режим водотоков, входящих в систему канала	22
Глава 2. Народнохозяйственное значение, характеристика канала и некоторые элементы его гидрологического и гидробиологического режима	39
2.1. Народнохозяйственное значение и характеристика канала	—
2.2. Гидрологический режим канала и водохранилищ	43
2.3. Краткая гидробиологическая характеристика канала и водохранилищ	50
Глава 3. Задачи, объем и методика исследований	53
Глава 4. Физические свойства воды	59
4.1. Взвешенные вещества и прозрачность воды	—
4.2. Температура воды	65
Глава 5. Минерализация и ионный состав воды	67
5.1. Минерализация и ионный состав воды р. Иртыш	—
5.2. Изменение минерализации и ионного состава воды по трассе канала	70
5.3. Режим минерализации и ионного состава воды в отдельных водохранилищах	97
5.4. Отношения между концентрацией отдельных ионов и их суммой	108
5.5. Концентрация натрия и калия	114
Глава 6. Биогенные и органические вещества	126
6.1. Биогенные вещества	127
6.2. Органические вещества	141
Глава 7. Растворенные газы и рН	150
7.1. Кислород	—
7.2. Двуокись углерода	158
7.3. Водородный показатель (рН)	—
Глава 8. Микроэлементы в воде и донных отложениях	160
8.1. Микроэлементы в воде	—
8.2. Микроэлементы в донных отложениях	174
Глава 9. Оценка качества воды канала для хозяйственно-питьевых, технических и ирригационных целей	178
9.1. Качество воды для хозяйственно-питьевых целей	—
9.2. Качество воды для технических целей	179
9.3. Качество воды для ирригации	182
9.4. Некоторые вопросы сохранения удовлетворительного качества воды канала	185
Список литературы	187