

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР ПО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ
ОСНОВЫ ОРОСИТЕЛЬНЫХ
МЕЛИОРАЦИЙ

в бассейнах рек Чу и Талас

Под редакцией
канд. геогр. наук К. В. ЦЫЦЕНКО
и канд. техн. наук В. В. СУМАРКОВОЙ



ЛЕНИНГРАД ГИДРОМЕТЕОИЗДАТ 1990

УДК 631.6

Г46

631.6 + 551.582 (С 54)/+
551.582 (С 55)

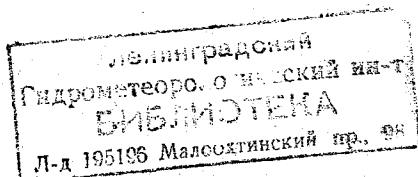
Рецензент канд. геол.-минерал. наук Н. Н. Шуранова

В работе обобщены материалы комплексных воднобалансовых исследований, выполненных ГГИ для гидрологического обоснования развития орошения в бассейнах рек Чу и Талас.

Дана оценка ресурсов поверхностных и подземных вод. Приводятся результаты полевых наблюдений по количественному определению элементов водно-солевого баланса орошаемых полей и массивов, результаты расчетов оптимальных оросительных норм и режимов орошения. На основе количественной оценки безвозвратного водопотребления и возвратных вод с орошаемых земель выполнены расчеты современных и перспективных изменений стока под влиянием развития орошаемого земледелия. Рассмотрены изменения составляющих русловых и водных балансов за многолетний период различных участков рек Чу и Талас. Дано гидрологическое обоснование водохозяйственного баланса в исследуемых бассейнах.

Рассчитана на гидрологов, мелиораторов и широкий круг специалистов по проектированию и эксплуатации оросительных систем.

551.582

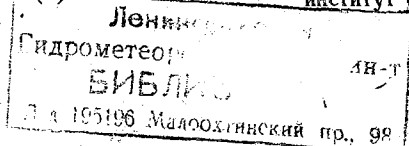


Г 1805040700-088
069(02)-90

2-90(1)

© Государственный гидрологический институт (ГГИ), 1990 г.

ISBN 5-286-00592-6



ПРЕДИСЛОВИЕ

Вследствие водохозяйственной деятельности в бассейнах рек Чу и Талас, так же как и в ряде других речных бассейнов Средней Азии, Казахстана и Северного Кавказа, образовался значительный дефицит водных ресурсов, наблюдается снижение стока в реках-водоисточниках, повышение минерализации речных вод. В связи с этим возникли серьезные трудности в водообеспечении народного хозяйства, в вопросах деления стока между отдельными районами, областями, республиками.

Для научного обоснования при дальнейшем проектировании и эксплуатации оросительных систем в данном исследовании поставлены в качестве основных задач надежная оценка водных ресурсов, затрат стока на орошение и формирование возвратных вод, влияния их на гидрологический режим и водность рек.

Бассейны рек Чу и Талас расположены на территории Киргизской и Казахской ССР. Сток этих рек формируется в горных районах Киргизии. Интенсивное использование воды начинается на равнинной части речных долин при выходе рек из горных ущелий. Водные ресурсы рек Чу и Талас в пределах развитых в экономическом отношении, но засушливых районов Северной Киргизии, Джамбулской и Чимкентской областей Казахской ССР являются в первую очередь источниками сельскохозяйственного, промышленного и коммунально-бытового водоснабжения.

Водохозяйственные балансы рассматриваемых бассейнов рек весьма напряженны. В то же время перспективные планы развития края предусматривают существенный рост водоемких отраслей экономики и в первую очередь орошаемого земледелия. При этом во всей остроте встает проблема наиболее рационального использования водных ресурсов рек Чу и Талас. Применительно к решению этих задач до 1970 г. гидрологические исследования на реках Чу и Талас проводились рядом организаций. Первые инструментальные определения стока р. Чу относятся к 1910—1916 гг., когда под руководством В. А. Васильева составлялся «Проект орошения долины р. Чу». С конца 20-х годов в связи со строительством и проектированием новых оросительных сооружений начинает действовать постоянная гидрометрическая сеть на р. Чу и ее основных притоках. В различное время проводятся специальные гидрологические исследования, включающие измере-

ния водозаборов из р. Чу и сбросов воды в нее, изучение стока «карасу» и т. д. Такого рода работы проводились и в конце 30-х годов перед строительством Западного Большого Чуйского канала (ЗБЧК). В 1956—1958 гг. для составления схемы комплексного использования водно-земельных ресурсов Чуйской долины А. Т. Ильясов произвел обобщение материалов по режиму и балансу этой реки за 1950—1957 гг.

Вопросы руслового водного баланса рассматривались при изыскании возможностей использования подземных вод Киргизии для целей орошения. Эти работы проводились КиргНИИВХ под руководством М. И. Каплинского в 1957—1963 гг. и позже. Уточнения руслового водного баланса отдельных участков реки проводились также Средазводпроектom (1940—1947 гг.), Казгипровод-электро (1960—1961 гг.), Киргизгипроводхозом (1961—1963 гг.) и другими организациями.

Указанные гидрологические исследования в бассейнах рек Чу и Талас основывались, главным образом, на гидрометрических данных без постановки специальных наблюдений по учету других весьма важных составляющих водного баланса.

Выводы, сделанные на основе недостаточной информации, на следующем этапе развития народного хозяйства оказались неприемлемыми для осуществления научно обоснованного и рационального использования водных ресурсов, а также для оперативного решения вопросов вододеления. В это время практическое значение начинает приобретать учет возвратных вод с орошаемых земель.

В связи с этим в течение 1971—1975 гг. ГГИ провел комплексные исследования водного, теплового и солевого балансов орошаемых земель в бассейнах рек Чу и Талас, а также руслового водного баланса этих рек и их основных притоков. Исследования гидрологической части водохозяйственного баланса основывались как на результатах измерений, выполнявшихся специально организованной экспедицией ГГИ, так и на обобщениях данных Казахского и Киргизского управлений по гидрометеорологии, министерств мелиорации и водного хозяйства обеих республик, Союзводпроекта, Управления геологии Киргизской ССР и др.

Экспедиционные исследования ГГИ на орошаемых землях проводились на участках общей площадью 125 тыс. га, являющихся типичными по почвенно-климатическим, гидрогеологическим и мелиоративным условиям для Чуйской и Таласской долин. Одновременно с определением элементов водного, теплового и солевого балансов проводилось изучение фактического режима орошения различных сельскохозяйственных культур на территории Казахской и Киргизской ССР.

В проведении полевых экспедиционных работ и камеральной обработке материалов принимали участие: Э. П. Протасов — начальник экспедиции; В. П. Емец (1971 г.), канд. геогр. наук К. В. Цыценко (1972—1974 гг.), Н. П. Бирюков (1972—1973 гг.),

Л. Н. Алмазов (1975 г.) — заместители начальника экспедиции; канд. техн. наук В. В. Сумарокова — ответственный исполнитель гидрометрических работ; канд. геол.-минерал. наук А. И. Зеленой, ст. инженер Н. Д. Осколкова — ответственные исполнители гидрогеологических работ; В. М. Березовский, И. Я. Гавриленко, В. И. Григоркин, В. М. Ионов, И. Н. Иродов, В. П. Кадашов, И. А. Кривенцов, Н. С. Лебедкова, С. А. Павлов, В. И. Строгов, Р. В. Тесак, В. С. Ясаков — начальники отрядов, а также большая группа инженеров, техников и гидрометнаблюдателей. Значительный объем работ по определению водно-физических свойств и химического состава водных вытяжек почв выполнен в лаборатории почвогрунтов отдела мелиоративной гидрологии ГГИ. Химический анализ поверхностных и грунтовых вод проводился в лабораториях ВНИИКАМС (г. Фрунзе) и КазНИИВХ (г. Джалбул).

Полевые и экспериментальные исследования водного, теплового и солевого балансов орошаемых земель, их научный анализ проводились под руководством д-ра техн. наук, проф.

С. И. Харченко, а исследования руслового водного баланса осуществлялись под руководством д-ра техн. наук И. Б. Вольфцуна.

По результатам экспериментальных и теоретических исследований были выполнены расчеты оптимальных режимов орошения, определены значения безвозвратного водопотребления и возвратных вод с орошаемых земель, рассчитаны современные и перспективные изменения стока рек под воздействием орошения, оценено взаимодействие подземных и речных вод методами руслового водного баланса и аналогового электромоделирования, проведена оценка изменения минерализации речных вод и др.

Осуществленные разработки позволили дать гидрологическое обоснование перспективным планам мелиоративного строительства, по-новому подойти к оценке эксплуатационных водных ресурсов.

Книга является результатом коллективного труда большой группы сотрудников института (фамилии авторов отдельных разделов помещены в оглавлении).

Наряду с результатами исследований ГГИ в монографии помещены материалы по водному балансу Чуйской долины, представленные канд. техн. наук М. И. Каплинским (ВНИИКАМС). Проработки по моделированию гидрогеологических процессов в Чуйской долине выполнены канд. геол.-мин. наук Г. А. Шином (ВСЕГИНГЕО).

Научное редактирование и подготовка рукописи к печати осуществлены канд. геогр. наук К. В. Цыценко и канд. техн. наук В. В. Сумароковой.

ПРИНЯТЫЕ СОКРАЩЕНИЯ

- АВМ — аналого-вычислительная машина
ВВЧК — Восточный Большой Чуйский канал
ВНИИКАМС — Всесоюзный научно-исследовательский институт комплексной автоматизации мелиоративных систем
ВСЕГИНГЕО — Всесоюзный научно-исследовательский институт гидрогеологии и инженерной геологии
ГИДРОИНГЕО — Государственный институт гидрогеологии и инженерной геологии
Гипроводхоз — Всесоюзный государственный проектно-исследовательский и научно-исследовательский институт водохозяйственного строительства
ГПИЛ — гидравлический почвенный испаритель-ли-зиметр
гидр. — гидрологический
ЗБЧК — Западный Большой Чуйский канал
зим. — зимовье
КиргНИИВХ — Киргизский научно-исследовательский институт водного хозяйства
КазНИИВХ — Казахский научно-исследовательский институт водного хозяйства
Минводхоз — Министерство мелиорации и водного хозяйства
Мингео СССР — Министерство геологии СССР
пк — пикет
РВБ — русловой водный баланс
скв. — скважина
Киргизгидромет — Киргизское республиканское управление по гидрометеорологии
УОС — управление оросительных систем
ц. ус. — центральная усадьба

1. ХАРАКТЕРИСТИКА ПРИРОДНЫХ УСЛОВИЙ БАССЕЙНОВ РЕК ЧУ И ТАЛАС

Реки Чу и Талас, имеющие смежные бассейны, протекают по территории Северной Киргизии и Южного Казахстана. Зарождаясь в горах Тянь-Шаня, они текут преимущественно в северо-западном направлении и теряются в Туранской низменности. Река Чу оканчивается в разливах внутриконтинентальной дельты, а р. Талас, являвшаяся левобережным притоком р. Чу, в настоящее время не достигает главной реки, так как разбирается на орошение.

1.1. Рельеф

Строение поверхности водосборов рек Чу и Талас сложно и разнообразно: юго-восточная часть — горные хребты и межгорные впадины Северного Тянь-Шаня, а северо-западная — равнинные и низменные пространства с песками Мууюнкум и пустыней Бетпак-Дала.

Бассейн р. Чу в горной части ограничен высокими хребтами Киргизским, Терской-Ала-Тоо, Джумголтау и их отрогами на юге, Кюнгей-Ала-Тоо и Заилийским Алатау на востоке, а в равнинной — с северо-востока невысокими горами Чу-Илийскими и Кендыктас, с юго-запада хр. Каратау. Первые три хребта окружают Кочкорскую котловину, Кюнгей-Ала-Тоо и Заилийский Алатау заключают между собой Чонг-Кеминскую впадину, а между Киргизским хребтом, горами Кендыктас и Чу-Илийскими находится обширная Чуйская долина.

Бассейн р. Талас с юга ограничен хр. Таласским Алатау, с юго-запада — хр. Каратау. От расположенного северо-восточнее бассейна р. Чу он отделяется гребнем Киргизского хребта, а в равнинной части водораздельная линия этих бассейнов проходит по пескам. Между Таласским Алатау и Киргизским хребтом расположена Таласская долина.

Хребты Заилийский Алатау и Киргизский, Кюнгей-Ала-Тоо и Таласский Алатау входят в северную ветвь Тянь-Шаня, отделяющуюся от основной его части Иссык-Кульской и Кочкорской котловинами. Южнее этой ветви располагается вторая, основой которой является хр. Терской-Ала-Тоо. Гребни перечисленных хреб-

тов часто достигают абсолютных высот 4,0—4,9 тыс. м. Для высокогорья типичны ледниковые формы рельефа: кары, трог, боковые конечные морены.

В высокогорной области долины рек глубокие, имеют вид ущелий и каньонов с узкими днищами, занятыми руслами, и лишь в верховьях рек в зоне четвертичного оледенения они широкие корытообразные. Склоны хребтов расчленены долинами рек и ручьев V- и U-образной формы. Наибольшей эрозионной расчлененностью характеризуются северные склоны Кыргызского хребта. В западном направлении хребты Кыргызский и Заилийский Алатау постепенно снижаются. В верховьях р. Талас от первого из них ответвляется Таласский Алатау. Кыргызский хребет заканчивается у г. Джамбула низкими горами Тек-Турмаз. Хребет Заилийский Алатау, понижаясь, переходит в слабо поднятые Чу-Илийские горы, один из отрогов которых оканчивается Чумышскими скалами на правом берегу р. Чу у г. Георгиевское.

В низких Чу-Илийских горах и горах Кендыктас на правобережье р. Чу завершается горная часть ее водораздела (далее водораздельная линия проходит по пустыне Бетпак-Дала). Для этих низких гор характерны обширные выровненные поверхности, ограниченные крутыми расчлененными склонами.

Хребет Каратау, замыкающий бассейны рек Чу и Талас с юго-запада, протягивается на 350 км. Наивысшая отметка его гребня лежит на абсолютной высоте 2180 м. Склоны расчленены долинами многочисленных водотоков. Глубина их вреза составляет 200—300 м.

Межгорные равнины, являющиеся областями накопления сносимого с гор обломочного материала, в подгорной полосе сложены отложениями конусов выноса рек и делювиальных шлейфов, а в центральной части впадин — аллювием. Поверхность этих подгорных аккумулятивных равнин — плоская или слабоволнистая, наклонена к осевым частям впадин (уклон 0,005—0,05), занятым главной рекой. Террасированные аллювиальные равнины различаются незначительными уклонами поверхности, уступы террас в рельефе выражены обычно слабо. Поймы развиты повсеместно, поверхность их часто изрезана старицами.

В Чуйской долине подгорно-равнинный комплекс рельефа развит наиболее полно [21]. Он включает крутонаклонные слабо и неглубоко (до 10 м, реже до 50 м) расчлененные конусами выносов равнины. Периферические части конусов имеют густую сеть неглубоких (до 5 м, редко до 20 м) эрозионных долин рек родникового питания (карасу). В пределах предгорных равнин встречаются участки всхолмленного, волнистого рельефа с глубиной расчленения до 50 м, реже до 100 м (районы сел Васильевка, Степного, увал Саргоу). Наконец, в Чуйскую равнину входит террасированная аллювиальная равнина, расширяющаяся по мере удаления от места выхода р. Чу из гор. В междуречье Ала-Арча—Ысык-Ата протягивается полоса ступенчатых предгорий («прилавок» или «адыров»).

Таласская долина осложнена внутренним поднятием фундамента — горами Ичкелетау, которые разделяют ее на Северную Таласскую и Южную Таласскую долины. Последняя в значительной степени занята конусом выноса р. Талас.

Чуйская и Таласская долины представляют юго-западные оконечности обширной Чу-Сарысуьской депрессии палеозойского фундамента, проявляющейся и в современном рельефе. Они относятся к типу внешних межгорных впадин, так как открыты (вторая в меньшей степени, чем первая) в сторону Туранской низменности. Другие же впадины — внутренние, замкнутые горными сооружениями.

Большую часть Кочкорской котловины занимает террасированная аллювиальная равнина. В Иссык-Кульской котловине, помимо подгорных наклонных равнин, вдоль оз. Иссык-Куль протягивается узкая полоса плоской озерной равнины, с которой в западной части котловины сочленяется долина р. Чу.

Обширные равнинные пространства в пределах Чу-Сарысуьской депрессии формировались в процессе эрозионно-аккумулятивной деятельности рек. На междуречье Чу—Талас поверхность аллювиальной равнины осложнена эоловыми формами (в песках Муюнкум). Здесь наибольшую площадь занимает третья надпойменная терраса. На высоких террасах рельеф грядовый и бугристо-грядовый с относительными превышениями 15—80 м. На низких террасах чаще встречаются бугристые ячеистые формы. Пески обычно закрепленные на высоких террасах местами переваемые. Поверхность песков Муюнкум имеет наклон к северо-западу, ее абсолютные отметки в этом направлении уменьшаются от 640 до 130 м. Обширные пространства в нижнем течении р. Чу занимает озеро-аллювиальная равнина, представляющая собой внутриконтинентальную дельту р. Чу, ежегодно в той или иной мере затапливаемую водой. Это так называемые разливы р. Чу (Гуляевские, Уланбельские, Камкалинские).

Другим крупным равнинным районом является пустыня Бетпак-Дала, занимающая правобережную часть бассейна р. Чу к западу от Чу-Илийских гор. Поверхность ее плоская или пологоволнистая, осложненная сорово-дефляционными впадинами, а в восточной части останцами низких гор и мелкосопочника. Над дном долины р. Чу она возвышается на несколько десятков метров. Абсолютные высоты ее составляют 300—350 м, лишь в восточной части — до 974 м.

Изменения в строении поверхности водосборов рек Чу и Талас сказываются на процессах формирования стока. Так, горная территория является зоной формирования речного стока, тогда как на равнинных участках происходят трансформация и перераспределение стока между различными его звеньями, потери на испарение и орошение.

1.2. Климат¹

Климат рассматриваемой территории, особенно равнинной ее части, является сухим и характеризуется резкой континентальностью. Преобладающая ясная и сухая погода в зимний период обусловлена влиянием областей высокого давления, а в летний — поступающим с юга тропическим воздухом. Выходы циклонов с запада и северо-запада вызывают резкое потепление и осадки зимой, а летом — осадки обложного и ливневого характера. В низкогорных районах (до 1000—1500 м над ур. м), где циклоническая деятельность развита более сильно, континентальность и сухость климата по сравнению с равнинной местностью значительно ослаблена. Выше 1500 м над ур. м. континентальность климата вновь усиливается.

Распределение температуры воздуха в бассейнах рек Чу и Талас зависит главным образом от высоты местности. Так, средняя годовая температура воздуха изменяется от $-1... -2^{\circ}\text{C}$ в высокогорных районах до $7... 10^{\circ}\text{C}$ в Чуйской и Таласской долинах.

Самым холодным месяцем является январь, средняя месячная температура воздуха которого колеблется в пределах $-5... -13^{\circ}\text{C}$, а абсолютный минимум в бассейнах обеих рек достигает $-42... -46^{\circ}\text{C}$.

Влияние рельефа наиболее резко выражено в зимний период. При радиационном выхолаживании холодный воздух с гор застаивается в котловинах и приводит к формированию инверсий.

Наиболее высокие средние месячные температуры воздуха наблюдаются в июле, изменяясь от $8-9^{\circ}\text{C}$ на северных склонах Киргизского хребта до $26-27^{\circ}\text{C}$ в пустынных низовьях р. Чу.

Устойчивый переход средней суточной температуры воздуха через 0°C в нижнем течении рек Чу и Талас происходит 10—13/III и во второй декаде ноября. По мере увеличения высоты местности продолжительность теплого периода со средними суточными температурами воздуха выше 0°C уменьшается. На высотах около 3000 м над ур. м. устойчивые переходы температуры воздуха через 0°C происходят в конце апреля и в первой декаде октября.

Влажность воздуха изменяется в зависимости от высоты местности, времени года, циркуляционных особенностей атмосферы. Средние годовые значения дефицита влажности воздуха, как правило, уменьшаются с высотой местности, изменяясь от 9—10 гПа на равнине до 2—4 гПа в высокогорных районах. Зимой его средние месячные значения невелики и колеблются от 0,5—1,3 гПа на равнине до 1,5—2,5 гПа в предгорьях и выше. Наибольший средний месячный дефицит влажности воздуха отмечается в июле—августе и достигает 24—28 гПа в низовьях рек Чу и Талас. В высокогорных районах дефицит влажности воздуха составляет всего 4—5 гПа.

¹ Подробная климатическая характеристика приводится в справочнике [72].

На ветровой режим равнин и предгорий основное влияние оказывают циркуляционные условия. В высокогорных районах наблюдаются горно-долинные и склоновые циркуляции. Средние годовые скорости ветра изменяются от 1,8 до 4,3 м/с, возрастая по мере увеличения абсолютной высоты местности. Наибольшие средние месячные скорости ветра (3—5 м/с) наблюдаются в весенне-летний период, что связано с усилением циклонической деятельности или горно-долинной циркуляции. В высокогорной зоне и на перевалах максимальные средние месячные скорости ветра (3—5 м/с) наблюдаются зимой, а минимальные (около 3 м/с) — летом. При прохождении фронтов скорости ветра резко увеличиваются (до 25 м/с), вызывая пыльные бури, что особенно характерно для равнинной территории.

Распределение атмосферных осадков на исследуемой территории характеризуется крайней неравномерностью и зависит в основном от высоты местности и ориентации хребтов по отношению к влагонесущим воздушным массам [22, 23]. Наибольшие годовые суммы осадков (около 1000 мм) наблюдаются в высокогорных районах хребтов Киргизского и Таласского Алатау, наименьшие — в низовьях рек Чу и Талас, т. е. в пустынях Бетпак-Дала и Муюнкум, где они составляют 170—200 мм.

В Таласской долине, закрытой с севера и юго-запада хребтами, до высоты 3000 м над ур. м. за год выпадает осадков в среднем на 20—30 % меньше, чем на соответствующих высотах в Чуйской долине. На более высоких уровнях различия в увлажнении сглаживаются.

Распределение осадков с высотой неодинаково. Для рек, долины которых ориентированы по направлению влагонесущих потоков (например, Каракол, Учкошой, Чонг-Кемин и др.), характерно сравнительно равномерное увеличение осадков с высотой. Речные долины, ориентированные перпендикулярно преобладающему направлению переноса влагонесущих воздушных масс, характеризуются уменьшением количества осадков в их частях по сравнению с предгорными и высокогорными областями.

В равнинных частях Чуйской и Таласской долин в теплый период года (апрель—октябрь) отмечается до 50 % годовой суммы осадков. На горных склонах хребтов Киргизского и Таласского Алатау в этот же период выпадает 60—75 % годовой суммы осадков. Наибольшее их количество — апрель—май. Второй, менее значительный максимум, наблюдается в октябре—ноябре. В высокогорных областях наибольшее количество осадков также приходится на весенне-летний период с максимумом в мае—июне.

Соотношение жидких и твердых осадков зависит главным образом от высоты местности. До 2500—2700 м над ур. м. в годовой сумме преобладают жидкие осадки, выше — твердые. На высоте более 4000 м осадки выпадают только в твердом виде.

Вследствие большого перепада высот режим формирования снежного покрова рассматриваемой территории весьма разнообразен. Так, продолжительность периода со снежным покровом

изменяется от 70 сут на высотах 200—400 м над ур. м. до 200 сут на отметках около 3000 м над ур. м.

Начиная с высоты 1300—1500 м над ур. м., устойчивый снежный покров образуется почти ежегодно. На территориях, расположенных ниже 1300 м над ур. м. повторяемость зим с неустойчивым снежным покровом колеблется от 10 до 20 %. Обычно устойчивый снежный покров образуется в ноябре—декабре и сходит в феврале—марте, т. е. держится 2—4 месяца в году.

На равнинах средняя высота снежного покрова составляет 10—20 см. Запас воды в снеге в зависимости от высоты местности и ориентации склонов колеблется от 10 до 50 мм слоя. В высокогорных областях формируется сезонный снежный покров высотой 1—2 м и с запасами влаги 200—300 мм слоя воды.

1.3. Гидрологические условия

Для изучаемой территории характерно многообразие форм речной сети: постоянные водотоки, пересыхающие реки-саи, сухие русла аллювиальных равнин, водные объекты искусственного происхождения (каналы), приобретшие черты естественных водотоков.

Общая протяженность рек Чуйского и Таласского бассейнов составляет 38 500 км, густота речной сети — в среднем 0,4 км/км², уклоны колеблются в широких пределах (2—200 ‰). Главной рекой является р. Чу с площадью бассейна (включая бессточные области в низовьях) 67 500 км². На участке от с. Быстровка до г. Токмака река протекает в отложениях своего конуса выноса, значительная часть ее стока теряется на фильтрацию. Ниже г. Токмака до Чумышской плотины в долине р. Чу на поверхность выходят многочисленные «карасу» и образуется р. Красная, характеризующаяся постоянством дебита в течение всего года. До 1975 г. средний многолетний сток ее составлял 23,8 м³/с, после 1975 г. наметилось постепенное снижение расходов воды до 20—21 м³/с.

С отрогов северного склона Киргизского хребта и Чу-Илийских гор в долину стекают многочисленные правые и левые притоки р. Чу, главнейшими из которых являются Чонг-Кемин, Кичи-Кемин, Шамси, Кегаты, Ысык-Ата, Аламедин, Ала-Арча, Сухулук, Ак-Су, Кара-Балты и др. Все притоки, попадая в зону предгорий, интенсивно разбираются на орошение и практически не доносят воду до р. Чу. В Чуйской долине от реки отходят крупные оросительные каналы.

Второй по величине является р. Талас с притоками Колба, Беш-Таш, Урмарал, Кумыштаг, Кара-Буура, Кенкол, Нельды. В широкой межгорной долине выклиниваются источники «карасу», наиболее значительные из которых Кировские и Минбулак. К бассейну р. Талас тяготеет р. Асса. Реки бассейна р. Талас также разбираются на орошение. В междуречье Чу—Талас с северного

склона хр. Каратау стекают, теряясь на равнине, ряд небольших речек, как правило, пересыхающих в летний период.

В бассейнах рек Чу и Талас распространены озера различного происхождения (моренные, завальные, долинные). Наиболее крупные — долинные (Бийколь, Акколь). Озерность территории не превышает в среднем 1 %.

Из водохранилищ надо отметить Орто-Токойское ($W = 470$ млн m^3), Ташуткульское ($W = 620$ млн m^3), Кировское ($W = 550$ млн m^3). Имеется еще целый ряд незначительных по объему водохранилищ, а также около 80 прудов и водоемов, предназначенных для сезонного и суточного регулирования стока.

Особенностью гидрографии горных стран является наличие ледников и снежников на пригребневых участках хребтов. Не является исключением и рассматриваемый район. Так, площадь оледенения в бассейнах рек Чу и Талас составляет 762 км² [72]. Ледники накладывают особый отпечаток на гидрологический режим рек: колебания стока горных рек из года в год наиболее выровнены, половодье имеет наибольшую продолжительность; степень оледенения определяет водоносность реки и т. д. В то же время, по данным А. Т. Ильсова [32], в ледниках содержится лишь 12-летний объем годового стока, так что запасы льда не так уж велики и их не следует рассматривать как неисчерпаемые.

По характеру направленности водного баланса на рассматриваемой территории выделяются две гидрологические области — область образования и область рассеивания стока. К первой относится горная часть территории, где преобладает приход влаги над ее расходом и где хозяйственная деятельность пока не оказала существенного влияния на сток рек [8]. Область рассеивания располагается в долинных районах, где интенсивно развито орошение, в связи с чем резко видоизменяется естественный режим крупных рек (Чу, Талас).

Согласно классификации Б. Д. Зайкова, большинство рек относится к рекам с половодьем в теплую часть года [30]. По классификации П. С. Кузина [51], одну часть рек следует отнести к группе рек горно-арктической зоны холодного климата с летним половодьем, другую — к рекам горно-лесной зоны умеренного климата с весенне-летним половодьем и, наконец, здесь можно встретить реки горно-степной зоны с весенним половодьем. Формирование стока обуславливается балансами влаги и тепла. Нижние высотные зоны малоактивны в образовании стока вследствие недостатка влаги, а самые верхние — из-за недостатка тепла. Максимальная интенсивность стокообразования наблюдается вблизи гляциальной зоны [1, 25, 103].

Путем расчленения гидрографов стока [83] установлено, что для рек со средней абсолютной высотой водосбора более 3000 м основным источником питания являются снега и ледники гляциальной зоны, дающие 50—60 % объема стока за год (рис. 1.1). С уменьшением высоты возрастает доля сезонных снегов, достигая 70 %, доля ледниковых вод снижается до 20 %, а в зоне

низкогорья исчезает совсем. Дождевая составляющая увеличивается по мере снижения высоты местности (от 2 до 11 %). Роль грунтовых вод обладает наибольшим постоянством (30—50 % у рек разных высотных зон). Зависимости различных источников питания от высоты представлены на рис. 1.1.

На основе различий в формировании стока введено деление рек на следующие градации:

1) реки высокогорья со средневзвешенной высотой $H > 3000$ м над ур. м., т. е. ледниково-снегового питания, с растянутым по

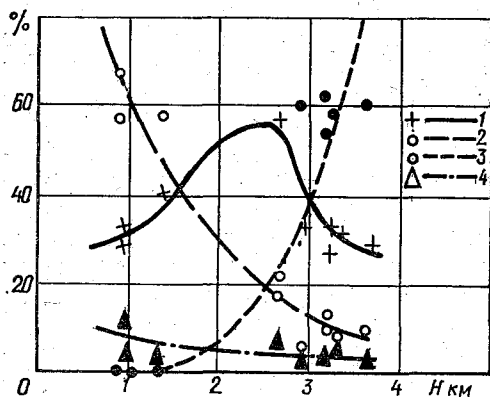


Рис. 1.1. Роль источников питания (% годового стока) в зависимости от высоты водосборов (H).

Питание: 1 — грунтовое, 2 — снеговое, 3 — ледниковое, 4 — дождевое.

времени многовершинным половодьем. Максимальные расходы воды наблюдаются в июле—августе, после прохождения максимума идет равномерный спад расходов воды вплоть до начала половодья следующего года. К этой градации относится большинство рек рассматриваемой территории, т. е. все наиболее крупные притоки рек Чу и Талас;

2) реки среднегорья с высотой водосборов 1500—2700 м над ур. м., имеющие снегово-ледниковое питание. Половодье продолжается с апреля по август, между отдельными пиками водность может снижаться до меженных значений. Выдающиеся максимумы приурочены к выпадению ливневых осадков, вызывающих прохождение селей;

3) реки низкогорья с высотами водосборов 600—1500 м над ур. м. со снеговым и снегово-дождевым типами питания. Половодье формируется в период весеннего снеготаяния (февраль—май). Количество пиков на гидрографах снижается (1—3), иногда пики вызваны выпадением ливневых осадков. Катастрофические максимумы расходов воды формируются выпадением ливневых дождей в период снеготаяния [84], что отмечалось в апреле 1959 г. на реках, стекающих с хр. Каратау, с Чу-Илийских гор и западных частей хребтов Киргизского и Таласского Алатау.

Внутригодовое распределение стока рек указанных градаций показано на рис. 1.2, где расходы воды представлены в относи-

тельных единицах, т. е. в процентах объема стока за месяц от объема годового стока.

Хронологический график уровней рассматриваемых рек в общих чертах аналогичен виду гидрографов стока. В отдельные годы максимальные уровни воды приходятся на зимний период ввиду подпоров и зажоров от ледовых явлений. В теплый период года для высокогорных рек характерен хорошо выраженный суточный ход расходов и уровней воды.

Из-за постоянных деформаций (намывов, размывов) русел не совпадает время прохождения максимумов расходов и наивысших

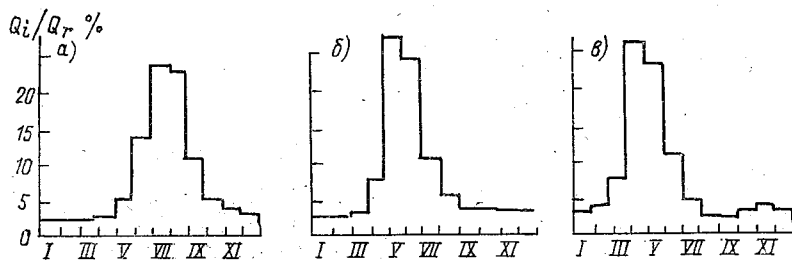


Рис. 1.2. Гидрографы стока рек разных высотных зон.

Q_i — средний месячный сток, Q_r — средний годовой сток. а — р. Ала-Арча. Средне-взвешенная высота водосбора $H_{ср}=3,29$ км; б — р. Нельды. $H_{ср}=2,49$ км; в — р. Ргаты. $H_{ср}=1,36$ км.

уровней воды, зависимости расходов воды от ее уровней не являются однозначными. Разливы в низовьях р. Чу наблюдаются в период снеготаяния (февраль, март), в летнее время паводочные воды не доходят до низовьев из-за их отвода в оросительные каналы.

Влияние рельефа на сток рек проявляется не только через вертикальную зональность. Существенное значение имеет экспозиция склонов, определяющая доступность территории проникновению влажных воздушных масс.

Геологические условия, структура почвогрунтов, уклоны поверхности также влияют на процессы стокообразования. Сложный комплекс гидрологических факторов вызывает необходимость районирования территории. По данным А. Т. Ильясова и М. Н. Большакова, на территории бассейнов рек Чу и Талас выделяется пять основных гидрологических районов:

- 1) северный склон Киргизского хребта (с верховьями р. Чу);
- 2) юго-западный склон Чу-Илийских гор;
- 3) бассейн р. Талас;
- 4) северо-восточный склон хр. Каратау и междуречье Чу—Талас;
- 5) Чуйская, Таласская долины — пески Муянкум и пустыня Бетпак-Дала (область рассеивания стока).

В пределах выделенных районов существуют зависимости отдельных параметров стока рек (среднего годового стока, объема

половодий) от средневзвешенной высоты водосборов. Количественные характеристики стока рек приведены далее, т. е. при расчете водных ресурсов. Надо отметить, что изменение модулей стока происходит в соответствии с законом вертикальной зональности и приведенным районированием. Для самих рек Чу и Талас характерно уменьшение модулей стока вниз по течению реки, т. е. с увеличением площади водосбора. Закон редукции стока по площади в значительной степени усугублен интенсивным разбором воды на орошение и другие хозяйственные нужды,

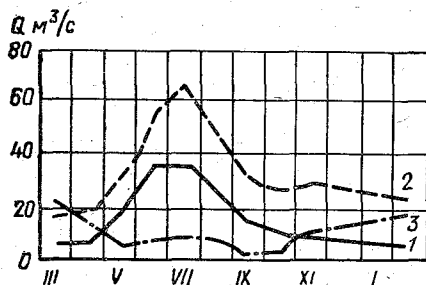


Рис. 1.3. Изменение гидрографов стока р. Талас по ее длине.

1 — с. Караой, 2 — с. Кировское, 3 — с. Учарал.

в связи с чем крупные речные артерии в среднем и нижнем течении имеют минимальные модули стока $[0,5-2,5 \text{ л}/(\text{с} \cdot \text{км}^2)]$. В основном это приток грунтовых вод, сформировавшихся из остатков речных и возвратных вод зоны орошаемого земледелия. Уровни изъятий и изменений естественного режима стока р. Талас наглядно показаны на рис. 1.3.

К особым явлениям гидрологического режима 1971—1975 гг. следует отнести катастрофические паводки, прошедшие в 1972 г. в бассейне р. Талас и в 1973 г. в Чуйской долине.

В Чуйской долине 19—20/II 1973 г. прошел паводок, сформировавшийся вследствие интенсивного таяния снега при мощном выносе тепла синхронно с выпадением обильного ливня (20—30 мм). Расходы воды в коллекторной сети превысили обычные максимумы в 7—10 раз. Пойма р. Сухулук была полностью затоплена водой, уровень воды поднялся на 5—8 м.

1.4. Гидрогеологические условия

Рассматриваемая территория относится к области внутриматерикового стока и представляет Чу-Таласский артезианский бассейн третьего порядка с внешней областью питания в горных сооружениях Тянь-Шаня [20]. Этот артезианский бассейн является составной частью Чу-Сарысуйского артезианского бассейна, в верхней гидродинамической зоне характеризующегося общей направленностью подземного и поверхностного стока и совпадением (наиболее полным в горной части) гидрогеологических и гидрологических водоразделов.

Сводный гидрогеологический разрез территории имеет трехчленное строение [21]. В нем по геолого-структурным особенностям и характеру обводнения горных пород выделяются:

нижний этаж (фундамент) из сильно дислоцированных палеозойских и более древних кристаллических, метаморфических и сильно метаморфизованных осадочных и вулканогенно-осадочных образований с трещинным типом водопроницаемости. Подземные воды приурочены к коре выветривания и разрывным тектоническим нарушениям; в карбонатных отложениях массивов встречаются, кроме того, трещинно-карстовые воды;

средний этаж из мезокайнозойских в различной степени уплотненных осадочных пород с трещинным, реже поровым, типом водопроницаемости и пластовыми скоплениями подземных вод;

верхний этаж из покровных четвертичных и неоген-нижнечетвертичных рыхлых образований с поровым типом водопроницаемости, содержащих значительную часть запасов пресных подземных вод.

Региональные закономерности распространения и формирования подземных вод определяются наличием в той или иной части территории двух или трех гидрогеологических этажей. Для большей, горной, части бассейна, расположенной в пределах Северного Тянь-Шаня, характерно отсутствие среднего этажа, причем верхний и нижний этажи присутствуют в межгорных впадинах, а возвышенные части складчатоглыбовых зон сложены породами нижнего этажа. Наличие всех трех этажей характерно для западной части Чу-Таласского артезианского бассейна, и в частности для Таласской межгорной впадины. В юго-западной части рассматриваемой территории средний этаж слагает отдельные возвышенные части складчато-глыбовых зон (гидрогеологические адмассивы).

Гидрогеологические условия тех или иных частей территории наряду со структурно-геологическими и геоморфологическими особенностями определяются климатом, подчиняющимся закону вертикальной зональности и в значительной мере зависящему от положения района в горной системе (см. раздел 1.2). Вместе с тем все более значительное влияние на эти условия оказывает хозяйственная деятельность, связанная с регулированием речного стока, развитием орошения и др. Наиболее существенно в региональном плане влияние орошения. Так, например, за период с 1940 г. на 60 % увеличились площади с неглубоким залеганием грунтовых вод на орошаемых землях Чуйской долины.

В зоне формирования стока, приуроченной к складчато-глыбовым поднятиям, подземные воды залегают на глубинах в среднем 80—100 м. Наибольшая их глубина (400 м) отмечается на возвышенных, сложенных карбонатными породами, наименьшая — на участках распространения плотных эффузивных образований [21]. Подземные воды в зоне экзогенной трещиноватости распространены до глубины в несколько десятков метров, а в зо-

нах тектонических разломов — до нескольких сотен метров. Гидрогеологические массивы, обладая общими характерными свойствами, в том числе поясностью трещинно-грунтовых вод, различаются по условиям питания, движения и разгрузки подземных вод. Это обусловлено особенностями их геологического строения и климатических условий, гипсометрическим положением, ориентировкой склонов и т. п.

Массивы, совпадающие с высокогорными сооружениями, характеризуются более благоприятными условиями питания подземных вод за счет таяния сезонного снега, а в высокогорных районах (выше 2500—3500 м над ур. м.) также за счет таяния ледников. Подземные воды здесь пресные и ультрапресные, тогда как в низкоромье наряду с пресными распространены солоноватые и соленые воды (Чу-Илийские горы).

Горные породы в зоне открытой трещиноватости обладают пестрой, но преимущественно средней степенью водообильности (дебиты родников 1—10 дм³/с). В зонах тектонических разломов водообильность существенно возрастает (дебиты родников до 20—50 дм³/с). В гребневых же частях гор породы практически безводны. Наибольшей водообильностью отличаются закарстованные карбонатные породы (дебиты родников до сотен литров в секунду).

В гидрогеологических массивах подземные воды обычно непрерывно питают реки. Лишь на отдельных участках этих массивов при резком увеличении водопроницаемости пород отмечается противоположная направленность водообмена между реками и определенными скоплениями подземных вод. Например, отток в аллювий имеет место при резком расширении речных долин и углублении коренного ложа (при уменьшении поперечного сечения аллювия вода возвращается в русло).

По зонам тектонических разломов и закарстованности горных пород возможен отток воды из реки к ниже расположенным базисам дренирования, в том числе и к нижним участкам этой же реки.

Подземные и поверхностные водоразделы в гидрогеологических массивах в основном совпадают. Отток подземных вод из этих массивов к пластовым скоплениям внутренних частей артезианских бассейнов происходит по приповерхностной зоне и отдельным глубинным разломам. В гидрогеологических адмассивах с пластово-трещинными скоплениями подземных вод возможно существенное несовпадение орографических и подземных водоразделов. При этом происходит глубинное перетекание подземных вод в смежные водосборы по пластам, слагающим адмассивы.

Часть подземных вод из горной части бассейна поступает в межгорные впадины в виде подруслового стока по аллювиальным отложениям. О подрусловом стоке левобережных притоков р. Чу дают представление данные, полученные Управлением геологии КиргССР в результате специальных работ по створам на вы-

ходе рек из Киргизского хребта (табл. 1.1). Подрусловый сток составляет в среднем 3—5 % стока поверхностных вод.

Таблица 1.1

Сведения о подрусловом стоке, м³/с

Расход подруслово- го потока	Река					
	Кызыл-Су	Шамси	Кегаты	Ысык-Ата	Аламедин	Ала-Арча
Наибольший	0,0013	0,05	0,56	0,12	0,04	0,23
Наименьший	0,0006	0,02	0,54	0,12	0,03	0,09

Фундамент бассейна имеет неровную поверхность в виде отдельных впадин и поднятий. Последние разделяют бассейн на несколько обособленные части.

Наиболее важное практическое значение здесь имеет верхний гидрогеологический этаж. В пределах собственно Чуйской и Таласской межгорных долин верхний гидрогеологический этаж представлен водоносными комплексами четвертичных аллювиально-пролювиальных (с характерной горизонтальной гидрогеологической зональностью) и неоген-нижнечетвертичных отложений, а в пределах остальной равнинной части территории (исключая плато Бетпак-Дала) — водоносным комплексом четвертичных аллювиальных и эоловых отложений.

Средний гидрогеологический этаж изучен слабо и лишь в равнинной западной части, где мощность отложений верхнего этажа уменьшается, приобретает практическое значение.

Аллювиально-пролювиальный водоносный комплекс распространен также во внутригорных котловинах (Кочкорской, Иссык-Кульской и др.). В центральных частях межгорных впадин мощность его достигает 300—500 м и более. Вблизи гор это — крупнообломочные отложения, а в нижних частях конусов выноса — суглинистые отложения с линзами и прослоями крупнообломочного материала. В полосе подгорных шлейфов, где подземные воды залегают на глубине 10—200 м, имеет место свободная фильтрация речных вод из русел рек. Эта часть речных долин входит составной частью во внутреннюю область питания и накопления подземных вод бассейна. По мере удаления от гор и уменьшения водопроницаемости отложений глубина залегания подземных вод уменьшается и в периферической части конусов выноса подземные воды выклиниваются на поверхность, а напорные воды, приуроченные к песчано-галечным прослоям среди суглинков, при вскрытии буровыми скважинами самоизливаются. В районе расположения Чумышского гидроузла имеет место поднятие фундамента и выход на поверхность скальных образований, ввиду чего создается подпор грунтового потока, сопровождающийся выклиниванием на поверхность подземных вод. Подземные воды

в этой зоне питают многочисленные родниковые речки (карасу), либо заболачивают местность. Далее располагается зона транзитного подземного стока, где подземные воды залегают на глубине 5—30 м (на орошаемых землях 1—3 м и менее). После зоны транзитного стока в Чуйской долине выделяется зона региональной дрены, совпадающая с поймой реки, где уровни грунтовых вод расположены на глубинах 0—3 м.

Минерализация подземных вод увеличивается от 0,5—1 г/дм³ вблизи гор до 1—3 г/дм³ в зоне выклинивания и до 20 г/дм³ на участках вторичного засоления грунтов. Минерализация напорных вод составляет 0,2—0,8 г/дм³, наибольшая — до 1,5 г/дм³.

В Таласской долине, в пределах Киргизской ССР, вторая и третья зоны развиты неравномерно, преобладает первая зона — зона формирования подземных вод. Во многих небольших внутригорных котловинах, а также в северо-восточной половине Чуйской долины вдоль Чу-Илийских гор и гор Кендыктас развита лишь первая зона. Для долин рек Чу и Талас в центральных частях межгорных впадин характерны русловое и площадное выклинивание подземных вод, сформировавшихся выше по течению за счет фильтрации речных вод в аллювиально-пролювиальных отложениях. Таким путем, например, образуется р. Красная на пойме р. Чу у г. Токмак. В равнинной части территории аллювиальные воды пополняются еще за счет ирригационных и паводковых вод. Расходятся же они в основном на испарение, сток в русло незначителен. Мощность водоносного аллювия уменьшается вниз по течению реки от сотен и десятков метров в межгорных впадинах до нескольких метров в западной равнинной части бассейна. В региональном плане также существенно уменьшается по направлению стока и проницаемость русловых отложений. Вдоль р. Чу она снижается от 100—300 м/сут на подгорной равнине до 5 м/сут в низовьях реки при местных флуктуациях ее частных значений [20].

Аллювиальные отложения, слагающие третьи и четвертые террасы в междуречье Чу—Талас подверглись интенсивной золотой переработке. Здесь подземные воды залегают на глубинах 1—10 м в межбугристых понижениях, на глубинах 20—40 м на буграх и грядах, а в пределах четвертой террасы на глубинах до 100 м. На второй и третьей террасах в период высоких уровней грунтовые воды в старицах местами выходят на поверхность, образуя небольшие озера (чуроты). Водоупором для грунтовых вод служат глины неогена и палеогена. Мощность водоносного горизонта и его водообильность уменьшаются с юго-востока на северо-запад. Минерализация же в этом направлении возрастает. Наибольшая мощность водоносного горизонта составляет около 200 м, наименьшая — 1—10 м, минерализация воды — соответственно 50 и 0,3—0,8 г/дм³. Наиболее минерализованы подземные воды в низовьях р. Талас и на левобережье р. Чу. Питание этого водоносного горизонта происходит за счет подземных вод предгорий и инфильтрации зимне-весенних осадков.

Водоносный горизонт в нижнечетвертичных и неогеновых отложениях широко развит на территории восточной части Чу-Сарысуйского артезианского бассейна. Он приурочен к конгломератам, пескам и песчаникам, гравелитам, переслаивающимся с глинами. Эта толща в предгорьях местами выходит на поверхность, имея мощность в несколько сотен метров. В центральных частях впадин она залегает на значительной глубине (до 300—500 м) и достигает мощности 1—2 км. В предгорьях подземные воды в ней встречены на глубине 2—40 м. В межгорных впадинах водоносный горизонт изучен слабо. В равнинной западной части территории он вскрыт на глубинах 40—170 м. Здесь выделяется до трех водоносных пластов мощностью 2—30 м, а в долине р. Талас до 110 м. Подземные воды напорные. Их пьезометрические уровни в скважинах устанавливаются обычно ниже дневной поверхности, а в долине р. Курагаты воды самоизливаются при дебите до 30 л/с. В предгорьях и в верхних частях разреза межгорных впадин воды пресные, а вниз по разрезу минерализация возрастает до 1,5 г/дм³ и более.

Водоносный комплекс палеогеновых отложений широко распространен в западной части бассейна. Он залегает на глубине от нескольких метров в северной части площади распространения до нескольких сотен метров в центральной. Мощность отдельных водоносных прослоев песков, алевроитов составляет 1—40 м, суммарная — до нескольких десятков метров. Залегают они среди глин. Питание подземных вод в основном происходит за счет вод, поступающих с северо-восточного склона хр. Каратау. Инфильтрация же осадков наибольшую долю в питании имеет в северной части площади распространения водоносного горизонта (в пустыне Бетпак-Дала). Разгрузка подземных вод осуществляется путем перетекания в вышележащие водоносные горизонты аллювиальных отложений и в виде открытых выходов на левобережье р. Чу, где известно несколько десятков источников, носящих местное название «тма», а также в соровых впадинах. Минерализация подземных вод возрастает к северу от 0,5 до 3 г/дм³. На большей части площади распространения подземные воды напорные, их пьезометрические уровни обычно устанавливаются выше поверхности.

Водоносным горизонтом меловых отложений заканчивается средний гидрогеологический этаж. В Арыскульской котловине он содержит грунтовые или слабонапорные воды, а по мере погружения под палеогеновый комплекс напорные с пьезометрическим уровнем выше поверхности земли. Минерализация воды составляет 0,5—3 г/л. Меловые пески, песчаники, алевролиты слабо водоносны.

Подземные воды фундамента в пределах Чу-Сарысуйского артезианского бассейна залегают на большой глубине, почти не изучены.

В пустыне Бетпак-Дала подземные воды в зоне открытой трещиноватости палеозойских пород залегают на глубине 2—30 м.

в зависимости от рельефа местности. Минерализация их пестрая (1—10 г/дм³ и более). Породы обычно слабо водоносны, и лишь вдоль зон разломов, связанных с альпийским тектогенезом, водоносность их возрастает. Питание подземных вод скудное, осуществляется за счет зимне-весенних осадков, разгрузка происходит главным образом в сорово-дефляционных понижениях путем испарения. В юго-западной части пустыни среди глин верхнего неогена, перекрывающих палеозойские породы, спорадически с глубины 2,5—8 м встречаются подземные воды, приуроченные к невыдержанным прослоям рыхлообломочных отложений. Это — соленые воды хлоридного состава (сухой остаток до 25 г/дм³).

Заканчивая гидрогеологическую характеристику Чу-Таласского артезианского бассейна, целесообразно привести сведения о некоторых компонентах баланса подземных вод Чуйской и Таласской долин, заимствованные из работы [20]. Так, за счет атмосферных осадков в Чуйской и Таласской долинах формируется соответственно 9,25 и 2 м³/с подземных вод (10,5 и 7,4 % приходной части), приток подземных вод извне оценивается соответственно 2 и 1,0 м³/с (2,4 и 3,7 %), фильтрация в руслах рек — 41,6 и 8,7 м³/с (47,4 и 32,3 %), остальная часть баланса подземных вод — за счет оросительных вод. Главные расходные статьи: разгрузка в гидрографическую сеть (в реки, дрена, коллекторы) и испарение, а в Таласской долине — подземный отток за ее пределы.

1.5. Почвы и растительность

Почвенный покров Чуйской и Таласской долин весьма разнообразен.

В Чуйской долине, в ее равнинной части (среднее течение р. Чу), встречаются северные малокарбонатные светлые сероземы, которые переходят в комплекс гидроморфных почв сазной зоны, а через них в северные малокарбонатные темные сероземы предгорий. Особенность почвенного покрова Чуйской долины состоит в большой комплексности, обусловленной гидрогеологическими условиями.

Сероземы северные светлые находятся в северо-западной части Чуйской долины в районе притеррасного плато в пределах абсолютных высот 500—600 м. Формируются они под растительностью эфемеровых пустынных степей. Основными представителями ее являются мятлик луковичный и осока пустынная. К ним примешиваются несколько видов костров, ячменей и многочисленные эфемеры. Механический состав почв — пылевато-суглинистый, реже легкосуглинистый и супесчаный. Гумуса содержится 0,7—1,7 %, азота — 0,1—0,14 %. Карбонаты обнаруживаются с поверхности: в верхнем горизонте содержание CO₂ (карбонатов) составляет 2—3 %, в карбонатно-аллювиальном достигает 7—8 %. Емкость обмена невысокая — 10 ммоль на 100 г почвы. Светлые

сероземы слабо обеспечены питательными элементами (азотом и фосфором). Обычно не засолены, но при орошении наблюдается подъем грунтовых вод, вследствие чего происходит вторичное засоление и заболачивание.

В зоне выклинивания транзитных подземных вод, стекающих со склонов гор и предгорий (т. е. в местах близкого залегания грунтовых вод) образуются сазовые луговые и сазовые болотно-луговые почвы в комплексе с засоленными и солонцеватыми. Засоление почв вызвано тем, что проходя через мощную толщу отложений рыхлого материала, грунтовые воды обогащаются солями кальция, магния, натрия и калия.

Сероземы северные темные приурочены к нижним и средним частям предгорного шлейфа хребтов Киргизского и Таласского Алатау в пределах абсолютных высот 600—1000 м. Их формирование происходит под эфемерово-злаково-полынной растительностью, представленной полынью с примесью прутняка, эбелека. Значительное участие принимают эфемеры: мятлик луковичный, мелкая осочка, костер и др. Механический состав варьирует от скелетно-песчаных до хрящевато-пылеватых суглинков. Содержание гумуса в верхних горизонтах составляет 1,5—2,5 %, азота — 0,1—0,18 %. Сероземы северные не засолены, но в межконусных понижениях и в пределах всхолмленных древних надпойменных террас наблюдаются признаки небольшого засоления, выражающегося в образовании на глубине 70—150 см гипсового горизонта.

На абсолютной высоте 1000—2000 м в Чуйской долине, на предгорьях и склонах хребтов Киргизского и Таласского Алатау распространены светло- и темно-каштановые почвы, развивающиеся соответственно под полынно-злаковым разнотравьем и ковыльно-полынно-типчаковой растительностью с разнотравьем. По механическому составу почвы средне- и тяжелосуглинистые.

В зоне формирования поверхностного стока р. Чу почвенный покров образован почвами, относящимися к нескольким типам, сменяющим друг друга в пространстве в соответствии с законом вертикальной зональности почв. На горных склонах развиты горные каштановые, горные черноземы, горно-лесные темноцветные, субальпийские и альпийские горные лугово-степные и горно-луговые почвы.

В современных речных долинах развиваются гидроморфные почвы: аллювиально-луговые, аллювиальные и болотно-луговые.

В Чуйской долине большое распространение имеют содовые, содово-сульфатные засоленные почвы, которые занимают около 60 % общей площади засоленных почв (по данным А. М. Мамытова [54], засоленные почвы в Чуйской долине занимают более 170 тыс. га, а солонцеватые — 86 тыс. га). Такие почвы в то же время являются солонцеватыми. Одновременное прохождение процессов засоления и осолонцевания в этих почвах связано с наличием и накоплением воднорастворимых солей натрия, главным образом соды, в почвенном растворе образующейся как химическим, так и биохимическим путем [54]. Кроме того, в Чуйской

долине протекают солонцовые процессы, связанные с близким залеганием (до 1,5—2,0 м) гидрокарбонатно-натриевых грунтовых вод. Существенной особенностью этого района является широкое распространение практически водонепроницаемого горизонта луговой извести (кемпирташа), имеющего мощность 10—50 см, наличие которого необходимо учитывать при проведении мелиоративных работ.

На сероземах северных, светло- и темно-каштановых почвах в условиях богары можно получать урожаи зерновых культур. При орошении на сероземах возделываются сахарная свекла, кукуруза на зерно и силос, озимая пшеница, озимый и яровой ячмень, овес, рожь на зеленый корм, люцерна, овощи, бахчевые, плодово-ягодные культуры и виноград, на светло- и темно-каштановых почвах произрастают сахарная свекла, табак, картофель, эспарцет, люцерна, плодово-ягодные культуры. В целом Чуйская долина является районом интенсивного промышленного свекловодства, садоводства, виноградарства, возделывания эфиромасличных культур.

Орошение приводит к значительному изменению почв, что связано с изменениями режима их увлажнения. При известных условиях окультуривание при орошении может сопровождаться явлениями вторичного засоления, вторичного заболачивания, расчленения и осолонцевания. Глубина и характер этих изменений определяются почвенно-геоморфологическими и гидрогеологическими условиями и продолжительностью периода существования оросительных мелиораций.

Орошаемые почвы продолжают сохранять в средних и глубоких горизонтах черты строения целинных почв. Верхние их слои подвержены значительным изменениям вследствие приноса оросительными водами мелкоземистого материала, солей, обработки и внесения удобрений, повышения активности биологических процессов и пр.

В пределах Чуйской долины распространены главным образом новоорошаемые и орошаемые сазово-луговые, сазоватые сероземно-луговые и лугово-сероземные почвы, светлые и темные сероземы. Староорошаемые почвы встречаются в виде отдельных небольших пятен в районе г. Токмак и с. Покровское, где существовал оазис древней поливной культуры [52, 73]. Для указанных разновидностей почв в зоне орошения их плотность изменяется в пределах в среднем 1,43—1,51 г/см³, а у целинных и богарных разностей составляет 1,25—1,35 г/см³.

Наименьшая или предельная полевая влагемкость в почвах легкосуглинистого механического состава характеризуется значением 10—14 %, для среднесуглинистых она находится в пределах 18—25 %, для тяжелосуглинистых составляет более 30 %.

Сероземы северные светлые и темные характеризуются средней водопроницаемостью 59—65 мм. Суммарное количество впитанной воды за 6 ч составило 166—238 мм, а водопроницаемость

в течение 2—6 ч изменяется незначительно и составляет в среднем 21—35 мм [66].

Основу почвенного покрова в припойменной части низовьев р. Чу составляют гидроморфные почвы, развивающиеся под влаголюбивой растительностью, по периферии отмечаются пустынные почвы и пески.

В нижнем течении долина р. Чу представляет ряд разновозрастных дельтовых расширений (Гуляевская, Уланбельская и Камкалинская дельты), соединенных между собой узкими горловинами [65].

В почвенном покрове средней поймы Гуляевской дельты развиваются аллювиально-луговые и болотно-луговые незасоленные и солончаковые почвы под разнотравно-злаково-тугайной растительностью. Преобладающий тип засоления — гидрокарбонатно-сульфатный и хлоридно-сульфатный. В низкой пойме наблюдаются торфянисто-болотные и лугово-болотные почвы, преимущественно поверхностно-солончаковые под рогозово-тростниковой растительностью, а на высокой пойме — аллювиально-луговые опустынивающиеся солонцевато-солончаковатые под полынно-солянковой растительностью в комплексе с солончаками (хлоридно-сульфатный и сульфатный тип засоления).

К пойме с гидроморфными, хорошо гумусированными почвами, с тугаями, обширными лугами и тростниковыми зарослями с севера и северо-востока примыкает опустыненная Саксаул-Дала (обширная обсохшая аллювиальная равнина) с такыровидными бедными органическим веществом почвами под саксауловой и биюргуново-полынной растительностью, с пятнами такыров. Такыровидные почвы и такыры Саксаул-Далы большей частью засолены (засоление почв реликтовое).

В Уланбельской дельте в пойме широко распространены торфянисто-болотные и лугово-болотные почвы под рогозово-болотницево-тростниковой растительностью, преимущественно поверхностно-солончаковые. Значительное участие в почвенном покрове принимают солончаки луговые и луговые корково-пухлые, которые развиваются на участках средней поймы, вдоль бортов пустыни Бетпак-Дала и Предмуюнкумского останцового плато, вокруг пойменных останцовых островов под ажреком, сарсазаном, солеросом. Хлоридно-сульфатное засоление в сочетании с сильным окарбоначиванием — наиболее неблагоприятная особенность почв Уланбельской дельты.

В Камкалинской дельте широко распространены лугово-болотные солончаковые почвы в комплексе с солончаками луговыми корково-пухлыми и соровыми пойменных мелких озерных западин. В составе солей сильно возрастает содержание хлоридов. Долины разрозненных русел с гидроморфными почвами под разнотравно-тростниковой растительностью в Камкалинской дельте сочетаются с возвышающимися над ними останцовыми массивами с серо-бурыми и такыровидными почвами под скудной полынно-биюргуновой растительностью [65].

В районе конечного стока р. Чу растительность преимущественно солянковая, а почвы представлены солончаками сорowymi, луговыми корково-пухлыми и отчасти аллювиально-луговыми и такыровидными солончаковыми почвами [65].

Территория низовий р. Чу используется в качестве пастбищ. Таласская долина в пределах абсолютных отметок 900—1100 м занята посевами сельскохозяйственных культур и садами. В прошлом здесь господствовала полынно-эфемеровая полупустынная растительность, а в восточной части долины на абсолютных высотах 1500—1600 м (в районе р. Уч-Кошой) — степная (типчаковая степь). В этом поясе распространены сероземы северные обыкновенные малокарбонатные, которые характеризуются небольшой мощностью мелкоземистого слоя (30—60 см), скелетностью, слабой оструктуренностью; механический состав их в основном среднесуглинистый и песчано-пылеватый легкосуглинистый. Они содержат 1,5—2,8 % гумуса, 0,10—0,15 % валового азота, 0,12—0,25 % фосфора, 2,3—3,0 % калия, имеют слабощелочную реакцию ($pH = 8,0 \dots 8,2$) [66].

Кроме сероземов, в этом высотном поясе Таласской долины встречаются местами сероземно-луговые, лугово-сероземные и луговые почвы, которые характеризуются более высоким содержанием гумуса и валовых запасов азота, фосфора и калия. На участках с близким залеганием минерализованных грунтовых вод почвы засолены.

В зоне фильтрации Таласского оросительного канала увеличилась площадь земель, находящихся в неблагоприятном мелиоративном состоянии, что связано с поднятием уровня минерализованных грунтовых вод [62].

В Таласской долине выше пояса полынно-эфемеровой полупустыни расположены предгорные злаковые степи с типчаком, ковылем, карагачом и др. Их сменяют горные, преимущественно типчаковые, степи, луговые степи, которые в свою очередь переходят в пояс арчевых лесов и редколесий (бассейн р. Урмал) или в пояс субальпийских степей, луговых степей, арчевых стлаников (бассейны рек Кара-Бура, Беш-Таш, Уч-Кошой). Выше, на абсолютных высотных отметках 3200—4000 м, находятся альпийские луговые степи, луга с кобрезией и типчаковые степи, граничащие с поясом скалистых гребней, каменистых осыпей, снежников и ледников (высота 3500—4500 м над ур. м.) [19].

В соответствии с вертикальной зональностью растительного покрова происходит и смена почв по вертикальному профилю: Выше пояса сероземов в Таласской долине находятся светло-каштановые и каштановые почвы, охватывающие предгорья, горные склоны и подгорные шлейфы на абсолютной высоте 1000—1600 м, которые сменяются темно-каштановыми почвами.

Светло-каштановые почвы формируются на карбонатных хрящеватых суглинках, имеют преимущественно среднесуглинистый механический состав. Содержание гумуса изменяется от 2,0 до

3,5 %, валового азота — 0,15—0,20 %, фосфора — 0,16—0,20 %, калия — 2,0—2,5 %. Реакция почвенного раствора слабощелочная ($pH = 7,8 \dots 8,5$). Темно-каштановые почвы более гумусированные (3,5—5 % гумуса) и богаче валовым азотом.

При дальнейшем поднятии каштановые почвы сменяются горно-лесными, субальпийскими и альпийскими степными, луго-степными и луговыми почвами. Эти зоны используются как пастбищные угодья [54].

Почвенно-климатические условия Таласской долины благоприятны для возделывания табака, зерновых колосовых и зернобобовых культур, кукурузы на зерно и силос, картофеля, овоще-бахчевых и плодовых культур, многолетних трав (люцерны и эспарцета).

2. ОЦЕНКА ВОДНЫХ РЕСУРСОВ И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

2.1. Водные ресурсы

Водные ресурсы рек Чу и Талас определены по данным о притоке воды из четко выделяемой в бассейнах этих рек зоны формирования стока [72], к которой относятся собственно горные поднятия и склоны горных хребтов, где хозяйственная деятельность человека не оказывает заметного влияния на сток. Эти горные образования служат естественными аккумуляторами атмосферной влаги, которая является источником питания хорошо развитой в горах речной сети, формирующейся на склонах обширных межгорных впадин [8].

При сочетании определенных условий (интенсивное снеготаяние, обильные осадки) в отдельные годы сток может сформироваться и непосредственно в зоне его использования.

Определение годового притока воды из зоны формирования стока указанных рек ($Q_{з. ф.}$) производилось за период с 1946 по 1975 г. на основании главным образом данных наблюдений гидрологических постов управлений по гидрометеорологии и Минводхозов Киргизской и Казахской ССР.

При наличии материалов гидрологических наблюдений на реках сток зоны его формирования рассчитывался путем суммирования расходов воды в створах постов, расположенных при выходе рек из горных ущелий. При отсутствии материалов наблюдений сток определялся приближенно по схематической карте зональных значений нормы годового стока с последующим переходом к стоку конкретных лет на основе использования модульных коэффициентов годового стока рек-аналогов.

В качестве аналога выбиралась река, имеющая сходные с неизученным водотоком условия формирования стока: однотипные рельеф и ориентацию склонов, сходные гидрогеологические условия, размеры водосборов и т. п.

Ввиду малой многолетней изменчивости годового стока рек района ($C_v = 0,12$) за расчетное среднее многолетнее значение его (норму) принят средний годовой расход воды за фактический период наблюдений, если он составлял 10—15 лет и более.

Средний годовой расход воды Q для площади F_i , сток с которой не учтен измерениями, рассчитывался по формуле

$$Q = \bar{Q} K_{ан} = Q(Q_{ан}/\bar{Q}_{ан}), \quad (2.1)$$

где $\bar{Q}$ — норма годового стока с указанной площади; $K_{ан} = (Q_{ан}/\bar{Q}_{ан})$ — модульный коэффициент годового стока, полученный по данным наблюдений на одной или нескольких реках-аналогах.

Для бассейна р. Чу норма годового стока $\bar{Q}$ м³/с с отдельных площадей F_i км² вычислялась по формуле

$$\bar{Q} = \bar{h}F_i/31,5 \cdot 10^3, \quad (2.2)$$

где $\bar{h}$ — норма годового стока в миллиметрах слоя воды, определяемая по картам [72].

Для бассейна р. Талас норма годового стока с отдельных площадей рассчитывалась по формуле

$$\bar{Q} = M_0 F_i, \quad (2.3)$$

где M_0 — средний многолетний модуль годового стока, полученный по зависимости от средней высоты водосбора $H_{ср}$. Зависимости $M_0 = f(H_{ср})$ приведены в монографии [72].

Приток воды со всей площади зоны формирования стока в бассейнах рек Чу и Талас $Q_{з. ф}$ вычислялся путем суммирования расходов воды на водотоках вдоль нижней границы зоны формирования, полученных по материалам наблюдений и расчетным данным.

Первый гидрометрический створ на р. Чу находится у пгт Орто-Токой в зоне формирования стока. Значения $Q_{з. ф}$ для этого створа приняты равными значениям восстановленного естественного стока $Q_{ест}$.

В связи с тем что указанный створ расположен ниже Орто-Токойского водохранилища, расчет значений $Q_{ест}$ для него производился по уравнению

$$Q_{ест} = Q_{быт} + \sum Q_{вз} - \sum Q_{вс} - \sum Q_{вп} + Q_{рс} + Q_{ив} - Q_{ос}, \quad (2.4)$$

где $Q_{быт}$ — бытовой (измеренный) средний годовой расход воды в створе поста; $\sum Q_{вз}$ — суммарный водозабор из реки и ее притоков выше поста; $\sum Q_{вс}$ — суммарный сброс воды в реку выше поста по каналам и коллекторам; $\sum Q_{вп}$ — суммарный расход возвратных вод, поступающих с орошаемых полей в реку выше поста подземным путем; $Q_{рс}$ — средний годовой расход воды, учитывающий регулирование стока Орто-Токойским водохранилищем; $Q_{и. в}$ и $Q_{ос}$ — соответственно средние годовые значения расхода воды на испарение с водной поверхности этого водохранилища и расхода воды, сформировавшегося за счет выпадения осадков на его поверхность.

Методы определения значений $Q_{быт}$, $Q_{вз}$, а также $Q_{и. в}$ и $Q_{ос}$ изложены в главе 6. Суммарный сброс воды в реку выше поста по каналам и коллекторам $Q_{вс}$ на данном участке реки не наблюдается ($Q_{вс} = 0$).

Среднее за год значение $Q_{рс}$ м³/с рассчитывалось по формуле

$$Q_{рс} = (W_k - W_n)/T, \quad (2.5)$$

где W_K и W_H — соответственно объем воды в водохранилище в конце и начале года, m^3 ; T — число секунд в году. Значения W_K и W_H определялись по кривой объемов водохранилища (рис. 2.1). За 1958—1963 гг., когда наблюдения за уровнями воды в Орто-Токойском водохранилище велись нерегулярно, а материалы наблюдений отсутствуют, выполнено восстановление средних годовых значений Q_{pc} по зависимости $Q_{pc} = f(Q_v + Q_{пр} - Q_H)$, построенной за 1964—1975 гг. (Q_v и Q_H — средние годовые расходы воды соответственно в верхнем и нижнем створах участка р. Чу

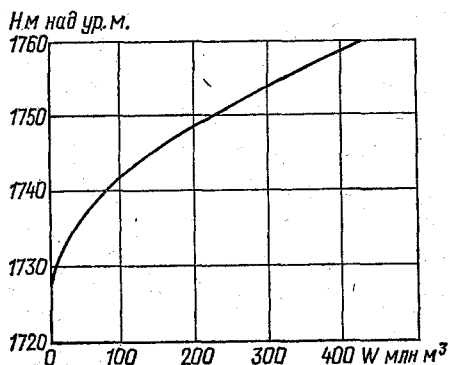


Рис. 2.1. Кривая наполнения Орто-Токойского водохранилища.

от с. Кочкорка до пгт Орто-Токой, $Q_{пр}$ — боковая приточность на этом участке).

Средние годовые значения $Q_{и.в}$ и $Q_{ос}$ за 1958—1963 гг. приняты равными средним многолетним значениям этих элементов (соответственно 0,19 и 0,11 m^3/c).

Результаты восстановления средних годовых расходов естественного стока р. Чу у пгт Орто-Токой приведены в табл. 2.1.

Приток воды из зоны формирования стока р. Чу для гидроствора у с. Миляфан за 30 лет (1946—1975 гг.), а также для гидрометрических створов у Бурулдайского моста, г. Токмака, клх им. Чапаева, свх им. Амангельды за 13 лет (1963—1975 гг.) рассчитывался по изложенной выше общей методике с использованием уравнений (2.1) и (2.2). Значения $Q_{з.ф}$ за 1946—1962 гг. для четырех последних гидрометрических створов были определены по графикам связи $Q_{з.ф} = f(Q_{з.ф,ан})$ (рис. 2.2), причем в качестве аналога был принят гидрометрический створ р. Чу у с. Миляфан.

Общая площадь зоны формирования стока р. Чу равна 20 930 km^2 , что составляет 54 % площади бассейна реки, замыкаемой гидроствором у свх им. Амангельды. При этом неизученная в гидрологическом отношении площадь бассейна равна 4730 km^2 , или 23 % площади зоны формирования стока.

Суммарный приток воды из зоны формирования стока р. Чу (до свх им. Амангельды) за многолетний период в среднем со-

Таблица 2.1

Расчет восстановленных естественных средних годовых расходов воды р. Чу
у пгт Орто-Токой, м³/с

Год	$Q_{\text{быт}}$	$\Sigma Q_{\text{вз}}$	$\Sigma Q_{\text{вп}}$	$Q_{\text{рс}}$	$Q_{\text{н. в}}$	$Q_{\text{ос}}$	$Q_{\text{ест}}$
1946	(32,1)	(9,42)	(1,02)	0	0	0	40,5
1947	(23,0)	(8,60)	(0,89)	0	0	0	30,7
1948	(28,2)	(5,66)	(0,68)	0	0	0	33,2
1949	(32,8)	6,79	(0,76)	0	0	0	(38,8)
1950	(30,9)	5,53	(0,78)	0	0	0	35,6
1951	(26,3)	2,39	(0,32)	0	0	0	28,4
1952	(35,1)	(3,11)	(0,34)	0	0	0	37,9
1953	(32,5)	(3,40)	(0,36)	0	0	0	35,5
1954	(33,4)	(3,73)	(0,41)	0	0	0	36,7
1955	(31,3)	(5,21)	(0,65)	0	0	0	35,9
1956	(34,3)	(3,45)	(0,75)	0	0	0	37,0
1957	(27,5)	2,63	(0,70)	0	0	0	29,4
1958	(28,9)	3,22	(0,95)	(6,10)	(0,19)	(0,11)	37,4
1959	31,0	3,78	(0,97)	(4,30)	(0,19)	(0,11)	38,1
1960	(27,3)	(3,97)	(0,93)	(2,90)	(0,19)	(0,11)	33,3
1961	29,5	(4,36)	(1,38)	(-4,80)	(0,19)	(0,11)	27,8
1962	21,1	(4,43)	(1,41)	(4,90)	(0,19)	(0,11)	29,1
1963	26,1	4,42	(1,68)	(3,50)	(0,19)	(0,11)	32,4
1964	30,8	5,01	(1,87)	2,27	0,24	0,11	36,3
1965	28,4	4,14	(1,53)	-3,23	0,18	0,11	27,8
1966	36,6	4,90	(2,04)	4,58	0,26	0,15	44,2
1967	30,9	5,83	(2,41)	-3,59	0,21	0,09	30,8
1968	30,4	5,07	(1,92)	0,14	0,21	0,13	33,8
1969	31,0	5,92	(2,43)	2,17	0,23	0,13	36,8
1970	31,5	7,09	(2,67)	-0,03	0,20	0,15	35,9
1971	34,1	5,60	(1,74)	-2,55	0,17	0,08	35,5
1972	26,0	6,47	(3,15)	-0,41	0,09	0,09	28,9
1973	30,7	6,15	(2,66)	0,62	0,14	0,11	34,8
1974	25,8	5,21	(1,95)	-1,25	0,15	0,13	27,8
1975	23,3	6,19	(2,05)	-0,63	0,09	0,06	26,8
Средн.	29,7	5,06	(1,38)	0,50	0,11	0,07	33,9

Примечание. Здесь и далее в скобках приведены приближенные данные.

ставляет 4,25 км³/год. До створа Бурулдайский мост формируется 44 %, а до створа клх им. Чапаева (с. Ташуткуль) — 89 % общих водных ресурсов бассейна. При этом объем стока неизученных рек равен 9 % всех водных ресурсов.

Река Талас образуется при слиянии рек Каракол и Уч-Кошой. Площадь водосборов этих рек составляет 32 % общей площади зоны формирования стока $F_{з. ф. р.}$ Талас и определяет 40 % стока этой реки, а до г. Джамбула значение $F_{з. ф.}$ равно 7040 км². Незнученная в гидрологическом отношении площадь водосборов составляет 1140 км², или 16 % общего значения $F_{з. ф.}$.

Водные ресурсы р. Талас за многолетний период в среднем составляют $1,51 \text{ км}^3/\text{год}$, при этом до гидроствора у с. Кировское формируется 94 % стока. Приток воды с площади водосбора, не освещенной гидрометрическими измерениями, равен 7 % общих водных ресурсов.

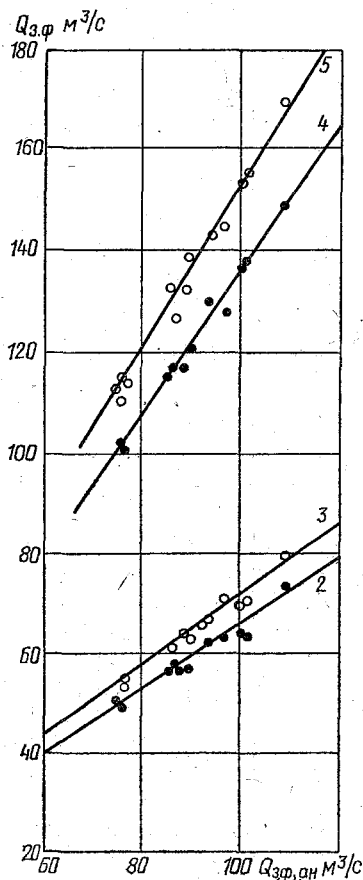
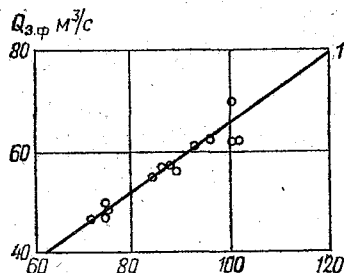


Рис. 2.2. Графики связи среднего годового притока воды из зоны формирования стока р. Чу к отдельным гидрометрическим створам ($Q_{з. ф}$) с соответствующими значениями годового притока воды к створу с. Миляфан ($Q_{з. ф. ан}$).

1 — ст. Джильярыкская, 2 — Бурулдайский мост, 3 — г. Токмак, 4 — клх им. Чапаева, 5 — свх им. Амангельды.



Значения среднего годового притока воды из зоны формирования стока рек Чу и Талас за 1946—1975 гг. приведены в табл. 2.2 и 2.3.

Наибольшее значение $Q_{з. ф}$ в бассейне р. Чу до с. Миляфан ($P = 3\%$) приходится на 1966 г., среднее ($P = 50\%$) — на 1963 г., а наименьшее ($P = 93\%$) — на 1951 г. В бассейне р. Талас до с. Кировское наибольшее значение $Q_{з. ф}$ ($P = 6,5\%$) приходится на 1969 г., среднее ($P = 50\%$) — на 1950 г., наименьшее ($P = 98\%$) — на 1957 г.

Таблица 2.2

Средний годовой приток воды из зоны формирования стока р. Чу $Q_{\text{з. ф.}}$, рассчитанный для отдельных гидрометрических створов, $\text{м}^3/\text{с}$

Год	Гидрометрический створ						
	пгг. Орто-Токой	ст. Джиль-аракская	Бурулдай-ский мост	г. Токмак	с. Миллафан	квх им. Ча-наева	свх им. Аман-гелды
1946	40,5	66,1	66,3	72,2	102	139	156
1947	30,7	48,1	49,0	53,0	73,5	98,5	111
1948	33,2	52,7	53,3	58,0	80,7	109	121
1949	38,8	59,8	60,0	65,0	91,5	124	138
1950	35,6	58,9	59,0	64,3	90,0	122	135
1951	28,4	47,1	48,1	52,1	72,1	96,9	108
1952	37,9	62,9	63,0	68,7	96,5	132	145
1953	35,5	59,2	59,8	65,0	91,0	124	137
1954	36,7	60,0	60,2	65,7	92,0	125	138
1955	35,9	60,9	61,0	66,3	93,0	126	139
1956	37,0	64,6	64,8	70,4	99,0	135	148
1957	29,4	47,2	48,2	52,5	72,5	97,7	110
1958	37,4	65,0	65,1	71,2	100	136	150
1959	38,2	66,0	66,0	71,9	101	138	152
1960	33,3	60,2	60,8	66,1	92,8	126	139
1961	27,8	49,1	50,0	54,2	75,2	101	114
1962	29,1	49,0	49,8	53,9	74,9	101	114
1963	32,4	57,3	58,1	63,9	87,6	117	133
1964	36,3	62,1	63,2	70,3	96,3	128	145
1965	27,8	48,3	49,1	53,2	75,1	101	114
1966	44,2	72,1	73,2	79,7	109	149	170
1967	30,8	55,9	57,0	63,2	89,2	121	139
1968	33,8	55,4	56,4	61,6	85,0	116	133
1969	36,8	62,4	63,3	70,1	101	138	155
1970	35,9	61,9	63,3	69,6	100	137	153
1971	35,5	56,6	57,6	61,9	86,0	117	127
1972	28,9	48,8	49,7	54,3	75,5	102	114
1973	34,8	60,7	61,6	67,0	92,9	130	143
1974	27,8	49,9	50,7	54,8	74,8	101	111
1975	26,8	49,8	50,6	54,6	74,8	103	115
Средн.	33,9	57,3	57,9	63,2	88,2	120	134

Период производства экспедиционных исследований ГГИ (1971—1975 гг.) является маловодным. На пятилетку пришлось три маловодных года, из которых два года подряд (1974 и 1975 гг.) были исключительно маловодными.

В общие водные ресурсы необходимо включить подземный приток из зоны формирования стока, поступающий подрусловым путем или в виде трещинных вод. В бассейне р. Чу подземный приток составляет 3—5 $\text{м}^3/\text{с}$, в бассейне р. Талас — 1—2 $\text{м}^3/\text{с}$.

В результате водные ресурсы обоих бассейнов за многолетие составляют в среднем 5,9 $\text{км}^3/\text{год}$, в том числе по бассейну р. Чу — 4,4 $\text{км}^3/\text{год}$, по бассейну р. Талас — 1,51 $\text{км}^3/\text{год}$.

Таблица 2.3

Средний годовой приток воды из зоны формирования стока р. Талас $Q_{з. ф.}$, рассчитанный для отдельных гидрометрических створов, m^3/c

Год	Гидрометрический створ						
	с. Караой, в 4 км выше устья р. Уч-Кошой	с. Караой, в 2,6 км ниже устья р. Уч-Кошой	с. Иваново-Алексеевка	с. Орловка	с. Кировское	с. Погровка	г. Джамбул
1946	9,64	21,6	30,1	31,0	45,7	48,2	48,9
1947	10,3	21,7	30,0	30,7	45,4	47,9	48,6
1948	9,26	18,8	28,6	29,7	45,6	48,2	49,2
1949	9,94	23,2	32,4	33,2	49,3	52,5	53,5
1950	9,25	20,9	28,9	29,7	45,1	47,5	48,1
1951	8,47	20,6	28,7	29,5	46,4	48,6	49,2
1952	11,9	24,6	35,0	36,4	55,2	57,8	58,4
1953	9,99	19,9	28,3	29,4	45,7	48,4	49,2
1954	11,7	21,9	30,7	31,6	45,4	47,8	48,5
1955	11,3	20,2	29,2	30,4	45,5	47,9	48,6
1956	11,7	19,1	27,9	29,0	43,8	46,0	46,6
1957	7,75	12,4	19,2	19,6	30,9	32,9	33,3
1958	13,1	22,3	33,7	35,1	54,0	56,6	57,2
1959	12,1	20,4	30,1	31,2	50,3	53,0	53,7
1960	10,1	18,6	29,1	30,6	48,2	50,9	52,1
1961	6,29	11,7	18,4	18,8	33,2	35,4	36,1
1962	7,93	14,8	23,7	24,3	40,9	43,1	43,9
1963	9,53	16,6	25,6	26,4	42,1	43,1	43,9
1964	11,4	18,8	28,2	29,2	45,0	46,9	47,6
1965	8,15	13,8	20,6	21,1	34,9	35,9	36,1
1966	13,2	25,0	36,2	37,7	55,3	57,0	57,7
1967	11,6	21,6	32,2	33,3	49,4	50,4	51,0
1968	11,1	21,4	33,0	34,3	54,4	57,0	57,6
1969	11,6	21,4	33,4	35,9	55,8	59,6	60,4
1970	11,0	21,6	31,6	32,8	51,1	53,4	54,2
1971	8,79	17,4	25,6	26,6	41,2	42,7	43,2
1972	8,71	18,9	28,6	29,2	43,8	44,7	45,1
1973	9,21	17,2	26,6	27,8	44,6	45,3	46,0
1974	6,90	13,5	19,9	20,4	34,3	36,0	36,6
1975	7,68	13,5	18,4	18,9	31,1	31,9	32,4
Средн.	9,99	19,1	28,1	29,1	45,1	47,2	47,9

2.2. Использование водных ресурсов в хозяйственных целях

За исключением высокогорной части рассматриваемая территория находится в зоне недостаточного увлажнения, где сельскохозяйственное производство основано на искусственном орошении. Поливное земледелие как ведущий водопотребитель определяет основное направление в использовании водных ресурсов.

В настоящее время на территории Чуйской долины выделяются четыре крупные оросительные системы — ЗБЧК, Георгиевская, Ат-Башинская и Ташуткульская. Второстепенными могут быть названы системы ВБЧК, Совхозного канала, существует мно-

жество взаимно пересекающихся оросительных систем на многочисленных притоках р. Чу. Развитие ирригации в Чуйской долине имеет свои исторические особенности. По опубликованным данным [91] установлено, что орошение в бассейнах рек Чу и Талас развивалось с древнейших времен. Хозяйственное освоение земель Чуйской долины относится к IV в. и наибольшего подъема достигает к IX—XII вв. [91], когда создаются ирригационные системы для орошения полей, на которых в основном возделывались зерновые культуры.

В начале XIII в. в результате монгольского нашествия земледельческая культура Чуйской долины стала приходить в упадок. Последующие смены эпох и поколений не оставили достаточно надежных сведений о характере и масштабах хозяйственной деятельности населения. Несмотря на систематические войны и разрушения, орошаемое земледелие в Чуйской долине, видимо, окончательно не затухало, о чем свидетельствуют остатки древних ирригационных сооружений, обнаруженные русскими исследователями во второй половине XIX и в начале XX вв. [11].

Возрождению хозяйственной деятельности в Чуйской долине способствовало воссоединение Киргизии с Россией в 1863 г. Размещение переселенцев, обеспечение их наделами земель, а также и водой для орошения явились первоочередными задачами властей Семиреченской области, в пределах которой находилась тогда и долина р. Чу. Этими задачами занимались образованный в 1898 г. гидротехнический отдел Семиреченской области, а затем и специальная гидротехническая партия (1905 г.). В результате выполненных работ размеры орошаемого земледелия в Чуйской долине в начале XX в. составили около 50 тыс. га [79]. При этом на орошение использовались главным образом водные ресурсы притоков р. Чу и лишь в самом небольшом объеме воды самой реки. Водозаборные сооружения туземного типа находились у Бурулдайского моста, г. Токмака и в районе с. Георгиевского. Орошаемое земледелие того времени характеризовалось крайне хаотичным и беспорядочным использованием водных и земельных ресурсов, отсутствием инженерных гидротехнических сооружений. К началу XX в. все наиболее удобные земли были освоены, а сток притоков р. Чу почти полностью был разобран на нужды орошения.

В 1910 г. отделом земельных улучшений Главного управления министерства земледелия и землепользования организуется изыскательская партия. Ее возглавил В. А. Васильев, впоследствии профессор и заслуженный ирригатор Киргизской ССР, положивший начало комплексным исследованиям по изучению и развитию водохозяйственного строительства в Чуйской долине [68].

В течение нескольких лет были проведены обширные гидрологические, гидротехнические, почвенно-ботанические и климатические исследования, которые затем были положены в основу проекта развития орошения в долине р. Чу. Широкий круг рассматриваемых проблем, новизна гидротехнических решений в этом

проекте во многом предопределили развитие орошаемого земледелия в Чуйской долине на многие годы вперед. В составленном под руководством и активном участии В. А. Васильева проекте предусматривалось расширение орошаемых земель на 90 тыс. га за счет водных ресурсов р. Чу без регулирования ее стока и до 220 тыс. га с регулированием стока на базе проектируемого Орто-Токойского водохранилища. Одновременно были разработаны проекты водоподъемной плотины на р. Чу у скал Чумыша, Ат-Башинского, Георгиевского и ряда других крупных магистральных каналов. Были намечены планы реконструкции и развития ирригационных систем на горных реках-притоках р. Чу.

По различным оценкам, в 1915 г. в Чуйской долине уже орошалось около 120 тыс. га земель, в том числе водой из р. Чу — порядка 20 тыс. га [69]. Однако к практическому осуществлению проекта В. А. Васильева удалось приступить только после Великой Октябрьской социалистической революции.

В период гражданской войны работы по развитию орошения в Чуйской долине были приостановлены, существующие ирригационные системы оказались в значительной степени разрушенными и запущенными, вследствие чего площадь орошаемых земель в рассматриваемом районе резко сократилась. По данным Я. К. Козела [48], в 1926 г. суммарная площадь ирригационно подготовленного земельного фонда составляла 199 тыс. га (с учетом фактически политых земель, а также неорошаемых участков, где имелись следы орошения). Из общего количества земель с наличием оросительной сети не эксплуатировалось по различным причинам 158 тыс. га, в хозяйственном использовании находилось лишь 41 тыс. га.

Довоенный уровень орошаемого земледелия удалось восстановить к концу 20-х годов за счет ввода Краснореченской и Самсоновской оросительных систем и реконструкции ирригационной сети на притоках р. Чу. В результате осуществления указанных мероприятий площадь орошаемых земель в Чуйской долине к началу 30-х годов возросла до 190 тыс. га.

В советский период основными вехами водохозяйственного строительства являются:

- 1) создание гидроузлов: Чумышского (1932 г.) с отходящими от него крупными каналами Георгиевским и Ат-Башиным и Ташуткульского (1942 г.) с каналами Правобережным и Левобережным;

- 2) постройка ЗБЧК с Краснореченским гидроузлом (1943—1946 гг.), ВБЧК (1956—1958 гг.);

- 3) создание водохранилищ: Орто-Токойского объемом 470 млн м³ (1957 г.), Ташуткульского объемом 620 млн м³ (1972 г.);

- 4) отведение стока р. Чу на протяжении «провальной» зоны в бетонированный Обводный канал (1972 .);

- 5) строительство бетонированного канала от проектируемого Бурулдайского водохранилища до пересечения с ВБЧК;

6) реконструкция ВБЧК с целью увеличения в перспективе пропускной способности канала до 60 м³/с.

Кроме того, непосредственно в долине имеется еще ряд небольших водохранилищ (Сухулукское, Джекен, Спартак, Кара-Балтинское) и множество прудов, обеспечивающих регулирование местного стока и создающих возможности для использования вод вторичного образования (возвратных, «карасу», коллекторных) вновь на орошение.

В районе г. Фрунзе создана ирригационная система, объединяющая сток рек Аламедин, Ала-Арча с остатками вод ВБЧК, включающая сброс воды из ЗБЧК через каскад Аламединских ГЭС в р. Чу. На излишках воды этой системы в 1965 г. создано Нижне-Ала-Арчинское водохранилище, от которого отходит Совхозный канал.

Сток р. Красной с 1943 г. почти полностью стал забираться в ЗБЧК при помощи Краснореченского гидроузла, а сброс примерно такого же количества воды (около 15—20 м³/с) из ЗБЧК производился до 1950—1952 гг. по руслу р. Аламедин в реку Чу, т. е. ниже Чумышской плотины. Затем, с постройкой каскада Аламединских ГЭС сброс из ЗБЧК начал поступать по этому каскаду в р. Чу выше расположения Чумышского гидроузла, что обеспечивало подпитку водой магистральных каналов — Ат-Башинского и Георгиевского.

Из приведенного описания видно, насколько сложна ирригационная обстановка в Чуйской долине.

Проведенные водохозяйственные мероприятия позволили увеличить размеры орошаемого земледелия в Чуйской долине к 1970 г. до 380, к 1985 г. — до 477 тыс. га (табл. 2.4).

В 1971—1975 гг. из общей площади орошаемых земель в Чуйской долине 47 % ее орошалось водами р. Чу, 40 % обеспечивалось забором воды из притоков, около 13 % поливного фонда базировалось на стоке рек-«карасу» и на артезианских водах.

Таблица 2.4

Динамика развития орошаемого земледелия (фактически политые земли) в Чуйской и Таласской долинах, тыс. га

Годы								
1910—1915	1926	1940	1950	1960	1970	1975	1980	1985

Чуйская долина (до с. Фурмановка)

(120) | 41 | 272 | 299 | 324 | 383 | 393 | 455 | 477

Таласская долина (до с. Покрова)

(23) | 26,0 | 70,0 | 83,5 | 93,9 | 92,5 | 90,0 | 96,8 | 103

Наряду с ростом орошаемого земледелия в Чуйской долине произошли значительные изменения в севообороте и структуре сельскохозяйственных угодий. Если в начале века поливные земли были заняты в основном под посевы зерновых (67 % всех поливных земель), кормовых и овоще-бахчевых культур, то к 1975 г. зерновые занимают примерно 30 %, около 25 % отводится под посевы сахарной свеклы, свыше 40 % занято кормовыми травами, садами и виноградниками.

Суммарный водозабор в Чуйской долине с конца 30-х годов и по настоящее время увеличился в два раза (табл. 2.5). Данные до 1927 г. являются приближенными. Надо отметить, что за 1910—1985 гг. водозабор из боковых притоков не претерпел существенных изменений и его колебания за отдельные годы обусловлены главным образом изменениями водоносности рек, стекающих с горного обрамления Чуйской долины. Увеличение водозаборов обусловлено изъятиями стока р. Чу. По отношению к началу нынешнего столетия они возросли почти в четыре раза (от 25 до 110 м³/с). Уже во второй половине 40-х годов естественный сток р. Чу (порядка 50 м³/с), поступающий в долину, практически весь разбирался на орошение. Почти двукратное превышение водозабора из реки над ее ресурсами (при выходе в долину) происходит за счет повторного использования ирригационных и энергетических сбросов, выклинивающихся естественных грунтовых и возвратных вод. В связи с повторным использованием возвратных и сбросных вод суммарный водозабор в Чуйской долине за последние годы превысил на 25—30 % естественные водные ресурсы данного региона.

Таблица 2.5

Водозабор из р. Чу и ее притоков, м³/с

Водозабор	Годы				
	1910—1915	1926—1927	1941—1945	1946—1950	1951—1955
Суммарный	—	(60—70)	93,7	115	128
в том числе:					
из р. Чу	(25—30)	(35—40)	46,4	63,5	84,0
из боковых притоков	—	(25—30)	47,3	51,5	44,0
на нужды орошения	—	(60—70)	76,1	85,8	95,7

Водозабор	Годы					
	1956—1960	1961—1965	1966—1970	1971—1975	1976—1980	1981—1985
Суммарный	143	149	166	151	146	167
в том числе:						
из р. Чу	98,3	106	111	100	94,0	113
из боковых притоков	44,7	44,7	55,1	50,9	52,0	53,0
на нужды орошения	102	112	130	123	121	140

Водообеспечение промышленности, коммунально-бытового хозяйства в Чуйской долине базируется на использовании подземных вод. С 1940 по 1976 г. суммарный водозабор из подземных вод возрос с 0,03 до 13,0 м³/с. В настоящее время на территории Чуйской долины 46 % суммарного забора из подземных вод используется для водоснабжения городов, поселков, животноводческих ферм, около 32 % — на различные технические нужды и только 22 % — в целях орошения. В перспективе в Чуйской долине суммарный водозабор из подземных вод составит уже около 30 м³/с, в том числе на орошение — 12 м³/с (40 %). Выходы термальных вод нашли применение в оздоровительных целях (бассейн р. Ысык-Ата).

Использование водных ресурсов р. Чу в целях энергетики весьма ограничено — не более 15—20 % ее стока. Наиболее крупные ГЭС сосредоточены на Аламедином каскаде, питание которого осуществляется за счет стока рек Чу и Аламедин. Мощность упомянутого каскада равна 40 тыс. кВт [72].

Рыбное хозяйство не оказывает существенного влияния на водные ресурсы Чуйской долины, хотя в низовьях рек Ала-Арча, Сухулук и существуют рыбоводческие пруды.

Сведения об использовании водных и земельных ресурсов Таласской долины более ограничены по сравнению с Чуйской долиной.

В конце XIX — начале XX вв. в предгорной части долины р. Талас орошалось около 20 тыс. га земель [26], к 1926 г. их площади возросли до 26 тыс. га [97], причем орошение базировалось в основном на стоке левобережных притоков р. Талас. В годы советской власти в рассматриваемом районе построено значительное число оросительных каналов. Наиболее крупным из них является Таласский подпитывающий канал (ТПК), берущий свое начало из р. Талас у с. Озгоруш. Одновременно реконструировались межхозяйственная и внутрихозяйственная оросительная сеть, строились бассейны суточного регулирования (БСР). В середине 70-х годов завершено сооружение Кировского водохранилища на р. Талас, полная емкость которого составила 550 млн м³.

Успехи в водохозяйственном строительстве обусловили рост орошаемых земель, площадь которых к 1985 г. составила свыше 100 тыс. га. На поливных землях возделываются главным образом зерновые и кормовые культуры, имеются посевы табака.

Водообеспечение земель происходит за счет поверхностного стока рек. В 1925—1930 гг. использовалось всего 3 % стока р. Талас, а сейчас на хозяйственные нужды в Таласской долине расходуется 70 % ее водных ресурсов. Использование грунтовых вод незначительно, преимущественно для водоснабжения городов и сел.

3. ОРГАНИЗАЦИЯ И ПРОВЕДЕНИЕ ЭКСПЕДИЦИОННЫХ РАБОТ

3.1. Методика воднобалансовых исследований на орошаемых землях

Количественная оценка безвозвратных потерь и возвратных вод, решение вопросов, связанных с изменением стока рек Чу и Талас под влиянием орошаемого земледелия, потребовали всестороннего изучения водного баланса бассейнов этих рек. С этой целью в 1966—1975 гг. экспедицией ГГИ были развернуты комплексные воднобалансовые исследования на территории Киргизии и Казахстана.

Натурные исследования были организованы на значительных по своим размерам орошаемых участках Чуйской и Таласской долин, которые простирались от подножий гор до русел главных водных артерий. Полевые работы велись на наиболее типичных (в почвенном и гидрогеологическом отношении) участках. Освещение воднобалансовыми наблюдениями большой территории позволило создать более объективные предпосылки для географической интерполяции результатов полевых исследований и обеспечить достаточно надежную оценку изменения элементов водного баланса с учетом особенностей формирования и режима грунтовых вод, почвенных и климатических условий на различных участках долин.

Комплексность полевых работ заключалась в одновременном проведении большого объема гидрологических, гидрофизических, гидрогеологических, почвенных, агрометеорологических и гидрохимических наблюдений. Указанные наблюдения на экспериментальных полях и целых массивах (контурах), расположенных в пределах основных оросительных систем, проводились в одно и то же время. Такой подход к воднобалансовым исследованиям позволяет получить сравнимую информацию о гидрологических процессах, происходящих на орошаемых территориях.

В соответствии с изложенными принципами организации полевых работ в Чуйской и Таласской долинах действовало пять воднобалансовых станций. Четыре из них находились на территории бассейна р. Чу, одна в бассейне р. Талас (рис. 3.1). Натурные наблюдения за элементами водного баланса проводились на площади оросительных систем ЗБЧК, Ат-Башинской, Георгиевской, Ташуткульской в Чуйской долине и в междуречье Урмарал-Кумыштаг в долине р. Талас. Внутри перечисленных выше оросительных систем выделялись массивы или контуры, которые включали в себя как орошаемые так и богарные земли (табл. 3.1). Наиболее

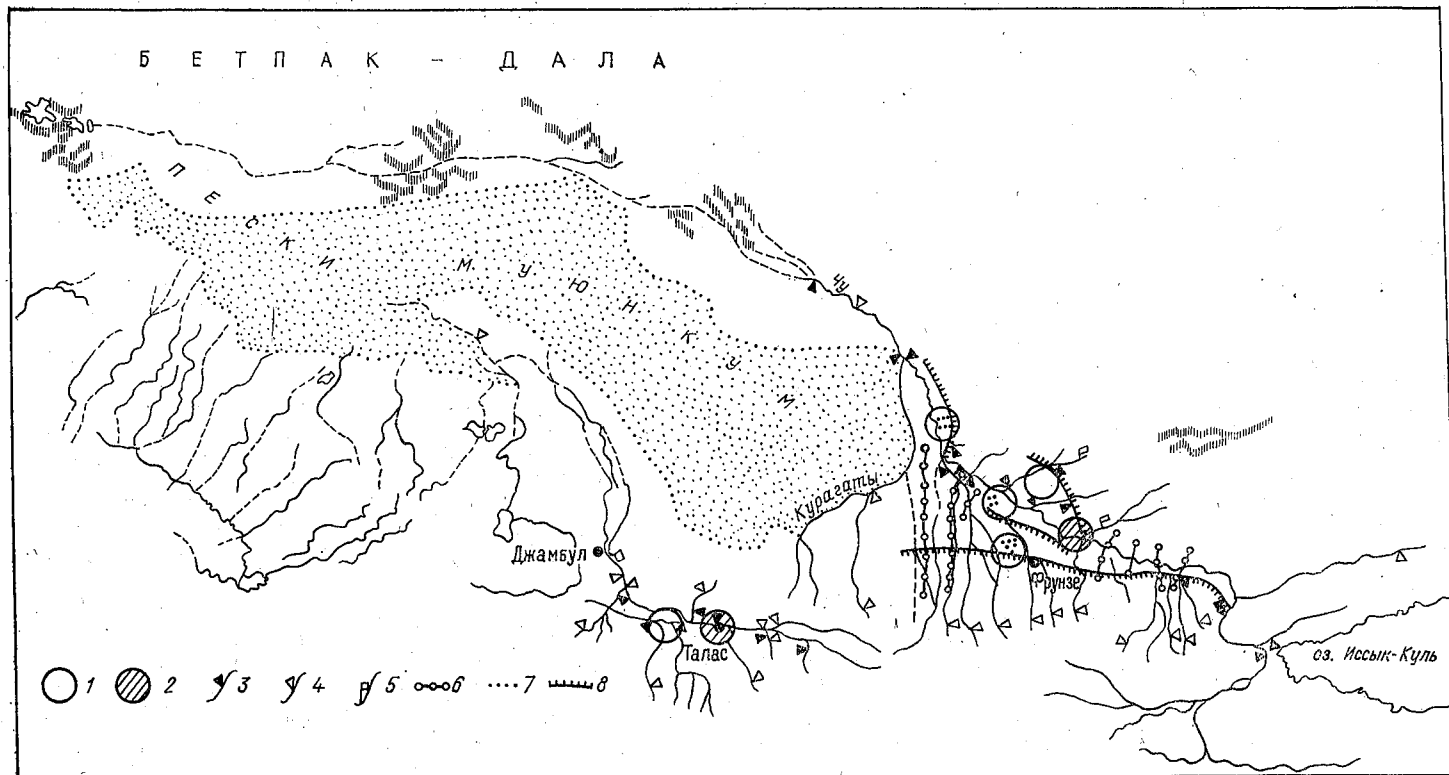


Рис. 3.1. Схема размещения воднобалансовых участков в бассейнах рек Чу и Талас.

1 — воднобалансовая станция на орошаемых землях, 2 — станция по изучению руслового водного баланса, 3 — гидрометрические створы ГГИ, 4 — гидрометрические створы управлений по гидрометеорологии, 5 — гидрометрические створы Минводхозов КазССР или КиргССР, 6 — створ опорной гидрогеологической режимной сети, 7 — гидрогеологические скважины режимных наблюдений ГГИ, 8 — магистральный канал.

Таблица 3.1

Характеристика структуры посевов на экспериментальных орошаемых массивах

Орошаемый массив	Площадь, тыс. га		Площадь (%) под культурами			
	общая	в том числе орошаемых земель	техническими	кормовыми	зерновыми	прочими
ЗБЧК	24,4	14,8	24	34	33	9
Ат-Башинский	32,8	13,8	17	37	30	16
Георгиевский	21,2	8,42	29	33	30	8
Ташуткульский	37,2	10,0	23	35	33	9
Таласский	9,52	5,73	2	49	40	9

детальные полевые исследования с целью количественной оценки составляющих водного, теплового и солевого балансов осуществлялись на полях (не менее 2—3 в пределах каждого массива), занятых профилирующими для данной территории сельскохозяйственными культурами колхозов и совхозов с высоким уровнем земледелия и ведения водного хозяйства.

Одновременно при выборе воднобалансовых контуров учитывались уже имеющиеся и сравнительно длительное время работающие гидрометеорологические, гидрогеологические и гидромелиоративные объекты наблюдений, опытные поля и сельскохозяйственные участки, доступная информация по которым могла быть использована для соответствующих воднобалансовых расчетов. В пределах каждого воднобалансового контура велись следующие виды наблюдений.

Гидрометрические наблюдения по учету стока талых, дождевых, оросительных, коллекторно-дренажных вод проводились как на экспериментальных полях, так и на орошаемых контурах (массивах). Гидростворы оснащались гидрометрическими мостиками, водосливами, лотками. Подавляющее большинство створов было оборудовано самописцами уровня воды суточного и длительного действия. Измерения производились не реже 1 раза в 5—10 сут, зимой — 1—2 раза в месяц.

Изучение суммарного испарения и элементов вертикального влагообмена включало натурные измерения испарения и транспирации с угодий при разной глубине залегания грунтовых вод, расходе грунтовых вод в зону аэрации и инфильтрации оросительных вод и атмосферных осадков, испарения с богарных площадей, с участков полупогруженной влаголюбивой растительности и с водной поверхности открытых водоемов.

Измерения испарения и элементов вертикального влагообмена в зоне аэрации осуществлялись с помощью гидравлических почвенных испарителей и лизиметров с заданными уровнями грунтовых вод (от 0,5 до 2,5 м). Наблюдения за испарением с влаголюбивой растительности и с водной поверхности производились

транспирометрами и испарителями ГГИ-3000, с богарных участков — лизиметрами и испарителями ГГИ-500 $\times$ 100.

Агрогидрологические наблюдения заключались в определении агрогидрологических характеристик и физических свойств почв, в оценке изменения влагозапасов почво-грунтов в зоне аэрации. Проводились наблюдения за солевым режимом почв и развитием сельскохозяйственных культур.

Метеорологические наблюдения состояли в определении элементов теплового баланса, влажности воздуха, скорости ветра и т. д. Результаты этих исследований дали возможность оценить независимым путем испарение с различных сельскохозяйственных культур и в значительной степени уточнить показания лизиметров и ГГИ.

Гидрогеологические наблюдения осуществлялись с целью изучения условий взаимосвязи поверхностных и грунтовых вод, а также моделирования уровня грунтовых вод в лизиметрах. Наряду с систематическими наблюдениями за уровнями грунтовых вод в скважинах, проводились работы по определению фильтрационных характеристик водовмещающих пород.

Гидрохимические наблюдения имели целью оценку химического состава оросительных сбросных, коллекторно-дренажных и грунтовых вод на специально выбранных створах и в скважинах с расчетом осветить измерениями основные фазы режима поверхностных и грунтовых вод.

Частота наблюдений за отдельными элементами водного, теплового и солевого балансов устанавливалась в соответствии с действующими наставлениями и руководствами, а также с учетом потребности обеспечения наибольшей надежности расчетов компонентов балансовых уравнений.

В целом на орошаемых землях Чуйской и Таласской долин для учета стока оросительных и коллекторно-дренажных вод было организовано более 80 гидрометрических створов, измерение испарения и транспирации осуществлялось на 9 лизиметрических площадках, в 3 транспирационных пунктах, на 10 почвенно-испарительных площадках.

Для производства гидрогеологических исследований было пробурено и оборудовано свыше 170 смотровых гидрогеологических скважин общей глубиной около 2700 м.

Для изучения динамики влагозапасов за период работы экспедиции ГГИ было отобрано 145,6 тыс. образцов почвогрунтов, в лабораторных условиях определены водно-физические свойства 1050 образцов грунта.

Исследование минерализации речных, грунтовых, оросительных и коллекторно-дренажных вод основывалось на результатах гидрохимического анализа свыше 3600 проб.

Общая площадь орошаемых земель, охваченная воднобалансовыми наблюдениями, составила около 53 тыс. га. Если принять во внимание суммарную площадь орошаемых контуров, куда, помимо поливных земель, входят и богарные участки, где тоже проводи-

лись соответствующие исследования, то площадь территории, попадающая в сферу наблюдений экспедиции ГГИ увеличится до 125 тыс. га.

Для проведения обобщений и расчетов, кроме экспедиционных данных, использовались результаты наблюдений на режимной сети Госкомгидромета СССР и других ведомств.

3.2. Наблюдения за элементами руслового водного баланса

Экспедиционные исследования ГГИ РВБ осуществлялись с целью определения влияния различных факторов (изъятий воды на хозяйственные нужды, подземного водообмена рек с водоносными горизонтами, потерь речной воды при затоплении пойм и наполнении водохранилищ, испарения и др.) на изменение стока воды на отдельных участках рек.

Резкое изменение природных условий и хозяйственного использования воды определило необходимость деления водосборов рек на участки с однородными условиями формирования стока (табл. 3.2). Это обуславливалось задачами исследования РВБ, а также требованиями водохозяйственной практики. Лишь в горной части бассейна р. Чу некоторые участки неоднородны по типу подземного водообмена в связи с тем, что река в некоторых местах пересекает внутренние межгорные артезианские бассейны с гидрогеологическими условиями, отличными от условий на большей части участка. Дробление этих участков ограничивалось требованиями точности результатов расчетов РВБ.

Объем экспериментальных исследований соответствовал структуре РВБ, которые различались главным образом в части определения аккумуляционных составляющих в зависимости от наличия или отсутствия на участках рек затопляемых пойм или водохранилищ. Там, где аккумуляция воды несущественна, составляющие РВБ (сток рек, значения водозаборов и сбросов) определялись по результатам наблюдений на гидрометрических створах и водомерных постах. На участках с обширными затопляемыми поймами, помимо гидрометрических работ, выполнялись экспериментальные исследования для оценки площадей затопления, испарения с водной поверхности и при обсыхании поймы, осадков и др.

В бассейне р. Чу осуществлялись наблюдения за поверхностным стоком экспедицией ГГИ на 19 гидрометрических створах, из которых 10 были расположены на р. Чу, остальные на ее притоках, водозаборных и сбросных каналах, а также на 2 логах и 1 стоковой площадке в пределах экспериментального воднобалансового участка, в бассейне р. Талас — на 19 гидрометрических створах, из которых 2 находились на основной реке, остальные на ее притоках и каналах. Гидрометрические створы были оборудованы люлечными переправами или гидрометрическими мостиками, некоторые (на р. Чу) — гидрометрическими установками ГР-70. На большинстве гидростворов были установлены самописцы уровня воды длительного действия (ГР-38). Гидрометрические

створы экспедиции ГГИ вместе с постами управлений по гидрометеорологии и управлений оросительных систем (УОС) обеспечили возможность расчетов русловых водных балансов по отдельным участкам рек Чу и Талас.

До 1974 г. контроль измерений стока на постах УОС проводился только путем эпизодических параллельных измерений расходов и уровней воды на (50—70 постах), а позже — с использованием дополнительно данных 30 вновь установленных самописцев уровня воды длительного действия.

Детальные экспериментальные исследования элементов РВБ проводились на воднобалансовом участке р. Чу между 1-й и 3-й фермами Муюнкумского совхоза, где все элементы РВБ определялись по данным непосредственных наблюдений. Наблюдательная сеть включала гидрометрические створы и водомерные посты на границах участка, осадкомер Третьякова, испарительные площадки, скважины для наблюдений за уровнями грунтовых вод, профили отбора образцов почвогрунтов на влажность, стоковую площадку и гидрометрические сооружения на двух логах. Кроме того, на участке проводились снегосъемки. Испарение с почвы определялось по испарителям ГГИ-500-50, а с воды — по плавучему испарителю ГГИ-3000, располагавшемуся на оз. Малые Камкалы.

Наблюдения за испарением с лугового разнотравья проводились на двух почвенно-испарительных площадках. Одна из них располагалась на первоначально обсохшем участке поймы, вторая перемещалась вслед за урезом воды. Каждая почвенно-испарительная площадка оборудовалась комплектом испарителей ГГИ-500 высотой 50 см и осадкомером. Перезарядка испарителей производилась через 10 сут, взвешивание — через каждые 5 сут в течение всего теплого сезона.

Изучение подземного водообмена, помимо оценки его по остаточному члену уравнения РВБ, осуществлялось по наблюдениям за уровнями речных и подземных вод в прирусловой зоне. Для этого на р. Чу в створах шести водомерных постов были оборудованы наблюдательные скважины, располагавшиеся по профилям, перпендикулярным к руслу, на расстоянии от него от 10 до 500 м. В скважинах регулярно (через 1—6 сут) проводились измерения уровня воды. В бассейне р. Талас такие наблюдения осуществить не удалось из-за отсутствия в экспедиции ГГИ необходимых технических средств для бурения скважин в валунно-галечных отложениях.

В нижнем течении р. Чу в пределах Гуляевских, Уланбельских и Камкалинских разливов вода накапливается в понижениях поймы, староречьях, озерах, в почвогрунтах, а при обсыхании поймы расходуется главным образом на испарение и транспирацию.

В целях определения площадей затопления поймы был выполнен ряд последовательных аэрофотосъемок низовий р. Чу и их наземные гидрографические обследования.

Таблица 3.2

Характеристика расчетных участков рек Чу и Талас

Участок	Створ, ограничивающий участок	Длина участка, км	Количество водозаборных каналов	Сбросные каналы и коллекторы	Боковые притоки	Тип участка (см. раздел 6)
р. Чу						
1	пгт Орто-Токой — с. Терек-Джон	68	3	Отсутствуют	Ручьи, лога без названия	IV
2	ст. Джильярыкская — Бурулдайский мост	14	4	„	Чонг-Кемин	IV
3	Бурулдайский мост — г. Токмак	48	14	2 сбросных канала	Кичи-Кемин	IV
4	г. Токмак — с. Миляфан	49	8 (каналы действовали в разное время [82])	4 коллектора	Каракунуз Карасу 1 Карасу 2 Черная Красная Исык-Ата Агалатас	IV
5	с. Миляфан — клх им. Чапаева (с. Ташук-куль)	170	5	3 сбросных канала ГЭС и 8 коллекторов	Аламедин Калгата Ала-Арча Кокпатас Ак-Суу	IV (до 1973 г.), III
6	клх им. Чапаева — свх им. Амангельды	162	4 канала и насосные установки	2 сбросных канала ГЭС	Саргоу Курагаты	IV
7	свх им. Амангельды — 1-я ферма Муюнкумского совхоза	149	3 канала и насосные установки	Отсутствуют	Небольшие лога	I

8	Между 1-й и 3-й фермами Муюнкумского совхоза	27,8	отсутствуют	„	„	II
9	3-я ферма Муюнкумского совхоза — свх. «Тасты» (Жуантубе)	330			„	II
10	свх «Тасты» (в 1973 г. пос. Жуантубе) — гидрометрический пост Нижний	170				II

р. Талас

1	с. Караой — с. Иваново-Алексеевка	29	11	„	Чирканак Колба Бешбулак Кенкол	IV
2	с. Иваново-Алексеевка — с. Орловка	25	6	„	Нельды Беш-Таш Урмарал	IV
3	пгт Орловка — с. Кировское	33	5 небольших каналов	„	Урмарал Кумыштат Кара-Буура Карасу-Минбулак, Бакнянские, Бейшекинские и др.	IV
4	с. Кировское — с. Гродеково	24	13	„	Карасу Кировские, Чимкентские, Джасуркенские	IV
5	с. Гродеково — г. Джембул	8	4 крупных и ряд небольших	Асса-Талас	Карасу, небольшие	IV
6	г. Джембул — с. Шаповаловка	40	7 крупных и ряд небольших	Отсутствуют	Отсутствуют	IV

Примечание. Местоположение и название основных каналов, сбросов и коллекторов по длине р. Чу представлены на линейной схеме, опубликованной в работе [82].

Аэрофотосъемки в масштабах 1 : 40 000 — 1 : 100 000 производились в начале апреля 1967 г. (на участке от 1-й фермы Муюнкумского совхоза до устья), в конце апреля 1969 г. (между 1-й и 3-й фермами Муюнкумского совхоза), в начале апреля и июля 1970 г. (участок низовий от с. Фурмановка), в апреле, мае, июле и августе 1971 г., апреле и мае 1972 г., в мае 1973 г. (весь участок низовий). С целью установления дешифровочных признаков на местности в апреле 1967 г. была выполнена крупномасштабная топографическая съемка поймы участка р. Чу между 1-й и 3-й фермами Муюнкумского совхоза.

Материалы аэрофотосъемок и гидрографических обследований были использованы для построения зависимостей площадей затопления поймы р. Чу и различных угодий в ее пределах от среднего уровня воды на расчетном участке или от уровня (расхода) воды в верхнем створе.

4. РЕЗУЛЬТАТЫ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ, ТЕПЛОБАЛАНСОВЫХ И ЛИЗИМЕТРИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ЗОНЕ ОРОШАЕМОГО И БОГАРНОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ

Для изучения закономерностей формирования метеорологического и теплового режимов на орошаемых землях района в 1971—1975 гг. были организованы специальные экспериментальные исследования, которые включали метеорологические наблюдения на неорошаемых участках, наблюдения за градиентами температуры, влажности и скорости ветра на высотах 0,5 и 2,0 м, актинометрические наблюдения. Дополнительно в обобщениях использовались материалы наблюдений управлений по гидрометеорологии Киргизской и Казахской ССР.

Из анализа материалов наблюдений метеостанций [72], расположенных на равнинных участках бассейнов рек Чу и Талас, следует, что изменение метеозадающих элементов в целом на всей территории происходит синхронно. Это свидетельствует, что бассейны рек Чу и Талас расположены в одном климатическом районе, а климат их формируется под влиянием одних и тех же процессов, несмотря на то что абсолютные значения элементов сильно отличаются друг от друга как под влиянием вертикальной зональности, так и других, местных, особенностей.

Метеорологические условия в период экспедиционных работ 1971—1975 гг. характеризовались следующими особенностями.

В целом по району март, июнь и осенне-зимний период 1971 г. характеризовались высокой температурой воздуха, которая была на 2—4 °C выше нормы. Январь характеризовался пониженной температурой. В остальную часть года она была близка к норме.

По режиму увлаженности 1971 г. можно отнести к сухому. Обеспеченность осадками составила за год около 70—80 % нормы. Однако апрель—май характеризовались обильными осадками, максимальные суммы их в этот период достигали 36 мм/сут. Летом осадки практически отсутствовали, в июне—декабре они были близки к норме.

1972 г. характеризовался пониженной относительно нормы летней температурой воздуха и высоким увлажнением. Наибольшее количество осадков, по данным всех станций, выпало весной (март—июнь, 60—80 мм/мес) и осенью (сентябрь, 50—90 мм/мес). Годовые суммы осадков превышали норму примерно на 100 мм, что соответствовало обеспеченности 20—30 %.

В 1973 и 1974 гг. средние годовые значения метеозаэлементов были близки к средним многолетним, хотя внутригодовое их распределение несколько отличалось от нормы.

В 1973 г. наиболее низкая температура воздуха зимой отмечалась в январе ($-7 \dots -8^{\circ}\text{C}$), а в 1974 г. — в декабре и в феврале ($-10 \dots -12^{\circ}\text{C}$). Летом несколько более высокие температуры воздуха наблюдались в 1974 г., хотя, например, август 1973 г. был теплее, чем в 1974 г. В 1973 г. в апреле на Ат-Башинской и Ташуткульской оросительных системах температура воздуха была выше, чем в 1974 г., за месяц в среднем на 0,2 и 0,6 $^{\circ}\text{C}$, а на Георгиевской оросительной системе и в Таласской долине — ниже на 0,2 и 0,3 $^{\circ}\text{C}$ соответственно.

В 1973 г. в зимне-весенний период выпало большое количество осадков, а осенью их количество было примерно такое же, как в 1974 г. Наибольшая месячная сумма осадков наблюдалась в апреле 1973 г. в с. Успенровка и составила 109 мм.

По режиму температуры 1975 г. также был близок к нормальному и мало отличался от 1973 и 1974 гг., хотя в августе отмечалась несколько повышенная средняя месячная температура воздуха (примерно на 2—3 $^{\circ}\text{C}$ выше нормы). Зима была умеренно холодной.

Режим увлажнения территории в 1975 г. характеризовался относительно большими суммами осадков в марте и более низкими в апреле и мае. Значительные по сравнению с нормой осадки наблюдались в июне в районе контура ЗБЧК и Георгиевской оросительной системы.

Из аномальных явлений в 1975 г. следует отметить высокие значения дефицита влажности воздуха в июле в районе Георгиевской оросительной системы и в долине р. Талас.

По сравнению с богарными территориями на орошаемых массивах наблюдаются несколько иные метеорологические условия. Выполненная к настоящему времени оценка изменения микроклиматических условий в зоне орошения для равнинных районов Казахстана, Северного Кавказа, Поволжья и Украины свидетельствует, что при развитии растительности температура и дефицит влажности воздуха в поливной период могут снижаться соответственно на 2—5 $^{\circ}\text{C}$ и на 5—15 гПа по сравнению с неорошаемыми участками. С высотой эти различия сглаживаются и на уровне 2 м над травостоем составляют 1—3 $^{\circ}\text{C}$ по температуре и 2—10 гПа по дефициту влажности.

Сравнительные наблюдения в бассейне р. Чу (пос. Национальный) на богарном участке и орошаемых полях, занятых сахарной свеклой (1971, 1972 гг.), озимой пшеницей (1971 г.) и люцерной (1971—1975 гг.) показали следующее.

При температуре воздуха в долине 10—14 $^{\circ}\text{C}$ ее значения на орошаемом и богарном участках практически одинаковы (рис. 4.1). При низкой температуре (до 10 $^{\circ}\text{C}$), т. е. весной и осенью, температура воздуха на орошаемом поле несколько выше, чем на богаре. При высокой температуре воздуха (порядка 25 $^{\circ}\text{C}$) на богаре

его температура на орошаемом поле оказывается в среднем на 2°C ниже.

Рис. 4.1. Зависимость между температурой воздуха на высоте 2 м на орошаемом сельскохозяйственном поле (абсцисса) и естественной территории (метеостанция на богаре) (ордината).

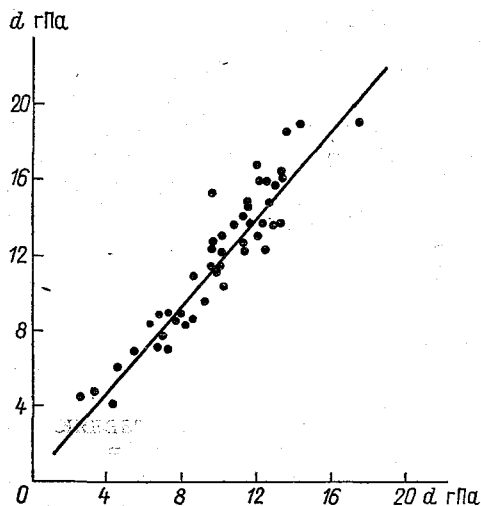
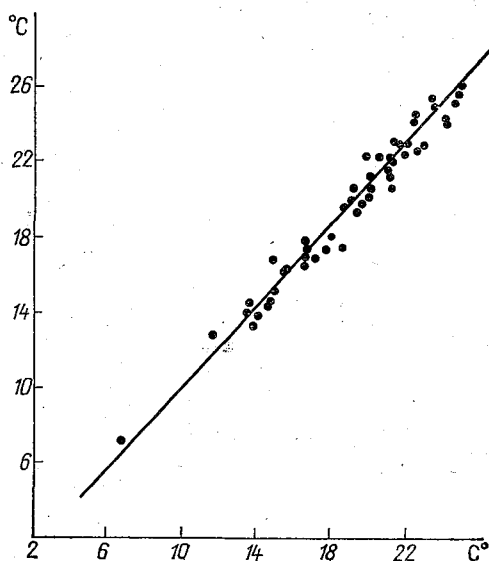


Рис. 4.2. Зависимость между дефицитами влажности воздуха на высоте 2 м на орошаемом сельскохозяйственном поле (абсцисса) и естественной территории (метеостанция на богаре) (ордината).

Таким образом, влияние орошения выражается в основном в сглаживании экстремальных значений метеорологических элементов.

Дефицит влажности воздуха на орошаемых полях оказывается постоянно более низким, чем на богаре, причем с ростом дефицита контрастность условий возрастает (рис. 4.2). Так, дефицит влаж-

ности на орошаемом поле составляет 3,5 гПа при 4 гПа на богаре, а при дефиците на богаре, равном 20 гПа, на орошаемых участках — только 17 гПа.

Следует отметить, что для средних суточных значений метеоэлементов на высоте 2 м выявить какие-либо различия между микроклиматом полей, занятых сахарной свеклой, люцерной и озимой пшеницей, не удалось. Связи на графиках (рис. 4.1 и 4.2) оказались идентичными и достаточно тесными. Возможно, это произошло потому, что наблюдения за микроклиматом производились в основном в периоды активной вегетации растений и различия оказались зависимыми главным образом от условий увлажнения почв. Различия в характере увлажнения, видимо, являются основной причиной того, что уравнения связи метеоэлементов год от года несколько изменяются. В пределах наблюдаемого диапазона изменения метеоэлементов графики и зависимости их в условиях богары и орошения носят линейный характер. Соответствующие средние уравнения связи, которые могут быть использованы для количественной оценки микроклимата орошаемого поля, имеют следующий вид:

для температуры воздуха ($^{\circ}\text{C}$)

$$t_{\text{оп}} = 0,92t_6 + 0,9, \quad (4.1)$$

для дефицита влажности воздуха (гПа)

$$d_{\text{оп}} = 0,85d_6 + 0,1. \quad (4.2)$$

Радиационный баланс R является одной из важнейших характеристик, действующих на испарение и вертикальный влагообмен в зоне аэрации. Он определяется суммарной радиацией Q^* , отраженной радиацией R_k , зависящей от альбедо подстилающей поверхности A , и эффективным излучением $E_{\text{эф}}$, представляющим собой разность между излучением земной поверхности и атмосферы, т. е.

$$R = Q^* - R_k - E_{\text{эф}}. \quad (4.3)$$

или

$$R = Q^* (1 - A) - E_{\text{эф}}. \quad (4.4)$$

Для изучения закономерностей формирования составляющих радиационного баланса на орошаемых полях в бассейне р. Чу (орошаемый массив ЗБЧК) были организованы актинометрические наблюдения. В 1971 г. в мае и июне актинометрические наблюдения проводились на орошаемом поле, занятом озимой пшеницей с подсевом люцерны, с августа по октябрь на этом же поле наблюдения велись на люцерне. Одновременно, со второй декады июня и до сентября, аналогичные работы производились на поле, занятом сахарной свеклой. Расстояние между обоими полями составляло около 2 км. В 1972 г. актинометрические исследования в период июнь—сентябрь велись одновременно на

полях, занятых сахарной свеклой и люцерной. В 1973—1975 гг. эти наблюдения проводились с мая по сентябрь на люцерне.

Результаты расчетов составляющих радиационного баланса приведены в табл. 4.1. Как видно из сравнения синхронных данных за 1971 и 1972 гг. по разным полям, средние декадные значения Q^* в пределах различных полей мало меняются. В течение вегетационного периода максимальные значения Q^* приходятся в среднем на июль [$16,8—29,4$ МДж/(м²·сут)], минимальные — на октябрь [$14,3—11,8$ МДж/(м²·сут)]. Обращает на себя внимание относительно высокая изменчивость ее значений по годам, что объясняется главным образом влиянием облачности. Так, в первой декаде июля средние декадные значения Q^* колеблются от $16,0$ МДж/(м²·сут) в 1973 г. до $27,0$ МДж/(м²·сут) в 1972 г.

Как показывают данные наблюдений, значение A полей, занятых сахарной свеклой, незначительно меняется в течение вегетационного периода (май—сентябрь), составляя в среднем 21 % и варьируя в зависимости от условий погоды от 19 до 23 %. Альbedo полей, занятых озимой пшеницей, несколько выше (23 %). Для полей, занятых люцерной, видимо, вследствие более плотной структуры растительного покрова и более светлой окраски значение A выше и составляет около 25—27 %, а колебания его возможны от 21 до 31 % в зависимости от погоды и фазы вегетации (уход, отрастание, цветение). Наименьших значений оно достигает, как правило, в фазу ухода, а наибольших — при цветении и отрастании.

Сезонный ход значений $E_{эф}$ характеризуется относительной плавностью и постоянством от года к году. Весной и осенью его значение меньше, чем летом, и соответственно составляют в мае—августе $3,78—7,56$ МДж/(м²·сут), в сентябре—октябре $2,52—5,04$ МДж/(м²·сут). Практически все составляющие радиационного баланса R в течение года следуют режиму значений Q^* . Особенно тесная связь со значением Q^* наблюдается у радиационного баланса R (рис. 4.3, 4.4). Эти связи для условий орошаемых полей (достаточное увлажнение почвы) можно представить в виде следующих уравнений регрессии, МДж/(м²·сут):

1) для полей, занятых сахарной свеклой,

$$R = 0,92Q^* - 6,636, \quad (4.5)$$

2) для полей, занятых люцерной и озимой пшеницей с подсевом люцерны,

$$R = 0,70Q^* - 3,570. \quad (4.6)$$

Сопоставляя уравнение (4.5) с полученным ранее уравнением для поля с сахарной свеклой на территории Южного Казахстана

$$R = 0,82Q^* - 6,72, \quad (4.7)$$

можно видеть, что при одном и том же значении Q^* радиационный баланс на территории Киргизии оказывается немного больше, чем в Южном Казахстане, что, видимо, связано с более значительной

Таблица 4.1

Средние декадные значения составляющих радиационного баланса [МДж/(м²·сут)] и альbedo подстилающей поверхности (%) в бассейне р. Чу, пос. Национальный

Состав- ляющая радиаци- онного баланса	Май			Июнь			Июль			Август			Сентябрь			Октябрь		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
1971 г.																		
Сахарная свекла																		
Q^*				28,3			24,4	22,3	26,2	23,9	23,9	23,3	19,3	18,2	17,0			
R				19,3			16,3	15,0	18,0	14,9	14,3	14,2	11,2	10,0	8,50			
R_k				(3,90)			5,08	4,46	5,21	5,05	5,08	4,92	4,25	3,95	3,82			
$E_{эф}$				4,75			3,02	2,81	3,02	3,95	44,5	3,78	3,90	4,12	4,71			
A				(14)			21	20	20	21	21	21	22	22	22			
Озимая пшеница (с подсевом люцерны)																		
Q^*	16,9		24,4				26,0											
R	9,95		14,0				14,5											
R_k	4,20		5,66				6,05											
$E_{эф}$	2,73		4,75				5,54											
A	25		23				23											
Люцерна (после уборки пшеницы)																		
Q^*										24,2	24,1	23,1	20,2	19,1	17,5	13,3	13,8	12,1
R										13,8	12,8	11,0	9,92	9,00	7,27	5,95	5,04	4,41
R_k										5,21	5,63	5,75	5,55	5,21	4,46	3,74	3,36	2,94
$E_{эф}$										5,21	5,66	6,39	4,71	4,87	5,80	4,58	5,38	4,74
A										22	23	25	28	27	25	28	24	24
1972 г.																		
Сахарная свекла																		
Q^*	21,7		24,1	20,3	24,8	25,6	27,0		23,7		20,7		18,3		13,3			

R	11,2		14,4	12,0	15,6	16,4	17,6		15,2		13,1		10,2		6,22
R_k	4,33		4,79	3,91	5,00	5,33	5,96		5,38		4,58		4,12		2,81
$E_{\text{эф}}$	6,13		4,92	4,33	4,16	3,96	3,49		3,11		2,98		3,99		4,37
A	20		20	19	20	21	22		23		22		22		21

Люцерна

Q^*		16,9	30,0	22,2	27,3	24,4		25,9		13,3		23,5		17,6	
R		8,75	17,5	12,0	15,5	15,5		15,5		14,5		13,2		9,50	
R_k		4,66	6,43	5,63	6,85	6,22		6,14		5,96		5,98		4,54	
$E_{\text{эф}}$		3,53	6,01	4,62	5,00	2,69		4,29		2,77		4,41		3,61	
A		28	21	25	25	26		24		26		25		26	

1973 г.

Люцерна

Q^*	22,1	24,0	19,3	23,4	23,9	24,6	16,0	28,9	22,5	26,6	25,1	19,0	18,5	19,3	13,2	14,3
R	12,6	13,4	10,4	13,4	14,9	14,8	6,72	17,5	10,2	14,6	14,7	10,4	9,45	10,8	4,70	6,50
R_k	5,58	5,87	4,50	5,67	5,50	5,67	3,98	6,90	4,96	6,50	5,96	4,75	4,92	5,46	3,32	2,73
$E_{\text{эф}}$	3,90	4,75	4,50	4,33	3,49	4,07	5,33	4,45	4,20	5,50	4,41	3,90	4,16	3,06	5,01	5,04
A	25	24	23	24	23	23	25	24	26	24	24	25	26	28	25	19

1974 г.

Люцерна

Q^*	13,2	26,6	21,4	24,0	22,8	28,2	23,5	27,5	24,6	15,0	25,5	23,3	16,5	14,6	12,1	
R	7,02	15,1	11,8	13,8	13,5	14,8	10,4	13,0	9,55	4,37	12,7	11,1	6,90	6,63	5,67	
R_k	2,81	6,05	5,30	5,46	5,12	6,90	6,80	7,76	7,73	4,54	6,22	5,55	4,16	3,49	2,43	
$E_{\text{эф}}$	3,40	5,67	4,37	4,70	4,20	6,47	6,30	6,72	7,31	6,13	6,60	6,72	5,42	4,45	3,99	
A	21	22	25	23	22	24	29	28	31	30	24	24	25	24	20	

1975 г.

Люцерна

Q^*	18,1	22,3	26,3	26,2	24,7	28,7	26,8	20,0	23,7	19,8	18,3	22,8	20,7	16,5	10,8	
R	8,15	12,3	13,8	14,3	12,8	15,7	14,8	9,25	14,2	10,0	9,75	11,6	11,5	7,85	5,30	
R_k	4,75	5,46	6,72	6,42	6,72	8,10	6,90	4,70	5,37	4,83	4,62	6,35	5,09	4,75	2,64	
$E_{\text{эф}}$	5,25	4,54	5,80	5,46	5,08	4,92	5,13	6,01	4,20	4,87	3,95	4,87	4,07	3,86	2,86	
A	26	24	26	24	27	28	26	24	23	24	25	28	24	29	24	

облачностью в Киргизии. Повышение облачности приводит к снижению уровня эффективного излучения, что согласно уравнению (4.4) вызывает увеличение значений радиационного баланса. Возможно, что изменение зависимости $R = f(Q^*)$ определяется также и разным состоянием посевов, различными сортами сахарной свеклы.

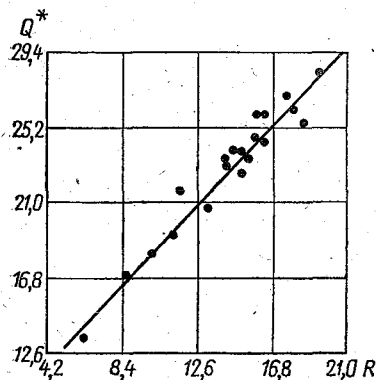


Рис. 4.3. Зависимость радиационного баланса орошаемого поля R , занятого сахарной свеклой, от суммарной радиации Q^* , МДж/(м²·сут).

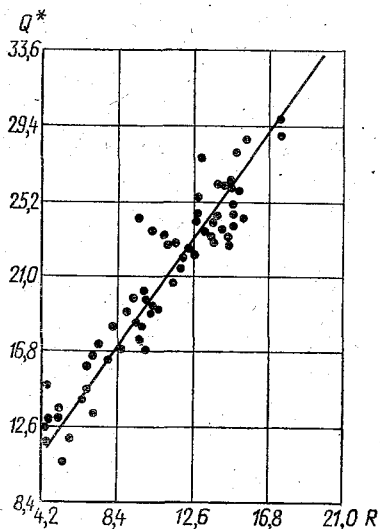


Рис. 4.4. Зависимость радиационного баланса орошаемых полей R , занятых люцерной и озимой пшеницей, от суммарной радиации Q^* , МДж/(м² × сут).

В заключение отметим, что уравнения (4.5) и (4.6) могут быть рекомендованы для расчетов радиационного баланса орошаемых сельскохозяйственных полей Чуйской долины.

Уравнение теплового баланса подстилающей поверхности имеет вид

$$R = LE + P + B, \quad (4.8)$$

где L — теплота парообразования; E — испарение; P — турбулентный теплообмен; B — поток тепла в почву.

Для изучения закономерностей формирования теплового баланса орошаемых полей в бассейне р. Чу были организованы наблюдения за радиационным балансом и градиентами температуры, влажности воздуха и скорости ветра. Эти исследования проводились на полях, занятых сахарной свеклой (1971—1972 гг.), озимой пшеницей с подсевом люцерны (1971 г.) и люцерной (1971—1975 гг.). Поля были расположены в пределах оросительной системы ЗБЧК в районе пос. Национальный.

Наблюдения и расчет составляющих теплового баланса производились согласно Руководству [75]. Ниже рассмотрен тепловой режим исследуемых полей.

Сахарная свекла и озимая пшеница с подсевом люцерны. Как видно из табл. 4.2, основной расходной статьей теплового баланса являются затраты тепла на испарение. При достаточном увлажнении почвы в активные фазы вегетации они превосходят радиационный баланс на 20—30 %. При этом турбулентный теплообмен направлен к поверхности почвы и достигает

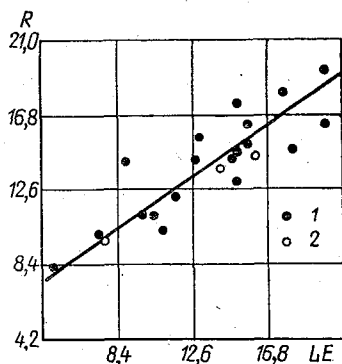


Рис. 4.5. Зависимость затрат тепла на испарение LE от радиационного баланса R , МДж/(м²·сут).

1 — сахарная свекла, 2 — озимая пшеница.

—2,1...—4,2 МДж/(м²·сут). В начальные и конечные фазы вегетации (до фазы смыкания междурядий и после наступления фазы утолщения корня) затраты тепла на испарение, как правило, меньше радиационного баланса, а турбулентный теплообмен положителен и колеблется в пределах 0,420—4,20 МДж/(м²·сут).

Поток тепла в почву в среднем за декады мал, имеет разные значения и не превосходит 10 % радиационного баланса. Можно поэтому считать, что в формировании теплового баланса орошаемого поля в период вегетации культур поток тепла в почву мал и его можно не учитывать при расчетах испарения.

Основную роль в формировании испарения с орошаемых полей играет радиационный баланс. На графике (рис. 4.5) показана зависимость затрат тепла на испарение от радиационного баланса, которое имеет вид

$$LE = 1,47R - 6,930, \quad (4.9)$$

где LE и R имеют размерность МДж/(м²·сут). Среднее квадратическое отклонение от линии связи составляет около $\pm 1,68$ МДж/(м²·сут), или $\pm 0,7$ мм, а максимальное — 5,46 МДж/(м²·сут), или около ± 2 мм.

Несмотря на то что количественно выявить влияние на зависимость $LE = f(R)$ фаз вегетации и увлажнения почвы не удалось, обращает на себя внимание тот факт, что ниже линии связи располагаются, как правило, точки, относящиеся к активным фазам вегетации при достаточном увлажнении почвы (рис. 4.5).

Таблица 4.2

Средние декадные значения составляющих теплового баланса [МДж/(м²·сут)] и испарения (мм/сут) в бассейне р. Чу, ЗБЧК, пос. Национальный

Состав- ляющие тепловой баланса	Май			Июнь			Июль			Август			Сентябрь			Октябрь		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III

1971 г.

Сахарная свекла

R				19,4			16,2	15,0	18,0	14,9	14,3	14,2	11,2	10,1	8,50			
LE				20,2			19,9	18,3	17,7	15,1	14,8	12,7	10,6	7,40	4,87			
P				-2,27			-4,03	-3,91	-0,08	-0,42	-0,67	1,13	0,59	2,69	3,61			
B				1,43			0,34	0,59	0,34	0,21	0,21	0,42	0,04	0,04	0			
E				8,1			7,9	7,3	7,0	6,0	5,9	5,0	4,2	2,9	1,9			

Озимая пшеница (с подсевом люцерны)

R	9,95		14,0			14,5												
LE	7,65		14,1			16,3												
P	1,47		0,72			-16,5												
B	0,84		-0,84			-0,17												
E	3,0		5,6			2,6												

Люцерна (после уборки пшеницы)

R									13,7	12,8	10,9	9,90	9,00	7,27	4,95	5,04	4,41
LE									9,07	10,8	6,51	13,7	12,0	8,35	8,55	3,86	3,74
P									4,83	1,89	4,53	-3,57	-2,82	-1,18	-3,11	1,05	0,42
B									-0,17	0,08	-0,08	-0,17	-0,17	0,08	-0,50	0,13	0,25
E									3,6	4,3	2,6	5,7	4,8	3,3	3,4	1,5	1,5

1972 г.

Сахарная свекла

R	11,2		14,4	12,0	15,6	16,4	17,6		15,2		13,1		10,2		6,22			

LE	9,63		9,05	11,6	13,1	15,8	15,1		15,9		15,1		11,0		6,00
P	0,04		4,87	1,43	2,56	0,92	2,06		-0,63		-2,23		-2,23		0
B	1,55		0,50	-0,97	0	-0,38	0,42		-0,08		0,21		1,34		0,21
E	3,8		3,6	4,6	5,2	6,3	6,0		6,3		6,0		4,4		2,4

Люцерна

R		8,73	17,5	12,0	15,5	15,4		15,5		14,5		13,2		9,50
LE		10,8	16,3	9,80	9,07	13,5		12,0		9,85		6,97		4,70
P		-2,86	1,01	1,72	6,05	1,30		2,18		4,50		4,83		4,58
B		0,84	0,21	0,46	0,38	0,67		1,34		0,17		1,43		0,21
E		4,3	6,5	3,9	3,6	5,4		4,8		3,9		2,8		1,9

1973 г.

Люцерна

R	12,6	13,4	10,4	13,5	14,9	14,8	6,72	17,6	12,3	14,6	14,8	10,4	9,45	10,8	4,54	6,51
LE	13,2	10,0	9,3	13,6	19,6	13,5	2,00	20,0	17,9	16,4	13,1	14,3	13,5	13,3	4,70	0
P	-0,55	1,72	0,08	-0,59	-4,33	0,92	0,97	-2,86	-4,45	-1,68	1,43	-2,86	-3,70	-1,81	0,97	7,10
B	-0,04	0,63	1,01	0,42	-0,34	0,38	0,63	0,38	-1,18	-0,17	0,25	-1,01	-0,38	-0,76	-1,13	-0,59
E	5,2	4,4	3,7	5,4	7,8	5,4	2,0	8,0	7,1	6,5	5,2	5,7	5,4	5,3	1,9	0

1974 г.

Люцерна

R	7,02	15,1	11,8	13,8	13,5	14,8	10,4	13,0	9,55	4,37	12,7	10,6	6,89	6,64	5,67
LE	7,27	13,5	14,0	13,8	9,08	5,21	8,32	6,26	8,70	2,06	13,1	11,5	7,77	7,86	6,14
P	-0,29	1,05	-2,48	-0,17	4,16	8,70	1,81	7,26	0,76	2,94	0	-0,21	0	-0,92	0,84
B	0,04	0,55	0,29	0,21	0,29	0,92	0,29	0,50	0,08	-0,63	-0,38	-0,25	-0,88	-0,29	-1,30
E	2,9	5,4	5,6	5,5	3,6	2,1	3,3	2,5	3,4	0,8	5,2	4,6	3,1	3,1	2,4

1975 г.

Люцерна

R	8,15	12,3	13,8	14,3	12,9	15,7	14,8	9,25	14,2	10,0	9,75	11,6	11,6	7,85	5,29
LE	5,37	13,6	11,4	13,2	13,2	16,7	16,5	7,77	18,0	12,4	11,7	15,0	14,2	9,55	8,27
P	2,18	-1,72	1,68	-0,55	0,08	-1,14	-3,32	0,38	-2,73	-2,44	-2,56	-1,97	-2,48	-1,59	-1,72
B	0,59	0,42	0,76	1,60	-0,46	1,26	1,68	1,05	-1,05	0,08	0,59	-1,35	-0,17	-0,08	-1,01
E	2,1	5,4	4,5	5,2	5,2	6,6	6,5	3,1	7,1	4,9	4,6	5,9	5,6	3,8	3,2

Поскольку период теплобалансовых наблюдений на поле с озимой пшеницей составил в общей сложности всего три декады, то выявить связь теплового баланса с испарением для этой культуры не удалось, однако имеющиеся данные показывают, что в целом она близка к условиям полей, занятых сахарной свеклой.

Люцерна. Теплобалансовые наблюдения, охватывающие значительный период, показали, что основные закономерности, характерные для полей с сахарной свеклой, сохраняются и для полей с люцерной.

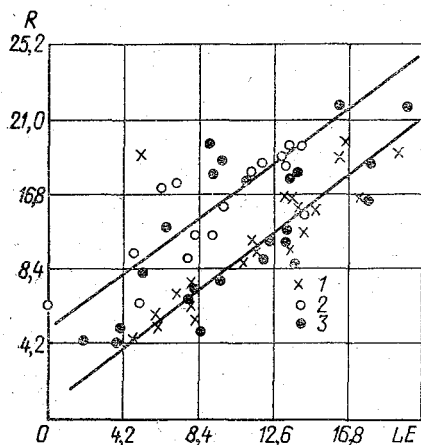


Рис. 4.6. Зависимость затрат тепла на испарение LE от радиационного баланса R , люцерна, МДж/(м²·сут).

1 — декады перед укосом в фазу цветения, 2 — декады после укоса, 3 — остальные декады.

Поток тепла в почву на люцерновом поле мал и не превосходит 10 % радиационного баланса. Турбулентный теплообмен после укоса положителен и направлен от поверхности почвы в атмосферу. В активные фазы развития люцерны (образование соцветий, цветение) при достаточном увлажнении почвы (более 0,7 полевой влагоемкости) он отрицателен. Радиационный баланс в это время оказывается за сутки в среднем меньше затрат тепла на испарение. Турбулентный обмен колеблется в среднем от 6,30 МДж/(м²·сут) до —4,20 МДж/(м²·сут) (табл. 4.2).

Основное влияние на режим испарения с полей, занятых люцерной, оказывает радиационный баланс (рис. 4.6), однако на графике зависимости $LE = f(R)$ точки располагаются со значительным разбросом. Это значит, что характер связи затрат тепла на испарение с радиационным балансом на люцерновом поле существенно отличается от такового для полей с сахарной свеклой. Причина этих различий в том, что в течение вегетационного периода люцерны неоднократно скашивается, а цикл ее развития повторяется. Кроме того, травы как в начале, так и в конце периода вегетации весьма чувствительны к влаге.

На графике (рис. 4.6) точки, соответствующие декадам перед укосом, в фазу максимальной активности люцерны (цветение), располагаются, образуя довольно тесную зависимость $LE = f(R)$.

Уравнение связи имеет вид

$$LE = 1,28R - 0,76. \quad (4.10)$$

Точки, соответствующие декадам сразу после укоса, располагаются значительно левее линии связи и характеризуются приближенно уравнением

$$LE = 1,37R - 7,14. \quad (4.11)$$

Таким образом, затраты тепла на испарение в активные фазы вегетации люцерны можно приближенно оценить по уравнению (4.10), а в остальные периоды — по уравнению (4.11).

В комплекс работ по изучению испарения, помимо теплового баланса, входили лизиметрические наблюдения, которые позволяли определять не только испарение, но и режим вертикального влагообмена в зоне аэрации.

Использовались лизиметры ГР-80 с глубиной залегания грунтовых вод 0,5, 1,0, 1,5, 2,0 и 2,5 м. Испаряющая поверхность составляла 0,2 м². Лизиметры заряжались монолитами с ненарушенной структурой. Суммарное испарение по данным лизиметров определяется уравнением водного баланса монолита, мм слоя воды

$$E = X + M + K - I \pm \Delta W, \quad (4.12)$$

где X — осадки, M — поливы, K — расход влаги из грунтовых вод в зону аэрации (подпитывание), I — инфильтрация, ΔW — изменение влагозапасов. Изменение влагозапасов ΔW определялось путем взвешивания монолитов на платформенных весах с частотой один раз в 5—10, а иногда и в 15—20 сут. Погрешность взвешивания составляла около 1 мм слоя воды.

Кроме лизиметров ГР-80, для определения испарения использовались гидравлические испарители малой модели (ГПИ) и испарители ГГИ-500 $\times$ 100. Все виды наблюдений производились согласно Наставлению [61] и Методическим указаниям № 84 [58].

Наблюдения за испарением и влагообменом на полях, занятых сахарной свеклой, проводились на Атбашинской (1971, 1972 и 1974 гг.), Ташуткульской и ЗБЧК (1972 и 1973 гг.) оросительных системах. Результаты наблюдений представлены в табл. 4.3 и 4.4, из которых видно, что по всем приборам с уровнями грунтовых вод от 0,5 до 2,5 м и ГПИ сезонный ход испарения в целом синхронен. В начальный период вегетации различия в значениях испарения по всем приборам находятся в пределах точности наблюдений. Примерно с последней декады мая начинается интенсивная транспирация растений, резко возрастает суммарное испарение и расход грунтовых вод в зону аэрации. Максимум испарения и подпитывания наблюдается в июле и составляет по лизиметрам около 10—15 мм/сут. К осени интенсивность испарения падает и после наступления фазы технической спелости составляет около 2 мм/сут и менее.

Таблица 4.3

Месячные значения испарения (мм) с полей, занятых сельскохозяйственными культурами

Месяц	Лизиметр ГР-80								ГПИЛ	ГПИ
	глубина залегания грунтовых вод; м									
	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	1,5 б/вз	1,5 б/р	1,3		

Люцерна

Ат-Башинский орошаемый массив, 1975 г.*

Май	181,0	153,8	138,0	120,9		83,3			176,5
Июнь	162,0	146,0	118,6	107,6		78,0			218,7
Июль	244,0	88,7	41,6	25,3		27,7			135,4
Август	171,6	132,4	56,9	70,9		63,1			161,4
Сентябрь	81,1	87,8	26,1	22,9		7,6			69,4

Орошаемый массив ЗБЧК, 1974 г.*

Апрель		68,3	54,6	53,4	44,7		49,5	
Май		177,4	153,3	132,8	126,2		113,3	
Июнь		281,2	149,0	138,5	136,7		133,0	
Июль		133,3	24,7	13,3			68,1	
Август		616,5	42,2	79,5	68,2		157,1	
Сентябрь		426,2	36,3	66,3	56,1		172,9	
Октябрь		81,3		23,6	22,7		43,8	

То же, 1975 г.

Апрель		304,8	189,9	115,3	123,9			
Май		558,9	371,3	195,9	144,3		108,8	
Июнь		671,1	489,0	224,8	138,5		126,4	
Июль		446,2	358,6	363,5	199,0		120,8	
Август		333,0	333,8	340,2	245,8		317,9	
Сентябрь		357,8	310,0	305,9	276,1		102,8	

Георгиевский орошаемый массив, 1974 г.

Май		314,7	330,3	266,5	221,1			
Июнь		288,0	257,0	186,0	172,0			
Июль		61,7	57,2	48,9	49,2			
Август		99,4	91,2	89,0	62,3			
Сентябрь		85,7	71,7	71,4	54,2			

Озимая пшеница

Георгиевский орошаемый массив, 1973 г.

Апрель				164,0				
Май		210,8	220,1	192,2	238,7			
Июнь		283,0	293,2	305,4	237,0			
Июль		63,3	36,4	35,9	33,5			
Август		34,8	14,5	12,8	12,1			
Сентябрь		24,0	15,0	9,0	18,0			
Октябрь		24,8	15,5	9,8	18,6			

Месяц	Лизиметр ГР-80							ГПИЛ	ГПИ
	глубина залегания грунтовых вод, м								
	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	1,5 б/вз	1,5 б/р	1,3	

Таштуккульский орошаемый массив, 1974 г.

Май	160,0	212,2	213,1	246,1				
Июнь	203,3	181,3	306,1	195,2				
Июль	229,0	63,5	48,1	19,6				
Август	549,7	105,0	214,6	146,8				
Сентябрь	147,3	73,1	104,2	57,3				
Октябрь	50,3	18,9	51,0	16,6				

Кукуруза

Георгиевский орошаемый массив, 1972 г.

Июнь	177,0	194,0	182,0	154,0				
Июль	607,3	547,5	403,5	310,5				
Август	490,2	333,7	245,9	136,3				
Сентябрь	68,6	72,4	52,0	51,8				
Ноябрь	45,9	37,5	36,2	30,7				

Ат-Башинский орошаемый массив, 1973 г.

Май	78,4	71,8	69,8	58,9		55,1	70,4
Июнь	111,5	132,0	128,0	120,0		61,5	112,5
Июль	144,9	258,0	260,1	240,5		65,1	233,0
Август	133,1	166,7	221,4	177,2		28,4	192,6
Сентябрь	64,6	49,8	42,8	41,8		47,0	56,3
Октябрь	40,3	24,2	17,8	17,9		30,4	34,2

Естественное (степное) разнотравье

Георгиевский орошаемый массив, 1975 г.

Июнь	63,4						
Июль	53,1	118,1	34,5	63,6			
Август	48,6	81,0	39,0	61,7			
Сентябрь	0,0	48,0	36,0	12,0			

* Люцерна с подсевом ячменя.

Примечание. б/вз — без взвешивания, б/р — без растений.

С увеличением глубины залегания грунтовых вод в лизиметрах суммарное испарение в целом за сезон уменьшается. Однако примерно с фазы смыкания междурядий корневая система растений в лизиметрах достигает уровня воды 0,5 м. Растительность начинает угнетаться в этих лизиметрах, а максимум испарения смещается на лизиметры с уровнем 1,0 м. Позднее, примерно с конца августа и в сентябре, максимум испарения смещается на лизи-

Испарение (мм) с сельскохозяйственных культур и дикорастущего разнотравья в долине р. Талас

Месяц	Испаритель										ГПИ			
	ГГИ-500 × 100				ГГИ-500 × 50									
	1972	1973	1974	1975	1971	1972	1973	1974	1975	1971	1972	1973	1974	

Дикорастущее разнотравье

Апрель	33,5	42,5	41,3	36,6
Май	47,2	63,0	61,9	32,8
Июнь	72,8	19,0	22,8	11,5
Июль	14,7	10,9	15,9	41,1
Август	6,1	3,7	48,1	14,5
Сентябрь	5,7		19,8	14,0
Октябрь	9,0	10,6	17,5	
Ноябрь			7,0	

Эспарцет

Апрель	86,5	124,0	103,8	84,5	146,3
Май	147,7	285,3	232,9	178,3	113,6
Июнь	240,9	130,8	266,1	102,1	89,9
Июль	330,0	192,5	328,0	280,1	237,8
Август	50,3	195,6	71,3	75,7	117,9
Сентябрь	17,3	12,0	19,2	12,9	14,2
Октябрь	20,5	10,8	45,7	16,3	
Ноябрь					9,6

Озимая пшеница

Апрель	72,8	100,3	77,5	82,9	88,6	72,5
Май	302,1	137,4	91,5	113,1	199,8	286,9
Июнь	156,1	262,9	133,3	103,2	218,7	209,9
Июль	115,2	99,2	51,3	107,0	87,1	80,5
Август	103,2	86,0	45,7	58,4	30,7	41,6
Сентябрь	57,5	37,2	56,5	29,1	36,8	55,0
Октябрь	38,1		41,5	45,0	26,1	119,0
Ноябрь						41,6

метры с уровнем воды 1,5—2,0 м. Испарение с лизиметров 2,0 и 2,5 м примерно одинаково.

Суммарное испарение, определенное по лизиметрам с уровнем грунтовых вод 2,0 и 2,5 м от поверхности, превышает значения этой величины, полученные с помощью ГПИ (без подпитки), примерно на 30 % (рис. 4.7), что связано с лучшими условиями увлажнения монолитов, а следовательно, и развития растений в лизиметрах.

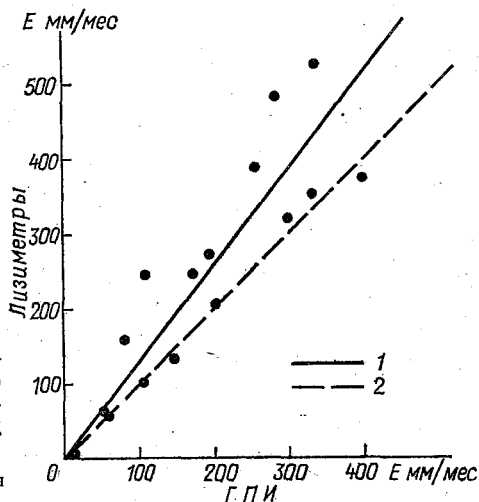


Рис. 4.7. Зависимость месячных значений испарения, определенных по ГПИ (без подпитывания) и по лизиметрам с уровнями грунтовых вод 2,0 и 2,5 м.

1 — линия связи, 2 — линия, проведенная под углом 45°.

Транспирацию можно приблизительно оценить по разности суммарного испарения и испарения под пологом растений, определенного с помощью лизиметра без растений. Как видно из табл. 4.3 и 4.4, транспирация в мае мала. Начиная с июня доля ее в суммарном испарении возрастает, достигая в наиболее активный период вегетации (июль, август) 80 %. Осенью (сентябрь, октябрь) эта доля падает и становится близкой к нулю.

Режим подпитывания в основном повторяет ход суммарного испарения. При уровне грунтовых вод 0,5 м доля подпитывания от суммарного испарения составляет около 80—90 %, при уровне 1,0 м она уменьшается до 60—70 %, при уровне 1,5 м — до 40—50 %, при уровне 2,0 м — до 30 % и при уровне 2,5 м составляет всего 20—30 %.

В течение периода вегетации отношение подпитывания к суммарному испарению при одном и том же уровне грунтовых вод не остается постоянным: максимальных значений это отношение достигает летом в фазы наибольшей активности растений.

Режим фильтрации на полях, занятых сахарной свеклой, определяется подачей оросительных вод (поливов). Только ранней весной, когда почва еще увлажнена за счет таяния снега, небольшая фильтрация наблюдается при обильных осадках.

Как правило, во время поливов значительная часть водоподачи фильтруется в грунтовые воды. При поливной норме около 200 мм и при уровнях грунтовых вод 1—1,5 м фильтрация составляет примерно 100 мм. С увеличением мощности зоны аэрации доля фильтрующихся поливных вод уменьшается.

О з и м а я п ш е н и ц а. Наблюдения за испарением и влагообменом на полях с озимой пшеницей производились в 1973 г. на Георгиевской оросительной системе и в 1974 г. на Ташуткульской.

Период вегетации озимой пшеницы значительно короче, чем у сахарной свеклы. Ее уборка приходится на самый жаркий месяц года — июль. В связи с этим максимальные значения испарения (6—12 мм/сут) приходятся на май—июнь, т. е. на период активной вегетации озимой пшеницы (выход в трубку — цветение).

В апреле, в период возобновления вегетации и кущения, испарение вследствие ограниченных еще тепловых ресурсов невелико (3—6 мм/сут).

Начиная с фазы восковой спелости испарение резко уменьшается и в июле—августе составляет всего 1—5 мм/сут.

В целом в течение вегетационного периода наибольшие значения испарения наблюдались по лизиметрам с уровнем грунтовых вод 1,0 м. С увеличением мощности зоны аэрации водопотребление культур снижается, хотя эффект уменьшения не всегда четко проявляется, видимо, из-за особенностей условий развития растений в лизиметрах.

Ход подпитывания из грунтовых вод K в основном следует режиму испарения. С увеличением мощности зоны аэрации его значение уменьшается. Если при глубине залегания грунтовых вод 1,0 м доля подпитки составляет около половины значения испарения, то при мощности зоны аэрации 2,5 м эта доля падает до 1/4 и меньше.

Фильтрация на поле наблюдается, как правило, в период поливов и независимо от мощности зоны аэрации в лизиметрах может доходить до 70—80 % поливной нормы.

К у к у р у з а. Режим испарения и вертикального влагообмена на кукурузном поле близок к режиму этих характеристик на полях, занятых сахарной свеклой. Об этом свидетельствуют материалы лизиметрических наблюдений, проведенных экспедицией на Георгиевской (1972 г.) и Ат-Башинской (1973 г.) оросительных системах. Максимум испарения приходится на июль и август. При этом его суточные суммы составляют 10—15 мм/сут. Весной и осенью испарение мало, как в связи со слабой транспирацией растений, так и малыми теплоэнергетическими ресурсами.

Заметных значений транспирация достигает с конца мая по сентябрь и составляет в среднем около 60—80 % суммарного испарения. Ход подпитывания для кукурузы подобен тому, что наблюдается на озимой пшенице.

Режим инфильтрации определяется режимом полива. В декады с поливами объем воды, просочившейся в грунтовые воды, доходит до 70—80 % величины водоподачи.

С е я н ы е т р а в ы. Соответствующие наблюдения проводились на регулярно орошаемых полях с люцерной в пределах оросительной системы ЗБЧК (1974, 1975 гг.), Ат-Башинской (1975 г.) и Георгиевской (1974 г.) оросительных систем.

В рассматриваемом районе практикуется выращивание зерновых в смеси с травами. Поэтому в 1974 (ЗБЧК) и 1975 гг. (Ат-Башинская оросительная система) наблюдения проводились на люцерновых полях с подсевом ячменя. Первый укос производился после созревания ячменя, последующие — по мере отрастания люцерны.

Наблюдения проводились с помощью взвешиваемых лизиметров ГР-80, ГПИ и ГПИЛ с уровнями грунтовых вод 0,5, 1,0, 1,5, 2,0 и 2,5 м. Результаты показали, что, несмотря на наличие укосов, режим испарения имеет четко выраженный сезонный ход с максимумом в июне—августе, т. е. в наиболее теплый период года. В мае и сентябре испарение существенно меньше. Имеется некоторая тенденция к уменьшению испарения и в периоды после укосов.

Максимальные расходы грунтовых вод в зону аэрации (до 80 % суммарного испарения) при глубине их залегания около 0,5 м наблюдались в течение всего периода вегетации. С увеличением мощности зоны аэрации подпитывание уменьшается, достигая при глубине грунтовых вод 2,5 м в начале вегетации 0,2—0,3, а в конце — 0,6—0,8 от подпитки в лизиметрах с уровнем грунтовых вод 0,5 м.

Фильтрация в грунтовые воды в период наблюдений была незначительной (не более 70 мм за сезон) и происходила, как правило, в период поливов. В лизиметрах глубиной 2—2,5 м максимальная сумма фильтрации составила около 35 мм за период апрель—сентябрь.

Испарение с богарной территории в бассейне р. Чу. Наблюдения за испарением воды проводились в районе Георгиевской оросительной системы в 1975 г. В летние месяцы испарение с естественного разнотравья не превосходит 4,0 мм/сут. Интересно отметить, что оптимальные условия для развития растений сложились в лизиметре с уровнем грунтовых вод 1,5 м. Это, видимо, объясняется тем, что естественная растительность в данной засушливой зоне имеет глубокую корневую систему, которая в лизиметре с уровнем грунтовых вод 0,5 м оказалась затопленной. Это привело к угнетению растений и снижению испарения. В лизиметрах с уровнем грунтовых вод 2 и 2,5 м условия подтока этих вод оказались более затрудненными, чем в лизиметре с уровнем грунтовых вод 1,5 м.

Испарение в долине р. Талас. В период работы экспедиции в долине р. Талас проводились наблюдения за испарением с помощью испарителей ГГИ-500×100 и ГПИ. Испарение с богарной территории (дикорастущее разнотравье) существенно меньше, чем с полей, занятых эспарцетом. Если весной испарение с эспарцета только в два раза превышает испарение с богары, то

летом (июнь—август) это превышение доходит до 3—5 раз. Осенью различия в испарении сглаживаются.

Сезонный ход испарения четко выражен с максимумом для эскапцета в июле, а для богары в мае, когда на фоне достаточно высоких теплоэнергетических ресурсов условия естественного увлажнения наиболее благоприятны. Позднее, примерно до конца августа, испарение с богары ограничивается влагозапасами.

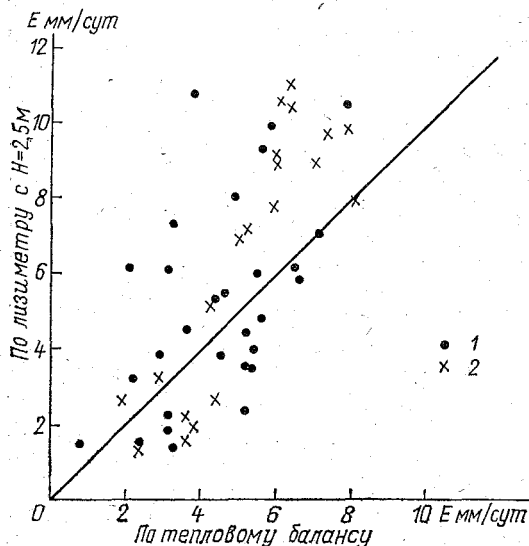


Рис. 4.8. Зависимость значений испарения, определенных методами теплового баланса и лизиметрическим.

1 — люцерна, 2 — сахарная свекла.

Максимум испарения с озимой пшеницы наблюдается в июне, когда растения находятся в наиболее активных фазах развития. В целом суммарное испарение и его режим в долине р. Талас близки к условиям в бассейне р. Чу.

Сравнение значений испарения, определенных разными методами. Оно производилось на полях, занятых сахарной свеклой и люцерной в пределах оросительной системы ЗБЧК. В 1971—1975 гг. были организованы параллельные наблюдения за испарением по лизиметрам и тепловому балансу (рис. 4.8). Из рис. 4.8 видно, что при значениях испарения более 6 мм/сут в лизиметрах с глубиной залегания грунтовых вод 2,5 м (что примерно соответствует условиям поля) испаряется влаги больше, чем по данным теплового баланса, в среднем на 30 %. При испарении менее 4 мм/сут, наоборот, данные теплового баланса дают несколько большие значения испарения, чем в лизиметрах (тоже около 30 %).

Анализ экспериментального материала и теории обоих методов показывает, что причин такого расхождения показаний может быть несколько.

Во-первых, известно, что случайная погрешность определения декадных значений испарения методом теплового баланса вслед-

стве низкой точности измерения градиентов метеоэлементов составляет около 30 %. Ошибка определения испарения по лизиметрам за счет случайности выбора монолита и условий развития в нем растений также в среднем составляет около 30 %. Таким образом, средние расхождения в показаниях могут составлять $\sqrt{2} \sigma_{\text{и}}$, где $\sigma_{\text{и}}$ — ошибка измерения испарения, т. е. около 45 % для его декадных значений [12].

Во-вторых, условия установки и эксплуатации лизиметров таковы, что между растениями в приборах и на окружающей территории имеется воздушный зазор. В результате при высокой температуре воздуха происходит дополнительный горизонтальный тепло- и влагообмен боковой поверхности растительного покрова в лизиметре с окружающей воздушной массой, что приводит к возрастанию испарения в лизиметрах. При похолодании, наоборот, показания лизиметров будут занижены.

В-третьих, корпус лизиметра сделан из металла с высокой теплопроводностью, из-за чего происходит нарушение термического режима монолита и в летний период показания лизиметров могут оказаться завышенными. При выхолаживании территории, наоборот, в лизиметрах испарение несколько занижается.

В-четвертых, метод теплового баланса в варианте, рекомендуемом Руководством [75], не учитывает влияние адвекции. Поэтому на орошаемых землях теплобалансовые наблюдения могут давать заниженные результаты.

Вполне вероятно, что имеющиеся систематические отклонения в результатах, получаемых по обоим методам, являются следствием накопления всех указанных причин.

5. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ СТОКА С ОРОШАЕМЫХ ЗЕМЕЛЬ, ВЛАЖНОСТИ ПОЧВ И ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ВОД

5.1. Сток оросительных и коллекторно-дренажных вод с экспериментальных участков и полей

Для изучения притока и оттока оросительных и коллекторно-дренажных вод в пределах исследуемых оросительных систем на экспериментальных воднобалансовых участках и сельскохозяйственных полях была организована гидрометрическая сеть (табл. 5.1).

Размещение постов производилось с таким расчетом, чтобы можно было по полученным данным составить баланс поверхностных вод участка оросительной системы или орошаемого поля.

Методика расчета стока по рекам, каналам, коллекторам и дренам зависела от гидравлического режима потока и полноты наблюдений за уровнем и расходами воды. В большинстве случаев сток подсчитывался по зависимостям расходов воды от ее уровня, производился учет деформаций русла, условий зарастания и подпоров от гидротехнических сооружений, перемычек. В некоторых случаях сток подсчитывался по интерполяции между измеренными расходами воды, при этом измерения проводились учащенно для обеспечения требуемой точности гидрологических расчетов.

Снижение качества материалов происходило при пропусках в наблюдениях за уровнем воды, вызванных остановками самописцев по техническим причинам или намеренного выведения приборов из строя посторонними лицами. В таких случаях сток приходилось восстанавливать по графикам связи, по интерполяции, принимать по данным рядом расположенных постов республиканских Минводхозов. Ошибка расчета стока по постам экспедиционной сети составляет в среднем 4—5 %.

5.1.1. Гидрометрические балансы экспериментальных участков в пределах оросительных систем

В 1971 г. исследования по учету притока и оттока поверхностных вод велись на небольших по площади экспериментальных участках. В последующие годы (1972—1975 гг.) территории участков (контуров) были увеличены с целью достижения большей репрезентативности получаемых результатов. Поэтому основное внимание уделено анализу материалов наблюдений за 1972—1975 гг.

Таблица 5.1

Число действовавших постов гидрометрической сети на экспериментальных полях и контурах в пределах оросительных систем

Год	Число постов			Примечание
	на контурах	на полях	всего	

Бассейн р. Чу

Оросительная система ЗБЧК

1971	6	6	12	На экспериментальных полях временные гидростворы То же
1972	12	8	20	
1973	7	5	12	
1974	7	3	10	
1975	4	—	4	

Ат-Башинская оросительная система

1971	13	11	24
1972	7	4	11
1973	5	4	9
1974	5	4	9
1975	8	4	12

Георгиевская оросительная система

1971	11	7	18	На экспериментальных полях временные гидростворы То же „
1972	13	11	24	
1973	13	6	19	
1974	14	4	18	
1975	10	—	10	

Ташуткульская оросительная система

1972	5	2	7
1973	6	1	7
1974	6	1	7
1975	5	1	6

Бассейн р. Талас

Оросительная система междуречья Урмарал-Кумыштаг

1971	3	6	9
1972	11	6	17
1973	6	8	14
1974	6	8	14
1975	5	6	11

Исследования по оценке притока и оттока поверхностных вод на экспериментальных участках проводились на четырех оросительных системах Чуйской долины и одной — в Таласской долине.

В пределах самой крупной в Чуйской долине оросительной системы ЗБЧК экспериментальный воднобалансовый участок был расположен в междуречье Сухулука и Джаламыша. Участок оконтурен с юга каналом ЗБЧК, с востока коллектором К-12, с севера Ат-Башинским магистральным каналом, с запада — руслом р. Сухулук (рис. 5.1).

Роль региональной дрены выполняет р. Сухулук. Русло имеет глубокий врез (10—15 м), пойма заливается паводковыми водами. Режим стока р. Сухулук нарушен водохранилищем сезонного регулирования и двумя Милицейскими прудами, созданными при помощи земляных дамб, перегораживающих русло.

Подача воды на контур производилась по семи распределителям, отходящим от ЗБЧК, а также по каналам Совхозному и Подпитывающему. Небольшая часть воды поступала по трубам, проложенным под каналом ЗБЧК, для пропуска излишков воды с предгорной зоны. В пределах экспериментального участка имелось несколько бассейнов суточного регулирования для водоподачи на сельскохозяйственные угодья. Отток поверхностных вод за пределы контура осуществлялся по р. Сухулук и по коллекторной сети, собирающей излишки оросительных вод и отводящей их за пределы участка. Коллекторы пересекают северную границу контура, два из них впадают в Ат-Башинский магистральный канал (коллекторы К-13 и К-14), один — в лог Шорго (коллектор К-15-1') и два — в р. Сухулук (коллекторы К-16 и К-17). Сток воды коллекторов зарегулирован прудами, расположенными в понижениях рельефа и задерживающими воды весеннего снеготаяния. Однако в отдельные периоды он подвержен резким колебаниям. Происхождение последних обусловлено либо водозаборами из коллекторов, либо выпадением обильных осадков, либо влиянием поверхностных сбросов¹ с орошаемых земель. Кроме того, в осеннее время наблюдаются значительные повышения стока за счет пусков воды из прудов. Как правило, повышенная водность в коллекторах приходится на весеннее и осеннее время, что частично обусловлено внутригодовым ходом осадков в долинных районах Киргизии (табл. 5.2). В летний засушливый период расходы воды понижаются, но пересыхания коллекторов не наблюдается, так как их водосборы частично расположены на орошаемых землях и сток поддерживается за счет возвратных вод. По режиму коллектор К-14 отличается от других повышенным стоком в летний период из-за более значительного влияния поверхностных сбросов оросительных вод, на что указывает высокая мутность воды и частые пики на гидрографах в июне и июле.

¹ Под поверхностными сбросами понимается сток излишков оросительных вод с поливных земель по бороздам, ручейковой микросети, начальным звеньям коллекторно-дренажной сети.

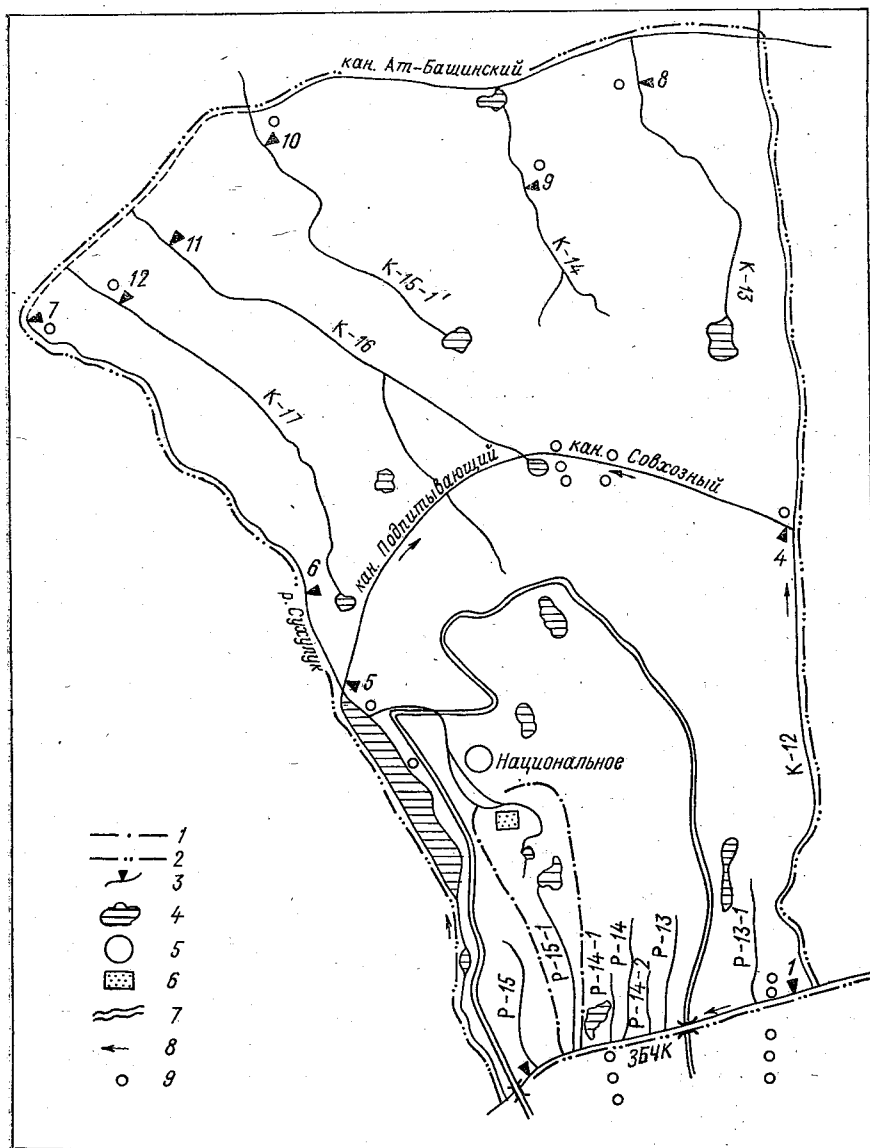


Рис. 5.1. Схема расположения пунктов наблюдений на воднобалансовом участке в системе ЗБК.

1 — граница участка в 1971 г., 2 — граница участка в 1972—1975 гг., 3 — местоположение гидроствора на водотоке с указанием его номера, 4 — озеро, пруд, водохранилище, 5 — населенный пункт, 6 — экспериментальное поле, 7 — дорога, 8 — направление течения воды, 9 — наблюдательная гидрогеологическая скважина ГГИ.

Таблица 5.2

Средние многолетние месячные и годовые суммы осадков, мм

Гидромет- станция	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Сумма за год
Беловодская	22	28	53	74	61	41	20	13	16	38	38	27	431
Чуйская	23	21	41	47	45	31	15	11	12	35	38	27	346

Поскольку сток коллекторных вод формируется под действием антропогенных и естественных факторов, было произведено расчленение гидрографов стока с целью разделения его на подземную и поверхностную составляющие. Приблизительно принято, что подземное питание сформировано возвратными водами, так как естественные водотоки в аналогичных природных условиях в летнее время пересыхают. Весной и в осенне-зимний период грунтовый поток воды формируется как за счет ирригационного ее стока с орошаемых земель, так и за счет выпадающих осадков.

В табл. 5.3 приведены результаты приближенного расчленения стока коллекторных вод на подземную и поверхностную составляющие по данным за 1973—1974 гг., когда наблюдения производились круглогодично.

Таблица 5.3

Доля подземного питания в годовом стоке коллекторных вод

Коллектор	1973 г.			1974 г.		
	$Q_{\text{ср. год}}$	$Q_{\text{подз}}$	$\frac{Q_{\text{подз}}}{Q_{\text{ср. год}}} \%$	$Q_{\text{ср. год}}$	$Q_{\text{подз}}$	$\frac{Q_{\text{подз}}}{Q_{\text{ср. год}}} \%$
K-13	0,19	0,10	53	0,10	0,05	50
K-14	0,20	0,10	50	0,16	0,08	50
K-16	0,30 *	0,15	50	0,27	0,22	47
K-17	0,27	0,10	38	0,18	0,08	45

* Средний годовой расход воды рассчитан без учета катастрофического паводка весеннего половодья.

Подземное питание, или доля возвратных вод в коллекторном стоке, составила в среднем 48 %.

Подача воды на орошаемые земли экспериментального контура в оросительной системе ЗБЧК за 4 года составила в среднем 90 млн м³, из которых 37—59 млн м³ воды сбрасывалось поверхностным путем по коллекторно-дренажной сети (табл. 5.4), т. е. около 50 %. В 1973 г. объем достиг 59 млн м³ за счет прохождения катастрофического паводка по коллекторам и р. Сухулук

Таблица 5.4

Гидрометрические балансы экспериментального участка в оросительной системе ЗБЧК

Год	Период	Площадь орошаемых земель, $F_{ор}$ тыс. га	Приток поверхностных вод $W_{п}$ м³/с					
			ЗБЧК	Совхозный канал	Подпитывающий канал	водопропускники под верхнюю границу контура (под ЗБЧК)	всего	
							м³/с	млн. м³
1972	Май—декабрь	14,7	1,90	1,37	0,95	(0,10)	4,32	90,7
1973	Январь—декабрь	14,7	1,33	0,83	0,64	0,14	2,94	92,6
1974	”	14,0	1,10	0,84	0,63	0,13	2,70	85,0
1975	Январь—октябрь	13,6	1,67	(1,00)	0,63	0,20	3,50	91,9

Год	Период	Площадь орошаемых земель, $F_{ор}$ тыс. га	Поверхностный отток W_o м³/с								Разность $W_{п} - W_o$		
			коллектор					р. Сукулук	всего				
			К-13	К-14	К-15-1	К-16	К-17		м³/с	млн. м³	м³/с	млн. м³	мм.
1972	Май—декабрь	14,7	0,16	0,23	0,13	0,34	0,25	0,69	1,80	37,8	2,52	52,9	360
1973	Январь—декабрь	14,7	0,21	0,20	0,23	0,32	0,26	0,65	1,87	58,9	1,07	33,7	229
1974	”	14,0	0,10	0,16	0,078	0,27	0,18	0,66	1,45	45,7	1,25	39,3	281
1975	Январь—октябрь	13,6	0,033	0,14	0,095	0,26	0,16	0,82	1,51	39,6	1,99	52,3	385

в феврале при выпадении обильных ливневых осадков в период интенсивного весеннего снеготаяния. Паводок сформировался внутри контура в долинных районах, вследствие чего он не отразился на притоке поверхностных вод в пределы контура. Ориентируясь на значение оттока в другие годы, можно предположить, что объем вод паводка 1973 г. с площади контура составил около 15—20 млн м³.

Отток воды с контура по р. Сухулук получен по разности значений стока, фиксируемого двумя постами, один из которых расположен у верхней границы контура, а другой — у нижней. С левого берега р. Сухулук приточности фактически нет.

В *Ат-Башинской оросительной системе* водоподача на массив осуществлялась по крупным распределителям Р-8, Р-9, Р-10, Р-11 и ряду водовыпусков (рис. 5.2). Учет подаваемой воды на орошение производился по разности значений расходов Ат-Башинского магистрального канала в створе выше отвода Р-8 и у конечного сброса в лог Шорго. На данном участке магистральный канал подпитывается стоком двух коллекторов оросительной системы ЗБЧК (К-13 и К-14).

Отток поверхностных вод с контура происходил по коллекторам К-2 и Камышановскому, а также по концевому сбросу — быстроотку в лог Шорго. Из лога Шорго в летнее время вся вода разбирается на орошение. Коллектор К-2 протекает по бывшему руслу р. Джеламыш, имеет притоки — коллекторы К-1, К-3 и К-4. В указанные коллекторы сток собирается системой дрен.

За 1972—1975 гг. (табл. 5.5) объемы воды, поступающей на орошаемые земли экспериментального воднобалансового участка, составили 100—180 млн м³, а отток исчислялся 30—80 млн м³. Наибольший отток так же, как и в контуре ЗБЧК, приходится на 1973 г. Отличие в том, что катастрофический паводок отразился и на притоке поверхностных вод в контур, так как он формировался в пределах расположенной выше по уклону местности — в оросительной системе ЗБЧК. По данным Минводхоза Киргизской ССР составлены гидрометрические балансы всей Ат-Башинской оросительной системы за 1972—1974 гг. В подачу включены кроме водозабора в голове магистрального канала, сток воды по водотокам, подпитывающим канал. Отток поверхностных вод с оросительной системы формируется в виде стока многочисленных коллекторов (Чумышский, ИТК, Луговской, К-1-2, Лубзаводской, К-2, Камышановский, К-3), сброса воды ГЭС, а также катастрофического и конечного сброса воды с канала. Сведения о притоке и оттоке поверхностных вод на территории Ат-Башинской оросительной системы помещены в табл. 5.6. Разность притока и оттока поверхностных вод в целом невелика (3—4 м³/с), что дает основание предположить завышение значений оттока. Возможно, что часть сбросных вод формируется на территории, расположенной гипсометрически выше Ат-Башинского магистрального канала, т. е. в зоне действия ЗБЧК, где эти воды идут подземным путем, а на территории Ат-Башинской оросительной системы

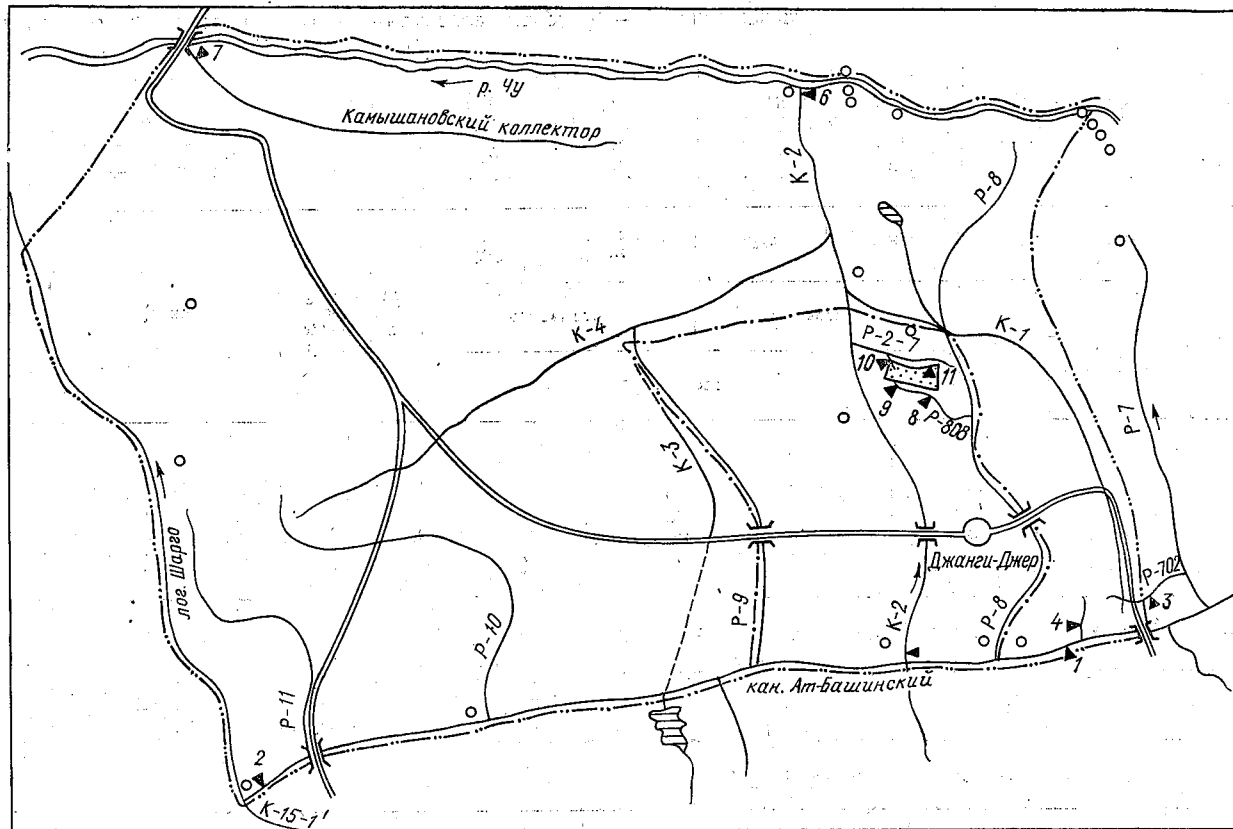


Рис. 5.2. Схема расположения пунктов наблюдений на воднобалансовом участке Ат-Башинской оросительной системы.

Усл. обозначения см. на рис. 5.1.

Таблица 5.5

Гидрометрические балансы экспериментального участка на Ат-Башинской оросительной системе

Год	Период	Площадь орошаемых земель $F_{ор}$ тыс. га	Приток поверхностных вод $W_{п}$ м³/с					
			Ат-Башин-ский магист-ральный кан-нал ($Q_{в} - Q_{п}$)	коллектор			всего	
				К-2 (вход)	К-13	К-14	м³/с	млн м³
1972	Май—декабрь	13,1	3,85	0,76	0,16	0,22	4,99	105
1973	Январь—декабрь	15,1	15,1	1,32	0,23	0,20	5,69	179
1974	”	13,6	13,6	0,90	0,10	0,16	4,49	141
1975	Январь—октябрь	12,9	12,9	0,61	0,033	0,14	4,76	125

Год	Период	Площадь орошаемых земель $F_{ор}$ тыс га	Поверхностный отток $W_{о}$ м³/с				Разность $W_{п} - W_{о}$		
			коллектор		всего				
			К-2 (выход)	Камыша-новский	м³/с	млн м³	м³/с	млн м³	мм
1972	Май—декабрь	13,1	1,07	0,83	1,90	39,9	3,09	65,1	497
1973	Январь—декабрь	15,1	1,79	0,81	2,60	81,9	3,09	97,1	643
1974	”	13,6	0,90	0,68	1,58	49,8	2,91	91,2	671
1975	Январь—октябрь	12,9	0,59	0,59	1,18	31,0	3,58	94,0	729

Примечание. Здесь и далее $Q_{в}$ — входной створ, $Q_{п}$ — нижний створ.

Таблица 5.6

Гидрометрические балансы Ат-Башинской оросительной системы

Год	Площадь орошаемых земель $F_{ор}$, га	Приток поверхностных вод, $W_{п}$ м³/с						
		Ат-Башинский магистральный канал ($Q_{св} - Q_{н}$)	коллектор			общее подпитывание	всего	
			К-2 (вход)	К-13	К-14		м³/с	млн м³
1972	24 020	8,39	0,76	0,11	0,15	2,69	12,1	381
1973	26 550	10,3	1,22	0,23	0,20	2,98	14,9	469
1974	23 873	8,82	1,02	0,10	0,16	1,88	12,0	378

Год	Площадь орошаемых земель $F_{ор}$, га	Поверхностный отток, $W_{о}$ м³/с										Разность $W_{п} - W_{о}$				
		Ат-Башинский сброс	коллектор								Лот Шарго	всего		м³/с	млн м³	мм
			Чумышский	ИТК	Луговской	К-1-2	Лубзаводской	К-2 (выход)	Камыша-новский	К-3		м³/с	млн м³			
1972	24 020	5,69	0,11	0,028	0,27	0,22	0,28	1,07	0,83	0,026	(0,50)	9,02	284	3,08	97,0	404
1973	26 550	7,33	0,11	0,034	0,41	0,33	0,18	1,79	0,81	0,020	(0,50)	11,5	362	3,40	107	403
1974	23 873	5,30	0,10	0,031	0,36	0,30	0,13	0,90	0,68	0,014	(0,25)	8,06	254	3,94	124	519

выклиниваются в коллекторы. Решение вопроса о разделении значений сбросов собственно Ат-Башинской оросительной системы и оросительной системы ЗБЧК возможно лишь при определении количественных характеристик потока грунтовых вод.

Оросительная система Георгиевского магистрального канала (левая ветка). Орошаемый массив (контур) площадью 21,2 тыс. га находился в центральной части системы на правом берегу р. Чу.

Воднобалансовый участок (рис. 5.3) в пределах Георгиевской оросительной системы располагался в междуречье Калгата-Кокпатас. В пределах контура проходит коллектор К-2, из которого берет начало канал Пономаревский. При выходе с контура коллектор К-2 проходит дюкером под р. Кокпатас. На протяжении 7—8 км он идет параллельно р. Чу на расстоянии 1—1,5 км от ее русла. В пойме р. Чу имеются небольшие озера, густые заросли тростника.

Подача воды на контур осуществлялась по распределителям от Георгиевского магистрального канала и по каналу Успенскому. Забор воды в распределители находился суммарно по разнице данных о стоке двух гидрометрических постов на канале, расположенных у границ участка. На протяжении расчетного участка в Георгиевский магистральный канал впадают два небольших водотока — Алтайгыр и Джаныл-Сай, сток воды которых учитывался периодическими измерениями. Режим их характеризуется длительными периодами пересыхания.

Отток воды с контура в р. Чу происходил по дренам в пойме, по ее сбросам с каналов Успенского и Пономаревского, по сбросу воды с коллектора К-2, часть воды уходила с контура по коллектору К-2 через дюкер под р. Кокпатас. Сток коллектора К-2 искажен водозабором на орошение каналом (Пономаревский и др.).

Особенностью балансов поверхностных вод экспериментального контура Георгиевской оросительной системы (табл. 5.7) является примерное равенство притока и оттока воды. В 1973 и 1974 гг. отток даже превысил приток. Предположительно это объясняется тем, что в пойменный коллектор К-2 осуществляется подземный приток воды из русла р. Чу. Возможно также, что коллектор подпитывается грунтовыми водами с возвышенности Кендыктас, обрамляющей контур с севера. По причине отсутствия конкретных данных о характере питания грунтового потока экспериментальный контур нерепрезентативен в отношении анализа водопотребления и формирования возвратных вод.

От старой Тасоткельской плотины на р. Чу отходят два магистральных канала — Правобережный и Левобережный, подающие воду на *Ташуткульскую оросительную систему*. В качестве воднобалансового участка были выбраны орошаемые земли между Правобережным и отходящим от него Дала-кайнарским магистральными каналами (рис. 5.4). Участок имеет форму треугольника, границами которого являются русло р. Чу, канал Дала-кайнарский, а на северо-западе граница проведена условно по прямой

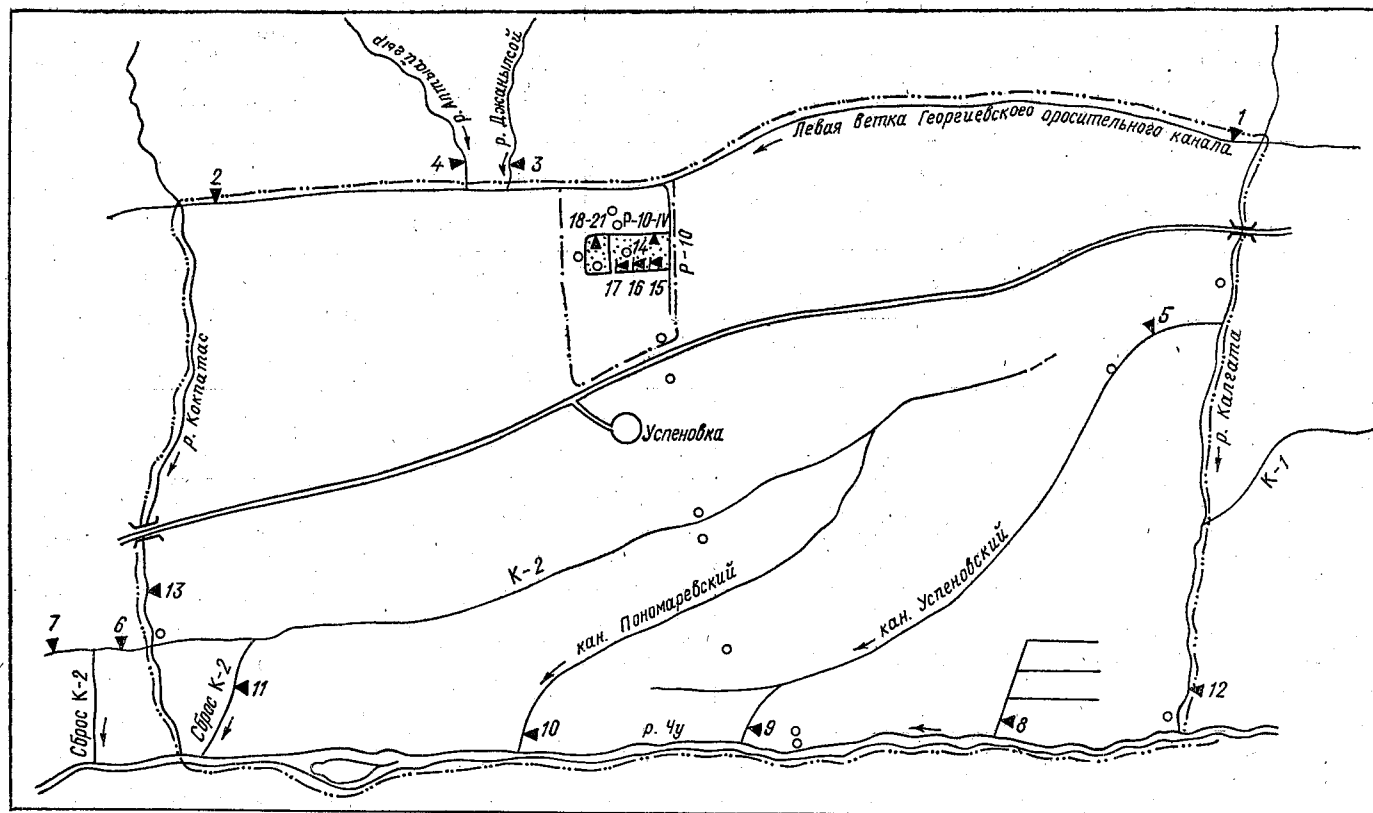


Рис. 5.3. Схема расположения пунктов наблюдений на воднобалансовом участке Георгиевской оросительной системы.

Усл. обозначения см. на рис. 5.1.

Таблица 5.7

Гидрометрические балансы экспериментального участка на Георгиевской оросительной системе. $F_{op}=8418$ га

Год	Период	Приток поверхностных вод W_{Π} м³/с					
		канал		Алтайагыр	Джаныл-Сай	всего	
		Георгиевский	Успеновский			м³/с	млн м³
1972	Июнь—декабрь	2,88	0,42	0,01	0,005	3,32	61,1
1973	Январь—декабрь	2,86	0,58	0,15	0,11	3,70	117
1974	”	2,97	0,65	0,010	0	3,63	114
1975	Январь—сентябрь	3,18	1,08	0,002	0	4,26	101

Год	Период	Поверхностный отток W_o м³/с						Разность $W_{\Pi} - W_o$		
		дрены 1—4	сброс			всего				
			Успено- вского канала	коллек- тора К-2	Понома- ревского канала	м³/с	млн м³	м³/с	млн м³	мм
1972	Июнь—декабрь	0,052	0,026	2,86	0,035	2,97	54,6	0,35	6,50	77
1973	Январь—декабрь	0,15	0,024	3,70	0,033	3,91	123	—0,21	—6,00	—71
1974	”	0,19	0,003	3,74	0,085	4,02	127	—0,39	—13,0	—154
1975	Январь—сентябрь	0,14	0	3,92	0	4,06	95,8	0,20	5,20	62

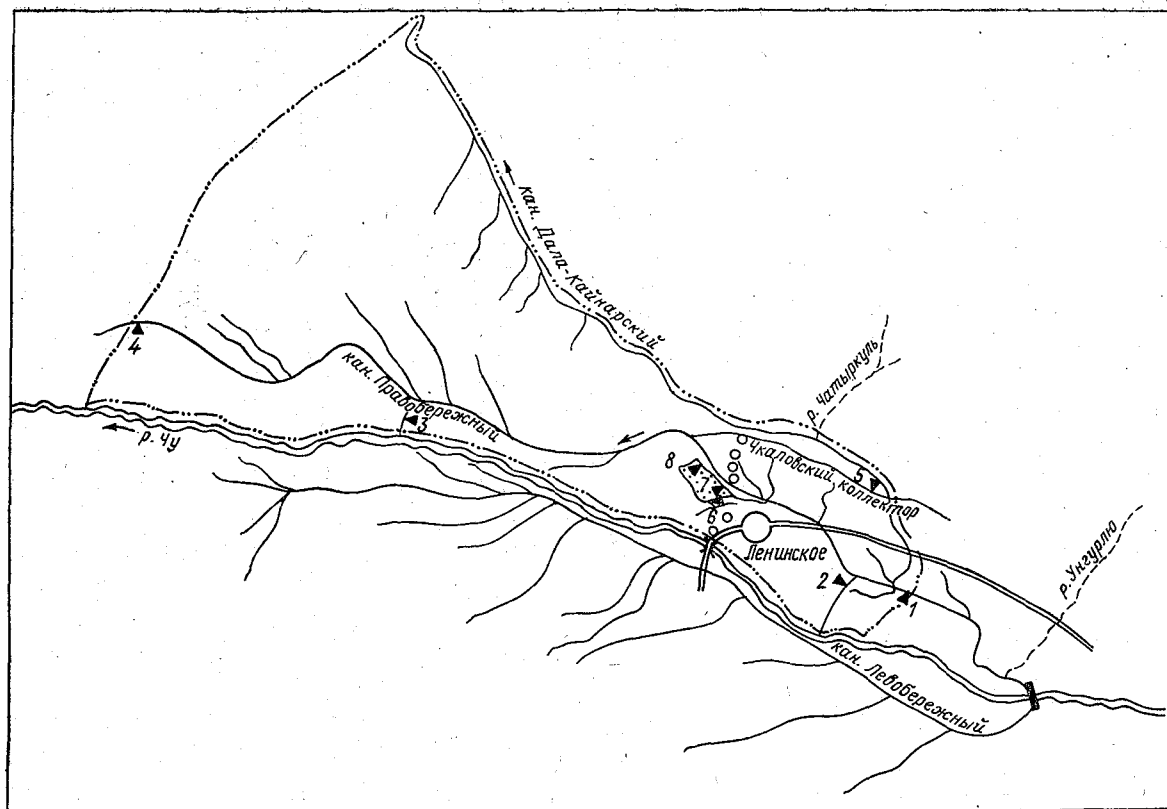


Рис. 5.4. Схема расположения пунктов наблюдений на воднобалансовом участке Ташуткульской оросительной системы.

Усл. обозначения см. на рис. 5.1.

линии, соединяющей окончания Далакайнарского канала и замыкающий створ контура на Правобережном магистральном канале.

На Правобережном магистральном канале измерение поступления воды в пределы экспериментального участка производилось в створе, расположенном в 0,5 км выше выхода из него Далакайнарского канала. По территории участка протекает Чкаловский коллектор, доставляющий в пределы контура небольшое количество воды.

Отток поверхностных вод происходил по Правобережному магистральному каналу на границе контура у пикета 416 и по двум катастрофическим сбросам воды с него (у пикетов 89 и 298). В период производства экспедиционных исследований сбросов воды из канала почти не наблюдалось. С орошаемых полей вода непосредственно в р. Чу не поступала.

Границу контура, проходящую по Далакайнарскому каналу, пересекают многочисленные ливнепропуски для талых и дождевых вод. Поэтому дополнительно на изучаемую территорию поступает сток с прилегающих отрогов Чу-Илийских гор. По причине отсутствия учета стока по ливнепропускам данные о количестве поданной на контур воды следует считать несколько заниженными.

Небольшой отток воды с контура наблюдался в оз. Ак-Тюбе после скопления дождевых или талых вод в понижениях на площади, орошаемой из Далакайнарского канала. Сведения о притоке и оттоке поверхностных вод экспериментального участка Ташуткульской оросительной системы приведены в табл. 5.8. Приток колеблется в пределах 160—180 млн м³, отток составляет примерно 40—50 млн м³. Удельная подача воды на орошаемые земли данного контура весьма значительная — в среднем 10—14 тыс. м³/га, что намного выше, чем в других оросительных системах. Результаты расчета гидрометрических балансов свидетельствуют о том, что неучтенный приток ливневых и талых вод не существенен, а разницу притока и оттока поверхностных вод можно принять за оросительные нормы брутто.

Подача воды на контур *оросительной системы в междуречье Урмарал—Кумыштаг* (бассейн р. Талас) осуществлялась по четырем каналам, два из которых (Джалактиль и Кайназар-1) отходят от р. Урмарал, а два других (Большой и Шопак) от р. Кумыштаг (рис. 5.5). Транзитом через контур проходит Таласский подпитывающий канал (ТПК), имеется четыре бассейна суточного регулирования стока (БСР). Вблизи ТПК наблюдаются многочисленные выходы родниковых вод. Небольшие ручейки на пути следования к р. Талас сливаются вместе и образуют крупный родник-карасу Минбулак. В него же попадают и сбросные воды с орошаемых полей на контуре, обуславливая повышенную мутность воды в роднике-карасу Минбулак.

На приток поверхностных вод (табл. 5.9) заметное влияние оказывает водность года. Так, 1974 и 1975 гг. были маловодными и значения притока воды в эти годы наименьшие (48—53 млн. м³).

Таблица 5.8

Гидрометрические балансы экспериментального участка на Ташуткульской оросительной системе. $F_{ор}=10\ 050$ га

Год	Период	Приток поверхностных вод $W_{п}$ м³/с				Поверхностный отток $W_{о}$ м³/с						Разность $W_{п}-W_{о}$		
		Правобереж- ный канал	Чкаловский коллектор	всего		ПК-416	сброс			всего		м³/с	млн м³	мм
				м³/с	млн м³		ГЭС ПК-89	ПК-298	оз. Актю- бе	м³/с	млн м³			
1972	Май—декабрь	6,42	0,051	6,47	136	1,29	0,02	0,44	0	1,75	36,8	4,72	99,2	986
1973	Январь—декабрь	5,14	0,12	5,26	166	1,33	0,06	0,06	0	1,45	45,7	3,81	120	1190
1974	„	6,00	0,04	6,04	190	1,04	0	0,26	0,28	1,58	49,8	4,46	140	1390
1975	Январь—сентябрь	7,49	0,14	7,63	180	1,23	0	0	0,29	1,52	35,9	6,11	144	1430

Таблица 5.9

Гидрометрические балансы экспериментального участка в междуречье Урмарал-Кумыштаг (бассейн р. Талас).

 $F_{ор}=5730$ га

Год	Период	Приток поверхностных вод ($W_{п}$ м³/с) по каналам						Отток поверхност- ных вод $W_{о}$		Разность $W_{п}-W_{о}$		
		Джалпак- тыль	Кайназар-1	Больгор	Шопак	всего		карасу Минбулак		м³/с	млн м³	мм
						м³/с	млн м³	м³/с	млн м³			
1972	Апрель—декабрь	0,60	2,14	0,16	0,072	2,97	70,1	1,59	37,5	1,38	32,6	569
1973	Январь—декабрь	0,57	1,49	0,12	0,13	2,31	72,8	1,46	46,0	0,85	26,8	468
1974	„	0,44	0,92	0,061	0,092	1,51	47,7	1,38	43,5	0,13	4,20	73
1975	Январь—октябрь	0,60	1,21	(0,10)	0,10	2,01	52,8	1,21	31,8	0,80	21,0	366

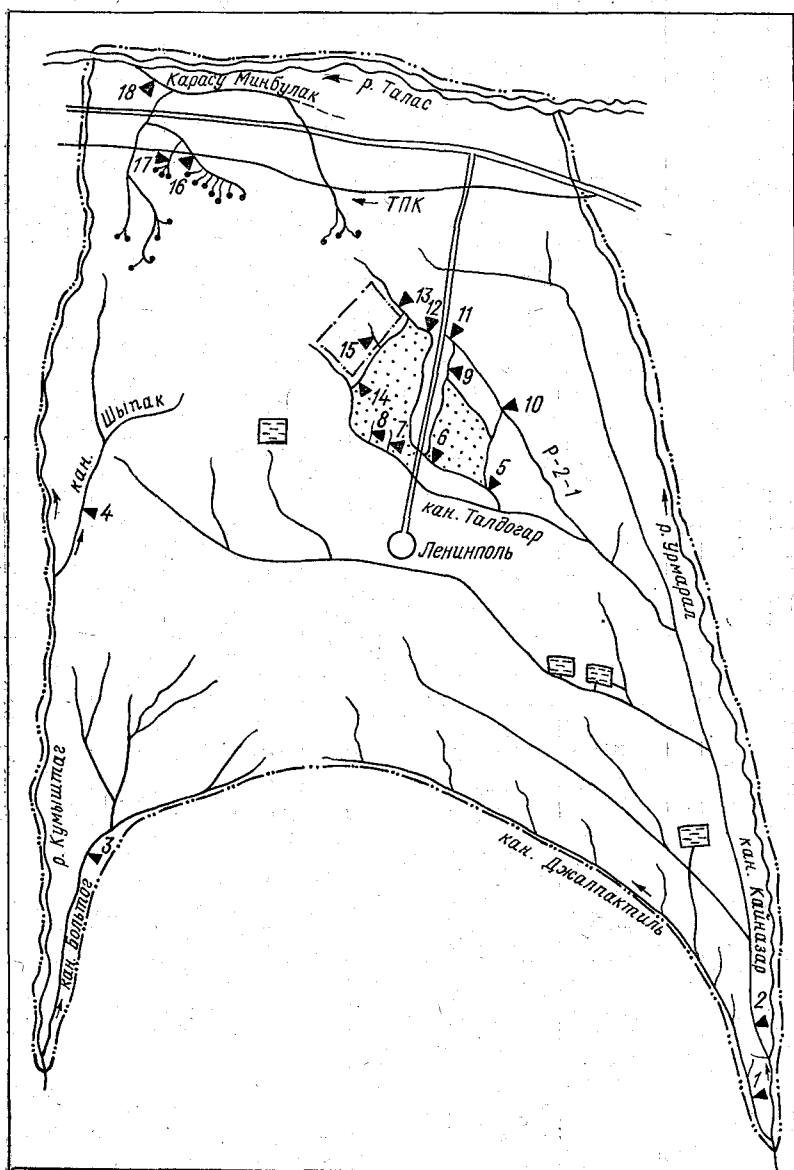


Рис. 5.5. Схема расположения пунктов наблюдения на воднобалансовом участке в междуречье Урмарал—Кумыштаг.

Усл. обозначения см. на рис. 5.1.

В более многоводные годы приток поверхностных вод составлял 70—73 млн. м³. Сток карасу Минбулак отличается большим постоянством — примерно 40—50 млн. м³ за календарный год. В данном случае имеем картину, аналогичную контуру Георгиевской оросительной системы, т. е. сброс (отток) воды в значительной степени завышен против ожидаемого. В рассматриваемой системе повышенный отток обусловлен выклиниванием в русло карасу Минбулак грунтовых вод, сформировавшихся в горной части междуречья и в зоне потерь стока р. Талас, которая расположена выше впадения карасу Минбулак.

Наибольшая разность притока и оттока поверхностных вод в 1972 г. обусловлена катастрофическим ливневым паводком, прошедшим 2—3/VI после ливня по всей центральной части Таласской долины.

В маловодном 1974 г. наблюдалось примерное равенство оттока и притока поверхностных вод, разница их составила всего 0,13 м³/с. Расход воды карасу Минбулак снизился незначительно, что, по-видимому, обусловлено регулирующим действием подземной емкости, вмещающей значительный запас грунтовых вод.

На основе изучения гидрометрических балансов экспериментальных участков можно сделать вывод, что для оценки безвозвратного водопотребления возделываемых сельскохозяйственных культур нельзя ограничиться только рассмотрением притока и оттока поверхностных вод без учета расхода грунтовых вод и их взаимодействия с поверхностными.

Как показали экспериментальные исследования, в отток поверхностных вод с контуров входит естественная составляющая стока коллекторных вод, сформированных талыми и дождевыми водами непосредственно в пределах контура. Доля их достигает 50 %, что проиллюстрировано на примере расчлененного стока коллекторных вод оросительной системы ЗБЧК.

Нередко в оттоке поверхностных вод с контура присутствуют выклинивающиеся воды фильтрационных потерь из русел рек и естественный грунтовый поток с прилегающих территорий.

Вследствие указанных причин разность притока и оттока поверхностных вод существенно ниже реального водопотребления на всех изучаемых участках, кроме Ташуткульского.

5.1.2. Гидрометрические наблюдения на орошаемых полях

Для изучения фактического поливного режима и разработки научно обоснованных поливных и оросительных норм экспедицией ГГИ были организованы работы по количественной оценке подачи и сброса воды на сельскохозяйственных полях, занятых различными культурами.

Наиболее полный комплекс гидрометрических работ проведен на экспериментальных полях воднобалансовых участков Ат-Башинской оросительной системы, в междуречье Урмарал-Кумыштаг,

а в 1972—1973 гг. — и в оросительной системе ЗБЧК. Весьма сложная обстановка для проведения измерений подачи и сброса воды была на полях Георгиевской и Ташуткульской оросительных систем.

В оросительной системе ЗБЧК два опытных поля площадью 76 и 72,5 га находились в центральной части воднобалансового участка. Подача воды осуществлялась через водовыпуски бетонированного лотка распределителя Р-15-1, отходящего от ЗБЧК. Лоток был протарирован, самописцы обеспечивали непрерывную регистрацию уровня. Дополнительно воду на поле подавали из коллектора К-15' и из пруда у южной границы поля. Оба поля с западной стороны примыкали к лотку и располагались одно за другим. Поэтому, когда происходили сбросы излишков оросительных вод с верхнего (по уклону местности) поля, то они являлись дополнительной подачей воды для нижнего поля.

В некоторые поливы сбросы с верхнего поля осуществлялись по небольшому оврагу в р. Сухулук. С нижнего поля сбросов почти не было.

На верхнем поле в 1971—1973 гг. была посажена сахарная свекла, в 1974 г. — ячмень с подсевом люцерны и в 1975 г. — люцерна второго года.

На нижнем поле в 1971 г. были посеы пшеницы с люцерной, а затем все четыре года отрастала люцерна. Поливы проводились по бороздам и напускам.

Еще одно опытное поле ($F = 37$ га) условно отнесено к оросительной системе ЗБЧК. Оно располагалось на конусе выноса р. Сухулук, т. е. в предгорной зоне. На поле произрастали зерновые (пшеница, овес), подача воды производилась из канала Уру, сбросов не было.

Существенным отличием выбранных полей являлось то, что первые два располагались в зоне выклинивания грунтовых вод, а третье — в зоне их формирования, где уровень грунтовых вод располагался на большой глубине.

В пределах Ат-Башинской оросительной системы опытные поля находились в 8—10 км к северу от пос. Джанги-Джер. Вода подавалась на поля по арычной сети (Р-808, Р-810) от распределителя Р-8 Ат-Башинского магистрального канала. Первое, ближайшее к поселку, поле площадью около 40 га засеивалось три года подряд сахарной свеклой (1971—1973 гг.), в 1974 г. — кукурузой, в 1975 г. — ячменем с люцерной. Сбросы излишков оросительных вод отводились дренажной Д-2-7. Места сброса воды с поля в дренаж были оборудованы гидрометрическими лотками и самописцами. Еще два поля — одно с кукурузой ($F = 22$ га), другое — с ячменем и люцерной ($F = 95$ га) — располагались к северу от первого. Наблюдения на них производились лишь в 1971 г. Уровень грунтовых вод в исследуемом районе подвержен влиянию орошения (наблюдается постоянное его повышение), а в современный период грунтовые воды находятся на глубине 2—4 м от поверхности земли.

Поливы проводились дождевальной установкой, по бороздам и напуском.

На воднобалансовом контуре Георгиевской оросительной системы экспериментальные поля находились в его верхней (вблизи Георгиевского магистрального канала) и нижней частях (вблизи р. Чу). В 1971 г. оба поля были заняты сахарной свеклой, в 1972 г. выбраны другие поля с целью улучшения условий учета подачи и сброса воды. Расположение их в контуре осталось прежним (в верхней и нижней частях), что соответствует зонам транзита и выклинивания грунтовых вод. В 1972—1973 и 1975 гг. на верхнем поле ($F = 100$ га) произрастала также сахарная свекла, в 1974 г. — озимая пшеница. На нижнем поле в эти годы возделывались зерновые культуры (пшеница, ячмень).

Поливы производились напуском, по бороздам, а на восточной половине верхнего поля работала дождевальная установка.

На верхнем поле были оборудованы два гидроствора для учета подачи воды из распределителя Р-10-IV и три гидрометрических лотка для учета сбросных и транзитных (после дождевальной установки) вод. На нижнее поле подача воды осуществлялась из Пономаревского канала, сбросов не наблюдалось, излишки оросительных вод аккумулировались в нижней части поля в виде небольшой лужи.

В пределах Ташуткульской оросительной системы режим орошения изучался на полях, расположенных внутри воднобалансового контура возле с. Ленинское. Глубина грунтовых вод колебалась от 3,0 до 4,5 м. (зона региональной дрены).

В 1972 г. нормы поливов определялись на двух полях — с сахарной свеклой ($F = 30,5$ га) и с люцерной ($F = 35$ га), в период 1973—1975 гг. — только на одном поле ($F = 30,5$ га), на котором в 1973 г. была высажена вновь сахарная свекла, а в 1974—1975 гг. произрастала пшеница с подсевом люцерны. Подача воды на поля осуществлялась через гидрометрические лотки. Из-за влияния подпора расходы воды измерялись учащенно и сток подсчитывался по интерполяции. Сбросов поверхностных вод с полей не наблюдалось, излишки оросительных вод скапливались в конце поля в виде лужи, объем воды в ней определялся визуально. Поливы производились по бороздам и напуском.

В Таласской долине экспериментальные поля находились сначала у северной окраины с. Ленинполь, а затем были перенесены к восточной окраине села. Гидрометрические посты на подаче воды и ее сбросах оборудовались переносными гидрометрическими мостиками и самописцами уровня воды суточного действия. Учет сбросов был затруднен из-за слияния их с потоком, идущим транзитом по окаймляющим поле арыкам (распределителям).

Опытные поля располагались в зоне формирования грунтовых вод — на легкопроницаемых грунтах предгорного шлейфа. Глубина залегания грунтовых вод составляла около 40 м. Поливы производились напуском, круглосуточно с уменьшением водоподачи в ночное время.

Каждый год на одном поле ($F = 51$ га) произрастали многолетние травы (эспарцет), на другом — озимая пшеница ($F = 87$ га, с 1973 г. $F = 58$ га).

Обобщение результатов наблюдений за существующими поливными режимами произведено по каждой сельскохозяйственной культуре в отдельности (см. приложение I). Оросительная норма получена путем суммирования поливных норм за вегетационный период. Влагозарядковые поливы, производившиеся после уборки урожая, в оросительную норму не включались.

На полях с сахарной свеклой, основной профилирующей культурой Чуйской долины, поливы производились 4—5 раз за вегетационный период в оросительной системе ЗБЧК и 6—8 раз на остальной территории. В 1973 и 1975 гг. на поле Георгиевской оросительной системы поливы происходили почти непрерывно — разделение на сроки носит условный характер. Там же в 1973 г. в осенний период проведены влагозарядковые поливы. В других оросительных системах на опытных полях влагозарядка на сахарной свекле не производилась. Число суток с подачей воды на поля за поливной сезон колебались в широких пределах (30—100), в Георгиевской оросительной системе — до 150 (1973 г.), продолжительность одного полива — 4—30, в среднем — 8—12 суток. Начало поливного периода приходится на конец мая или июнь, окончание, как правило, — на сентябрь.

Оросительные нормы на полях, засеянных сахарной свеклой, при неглубоком залегании грунтовых вод (зоны выклинивания и региональной дрены) составляют 4000—10 000 м³/га воды, при глубоком залегании грунтовых вод — 8000—12 000 м³/га. Колебания значений оросительных норм зависят от гидрометеорологической обстановки вегетационного периода и от водности года. Водность года оценена в модульных коэффициентах, отражающих отношение водных ресурсов зоны их формирования за данный год к среднему многолетнему их значению.

Зерновые культуры (озимая пшеница, ячмень, овес) поливались 1—2 раза за период вегетации. Оросительная норма составила 3000—5000 м³/га воды. Наибольшие значения нормы (до 6000 м³/га) приурочены к легкопроницаемым почвам предгорной зоны.

В Таласской долине осенью, как правило, производились влагозарядковые поливы нормой в 5000—6000 м³/га воды.

В практике сельского хозяйства Чуйской долины к зерновым зачастую подсеваются люцерна, которая начинает интенсивно отрастать после уборки зерновых. Количество поливов на таких полях увеличивается на 2—3. Кроме того, производятся влагозарядковые поливы (Георгиевская оросительная система).

На полях, засеянных кукурузой, производится 3—4 полива за сезон, оросительная норма составляет 3500 м³/га воды.

Многолетние травы поливаются 1—3 раза в Чуйской долине, 2—4 раза в Таласской долине. Люцерна в Чуйской долине имеет оросительные нормы порядка 2500—3500 м³/га воды. При влаго-

зарядке подается еще по 1500—3000 м³/га. В Таласской долине оросительные нормы на эспарцете зафиксированы в размере 7500—8500 м³/га воды, к которым прибавляется влагозарядковый полив (1500—2500 м³/га воды). В 1974 и 1975 гг. (маловодные годы) влагозарядка поля с эспарцетом в междуречье Урмарал—Кумыштаг не производилась, а оросительные нормы составляли всего 3900—5250 м³/га воды.

Экспериментальные данные показали, что наибольшие поверхностные сбросы поливных вод (20—30 % водоподачи) происходят с полей, занятых сахарной свеклой.

В Чуйской долине с посевов зерновых, многолетних трав поверхностные сбросы поливных вод практически отсутствуют, так как поливы производятся по меньшим по сравнению с полями с сахарной свеклой нормам, перерывы между поливами значительны. В Таласской долине эти сбросы составляют 10—30 % водоподачи.

Сбросные воды нередко используются вновь на орошение путем водозабора из дрен, коллекторов или в виде непосредственной подачи излишков оросительных вод с одного поля на прилегающие к нему поля.

5.2. Определение фильтрационных потерь и выклинивания грунтовых вод в оросительной и коллекторно-дренажной сети

Постановка гидрометрических работ для определения фильтрационных потерь воды из каналов отличается большой сложностью и проводится крайне редко. Экспедицией ГГИ в 1972—1975 гг. были осуществлены серии балансовых наблюдений на участках магистральных и внутрихозяйственных каналов. Надо отметить, что в Таласской долине подобные исследования произведены впервые.

Сложность организации работ заключалась в том, что, во-первых, для проведения измерений был необходим довольно значительный по длине участок канала, на котором разность расходов воды в верхнем и нижнем створе становилась бы существенной, т. е. отличной от возможной ошибки измерений; во-вторых, на выбранном участке должно быть минимальное количество водозаборов и сбросов, учет которых производится также с определенными погрешностями, что в свою очередь влияет на достоверность количественной оценки искомых значений потерь или выклиниваний. Выпадение осадков также может влиять на результаты измерений. Экспериментальные исследования не всегда удавалось провести при соблюдении всех указанных условий.

Известно, что фильтрационные потери и дренирование находятся в зависимости от тенденции изменения уровня воды в период проведения серии измерений [33]. При повышении уровня воды в канале фильтрационный поток возрастает, а при понижении его уменьшается и может появиться даже дренирование в виде выклинивания грунтовых вод.

Для уменьшения влияния случайных ошибок расходы воды при проведении экспериментов измерялись по 2—3 раза в каждом створе. Определения фильтрационных потерь и выклиниваний (дренирования) проводились в основном на тех объектах, где экспедицией ГГИ осуществлялись систематические наблюдения, что давало возможность оценить состояние стабильности режима водотоков. Серии измерений на крупных каналах осуществлены в основном при неизменном положении уровня воды. Поэтому расчеты фильтрации воды производились без учета времени ее добегания. На небольших внутрихозяйственных каналах, где постоянные наблюдения не велись, время добегания воды принималось равным скорости пешехода в соответствии с рекомендациями М. М. Кабакова [33].

После проведенных измерений расчет фильтрационных потерь воды S производился по уравнению

$$S = Q_v - Q_n - \sum Q_{вз} + \sum Q_{всб}, \quad (5.1)$$

где Q_v и Q_n — расходы воды в верхнем и нижнем створе исследуемого участка, $\sum Q_{вз}$ — суммарный водозабор, $\sum Q_{всб}$ — суммарный сброс (приток) воды на участке.

Удельные фильтрационные потери воды $S_{уд}$, соответствующие снижению расхода воды в канале на 1 км его длины, рассчитывались по формуле

$$S_{уд} = S/L, \quad (5.2)$$

где L — длина участка, км.

Фильтрационные потери выражались также в процентах по отношению к расходу в верхнем створе

$$\sigma_f = (S/Q_v) \cdot 100. \quad (5.3)$$

Данные расчетов по формулам (5.1) — (5.3) помещены в приложение II. Результаты наблюдений на двух магистральных каналах — Ат-Башинском и Георгиевском — показали, что фильтрационные потери колеблются в широких пределах, составляя в среднем около 100 дм³/с на 1 км длины. Резкие колебания в значениях потерь даже при почти одинаковых расходах воды в верхнем створе участка обусловлены режимом работы каналов. Записи самописцев показывают значительные внутрисуточные изменения в ходе стока, интенсивность которых в отдельные периоды достигает 1,5 м³/с. Неустановившийся режим движения воды требует особой точности в определении времени ее добегания, что весьма затруднительно при наличии на участке подпорных сооружений. Трансформация стока по длине участка происходит при регулировке подпоров, что даже при постоянстве расходов воды в верхнем створе вызывало увеличение или уменьшение оттока через нижний створ из-за накопления (сработки) воды вблизи подпорного сооружения.

На магистральном Далакайнарском канале измерения фильтрации воды производилось на участке длиной 8,6 км. Сбросы воды в канал отсутствовали, имелся один незначительный водо-

выпуск. Потери воды также подвержены значительным колебаниям — 12—77 дм³(с·км), в среднем $S_{уд} \approx 25$ дм³(с·км).

В распределительных каналах первого порядка Ат-Башинской и Георгиевской оросительных систем, в Успенковском и Берликском каналах потери воды незначительны, порядка 10—20 дм³/с на 1 км длины. Руслу этих каналов давно закольматированы, проложены в суглинистых грунтах.

Значительно большее количество воды теряют хозяйственные каналы (Уру, Джантай, Джалпактиль, Кайназар, Больтог), протекающие в зоне гравийно-галечных грунтов предгорной зоны. В этих условиях обнаруживается тенденция увеличения потерь воды с ростом ее забора в каналы. Для более крупных каналов (Джантай, Кайназар) с водозабором до 2—3 км³/с значения $S_{уд}$ равны в среднем 60 дм³/(с·км) длины, а для более мелких (Уру, Джалпактиль, Больтог) с водозабором менее 1,5 км³/с значение $S_{уд}$ составляет 25—30 дм³/(с·км).

Наряду с изучением фильтрационных потерь воды на объектах оросительной сети были определены ее потери из естественного русла р. Кокпата, стекающей с Чу-Илийских гор и впадающей справа в р. Чу. Русло р. Кокпата сложено галькой, песком, валунами. Расходы воды измерялись у пересечения р. Кокпата с Георгиевским магистральным каналом (Q_B) и перед впадением в р. Чу (Q_H). Расстояние между створами составляло 8 км. Серия наблюдений проведена осенью 1973 г. Расчеты, выполненные по формулам (5.1)—(5.3), помещены в табл. 5.10. Значения фильтрационных потерь колеблются от 28 до 115 дм³/(с·км), в среднем равны 75 дм³/с на 1 км длины реки.

На левобережных притоках р. Чу не удалось осуществить инструментальных наблюдений за русловыми потерями стока в предгорной зоне из-за отведения воды из рек в каналы даже в зимнее время, т. е. вода фактически не течет по руслу в течение всего года (реки Джеламыш, Сухулук).

Таблица 5.10
Русловые потери р. Кокпата, 1973 г.

Дата	Q_B м ³ /с	Q_H м ³ /с	S дм ³ /с	L км	$S_{уд}$ дм ³ /(с·км)
25/IX	2,04	1,18	860	8,0	108
2/X	4,89	4,09	800	8,0	100
9/X	2,57	2,12	450	8,0	56
16/X	0,654	0,062	590	8,0	74
23/X	0,746	0,068	680	8,0	85
30/X	1,60	1,32	280	8,0	35
6/XI	1,81	1,23	580	8,0	72
13/XI	1,71	1,49	220	8,0	28
19/XI	0,96	0,52	440	8,0	55
26/XI	3,54	3,06	480	8,0	60
3/XII	3,28	2,63	650	8,0	82
10/XII	3,42	2,50	920	8,0	115
17/XII	3,61	2,73	880	8,0	110

Одновременно с определением потерь воды в каналах и руслах рек проведены работы по исследованию дренирующей способности искусственных (коллекторы, дрены) и естественных (реки, лога) водотоков.

По разности стока воды в верхнем и нижнем створе определялось значение дренирования P_v грунтовых вод на данном участке, а затем находилось удельное выклинивание q , приходящееся на 1 км длины водотока (табл. 5.11).

Таблица 5.11
Определение дренирующей способности водотоков Чуйской долины

Коллектор, дрена	Дата	Q_v м ³ /с	Q_n м ³ /с	P_v дм ³ /с	L км	q дм ³ /с·км
Оросительная система ЗБЧК						
1972 г.						
Коллектор К-16	24/X	0,384	0,503	119	12,0	10
	2/XII	0,066	0,290	224	12,0	19
	8/XII	0,059	0,167	108	12,0	9
Коллектор К-15-1' р. Сухулук	20/XII	0,046	0,074	28	1,5	19
	Июнь—сентябрь	0,165	0,46	295	7,5	39
1973 г.						
Январь—декабрь 0,46 0,73 270 7,5 36						
1974 г.						
Январь—декабрь 0,21 0,54 330 7,5 44						
1975 г.						
Январь—октябрь 0,12 0,53 410 7,5 55						
Ат-Башинская оросительная система						
1973 г.						
Дрена Д-2-7	2/VI	0	0,008	8	0,8	10
	28/VI	0,016	0,030	14	0,8	18
	14/VII	0	0,025	25	0,8	31
	23/VII	0	0,008	8	0,8	10
	16/VIII	0	0,007	7	0,8	9
	22/VIII	0	0,009	9	0,8	11
	29/VIII	0	0,003	3	0,8	4
1974 г.						
	5/V	0,010	0,032	22	0,8	27
	25/VI	0,004	0,041	37	0,8	46
	20/VII	0,003	0,023	20	0,8	25
	13/VIII	0,008	0,042	34	0,8	42
1972 г.						
Лог Шорго	18/X	1,50	1,97	470	20,0	23
	29/X	0,251	0,197	—54	20,0	—3

Измерение дренирующей способности искусственных водотоков производилось на дрене Д-2-7 Ат-Башинской оросительной системы и коллекторах К-16 и К-15-1' оросительной системы ЗБЧК. В среднем на 1 км длины коллекторно-дренажной сети (КДС) значение q составляет 15—20 $\text{дм}^3/\text{с}$. Обычно дренирующую способность КДС оценивают по ее отношению к площадным характеристикам [$\text{дм}^3/(\text{с} \cdot \text{га})$], но для данных объектов не представилось возможным определить дренируемые ими площади.

Река Сухулук является естественной дренажной для прилегающей территории. По результатам наблюдений на двух гидростворах, расположенных на бесприоточном участке длиной 7,5 км, приращение стока составило 300—400 $\text{дм}^3/\text{с}$, $q = 40—50 \text{ дм}^3/(\text{с} \cdot \text{км})$.

На логу Шорго, ограничивающем Ат-Башинскую оросительную систему с запада, были проведены две серии измерений, которые показали один раз выклинивание грунтовых вод, другой раз — их потери, что вызвано неустановившимся режимом потока, присутствующим в течение почти всего года.

Приведенные сведения по фильтрации и дренированию подземных вод в гидрографическую сеть естественного и искусственного происхождения необходимы для анализа взаимосвязи поверхностных и подземных вод, расчета инфильтрационного питания грунтовых вод и для оценки эффективности работы оросительных систем.

5.3. Водно-физические свойства и режим влажности почвогрунтов

Наблюдения за водным режимом и определение водно-физических свойств почв являлись составной частью комплекса наблюдений за элементами теплового, водного и солевого балансов и проводились с целью получения информации о запасах влаги в почве для воднобалансовых расчетов.

При рассмотрении динамики запасов почвенной влаги на орошаемых полях и неорошаемых угодьях в Чуйской и Таласской долинах были использованы данные экспедиционных наблюдений в 1971—1975 гг. Наблюдения за влажностью почвы проводились в соответствии с Наставлением [60] и Методическими указаниями № 84 [57], на постоянных наблюдательных площадках размером 50×50 м, занятых различными сельскохозяйственными культурами или дикорастущей растительностью.

Для отбора проб почвы применялся ручной бур АМ-16. Определение влажности почвы проводилось термостатно-весовым методом. На каждой наблюдательной площадке влажность почвы определялась не менее чем в четырехкратной повторности до глубины 1,0—2,0 м. На Ташуткульском, Ат-Башинском орошаемых массивах и в ЗБЧК велись определения влажности почвы до уровня грунтовых вод. Места отбора проб почвы располагались таким образом, чтобы средняя из повторностей наилучшим обра-

зом отражала влажность почвы всей наблюдательной площадки, типичной для данного поля или его части.

При установлении необходимой повторности наблюдений для определения среднего запаса влаги с заданной точностью пользовались методом [56], который основан на проведении массовых определений влажности почвы, осуществляемых в короткий срок (1—2 сут) с целью получения допустимых значений среднего квадратического отклонения σ влагозапаса данного слоя почвы.

На всех орошаемых массивах в 1971 г. проведены съемки влажности почвы на сельскохозяйственных экспериментальных полях с последующей статистической обработкой полученных данных. Число скважин на одном поле колебалось от 25 до 60. Скважины располагались на равном расстоянии друг от друга по равноудаленным поперечникам, пересекающим поле. Площадь экспериментальных полей составляла 30—100 га. Количество скважин n на поле, необходимое для получения данных о среднем запase влаги в почве с заданной точностью ($P_{0,80} = 10\%$), должно быть от 3 до 10 [56]. Фактически определение влажности почвы на экспериментальных полях проводилось по четырем скважинам в первую и вторую декады и по восьми в конце месяца, т. е. точность определения запасов влаги на поле составляла 10—20 % при четырех скважинах и 5—10 % при восьми.

5.3.1. Характеристика водно-физических свойств почвы

В начальный период исследований на воднобалансовых орошаемых контурах (см. рис. 5.1—5.5), на экспериментальных полях и площадках с дикорастущей растительностью были определены водно-физические свойства почвы. Агрогидрологические константы (влажность устойчивого завядания, наименьшая влагоемкость) были необходимы для расчетов режимов орошения и анализа результатов лизиметрических наблюдений, динамики запасов влаги в почве, водно-балансовых расчетов. Отбор проб почвы для лабораторных определений максимальной гигроскопической влаги, влажности устойчивого завядания, удельной массы, механического состава и полевые определения плотности почвы и наименьшей ее влагоемкости проводились на экспериментальных полях у лизиметрических установок и у площадок для наблюдений за влажностью почвы. При полевых и лабораторных исследованиях использовалась методика, изложенная в Руководстве [76].

Почвенный покров орошаемых массивов, на которых проводились комплексные водобалансовые исследования, в общих чертах характеризуется следующим образом:

в пределах орошаемого массива ЗБЧК почвы представлены сероземами темными, комплексами сероземно-луговых, лугово-сероземных, луговых (незасоленных, засоленных в разной степени и солонцеватых почв). Тип химизма засоленных почв преимущественно сульфатный;

на Ат-Башинском орошаемом массиве почвенный покров составляют сероземы светлые, частично вторично заболоченные и вторично засоленные; засоление — хлоридно-сульфатное. В современной долине р. Чу развиты лугово-болотные, луговые, аллювиально-болотные, сероземно-луговые, незасоленные и засоленные почвы; характерно содовое и содово-сульфатное засоление;

на территории Георгиевского орошаемого массива почвы представлены сероземами обыкновенными и светлыми, луговыми и лугово-сероземными, а также аллювиально-луговыми и лугово-болотными;

на Ташуткульском орошаемом массиве широко распространены лугово-сероземные и сероземно-луговые почвы. Почвы правобережья в основном незасоленные, а значительная часть почв левобережья подвержена засолению и заболачиванию. Основной тип химизма засоленных почв — гидрокарбонатно-сульфатный и сульфатный с небольшим содержанием соды. В реликтовозасоленных почвах (неорошаемых) преобладает хлоридно-сульфатный тип засоления;

в Таласской долине, на орошаемом массиве в междуречье Урмарал-Кумыштаг и прилегающих к нему участках долины в пределах предгорий, подгорных шлейфов и горных склонов развиты сероземы, светло-каштановые и каштановые почвы. В современной долине р. Талас представлены лугово-болотные, луговые, светло-каштаново-луговые, сероземно-луговые незасоленные и солончаковатые с пятнами содово-сульфатных солончаков почвы.

На экспериментальных полях оросительных систем ЗБЧК и Ат-Башинской, расположенных вблизи гидрогеологического створа Маловодный в долине р. Чу (по левому берегу), почвы среднесуглинистые, отчасти легкосуглинистые и супесчаные. В среднесуглинистой толще встречаются слои легкого и тяжелого суглинка. На экспериментальных полях Георгиевского орошаемого массива (правый берег р. Чу) почвы легкосуглинистые.

Для почв на полях Ташуткульского орошаемого массива характерно двучленное строение. Верхняя часть почвенного профиля имеет тяжело- и среднесуглинистый механический состав, а на глубине 100—150 см залегают легкосуглинистые слои, переходящие в супесчаные. Супесь подстилается песком на глубине 220 см. Неоднородность литологического состава характерна для почвогрунтов Чуйской долины.

Почвы на экспериментальных полях Таласского орошаемого массива среднесуглинистые. На глубине примерно 80—100 см встречаются слои тяжелосуглинистого механического состава.

По почвенному профилю удельная масса меняется незначительно. В целом по району исследования она лежит в пределах 2,67 (в верхнем горизонте) — 2,79 г/см³ (в нижнем), в среднем составляя для метрового слоя 2,70—2,74 г/см³.

Значения плотности почвы возрастают с глубиной почвенного профиля от 1,22—1,30 в пахотном горизонте до 1,66—1,68 г/см³ на глубине 150—200 см (см. приложение III).

Пористость почвы в слое 0—200 см колеблется в пределах 42—57 % объема. За счет пониженного содержания илистых фракций максимальная гигроскопическая влажность (МГ) и влажность устойчивого завядания (ВЗ) в пахотном слое меньше, чем в нижних слоях. Наименьшая влагоемкость (НВ) в полевых условиях определялась методом залива площадок, ее расчетные значения — по формуле Б. Н. Мичурина [59]. Значения НВ для метрового слоя почвы составляют 283—338 мм.

5.3.2. Водный режим богарных почв

Наблюдения за влажностью почвы в богарной зоне земледелия показали, что на сельскохозяйственных полях и угодьях с естественной растительностью с конца октября происходит постепенное увеличение запасов почвенной влаги в верхних горизонтах. В зимне-весенний период продолжается влагонакопление, захватывая все более глубокие слои. Вследствие высокой осенней влажности и обильных весенних осадков весной 1973 и 1975 гг. наблюдалось максимальное увеличение запасов влаги.

Значительная часть накопленной влаги расходуется на испарение и транспирацию. Атмосферные осадки полностью не компенсируют расход влаги на испарение, и в конце мая начинается истощение влагозапасов. С июня по октябрь почва сильно иссушается; влажность близка к влажности завядания, иногда ниже ВЗ. Подобная картина наблюдалась и на экспериментальных полях Ат-Башинской оросительной системы. В течение 5—6 месяцев вегетационного периода в двухметровом слое неполивных участков орошаемой зоны влажность почвы не превышала ВЗ. Промачивание этого слоя происходило только в годы со значительным увлажнением. На неорошаемом участке Георгиевской оросительной системы в летние месяцы влажность почвы изменялась в интервале между ВЗ и МГ. Аналогичная картина наблюдалась и на Таласском орошаемом массиве. На орошаемом массиве ЗБЧК режим почвенной влаги до глубины 80 см полностью определялся метеорологическими условиями, глубже начинало сказываться влияние грунтовых вод (при залегании их на глубине менее 3 м). Обильные осадки и весеннее промачивание почвы вызывали повышение уровня грунтовых вод, и за счет подпитывания снизу влажность почвы на участке с дикорастущей растительностью увеличивалась до значений 30—45 мм. Весной в верхнем слое запасы влаги достигали 40—49 мм на участке с дикорастущей растительностью и 30—33 мм на поле с культурной растительностью, что составляет 54—37 % НВ. Летом благодаря наблюдавшемуся близкому залеганию уровня грунтовых вод запасы влаги в метровом слое почвы составляли 30 % объема на богаре с дикорастущей растительностью и 20—25 % на поле с культурной растительностью. Пересыхание верхнего слоя почвы на участке с дикорастущей растительностью наблюдалось не более двух месяцев, а ее влажность не опускалась ниже 10—15 мм. На поле

с озимой пшеницей влажность в пахотном слое почвы в течение 3—4 летних месяцев составляла 5 % объема, т. е. ниже МГ, но в это время уже происходит уборка зерновых.

5.3.3. Водный режим почв в зоне орошения

Исследование водного режима орошаемых земель проводилось на полях, занятых зерновыми (озимая пшеница, кукуруза, ячмень, овес), многолетними травами и сахарной свеклой. Характерной особенностью орошаемых массивов являлось неравномерное распределение влажности почвы, связанное с различной глубиной промачивания ее при поливах. После прекращения поливов пестрота запасов влаги по почвенному профилю сглаживалась, а сами величины влажности уменьшались. Многолетние наблюдения позволили проследить зависимость изменения влагозапасов от температуры воздуха, испарения, уровня грунтовых вод, осадков и водоподачи во время поливов.

На полях Георгиевского и Таласского орошаемых массивов во время поливов влажность почв по всей измеренной их глубине составляла 20—30 % объема. С прекращением поливов запасы влаги постепенно снижались до 8—10 % в слое почвы 0—20 см и до 20—25 % на глубине 1,0 и 1,5 м.

На свекловичном поле Ат-Башинского орошаемого массива грунтовые воды располагались близко к поверхности и являлись существенным источником пополнения влаги в почве. Наибольший подъем грунтовых вод наблюдался в мае (до 1,2 м). Подъему грунтовых вод соответствовало увеличение запасов почвенной влаги, связанное с передвижением капиллярной каймы вверх и подпитыванием почвы влагой. Верхняя граница капиллярной каймы с влажностью, превышающей наименьшую влагоемкость (НВ), располагалась на метровой глубине. В пахотном слое почвы влажность в основном колебалась в пределах 15—25 %.

После выпадения осенних осадков устанавливалось равномерное увлажнение по всему почвенному профилю, и оно сохранялось обычно до начала вегетации. В годы со значительным увлажнением в феврале—апреле наблюдались высокие значения влажности (до полной влагоемкости в слое почвы 30—40 см).

Наибольшим увлажнением характеризовались поля с сахарной свеклой вследствие более высоких по сравнению с другими культурами поливных норм. Поливы создают оптимальное увлажнение почвы (от 0,7 НВ до НВ) в течение всего вегетационного периода и после уборки урожая.

Наибольшие запасы влаги в почве приходились на зимние месяцы. Они формировались в условиях сравнительно низкой температуры воздуха и соответственно небольшого испарения при количестве выпадающих осадков до 100 мм и при производстве влагозарядковых поливов. Запасы влаги в этот период по всей глубине почвенного профиля близки, а иногда и выше значения НВ.

С началом вегетации запасы влаги в почве начинали уменьшаться, и этот процесс продолжался вплоть до конца сентября — начала октября, прерываясь только в периоды поливов. выпадающие в марте—апреле осадки, вегетационные поливы и подпитывание грунтовыми водами (при их глубине менее 1—2 м) позволяют в период развития сахарной свеклы и люцерны поддерживать по всей глубине разреза влажность в оптимальных пределах, т.е. не ниже 0,7 НВ. Исключение составлял верхний слой почвы (0—20 см), который быстро иссушался и влагозапасы его нередко падали ниже 0,7 НВ. Этот факт не оказывал отрицательного влияния на развитие растений, так как в этот период корневая система сельскохозяйственных культур находится уже значительно глубже. Максимально низкое содержание влаги в почве отмечалось в конце августа—сентябре и приходилось на период уборки урожая. В октябре влажность почвы начинала увеличиваться и приближаться к значению НВ.

Режим влажности почвы на орошаемых массивах Чуйской и Таласской долины типичен для районов с низкой естественной увлажненностью, неравномерным выпадением осадков (на зимний и весенний периоды приходится до 70 % осадков) и большим испарением.

5.4. Химический состав поверхностных и грунтовых вод. Солевой состав почв на экспериментальных полях

Проведение оросительных мелиораций изменяет водный режим почвогрунтов на значительную глубину, что вызывает перераспределение запасов солей, существовавших в почвогрунтах и грунтовых водах до орошения. При промывном режиме орошения и промывках засоленных почв происходит вынос солей из почв. С инфильтрационными водами вымываемые из почвы соли поступают в грунтовые воды, а затем и в русла рек. Значительная часть солей, вынесенных из почвы, поступает в реки со стоком коллекторно-дренажной сети.

Поступление в речные системы возвратных вод от орошения, существенно обогащенных растворенными химическими соединениями, вызывает ухудшение качества воды на прилегающих к орошаемым массивам территориях. В связи с этим возникает необходимость оценки изменений химического состава воды для разработки мероприятий по охране водных ресурсов от загрязнения.

Одной из задач комплексных воднобалансовых исследований в бассейнах рек Чу и Талас являлось изучение качества возвратных вод, их влияния на минерализацию и химический состав речных вод, оценка пригодности коллекторно-дренажных вод для повторного использования на орошение.

Для обеспечения единства учета количественных и качественных характеристик речных, оросительных, коллекторно-дренажных и грунтовых вод все пункты гидрохимических наблюдений

были приурочены к гидрометрическим постам или гидрогеологическим скважинам. Отбор проб воды в 1971—1973 гг. проводился ежемесячно, а в вегетационный период и чаще, в зависимости от режима орошения и фаз гидрологического режима. Затем объем гидрохимических наблюдений был сокращен. За 1971—1975 гг. было отобрано 390 проб воды из оросителей, 636 из коллекторно-дренажной и сбросной сети, 1302 из грунтовых вод, 43 из родников и 381 из речных систем.

5.4.1. Минерализация и химический состав поверхностных вод

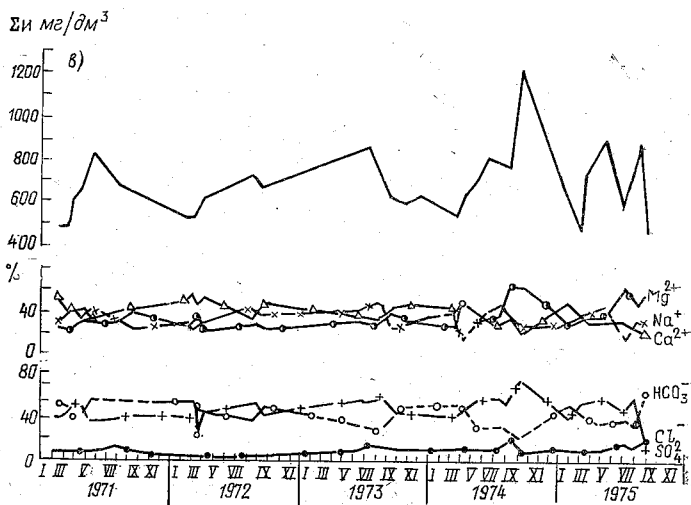
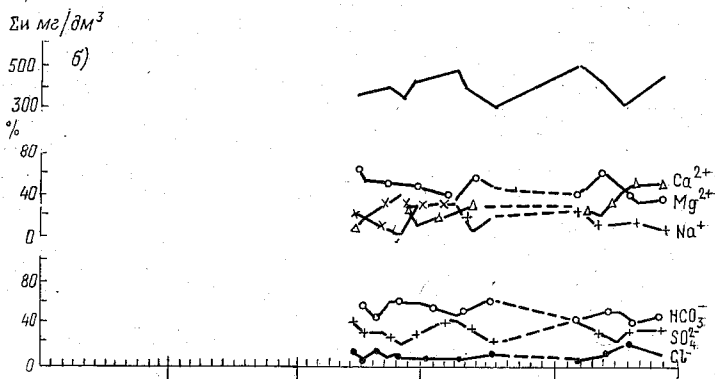
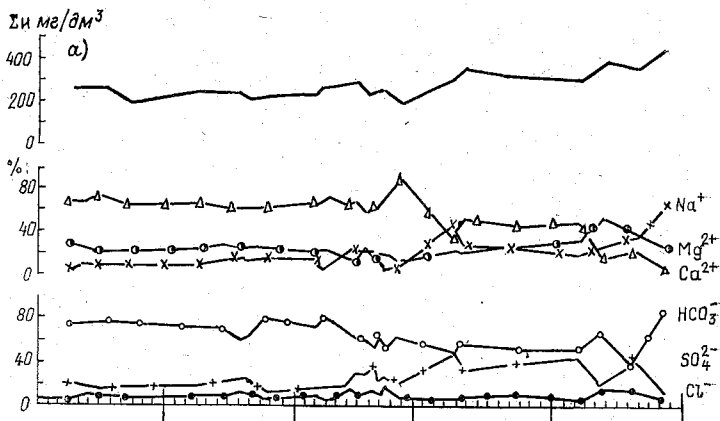
Речные воды. Для характеристики химического состава воды рек Чу и Талас использованы результаты наблюдений, проведенных экспедицией ГГИ в 1971—1975 гг., а также данные наблюдений управлений по гидрометеорологии Киргизской и Казахской ССР.

Рассмотрение гидрохимических особенностей воды в р. Чу проводилось по четырем участкам ее русла, характеризующимся разной степенью развития орошения на прилегающей к руслу территории и расположенных последовательно от верховьев реки к ее низовьям: 1) от верховьев до гидрометрического поста Бурулдайский мост, 2) от Бурулдайского моста до Чумышской плотины, 3) от Чумышской плотины до гидрометрического поста клх им. Чапаева (с. Ташуткуль), 4) от клх им. Чапаева до с. Уланбель.

В вегетационный период минерализация воды в верховьях р. Чу варьировала от 193 до 376 мг/дм³ (Бурулдайский мост). В невегетационный период она увеличивалась, хотя и незначительно, и находилась в интервале 184—438 мг/дм³. Соотношение ионов было примерно одинаково как в вегетационный, так и в невегетационный период. На этом участке преобладали ионы HCO_3^- (38—80 %). Относительное содержание ионов SO_4^{2-} и Cl^- невысокое и составляло соответственно 12—47 и 6—18 %. Доминирующими среди катионов являлись ионы кальция (53—80 %), на втором месте — ионы магния (20—40 %), ионы натрия, как правило, составляли 6—27 %.

В период исследований на участке реки до Бурулдайского моста минерализация воды и ее ионный состав соответствовали их значениям, наблюдавшимся в целом за многолетний период [72].

В верхней части среднего течения р. Чу (от Бурулдайского моста до Чумышской плотины) минерализация как в вегетационный, так и в невегетационный период была несколько больше и составляла соответственно 336—500 и 374—532 мг/дм³. Концентрация ионов HCO_3^- уменьшилась до 42—65 % (45—70 % в невегетационный период), одновременно с этим несколько увеличилась относительная концентрация ионов SO_4^{2-} (22—46 %). В катионном составе доминировал ион Ca^{2+} , но в вегетационный период его доля снижалась за счет некоторого увеличения концентрации ионов Mg^{2+} и отчасти Na^+ (табл. 5.12).



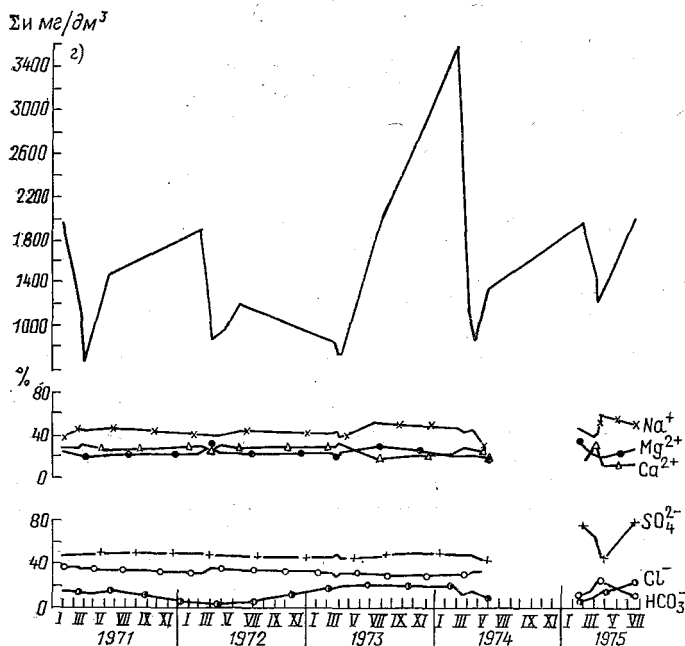


Рис. 5.6. Минерализация (Σ и) и относительное содержание ионов (%) в речной воде в период исследования (1971—1975 гг.) на разных участках русла р. Чу.

а — Бурулдайский мост, б — Чумышская плотина, в — клх им. Чапаева (с. Ташуткуль), г — с. Уланбель (Большая Арна).

Воды р. Красной в период исследований характеризовались средней годовой минерализацией от 246 до 326 мг/дм³. По составу они гидрокарбонатные с преобладанием в катионной части кальция. В 1975 г. наблюдалось повышение минерализации до 518 мг/дм³ (среднее за год), в этом случае доминирующими ионами являлись ионы SO_4^{2-} и Na^+ .

На участке от Чумышской плотины до Ташуткульской плотины минерализация заметно увеличивалась и составила, по данным поста у клх им. Чапаева (с. Ташуткуль), 456—936 мг/дм³ в вегетационный период и 524—733 мг/дм³ в невегетационный. В вегетационный период в анионном составе доминирующая роль принадлежит ионам SO_4^{2-} . Особенно отчетливо это наблюдалось начиная с 1973 г. (рис. 5.6). Преобладание иона SO_4^{2-} над остальными анионами прослеживалось при минерализации, превышающей 600 мг/дм³. Относительное содержание ионов Ca^{2+} при этом заметно снижалось при одновременном возрастании доли ионов Mg^{2+} и Na^+ .

Ниже Ташуткульской плотины и до с. Уланбель минерализация речной воды в отдельные периоды достигала 1—2 г/дм³ при резко

Таблица 5.12

Минерализация (Σ и мг/дм³) и относительное содержание главных ионов (%) в речной воде на разных участках р. Чу в период 1971—1975 гг.

Пункт наблюдений	Вегетационный период						
	Σ и	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	$\text{Na}^+ + \text{K}^+$
Бурулдайский мост	193—376	38—80	6—18	12—47	53—80	20—40	6—47
Чумышская плотина	336—500	42—65	7—22	22—46	33—65	10—51	6—37
с. Благовещенское	473—1260	46—56	8—14	26—68	23—50	20—65	6—34
клх им. Чапаева							
(с. Ташуткуль)	456—936	20—63	8—16	12—73	16—44	22—64	10—45
с. Айдарлы	500—1422	21—67	10—18	27—80	14—49	20—69	9—68
ниже устья р. Курагаты	888—1624	16—40	10—16	39—68	16—40	23—41	24—57
с. Фурмановка	619—1340	19—80	7—23	12—62	13—50	7—65	20—59
с. Уланбель (Б. Арна)	741—2070	14—38	14—20	46—62	16—33	20—31	38—62

Пункт наблюдений	Невегетационный период						
	Σ и	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	$\text{Na}^+ + \text{K}^+$
Бурулдайский мост	184—438	55—86	4—10	16—45	42—55	20—22	4—67
Чумышская плотина	374—532	45—70	7—9	24—46	43—51	17—38	14—32
с. Благовещенское	354—604	50—62	8—12	30—42	40—62	20—30	20—60
клх им. Чапаева							
(с. Ташуткуль)	524—733	40—55	6—9	20—54	30—56	20—35	20—42
с. Айдарлы	590—1400	22—47	8—14	40—63	28—44	23—53	24—50
ниже устья р. Курагаты	—	—	—	—	—	—	—
с. Фурмановка	664—708	30—45	3—13	42—50	20—37	40—65	23—32
с. Уланбель (Б. Арна)	640—3620	14—38	8—16	46—78	18—31	22—28	38—50

выраженном сульфатном характере (46—80 % по объему ионов SO_4^{2-}). В катионном составе доминируют ионы натрия.

Сезонная изменчивость минерализации воды в р. Чу такова, что в верховьях увеличение содержания растворенных солей приурочено к невегетационному периоду, когда основную роль в питании рек играют грунтовые воды. В среднем и нижнем течении рост минерализации наблюдается в вегетационный период, когда из зоны орошения происходит поступление возвратных вод, обогащенных солями (в том числе компонентами удобрений и ядохимикатов) по сравнению с оросительными водами. Именно к участку среднего течения р. Чу прилегают территории, включающие большую часть массивов орошаемых земель Чуйской долины.

Воды притоков р. Чу в ее верхнем течении во все гидрологические фазы режима имеют гидрокарбонатный характер. Наиболее низкой минерализацией воды притоков отличались в половодье, в период межени она повышалась, но гидрокарбонатный характер состава сохранялся.

Ряд правых притоков р. Чу в ее среднем течении (реки Кокпата-с, Калгаты, Алтайгыр) и левобережных в низовьях (реки Ак-Су, Курагаты) имели повышенную минерализацию (табл. 5.13), что сказывалось и на концентрации солей в р. Чу (табл. 5.14). Воды рек Ак-Су и Курагаты по составу сульфатные, а среди катионов преобладают ионы Mg^{2+} или Na^{+} .

Таблица 5.13

Минерализация и химический состав речной воды в притоках р. Чу в ее среднем и нижнем течении

Дата	Содержание ионов, мг/дм ³							Минерализация, г/дм ³
	CO_3^{2-}	HCO_3^{-}	Cl ⁻	SO_4^{2-}	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ — K ⁺	

р. Кокпатас у свх «Сары-Булак»

1973 г.

21/II	Нет	134,3	10,1	283,4	61,5	16,8	94,3	0,60
16/V	„	231,8	16,3	179,4	78,6	22,0	57,0	0,59
09/X	6,0	183,0	15,7	98,8	55,1	15,2	42,8	0,42

1974 г.

03/IV	9,0	186,0	30,0	132,0	78,0	17,0	39,0	0,50

1975 г.

24/IV	15,0	259,0	6,0	336,0	160,0	46,0	3,0	0,84

р. Калгаты у с. Славное

1973 г.

31/I	Нет	55,0	160,3	283,4	79,3	26,6	124,1	0,73
24/II	„	213,6	20,2	240,2	65,3	15,5	108,7	0,66
16/V	Нет	274,5	24,5	135,0	70,5	10,9	89,2	0,61
20/VIII	2,4	189,1	29,9	156,4	72,1	30,4	48,0	0,53
28/IX	Нет	237,9	19,7	93,8	63,5	19,8	38,4	0,47
08/X	„	219,6	17,7	95,5	65,1	15,2	38,5	0,45
26/XI	„	219,6	16,4	84,7	53,9	19,8	36,7	0,43
28/XII	„	305,1	28,7	297,8	81,5	28,9	133,4	0,88

1974 г.

08/IV	„	351,0	20,0	169,0	70,0	24,0	100,0	0,73
24/VI	„	322,0	28,0	125,0	68,0	32,0	61,0	0,64
09/IX	„	229,0	31,0	10,0	52,0	19,0	16,0	0,36

Дата	Содержание ионов, мг/дм ³							Минерализация, г/дм ³
	CO_3^{2-}	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	$\text{Na}^+ + \text{K}^+$	

1975 г.

24/X | 13,0 | 249,0 | 51,0 | 10,0 | 44,0 | 44,0 | 9,0 | 0,44

р. Алтайгыр у устья

1973 г.

30/I | 6,9 | 237,9 | 23,6 | 514,0 | 196,4 | 31,4 | 73,9 | 1,08
 24/II | Нет | 128,6 | 5,0 | 244,9 | 71,3 | 5,9 | 78,9 | 0,54
 17/V | „ | 213,5 | 23,0 | 108,6 | 66,5 | 19,6 | 36,7 | 0,47

1974 г.

02/IV | 12,0 | 214,0 | 29,0 | 912,0 | 235,0 | 75,0 | 132,0 | 1,61

р. Ак-Суу у устья

1974 г.

03/IV | 3,0 | 253,0 | 28,0 | 306,0 | 98,0 | 98,0 | 8,0 | 0,79
 18/V | 12,0 | 259,0 | 23,0 | 432,0 | 95,0 | 77,0 | 73,0 | 0,97
 22/VIII | 11,0 | 215,0 | 68,0 | 192,0 | 400,0 | 55,0 | 7,0 | 0,95
 18/IX | Нет | 303,0 | 128,0 | 422,0 | 32,0 | 75,0 | 222,0 | 1,18

1975 г.

14/III | „ | 229,0 | 26,0 | 346,0 | 60,0 | 66,0 | 76,0 | 0,80
 15/V | 11,0 | 273,0 | 62,0 | 784,0 | 44,0 | 117,0 | 257,0 | 1,54

Воды р. Талас в верховьях имели минерализацию 110—226 мг/дм³ (с. Караой) и очень резко выраженный гидрокарбонатный характер с преобладанием кальция в катионном составе.

В отдельные периоды минерализация речной воды у с. Покровка достигала 0,76 г/дм³. В ионном составе возрастала доля ионов SO_4^{2-} и Mg^{2+} , отчасти Na^+ , которые становились доминирующими на участке реки между с. Покровка и г. Джембул. Подобное соотношение ионов за некоторым исключением сохранялось и до низовьев р. Талас (табл. 5.15).

Химическое качество речных вод в отношении содержания растворенных органических веществ и биогенных соединений характеризуется окисляемостью, концентрацией нитратных, нитритных ионов и катионов железа (табл. 5.16).

В большинстве случаев содержание растворенных органических веществ в воде рек Чу и Талас невелико, особенно в начале

Таблица 5.14

Минерализация и химический состав речной воды на участке р. Чу
от с. Айдарлы до устья р. Курагаты

Дата	Содержание ионов, мг/дм ³						Минерализация, г/дм ³
	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ + K ⁺	

р. Чу у Айдарлы (выше устья р. Курагаты)

1974 г.

15/VII	244	99	422	76	39	204	1,09
26/VIII	244	92	600	80	73	218	1,31
31/X	307	89	600	110	61	222	1,39

1975 г.

15/III	200	31	182	52	51	65	0,58
16/VII	244	88	336	40	70	14	0,79

р. Курагаты у ж.-д. ст. Аспара

1974 г.

16/VII	254	148	413	64	44	233	1,17
24/VIII	185	128	330	60	55	169	0,95
31/X	244	122	235	46	49	146	0,84

1975 г.

11/III	132	40	888	90	128	171	1,45

р. Курагаты у устья

1974 г.

15/VII	376	284	1512	142	15	817	3,14
26/VIII	307	305	648	150	79	311	1,80

1975 г.

14/III	317	91	442	80	68	170	1,27
16/VII	264	128	595	48	107	226	1,37

р. Чу ниже устья р. Курагаты

1974 г.

15/VII	232	92	518	68	49	229	1,23
26/VIII	244	106	432	90	67	147	1,09
31/X	303	39	312	120	55	72	0,90

1975 г.

15/III	299	37	566	76	68	184	1,23
16/VIII	151	85	451	56	73	15	0,83

Таблица 5.15

Минерализация (Σ и мг/дм³) и относительное содержание главных ионов (% по объему) в речной воде на участке р. Талас в 1971—1975 гг.

Пункт наблюдений	Σ и	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	$\text{Na}^+ + \text{K}^+$
с. Караой	110—226	72—89	0—2	10—22	58—78	16—24	8—20
с. Орловка	208—456	59—90	3—9	12—22	54—65	29—37	4—14
с. Кировское	236—556	35—78	4—18	10—45	22—52	28—51	14—46
с. Покровка	238—760	50—77	4—5	10—70	19—69	26—68	8—60
г. Дзамбул	213—1276	17—50	5—46	28—77	12—29	22—71	7—69
кхл «Трудовой Пахарь»	528—1254	18—48	4—39	37—76	19—48	10—60	12—70
вдхр Темирбек	411—896	25—51	9—23	34—55	16—38	22—58	20—57
с. Учарал	457—1309	24—56	6—14	31—67	14—36	22—59	7—64

вегетационного периода. Но в конце вегетационного периода часто наблюдалось резкое обогащение вод этими веществами.

Изменчивость содержания растворенных органических и биогенных соединений в речной воде в течение года весьма значительная, особенно в среднем течении и низовьях рек. Перманганатная окисляемость изменяется от 0,16 до 10,40 мг/дм³ атомарного кислорода в водах р. Чу и от 0,08 до 8,40 мг/дм³ атомарного кислорода в водах р. Талас. Из азотсодержащих соединений в речных водах в наибольшем количестве растворены нитраты: массовая концентрация ионов NO_3^- достигает 1,6—1,9 мг/дм³. Содержание нитритной формы азота намного ниже — максимальная концентрация иона NO_2^- составила 0,45—0,98 мг/дм³. Аммиачная форма азота по концентрации занимает промежуточное положение (0,66—0,96 мг/дм³ NH_4^+). Количество фосфатов в воде на всем протяжении реки не превышает 0,120 мг/дм³ для р. Чу и 0,132 мг/дм³ для р. Талас. Максимум фосфатов приурочен к концу вегетационного периода. Концентрация железа изменяется от 0,0 до 3,9 мг/дм³ в воде р. Чу и от 0,01 до 2,5 мг/дм³ в воде р. Талас.

Оросительные воды. Наблюдения за минерализацией и химическим составом воды проводились также в магистральных каналах, в системе межхозяйственных каналов и в распределителях на площади изучаемых экспериментальных участков и сельскохозяйственных полей.

Химический состав оросительных вод определяется условиями формирования и режима стока рек Чу и Талас. Общая концентрация растворенных веществ в оросительных водах изменяется от 0,12 до 1,19 г/дм³ (табл. 5.17 и 5.18).

Химический состав оросительных вод на орошаемых массивах в средней части бассейна р. Чу и Таласской долине подобен составу большинства горных водотоков: преобладание гидрокарбонатных ионов в анионном составе (35—70 %) и смешанный катионный состав с некоторым преобладанием ионов Ca^{2+} .

Таблица 5.16

Содержание биогенных и органических соединений (мг/дм³) в водах рек Чу
и Талас в период 1971—1975 гг.

Пост	NO_3^-		NO_2^-		NH_4^+		$F_{\text{общ}}$		Окисляемость, мг/дм ³ атомарного кислорода			
									перманганатная		бихроматная	
	от	до	от	до	от	до	от	до	от	до	от	до
р. Чу												
Бурулдайский мост	0,004	1,260	0,003	0,260	0,009	0,320	0	3,90	0,16	2,96	—	—
Чумышская плотина, верхний бьеф	0,000	1,290	0,002	0,190	0	0,660	0	0,35	0,56	10,40	4,08	43,3
с. Ташуткуль	0,070	1,320	0,001	0,600	0	0,960	0	0,25	0,64	2,72	—	—
р. Красная												
Выше ЗБЧК	0,110	1,600	0,006	0,080	0	0,540	0	3,00	0,24	6,10	2,0	29,3
р. Талас												
с. Кировское	0,008	1,900	0,002	0,100	0	0,500	0	0,40	1,10	6,80	—	—
с. Покровка	0,005	1,600	0,001	0,080	0,100	0,500	0,25	2,50	0,08	5,70	—	—
г. Джамбул	0,005	0,440	0,001	0,450		0,310	0	2,40	0,16	6,16	—	—
101 клх «Трудовой Пахарь»	0,005	0,670	0,006	0,980		0,370	0	2,30	0,08	8,40	—	—

Таблица 5.17

Общая характеристика минерализации (мг/дм³) оросительных вод в долине р. Чу

Объект наблюдений	1971 г.			1972 г.			1973 г.			1974 г.			1975 г.		
	от	до	среднее	от	до	среднее	от	до	среднее	от	до	среднее	от	до	среднее
Оросительная система ЗБЧК															
ЗБЧК	—	—	—	197	373	310	—	—	—	343	517	407	296	484	390
Канал Совхозный	—	—	—	470	693	599	358	451	395	304	645	476	388	716	533
Канал Подпитывающий	—	—	—	330	473	377	313	357	335	380	577	478	480	640	560
Распределитель Р-15	245	595	345	293	303	298	213	476	344	384	424	403	—	—	—
Ат-Башинская оросительная система															
Канал Атбашинский	—	—	—	436	811	548	420	886	714	—	—	—	268	864	561
Распределитель Р-808	314	583	404	435	621	512	374	492	422	412	1190	843	388	906	614
Георгиевская оросительная система															
Канал Георгиевский	—	—	—	390	496	430	404	529	451	514	789	611	—	—	—
Канал Успеновский	—	—	—	378	617	471	408	481	433	370	624	464	370	624	488
Водовыпуск на экспериментальном поле	286	386	331	384	446	421	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Ташуткульская оросительная система															
Канал Правобережный	—	—	—	571	915	704	633	852	702	—	—	—	—	—	—
Водовыпуск на экспериментальном поле	—	—	—	634	1005	821	837	896	867	—	—	—	—	—	—

Таблица 5.18

Минерализация (мг/дм³) оросительных вод в долине р. Талас

Объект наблюдений	1971 г.			1972 г.			1973 г.			1974 г.			1975 г.		
	от	до	среднее	от	до	среднее	от	до	среднее	от	до	среднее	от	до	среднее
Канал Кайназар	118	252	171	200	575	304	—	—	—	260	590	425	212	430	300
Канал Джалпак- тиль	121	306	183	181	434	304	110	204	157	—	—	—	312	832	449
Канал Больтог	140	194	163	195	446	276	158	226	193	—	—	—	—	—	—
Водовыпуск на эксперименталь- ное поле с озимой пшеницей	140	286	196	240	555	403	—	—	—	104	361	259	—	—	352
Водовыпуск на эксперименталь- ное поле с эспар- цетом	—	—	—	227	434	339	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Режим минерализации и химического состава оросительных вод характеризуется снижением общей минерализации в вегетационный период, причиной чему служит увеличение питания рек за счет таяния высокогорных снегов. При уменьшении минерализации оросительных вод увеличивается относительное содержание иона HCO_3^- в анионной части и иона кальция в катионной. Доля иона Cl^- в водах оросительных систем ЗБЧК и Ат-Башинской мала, не превышает 11—12 % суммы анионов. Оросительные воды Ташуткульской оросительной системы в вегетационный период в отличие от оросительных вод других систем, расположенных выше по течению р. Чу, имеют сульфатный характер (47—83 % по объему ионов SO_4^{2-}), а в составе катионов преобладает натрий. Воды отличаются довольно высокой минерализацией (0,57—1,00 г/дм³) в течение всего года.

За период исследований можно проследить некоторое увеличение средней минерализации оросительных вод на всех орошаемых массивах. Например, если средняя минерализация вод канала Подпитывающий (ЗБЧК) в 1972 г. составила 0,377 г/дм³, то в 1975 г. она уже равнялась 0,560 г/дм³. Соответственно для Ат-Башинской оросительной системы (Р-808) в 1971—1972 гг. минерализация равнялась в среднем 0,458 г/дм³, тогда как в 1974—1975 гг. она составляла 0,728 г/дм³. Увеличивается и доля токсичных ионов (SO_4^{2-} , Na^+). Описываемую тенденцию можно проследить по данным наблюдений на Георгиевском оросительном канале и в распределителе Р-15 (ЗБЧК). Повышение минерализации оросительных вод в многолетнем разрезе определяется общим увеличением минерализации речных вод в связи с развитием орошения.

Воды, подаваемые на оросительную сеть Таласской долины, менее минерализованы, чем в Чуйской долине. Максимальная минерализация наблюдалась в канале Кайназар в 1974 г. ($0,59 \text{ г/дм}^3$). В основном же минерализация оросительных вод не превышала в среднем $0,3\text{--}0,4 \text{ г/дм}^3$, а в 1971 и 1973 гг. она составила всего $0,16\text{--}0,19 \text{ г/дм}^3$. В течение всего года оросительным водам Таласской долины свойственно преобладание ионов HCO_3^- и Ca^{2+} .

По пути следования от головы магистрального канала до орошаемых полей подаваемая для полива вода обогащается солями за счет растворимых веществ, содержащихся в почвогрунтах, а также под влиянием испарения и выклинивания грунтовых вод в русла каналов.

Среди азотсодержащих соединений в оросительных водах на всех орошаемых массивах преобладают нитраты, максимальная концентрация которых достигает 9 мг/дм^3 (табл. 5.19). Концентрация нитритной и аммонийной форм азота значительно ниже: до $1,4 \text{ мг/дм}^3$ иона NO_2^- и до $2,24 \text{ мг/дм}^3$ иона NH_4^+ . Концентрация ионов железа изменяется в пределах $0\text{--}2,5 \text{ мг/дм}^3$, а фосфатов (по данным 1971 г.) — от $0,001$ до $0,34 \text{ мг/дм}^3$.

Коллекторно-дренажные воды. Массивы, расположенные по створу, перпендикулярному к р. Чу, и относящиеся к оросительным системам ЗБЧК, Ат-Башинской и Георгиевской, характеризуются как различным химизмом коллекторно-дренажных вод, так и режимом работы коллекторно-дренажной сети.

Средняя годовая минерализация коллекторно-дренажных вод Чуйской долины повсеместно превышает 1 г/дм^3 , в некоторых коллекторах достигая $2,8\text{--}3,0 \text{ г/дм}^3$. Максимальная минерализация характерна для коллекторных вод Ташуткульского орошаемого массива и ЗБЧК, а в воде Георгиевского орошаемого массива она практически не превышает $0,8\text{--}0,9 \text{ г/дм}^3$ (табл. 5.20).

Концентрация солей в коллекторно-дренажной воде в 2—3 раза больше, чем в оросительной, а доминирующими становятся ионы SO_4^{2-} и Na^+ (табл. 5.21).

Наибольшая разница в минерализации оросительных и коллекторно-дренажных вод наблюдались в орошаемом массиве ЗБЧК, что обусловлено разной степенью участия возвратных вод в питании водотоков, а также различной засоленностью почвенного слоя в пределах исследуемого контура.

Коллекторная сеть оросительного массива ЗБЧК представляет совокупность естественных балок и водотоков. Сток коллекторов формируется за счет дренирования грунтовых вод, сбросов с сельскохозяйственных полей и пускопов из прудов, откуда коллектора берут начало. Условия питания определяют особенности химического режима коллекторных вод. Отток по коллектору К-13 составляет 3—14 %, по коллектору К-14 — от 12 до 14 %, по коллектору К-15 — 7—15 %, по коллектору К-16 — 19—24 %, по коллектору К-17 — 14—18 % и по р. Сухулук — 18—38 % общего объема

Таблица 5.19
Содержание (мг/дм³) биогенных и органических соединений в оросительных водах

Год	NO ₃ ⁻		NO ₂ ⁻		NH ₄ ⁺		P		Fe _{общ}		Окисляемость, мг/дм ³ атомарного кислорода			
	от	до	от	до	от	до	от	до	от	до	перманганатная		бихроматная	
											от	до	от	до
Орошаемый массив ЗБЧК														
1972	0	4,30	0	0,540	0	0,50	—	—	0	0,40	—	—	—	—
1973	0,70	1,80	0,020	0,600	0	0,82	—	—	0	0,20	—	—	—	—
1974	0,14	0,29	0,007	0,450	0,01	1,10	—	—	0	0	0,32	5,84	—	—
1975	0,04	0,33	0,009	0,250	0,21	0,25	—	—	0	0	0,08	17,60	—	—
Ат-Башинский орошаемый массив														
1971	0,40	0,75	0,002	0,007	—	—	0,005	0,34	0,02	0,10	1,6	2,2	4,5	18,6
1972	0,20	5,60	0,03	1,40	0	0,50	—	—	0	0,50	—	—	—	—
1973	0,36	1,80	0	1,20	0	0,10	—	—	0	0	—	—	—	—
1974	0,09	0,31	0,001	0,013	0,05	2,24	—	—	0	2,5	0,16	0,40	—	—
1975	0,10	0,29	0,007	0,022	0,01	0,13	—	—	0	0	1,36	13,20	—	—
Георгиевский орошаемый массив														
1971	0,20	1,00	0,002	0,006	—	—	0,002	0,007	0,04	0,12	1,5	3,2	2,8	16,9
1972	0,20	6,12	0,004	0,300	0	0,70	—	—	0,05	0,83	—	—	—	—
1973	0,40	3,1	0,020	0,040	0	0,65	—	—	0,05	0,26	—	—	—	—
1974	0,02	0,60	0,003	0,160	0,02	0,81	—	—	0	0,38	0,88	4,96	—	—
1975	0,007	0,25	0,010	0,890	0,18	0,25	—	—	0	0	0,16	4,1	—	—
Ташуткульский орошаемый массив														
1972	0,40	2,70	0,070	0,460	0	0,16	—	—	0,08	0,27	—	—	—	—
1973	0,45	1,49	0,02	0,400	0	0,51	—	—	0,10	0,32	—	—	—	—
1974	0,05	0,24	0,000	0,004	0,26	0,32	—	—	—	—	0	1,20	—	—
Таласский орошаемый массив (система рек Кумыштаг и Урмарал)														
1971	0,05	2,00	0,001	0,067	—	—	0,001	0,007	—	—	0,5	2,6	3,0	110,0
1972	6,0	9,0	0,140	0,20	0	0	—	—	0	0,15	—	—	—	—
1973	0,41	0,80	0,025	0,060	0,05	0,68	—	—	0,01	0,35	—	—	—	—
1974	0,008	0,090	0,001	0,350	0,01	0,22	—	—	—	—	0,08	1,44	—	—
1975	0,04	0,29	0,011	0,065	0,007	0,17	—	—	—	—	0,16	5,12	—	—

Таблица 5.20

Характеристика минерализации (г/дм³) коллекторно-дренажных вод в долине р. Чу

Объект наблюдений	1971 г.			1972 г.			1973 г.			1974 г.			1975 г.		
	от	до	сред- нее	от	до	сред- нее	от	до	сред- нее	от	до	сред- нее	от	до	сред- нее
Орошаемый массив ЗБЧК															
р. Сухулук (ниж- ний створ)	—	—	—	0,745	1,379	1,068	0,275	1,31	0,802	0,449	3,227	1,456	0,706	1,80	1,298
Коллектор К-17	—	—	—	1,062	2,786	1,576	0,506	2,458	1,610	1,103	2,176	1,757	0,60	2,922	1,625
Коллектор К-16	—	—	—	0,983	2,385	1,635	0,73	2,44	1,629	1,465	3,118	1,953	0,804	4,33	2,178
Коллектор К-15-1'	0,247	0,759	0,548	0,517	1,893	1,211	0,715	3,830	1,875	0,562	5,210	2,149	0,696	3,93	1,783
Коллектор К-14	—	—	—	1,625	2,509	2,060	2,007	3,568	3,042	0,824	0,988	0,906	1,41	4,20	2,356
Коллектор К-13	—	—	—	0,825	1,331	1,082	0,608	1,386	1,041	0,736	1,368	0,941	0,796	1,072	0,912
Ат-Башинский орошаемый массив															
Камышановский коллектор (устье)	—	—	—	0,547	1,115	0,697	0,559	1,02	0,687	0,606	0,768	0,678	0,632	1,392	0,991
Коллектор К-2 (вход на массив)	0,999	2,166	1,416	1,359	2,643	1,805	0,795	1,565	1,352	0,971	3,733	2,140	1,32	2,24	1,805
Коллектор К-2 (выход с массива)	0,818	1,73	1,212	0,650	1,816	1,205	0,963	1,540	1,271	0,900	1,416	1,158	—	—	—
Дрена Д-2-7	0,353	1,391	1,031	0,590	1,715	1,040	0,900	1,773	1,522	0,553	2,461	1,430	—	—	—
Георгиевский орошаемый массив															
Коллектор К-2	0,744	0,762	0,753	0,686	1,018	0,873	0,936	1,166	0,960	0,878	1,61	1,183	0,424	0,796	0,615
Сброс К-2	—	—	—	—	—	—	0,939	1,008	0,764	—	—	—	0,400	0,732	0,545
р. Калгаты (с. Славное)	—	—	—	—	—	—	0,434	0,876	0,596	0,360	0,734	0,577	0,390	0,436	0,388
Дрена (с. Славное)	—	—	—	—	—	—	0,645	0,919	0,815	—	—	—	—	—	—
Ташуткульский орошаемый массив															
Чкаловский кол- лектор	—	—	—	—	—	—	2,469	3,498	2,809	1,47	1,973	1,721	1,46	1,972	1,716

Таблица 5.21

Сравнительная характеристика минерализации и ионного состава оросительных и коллекторно-дренажных вод

Категория вод	Средняя минерализация Σn , г/дм ³					Отношение ¹	Доминирующие ионы
	1971 г.	1972 г.	1973 г.	1974 г.	1975 г.		
Орошаемый массив ЗБЧК							
Оросительные коллекторно- дренажные	0,345	0,396	0,358	0,441	0,494	1,6—4,6 (3,4)	HCO_3^- , Ca^{2+} , Mg^{2+}
	0,548	1,439	1,666	1,527	1,692		SO_4^{2-} , Ca^{2+} , Mg^{2+}
Ат-Башинский орошаемый массив							
Оросительные коллекторно- дренажные	0,404	0,534	0,568	0,843	0,587	1,6—3,2 (2,4)	HCO_3^- , Ca^{2+} , Na^+
	1,314	1,187	1,208	1,351	1,515		SO_4^{2-} , Na^+
Георгиевский орошаемый массив							
Оросительные коллекторно- дренажные	0,331	0,441	0,397	0,537	0,488	1,0—2,3 (1,8)	HCO_3^- , Ca^{2+}
	0,753	0,873	0,784	0,880	0,501		SO_4^{2-} , HCO_3^- , Ca^{2+} , Na^+
Ташуткульский орошаемый массив							
Оросительные коллекторно- дренажные	—	0,762	0,691	0,651 ²	0,702 ²	2,4—4,1 (3)	SO_4^{2-} , Na^+
	—	—	2,809	1,721	1,716		SO_4^{2-} , Na^+
Таласский орошаемый массив							
Оросительные сбросные	0,178	0,325	0,157	0,342	0,367	0,8—2,0 (1,2)	HCO_3^- , Ca^{2+} , Na^+
	0,207	0,40	0,311	0,271	0,404		HCO_3^- , Ca^{2+}

¹ Отношение минерализации коллекторно-дренажных вод к минерализации оросительных вод.² Минерализация воды р. Чу у с. Ташуткуль.

Примечание. Цифры в скобках — среднее за 1971—1975 гг.

коллекторно-дренажных вод с экспериментального контура ЗБЧК. Вода с наименьшей минерализацией характерна для коллектора К-13, что объясняется участием в питании коллектора попусков воды с Дунганского озера. Значение минерализации коллекторно-дренажных вод мало изменялось в течение всего периода наблюдений. Воды коллектора К-14 имели максимальную минерализацию до $3,6\text{--}4,2$ г/дм³, так как основное питание коллектор получает за счет грунтовых вод. Коллектор К-15 отличался наиболее четко выраженным химическим режимом (рис. 5.7). Увеличение коллекторного стока в вегетационный период характеризовалось уменьшением минерализации коллекторно-дренажных вод. В зимне-весенний период при отсутствии поливов минерализация коллекторно-дренажных вод возрастает.

Водозаборы и попуски нарушают режим коллекторов, поэтому четкой зависимости между расходами и минерализацией воды не установлено.

Наблюдения за минерализацией и химическим составом коллекторно-дренажных вод Ат-Башинского орошаемого массива проводились на коллекторах Камышановском и К-2, а также на дрене Д-2-7.

Минимальной минерализацией характеризовались воды Камышановского коллектора (рис. 5.8). Стабильность минерализации можно объяснить регулирующим влиянием вод р. Чу, так как коллектор расположен в прирусловой пойме.

Химический режим вод коллектора К-2 характеризовался заметными колебаниями минерализации, причем в результате анализа серии измерений установлено, что колебания минерализации воды на входе и выходе из орошаемого массива почти синхронны, а минерализация коллекторно-дренажных вод, сбрасываемых в р. Чу, меньше минерализации воды, приходящей на массив. Коллектор К-2 является продолжением коллектора К-12 (орошаемый массив ЗБЧК). Вероятно, режим питания коллектора выше Ат-Башинского орошаемого массива и определяет колебание минерализации при входе его на экспериментальный контур (массив). А более пресные сбросные и коллекторно-дренажные воды этого массива, попадая в коллектор К-2, снижают в некоторой степени (до 30 %) исходную минерализацию воды в нем.

В дрене Д-2-7 было отмечено резкое уменьшение минерализации воды во время поливов и стабильное ее значение в невегетационный период с повышением средних значений от $1,30$ г/дм³ в 1971 г. до $1,70$ г/дм³ в 1975 г. Средняя годовая минерализация коллекторно-дренажных вод Ат-Башинского орошаемого массива увеличивается также от $1,19\text{--}1,22$ г/дм³ в 1971—1973 гг. до $1,515$ г/дм³ в 1975 г. (см. табл. 5.20). По химическому составу воды повсеместно сульфатно-натриевые.

Основным источником питания коллектора К-2 (Георгиевская оросительная система) являются дренажные воды, поступающие с левого и правого берега в коллектор по многочисленным дренам. В связи с малой минерализацией грунтовых вод ($0,3\text{--}$

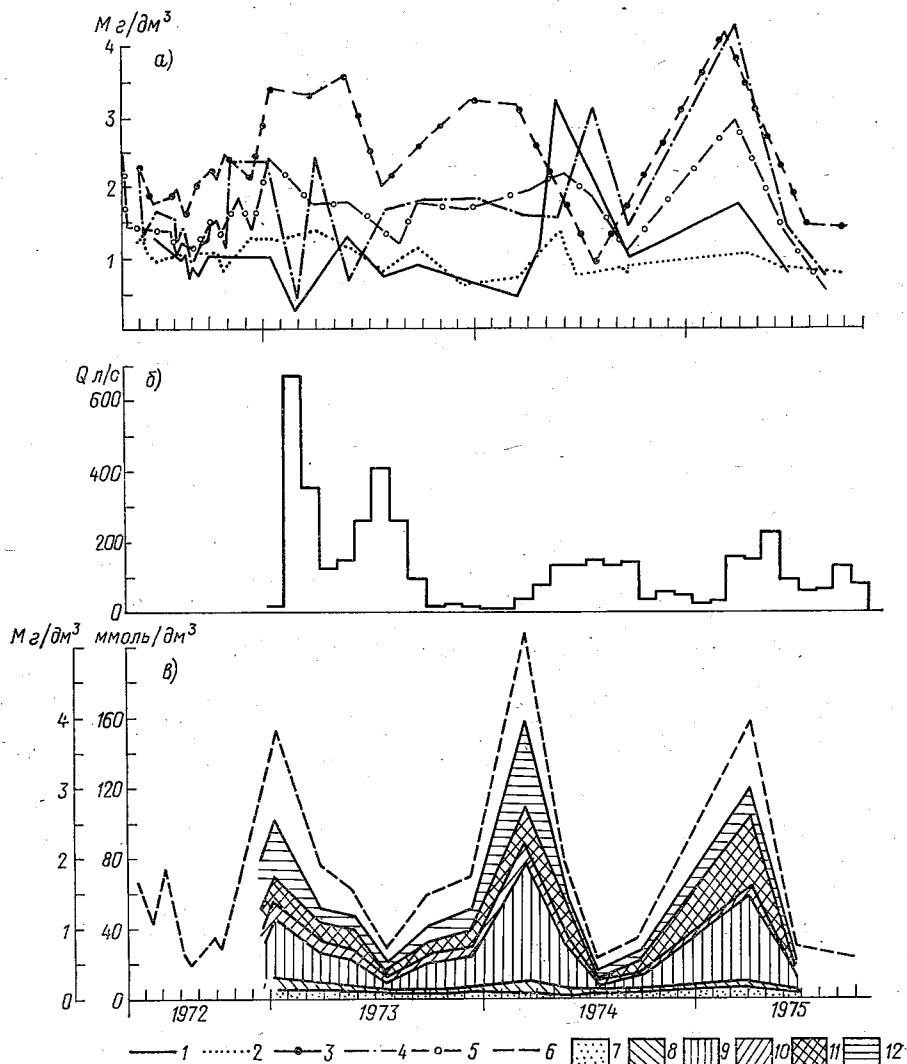


Рис. 5.7. Минерализация ($г/дм^3$) и ионный состав ($ммоль/дм^3$) коллекторно-дренажных вод орошаемого массива ЗБЧК.

a — минерализация, *б* — расходы воды, *г* — ионный состав воды в коллекторе К-15-1'.
 1 — р. Сухулук; коллекторы: 2 — К-13, 3 — К-14, 4 — К-16, 5 — К-17, 6 — К-15-1'. Ионы:
 7 — HCO_3^- , 8 — Cl^- , 9 — SO_4^{2-} , 10 — Ca^{2+} , 11 — Mg^{2+} , 12 — Na^+ .

1,3 г/дм³) и незасоленностью верхнего слоя почвогрунтов дренажные воды также содержат относительно небольшое количество солей, в основном минерализация в период наблюдений колебалась

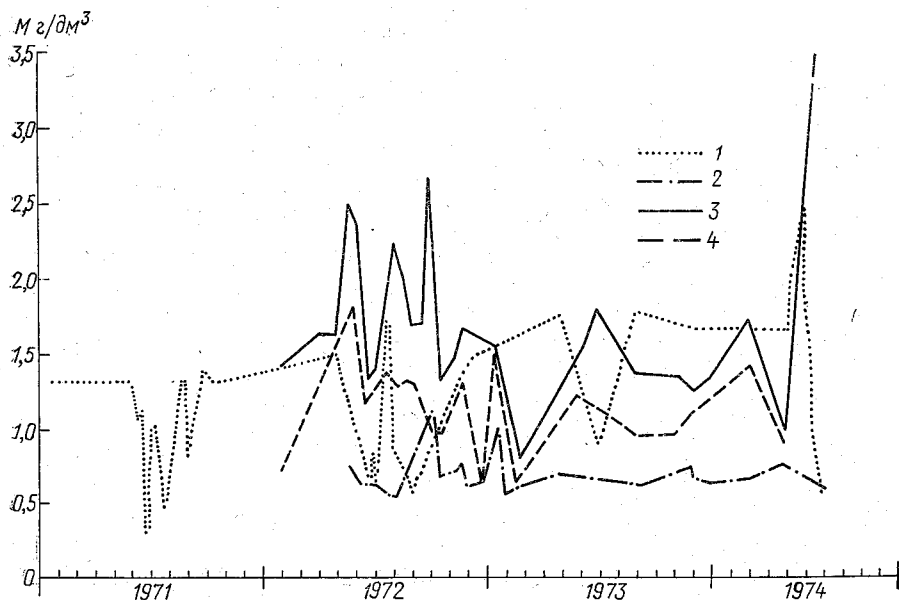


Рис. 5.8. Минерализация коллекторно-дренажных вод на Ат-Башинском орошаемом массиве.

Коллекторы: 1 — Д-2-7, 2 — Қамышановский, 3 — К-2 (вход на массив), 4 — К-2 (выход с массива).

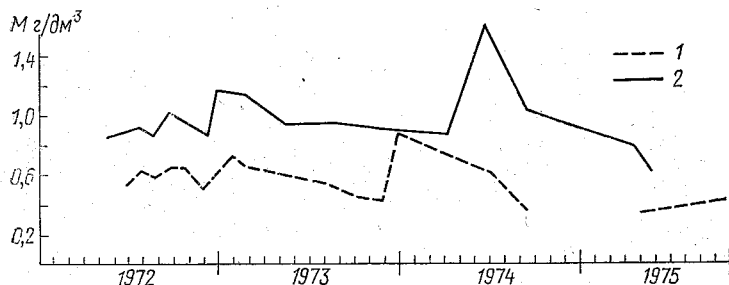


Рис. 5.9. Изменение минерализации коллекторно-дренажных вод на Георгиевском орошаемом массиве.

1 — коллектор К-2, с. Сары-Булак, 2 — р. Қалгата.

около значений 0,9 г/дм³ и за некоторым исключением мало изменялась во времени (рис. 5.9, табл. 5.20).

Минерализация воды в р. Қалгаты, являющейся естественной дренажной, еще меньше, чем воды в коллекторе К-2, и составляла 0,34—0,88 г/дм³. В ее режиме можно четко выделить увеличение

минерализации зимой за счет возрастания в питании коллектора доли грунтового стока и постепенное уменьшение в вегетационный период за счет поступления паводковых и сбросных маломинерализованных вод. По составу — воды гидрокарбонатные, кальциевые, реже сульфатные, натриевые.

Наиболее минерализованные коллекторно-дренажные воды характерны для Ташуткульского орошаемого массива, средняя годовая минерализация которых в 1974—1975 гг. составила 1,72 г/дм³, а в 1973 г. — 2,81 г/дм³. Во время вегетационного периода поверхностные сбросы воды в Чкаловский коллектор отсутствовали, расход воды в 0,5 км от устья не превышал 15—20 л/с. По химическому составу воды — сульфатные при смешанном катионном составе ($\text{SO}_4^{2-} > 65 \dots 70 \%$ по объему).

Одним из важнейших вопросов является возможность использования сбросных и коллекторно-дренажных вод для орошения.

Пригодность воды для орошения оценивается по общей концентрации растворимых солей, физико-химическому составу их, биологическим и бактериологическим свойствам. В условиях эффективно работающего дренажа и правильной техники орошения воду, содержащую менее 1 г/дм³ солей, можно применять для орошения без каких-либо ограничений. В отечественной и зарубежной практике орошения нередко используют воду с более высоким содержанием солей (3—8 г/дм³), что на хорошо дренированных территориях вполне допустимо.

Пригодность воды для орошения оценивалась согласно значениям коэффициента K_n (табл. 5.22), являющегося показателем щелочной характеристики воды (по Стеблеру).

Коллекторно-дренажные воды всех изучаемых массивов характеризуются соотношением ионов $\text{Na}^+ > \text{Cl}^-$. На основании вычисленных ирригационных коэффициентов (табл. 5.23) можно сделать вывод, что в целом коллекторно-дренажные воды Чуйской долины

Таблица 5.22

Классификация качества оросительных вод (по Стеблеру)

Ирригационный коэффициент K_n	Качественная оценка воды	Общая характеристика использования воды
Более 18	В высшей степени удовлетворительная	Вода может успешно применяться для орошения без проведения предупредительных мероприятий против накопления щелочей
18—6	Вполне удовлетворительная	Необходимо предупредить постепенное накопление щелочей практически для всех почв
5,9—1,2	Мало удовлетворительная	Вода может применяться для орошения только при искусственном дренаже
Менее 1,2	Плохая	Вода практически непригодна для орошения

Таблица 5.23

Оценка пригодности коллекторно-дренажных вод для повторного использования на орошение

Объект наблюдений	Ирригационный коэффициент $K_{и}$ (по Стеблеру)								Качество воды для орошения
	1972 г.		1973 г.		1974 г.		1975 г.		
	период		период		период		период		
	невегета- ционный	вегета- ционный	невегета- ционный	вегета- ционный	невегета- ционный	вегета- ционный	невегета- ционный	вегета- ционный	

Контур в оросительной системе ЗБЧК

Коллекторы:										
К-13	>18	>18	>18	>18	>18	>18	>18	>18	>18	В период вегетации удовлетворительное и вполне удовлетворительное
К-14	8,9—14,6	13,2—18,5	7,9—8,1	10,4—14,3	7,6	>18	11,9	>18	>18	
К-15—1'	15,1—17,5	>18	5,3—14,0	>18	14,5	>18	10,5	>18	>18	
К-16	10,8—14,3	>18	13,1—13,2	>18	>18	>18	5,91	>18	>18	
К-17	10,5—14,1	>18	14,6	>18	15,8—16,9	>18	>18	>18	>18	
р. Сухулук	>18	>18	>18	>18	>18	>18	>18	>18	>18	

Контур в оросительной Ат-Башинской системе

Камышановский коллектор	>18	>18	>18	>18	>18	>18	>18	>18	В высшей степени удовлетворительное
Коллектор К-2 (нижний створ)	>18	>18	>18	>18	>18	>18			

Контур в Ташуткульской оросительной системе

Чкаловский коллектор		6,2—9,7	12,6—13,5	9,1—13,6	Вполне удовлетворительное

хорошего и вполне удовлетворительного качества. Воды Ташуткульского орошаемого массива и некоторых коллекторов орошаемого массива ЗБЧК (К-14, К-15-1') можно использовать лишь при постоянном контроле за состоянием орошаемых площадей.

Химическое качество коллекторно-дренажных вод определяется также концентрацией органических веществ и биогенных соединений (табл. 5.24). Среди биогенных соединений по концентрации на первом месте находятся нитраты. Больше всего их наблюдалось в коллекторно-дренажных водах Георгиевской оросительной системы. Как правило, в вегетационный период концентрация органического вещества и биогенных соединений увеличивается.

5.4.2. Минерализация и химический состав грунтовых вод

Характеристика химического состава грунтовых вод Чуйской долины получена на основании данных экспедиции ГГИ и работ, проведенных различными авторами в предшествующие годы (М. И. Суббота, Е. А. Никитина, 1957; Е. И. Лагутин, 1967; Н. М. Каркищенко, С. Л. Казиевская, А. К. Коростелева, А. К. Годовников, К. М. Ефремова и др., 1966, 1968, 1973; К. К. Казиев, В. Челангизова, В. К. Кадыров, 1973).

Различный литологический состав пород, разная их водопроницаемость, различные условия питания и дренирования территории определяют пестроту минерализации грунтовых вод, которая в пределах Чуйской долины изменяется от 0,2 до 25 г/дм³. Преобладают в основном грунтовые воды с плотным остатком до 1 и от 1 до 3 г/дм³. В западной и на некоторых участках центральной части долины выделены микрозоны засоленных грунтовых вод с минерализацией 5—10 и более 25 г/дм³. При разнообразии значений минерализации прослеживается закономерное увеличение ее от области питания к области транзита и разгрузки, на левобережье — с юга на север, при смене химического состава вод от $\text{HCO}_3 - \text{Ca} - \text{Mg}$ в зоне питания до $\text{HCO}_3 - \text{SO}_4 - \text{Mg} - \text{Na}$ в зоне выклинивания и $\text{SO}_4 - \text{Cl} - \text{Na} - \text{Mg}$ или $\text{SO}_4 - \text{HCO}_3 - \text{Na} - \text{Mg}$ в зонах транзита и разгрузки.

В зоне питания — предгорный шлейф Киргизского хребта — поверхностные воды, фильтруясь через незасоленную толщу валунно-галечниковых отложений, разбавляют грунтовые воды, вследствие чего минерализация их здесь составляет 0,1—0,2 и не более 0,4—0,5 г/дм³. По составу воды — гидрокарбонатные с преобладанием среди катионов Ca^{2+} .

В зоне выклинивания грунтового потока около 60 % опробованных скважин на орошаемом массиве ЗБЧК вскрывают воды гидрокарбонатные натриево-магниевого и магниевонатриевого состава и около 40 % скважин — воды гидрокарбонатно-сульфатные и сульфатные с преобладанием ионов Mg^{2+} или Na^+ с Mg^{2+} среди катионов.

Ионный состав грунтовых вод подчиняется общему закону: при $M < 1$ г/дм³, как правило, воды гидрокарбонатные, при $M >$

Таблица 5.24

Концентрация (мг/дм³) биогенных и органических соединений в коллекторно-дренажных водах орошаемых массивов Чуйской долины

Год	NO ₃ ⁻		NO ₂ ⁻		NH ₄ ⁺		Фосфаты		Железо		Окисляемость, мг/дм ³ атомарного кислорода			
											перманганатная		бихроматная	
	от	до	от	до	от	до	от	до	от	до	от	до	от	до
Оросительная система ЗБЧК														
1971	0,20	1,00	0,002	0,286	—	—	0,001	0,170	0,01	0,06	0,9	3,2	2,8	12,5
1972	0	3,24	0	0,520	0	0,45	—	—	0	0,60	—	—	—	—
1973	0,10	14,70	0,010	1,22	0	5,60	—	—	0	3,9	0,16	0,48	—	—
1974	0,005	0,20	0,004	0,020	0	0,88	—	—	0	3,9	0,30	10,4	—	—
1975	0,10	0,51	0,001	0,47	0,07	0,52	—	—	—	—	0,16	3,60	—	—
Ат-Башинская оросительная система														
1971	0,05	10,0	0,004	0,086	—	—	0,004	0,228	0,003	0,15	1,1	3,6	8,9	38,9
1972	0,02	5,6	0	1,65	0,30	3,5	—	—	0,15	1,95	—	—	—	—
1973	0	2,6	0	1,50	0	2,65	—	—	0	1,50	—	—	—	—
1974	0	0,42	0	0,005	0	0,22	—	—	0	3,8	1,4	16,0	—	—
1975	0,08	0,29	0,001	0,120	0,017	0,29	—	—	—	—	0,24	8,0	—	—
Георгиевская оросительная система														
1971	1,00	1,50	0,001	0,006	—	—	0,050	0,145	0,04	0,10	4,1	4,2	13,5	21,8
1972	0,20	6,60	0,003	0,120	0,04	0,70	—	—	0,05	1,50	—	—	—	—
1973	0,14	2,0	0,002	0,400	0,30	0,56	—	—	0,10	3,70	—	—	—	—
1974	0,008	0,190	0,003	0,020	0	0,005	—	—	2,60	3,90	2,4	4,7	—	—
1975	0,17	0,25	0,008	0,260	0,21	0,88	—	—	—	—	0,16	3,76	—	—
Ташуткульская оросительная система														
1973	0,82	2,60	0,020	0,420	0	0,54	—	—	0,02	0,30	—	—	—	—
1975	0,05	0,31	0	0,011	0	0,18	—	—	—	—	2,80	4,80	—	—

$> 1 \text{ г/дм}^3$ содержание иона SO_4^{2-} превалирует над содержанием иона HCO_3^- . Сульфатные воды с повышенной минерализацией вскрываются в южной части орошаемого массива ЗБЧК и в районе экспериментальных полей. На площадях распространения вод с минерализацией больше $1,0 \text{ г/дм}^3$ наблюдается концентрация солей в верхних горизонтах почв или прямо на поверхности. Так как большинство гидрогеологических скважин расположены вблизи водотоков, можно предположить, что вне зоны влияния поверхностных вод (распределителей, коллекторов) сульфатные воды встречаются значительно чаще, чем зафиксировано наблюдениями. На площадях распространения маломинерализованных вод (менее $0,8 \dots 1,0 \text{ г/дм}^3$) орошение вызывает незначительные сезонные изменения минерализации, в многолетнем же разрезе она остается почти постоянной. На участках с минерализацией, большей 1 г/дм^3 , поливная вода с достаточно низкой концентрацией солей оказывает разбавляющее воздействие на грунтовые воды. Изменения минерализации в вегетационный период достигают всего нескольких десятых грамма (рис. 5.10). Тип минерализации, как правило, остается неизменным. В многолетнем разрезе на основании проведенных наблюдений выявить тенденцию к увеличению или уменьшению минерализации грунтовых вод на экспериментальных орошаемых массивах не представилось возможным. Значение средней годовой минерализации по отдельным скважинам колебалось от года к году в широких пределах в зависимости от климатических факторов и водохозяйственной деятельности.

На Ат-Башинском орошаемом массиве минерализация грунтовых вод изменяется от $0,27$ до $6,66 \text{ г/дм}^3$, причем менее минерализованные воды (в пределах $0,27\text{—}1,25 \text{ г/дм}^3$ при среднем значении $0,53 \text{ г/дм}^3$) встречаются вдоль русла р. Чу, по восточной границе массива и вдоль Ат-Башинского магистрального канала. Более минерализованные воды присущи центральной и западной частям массива, где средняя минерализация составляет около $2,20 \text{ г/дм}^3$. В анионном составе доминирующая роль принадлежит ионам SO_4^{2-} , причем значение минерализации может быть незначительным ($< 1 \text{ г/дм}^3$). В конце вегетационного периода за счет значительного поступления поливных вод анионный состав грунтовых вод становится пестрым. В катионном составе повсеместно преобладают ионы Na^+ и Mg^{2+} .

При малой минерализации грунтовых вод ($< 1 \text{ г/дм}^3$) сезонные изменения почти незаметны. При минерализации, превышающей 1 г/дм^3 , прослеживается возрастание ее в зимний период при наиминимуме уровне грунтовых вод и уменьшение в летний период. Для скважин, расположенных в зоне влияния распределителей, колебания минерализации более выражены. Например, на экспериментальном поле скважины, пробуренные в центре поля, вскрывают сульфатную воду, минерализация которой остается более 2 г/дм^3 в течение всего периода наблюдений. Тогда как в зоне влияния распределителя Р-808, оконтуривающего это поле, мине-

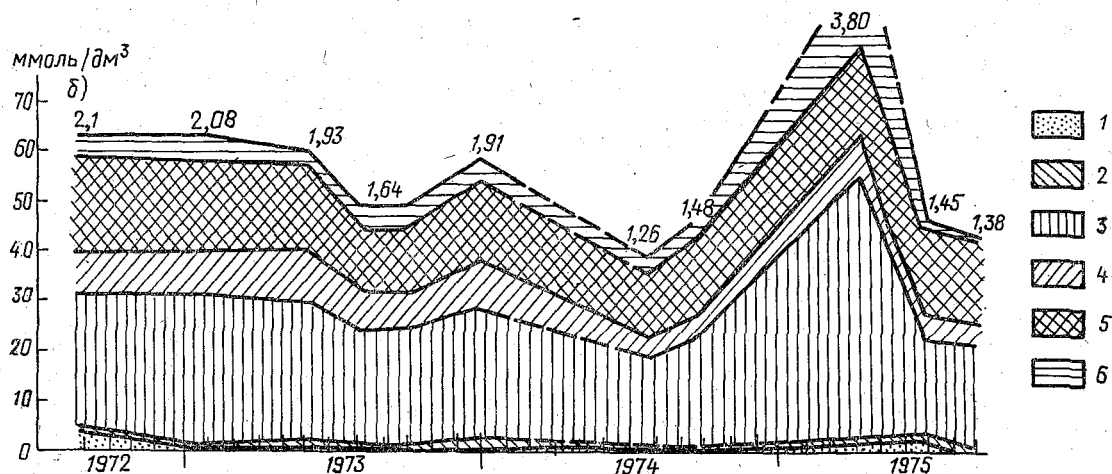
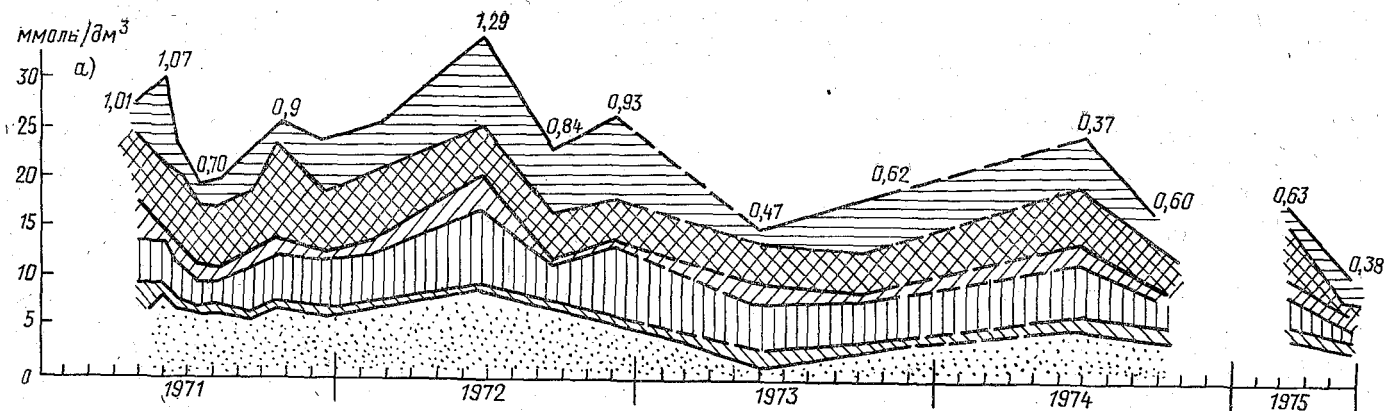


Рис. 5.10. Ионный состав грунтовых вод (ммоль/дм³) и минерализация на орошаемом массиве ЗБЧК.

а — скв. 1, б — скв. 29. Ионы: 1 — HCO_3^- , 2 — Cl^- , 3 — SO_4^{2-} , 4 — Ca^{2+} , 5 — Mg^{2+} , 6 — Na^+ . Цифры на графике — минерализация, г/дм³.

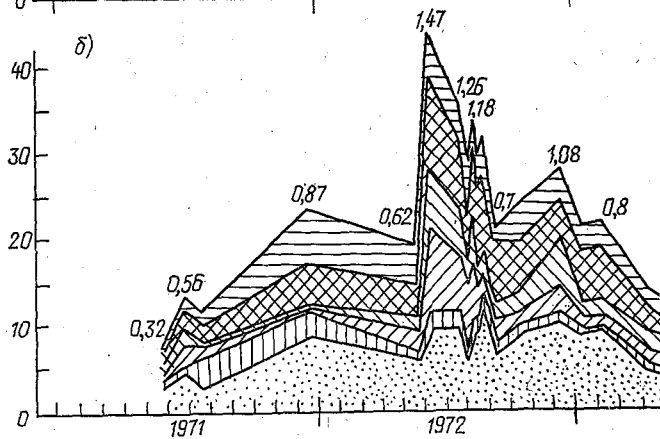
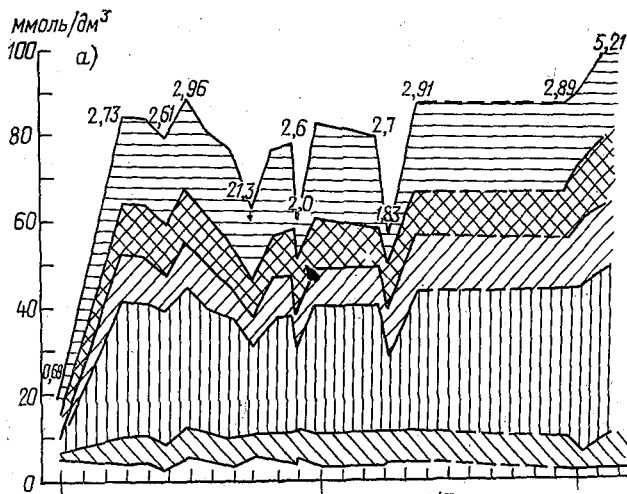


Рис. 5.11. Ионный состав (ммоль/дм³) и минерализация грунтовых вод на Ат-Башинском орошаемом массиве.



1



2



3



4

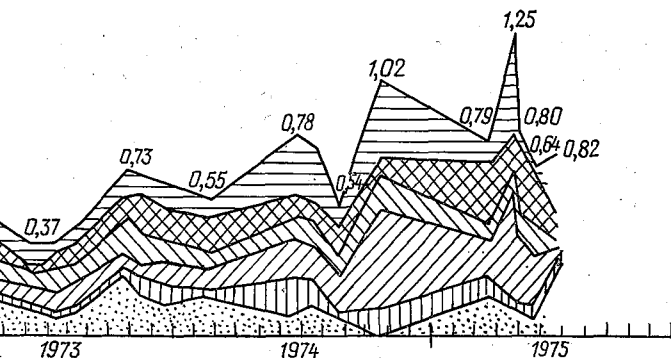


5



6

a — скв. 2, b — скв. 10. Ионы: 1 — HCO_3^- , 2 — Cl^- , 3 — SO_4^{2-} , 4 — Ca^{2+} , 5 — Mg^{2+} , 6 — Na^+ . Цифры на графике — минерализация, г/дм³.



рализация грунтовых вод подвержена значительным изменениям и в анионном составе преобладают гидрокарбонаты (рис. 5.11).

В пределах Георгиевского воднобалансового участка можно проследить как зону формирования грунтового потока, так и зону разгрузки. Незасоленность грунтов зоны аэрации, хорошая естественная дренированность массива являются причиной невысокой

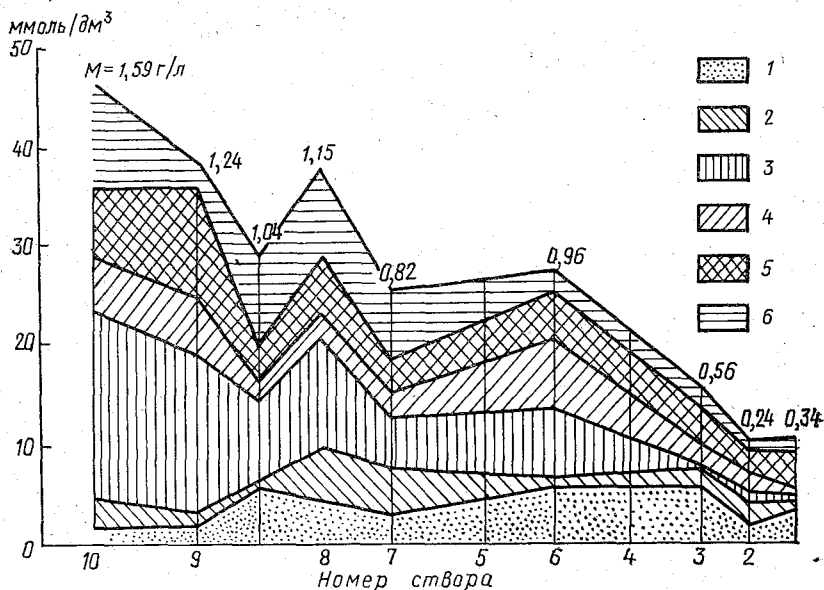


Рис. 5.12. Гидрохимический разрез правого склона долины р. Чу в осенний период.

1 — HCO_3^- , 2 — Cl^- , 3 — SO_4^{2-} , 4 — Ca^{2+} , 5 — Mg^{2+} , 6 — Na^+ . Цифры на графике — минерализация, г/дм³.

На горизонтальной оси — номера и расстояния между скважинами по разрезу в направлении от Георгиевского магистрального канала к р. Чу (см. рис. 5.3).

минерализации грунтовых вод. Из 26 опробованных скважин только 2 показывают минерализацию, превышающую 1,5 г/дм³. В основном же она изменяется по площади массива и во времени от 0,30 до 1,30 г/дм³.

Более минерализованные воды сульфатного состава вскрыты на второй надпойменной террасе. Вдоль естественных водотоков и на первой надпойменной террасе р. Чу отмечены воды гидрокарбонатные смешанного катионного состава. На гидрохимическом разрезе через правый склон долины р. Чу ясно прослеживается изменение ионного состава и минерализации грунтовых вод по мере приближения к р. Чу (рис. 5.12).

На Ташуткульском орошаемом массиве грунтовые воды смешанного катионного состава, среди анионов преобладают сульфаты. Минерализация изменяется от 0,30 до 16,8 г/дм³ при сред-

нем значении $1,39 \text{ г/дм}^3$. За период наблюдений изменение минерализации по отдельным скважинам составляет $0,30\text{--}2,8 \text{ г/дм}^3$. Уменьшение минерализации происходит, как правило, в летний период.

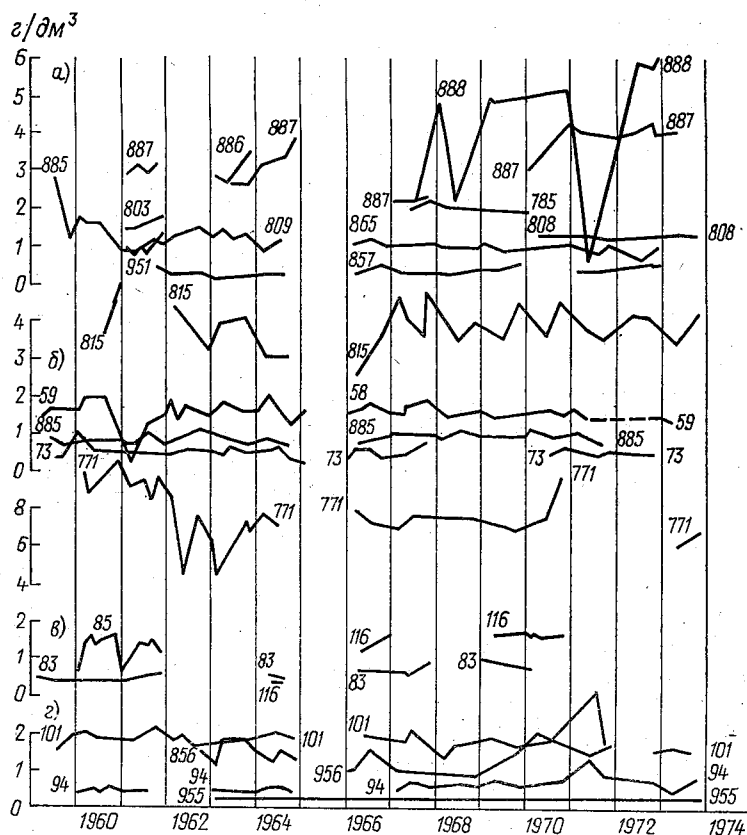


Рис. 5.13. Минерализация грунтовых вод Чуйской долины за 1959—1974 гг., г/дм^3 .

Створы: а — Маловодный, б — Беловодский, в — Калининский, г — Каиндинский.

По данным наблюдений режимной станции Чуйской гидрогеологической экспедиции Мингео Киргизской ССР (рис. 5.13), изменение минерализации грунтовых вод носит сезонный характер, за многолетний период (1959—1974 гг.) существенных тенденций в ее изменении не обнаружено. Однако, по свидетельству А. М. Мамытова [53], в отдельных зонах происходили изменения минерализации грунтовых вод. Так, в 1958—1964 гг. в сазовой зоне Чуйской впадины имелось 209 тыс. га земель с пресными (до 1 г/дм^3) грунтовыми водами, в 1967 г. их стало 173,5 тыс. га, но увеличились площади земель со слабоминерализованными грунтовыми

водами (1—5 г/дм³) на 33 тыс. га, со среднеминерализованными (5—10 г/дм³) — на 11 тыс. га и сильноминерализованными (10—25 г/дм³) — на 4 тыс. га. За этот же период площади слабозасоленных почв сократились в 3,2 раза (с 74 до 23 тыс. га), а площади сильнозасоленных почв и солончаков возросли в 4,2 раза (с 14 до 58 тыс. га).

На орошаемом массиве в системе рек Урмарал и Кумыштаг (долина р. Талас) грунтовые воды залегают на глубине 39—45 м. Наблюдения за минерализацией проводились в двух скважинах, в группе родников Минбулак (№ 1 и 2) и карасу Минбулак, а также в колодце у с. Водное. На основании ограниченного объема данных по минерализации грунтовых вод можно констатировать, что воды родников по химическому составу гидрокарбонатные с преобладанием ионов Ca^{2+} в катионном составе, а минерализация находится в пределах от 247 до 526 мг/дм³ (табл. 5.25).

Таблица 5.25

Минерализация (мг/дм³) грунтовых, родниковых и оросительных вод на орошаемом массиве в междуречье Урмарал—Кумыштаг (Таласская долина) в 1972—1975 гг.

Объект	Вегетационный период			Невегетационный период		
	мини-мум	макси-мум	среднее	мини-мум	макси-мум	среднее
Скважина № 1, с. Водное	355	573	478	473	514	492
Скважина № 2, с. Ленинполь	403	662	537	416	544	483
Родник Минбулак, 1-й	272	513	395	247	453	328
Родник Минбулак, 2-й	300	526	408	352	424	373
Карасу Минбулак	343	652	479	332	576	454
Таласский подпитывающий канал (ТПК) у пересечения с р. Урмарал	270	298	284	272	347	309
ТПК у пересечения с р. Кумыштаг	303	483	388	336	351	343

Родники и источники «карасу» характеризуются повышенным содержанием нитратов (соответственно до 9,0 и 5,9 мг/дм³) (табл. 5.26).

Таблица 5.26

Концентрация биогенных соединений (мг/дм³) в водах Таласской долины

Категория вод	NO_3^-		NO_2^-		$\text{Fe}_{\text{общ}}$	
	от	до	от	до	от	до
Грунтовые воды	0,40	2,35	0,02	1,01	0,20	0,27
Родники	0,10	9,00	0,02	1,80	0,15	0,30
Карасу	2,25	5,86	—	—	0,23	0,35
Оросительные воды	0,80	6,00	0,00	—0,06	0,00	0,27

5.4.3. Элементы водно-солевого баланса почв на экспериментальных участках и сельскохозяйственных полях

Почвы на экспериментальных полях в основном незасоленные — среднее содержание воднорастворимых солей в метровом слое составляет 0,03—0,185 % (табл. 5.27), хотя на полях встре-

Таблица 5.27

Содержание воднорастворимых солей в метровом слое почвы на экспериментальных полях

Массив орошаемых земель в оросительной системе	Культура	Дата	Содержание солей	
			%	т/га
1971 г.				
ЗБЧК Ат-Башинской	Сахарная свекла	2/X	0,146	21,0
	”	2/X	0,126	17,7
	Кукуруза	2/X	0,179	25,4
	Люцерна	2/X	0,185	26,6
	”	1972 г.	0,030—1,15	8,5—165
1971 г.				
Георгиевской Таласской	Сахарная свекла	6/X	0,083	11,6
	Озимая пшеница	4/V	0,079	11,1
	Эспарцет	5/V	0,054	8,2

чаются участки, где содержание солей достигает более 1 % (например, на Ат-Башинском воднобалансовом участке). При содержании солей 0,1—0,2 % преобладают анионы HCO_3^- ($\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$), а среди катионов — кальций ($\text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+}$), что характерно для почв воднобалансовых участков Георгиевского, Таласского и ЗБЧК орошаемых массивов. На участке Ат-Башинского орошаемого массива имеются почвы с преобладанием иона SO_4^{2-} ($\text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^- > \text{Cl}^-$). Сульфат-ион становится доминирующим при содержании солей 0,4—0,8 % и более, при этом увеличивается доля хлор-иона, а среди катионов — натрий-иона.

Для анализа динамики солевых запасов в почвах на экспериментальных полях Ат-Башинского орошаемого массива в 1972 и 1975 гг. были проведены солевые съемки. Образцы почв отбирались по слоям через каждые 10 см до глубины 1 м, а глубже — по 50-сантиметровым слоям. Было опробовано 60 скважин. При подсчете запасов солей в слоях 0—100 и 100—200 см использовались данные анализа водной вытяжки и плотности почвы.

Сравнение результатов солевых съемок 1972 и 1975 гг. показало, что в пределах воднобалансового участка площадью 300 га за три года практически не произошло увеличения площади за-

Таблица 5.28

Поступление и вынос растворенных солей и отдельных ионов (т/га) с поверхностными водами на экспериментальных орошаемых полях с сахарной свеклой

Элементы водно-солевого баланса	Объем воды, м³/га		Количество солей		HCO_3^-		Cl^-		SO_4^{2-}		Ca^{2+}		Mg^{2+}		$\text{Na}^+ + \text{K}^+$	
	1971 г.	1972 г.	1971 г.	1972 г.	1971 г.	1972 г.	1971 г.	1972 г.	1971 г.	1972 г.	1971 г.	1972 г.	1971 г.	1972 г.	1971 г.	1972 г.

Оросительная система ЗБЧК

Поступление (P_c)	12 750	9 210	5,46	2,94	3,50	1,51	0,18	0,19	0,46	0,47	0,74	0,47	0,28	0,09	0,30	0,19
Вынос (P_e)	2 360	1 680	1,35	0,53	0,80	0,27	0,06	0,02	0,16	0,08	0,19	0,08	0,08	0,02	0,05	0,03
$P_c - P_e$	10 390	7 530	4,11	2,41	2,70	1,24	0,12	0,17	0,30	0,39	0,55	0,39	0,20	0,07	0,25	0,16

Атбашинская оросительная система

Поступление (P_c)	12 170	6 040	5,41	2,98	2,76	1,17	0,27	0,18	0,96	0,76	0,79	0,41	0,26	0,12	0,37	0,23
Вынос (P_e)	1 330	2 010	0,56	1,01	0,32	0,40	0,03	0,06	0,09	0,26	0,06	0,14	0,02	0,04	0,03	0,10
$P_c - P_e$	10 840	4 030	4,85	1,97	2,44	0,77	0,24	0,12	0,85	0,50	0,73	0,27	0,24	0,28	0,34	0,13

Георгиевская оросительная система

Поступление (P_c)	16 310	16 860	6,35	7,08	2,24	3,37	0,25	0,34	2,14	1,33	0,91	1,01	0,24	0,34	0,58	0,51
Вынос (P_e)	4 840	4 200	1,86	1,76	1,35	0,80	0,08	0,13	0,25	0,50	0,31	0,29	0,07	0,08	0,12	0,13
$P_c - P_e$	11 470	12 660	4,49	5,32	0,89	2,57	0,17	0,21	1,89	0,83	0,60	0,72	0,17	0,26	0,45	0,38

Таблица 5.29

Поступление и вынос растворенных солей (т) с поверхностными водами
на орошаемом массиве ЗБЧК

Год	Поступление по каналам ЗБЧК, Совхозный Подпитываю- щий (П _с)	Вынос (P _с)					р. Сухулук	Сумма	П _с - P _с	$\frac{П_с - P_с}{F}$ т/га
		коллектор								
		К-13	К-14	К-15-1	К-16	К-17				
1972	34 802	3843	9 684	3 287	11 811	8 197	8 649	45 519	—10 717	—0,49
1973	33 829	7342	18 375	11 032	19 756	11 466	9 593	77 564	—43 735	—2,00
1974	40 763	3308	7 591	3 980	14 557	14 897	11 411	55 750	—14 987	—0,62
1975	68 746	868	7 675	6 103	14 873	7 794	12 961	50 274	18 472	0,77

Таблица 5.30

Поступление и вынос растворенных солей (т) с поверхностными водами
на Ат-Башинском орошаемом массиве

Год	Поступление (П)					Вынос (P _с)			P _с - P _с	$\frac{P_{с} - P_{с}}{F}$ т/га
	Ат-Башин- ский магистраль- ный канал	коллектор			сумма	коллектор		сумма		
		К-2 (верхний створ)	К-13	К-14		К-2 (нижний створ)	Камышанов- ский			
1972	40 060	28 917	3 754	9 506	82 237	26 251	9 168	35 419	46 818	1,42
1973	80 815	52 730	7 846	18 351	159 282	56 307	16 925	73 232	86 050	2,56
1974	71 156	49 822	39 177	89 935	250 090	37 001	13 888	50 889	199 201	5,96
1975	59 001	24 968	772	75 449	160 190	36 409	12 497	48 906	111 284	3,32

соленных земель. В пределах Ат-Башинской оросительной системы на большей части участка запасы солей в метровом слое почвы составляли 10—20 т/га. В целом по участку существенных изменений в запасах солей не произошло. Но на экспериментальном поле почти по всем скважинам наблюдалось увеличение запасов солей, что, очевидно, связано с близким стоянием грунтовых вод в вегетационный период, влияние микрорельефа, недостаточным выносом солей с дренажными водами (табл. 5.28). Как показали материалы наблюдений на сельскохозяйственных полях, орошение приводит к поступлению в почвенно-грунтовую толщу заметных количеств солей. Вынос отдельных ионов составляет 10—70 % их поступления на поле с оросительными водами.

Сопоставление поступления растворенных солей с оросительными водами и выноса их с коллекторно-дренажными за пределы орошаемых контуров обнаруживает превышение поступления солей над их выносом на Ат-Башинском орошаемом массиве. На орошаемых массивах ЗБЧК и Георгиевском наблюдается преобладание выноса солей над поступлением. Ежегодно с этих массивов удаляется в среднем 0,5—3,2 т/га солей. На Ат-Башинском орошаемом массиве за счет оросительных вод, наоборот, прибавляется 1,4—6,0 т/га солей в год (табл. 5.29—5.31).

Таблица 5.31

Поступление и вынос растворенных солей (т) с поверхностными водами на Георгиевском орошаемом массиве

Год	Поступление (P_c)	Вынос (P_c)	$P_c - P_c$	$\frac{P_c - P_c}{F}$ т/га
1972	30 650	92 453	—61 803	—2,91
1973	54 288	110 092	—55 804	—2,63
1974	71 854	145 182	—73 228	—3,45
1975	75 433	66 078	9 355	0,44

6. ИССЛЕДОВАНИЯ РУСЛОВЫХ ВОДНЫХ БАЛАНСОВ РЕК ЧУ И ТАЛАС

6.1. Методика расчета элементов русловых водных балансов

6.1.1. Основные расчетные уравнения

Основной задачей исследования руслового водного баланса (РВБ) рек Чу и Талас являлась количественная оценка его элементов и выявление на этой основе участков рек, отличающихся различным взаимодействием поверхностных и подземных вод.

Природные условия и хозяйственное использование воды на отдельных участках исследуемых водотоков весьма различны. На некоторых из них изъятия воды вовсе отсутствуют, а на других они очень велики, на одних участках пойменных понижений нет, а в низовьях р. Чу они занимают громадные площади. Поэтому и структура РВБ для различных участков неодинакова.

Для удобства расчета руслового водного баланса, анализа и обобщения полученных данных рассматриваемые реки разделены на отдельные участки, которые с учетом изъятий воды из них на орошение и другие хозяйственные нужды и аккумуляции ее на поймах и в водохранилищах, сгруппированы в четыре типа.

Участки I типа характеризуются наличием значительной поймы, изъятиями воды из реки и частичным возвратом ее по коллекторам.

Для участков II типа характерно наличие значительной поймы и отсутствие водозаборов из реки на орошение и другие хозяйственные нужды.

К III типу относятся участки без существенной поймы, но с наличием водохранилищ, изъятий воды из реки и сброса ее по коллекторам.

Участки типа IV отличаются отсутствием существенной поймы и водохранилищ при наличии водозаборов из реки и возврата воды по коллекторам.

Русловой водный баланс для участков типа I может быть выражен следующим уравнением:

$$Q_{\text{в}} + Q_{\text{пр}} + Q_{\text{ос}} - Q_{\text{н}} - Q_{\text{вз}} + Q_{\text{вс}} - Q_{\text{ив}} - Q_{\text{ис}} - Q_{\text{рр}} - \\ - Q_{\text{а}} - Q_{\text{гр}} + Q_{\text{о}} = 0, \quad (6.1)$$

где $Q_{\text{в}}$ и $Q_{\text{н}}$ — расходы воды в верхнем и нижнем створах, ограничивающих участок; $Q_{\text{пр}}$ — сумма расходов воды боковых притоков; $Q_{\text{ос}}$ — расход воды, сформировавшийся от поступления осадков на поверхность русла и поймы (в пределах максимальной в данном

году площади затопления); $Q_{вз}$ — общий расход водозабора на участке реки; $Q_{вс}$ — суммарный расход возвратных поверхностных вод, сбрасываемых в реку; $Q_{ив}$ — суммарный расход воды на ее испарение с поверхности и транспирацию полупогруженной растительностью; $Q_{ис}$ — расход воды на испарение с обсохшей части поймы; $Q_{рр}$ — расход воды руслового регулирования, принимаемый со знаком плюс при ее накоплении на участке и со знаком минус при отдаче; Q_a и $Q_{гр}$ — расходы воды, соответствующие изменению за расчетный интервал времени запасов влаги в почвогрунтах зоны аэрации и запасов грунтовых вод на затопляющихся участках поймы (со знаком плюс при увеличении и со знаком минус при уменьшении их значений); Q_o — расход воды, отражающий водообмен между речным (включая пойму и водохранилища) и подземным потоками (в том числе поступление в реку возвратных вод с орошаемых полей подземным путем) и невязку баланса.

При отсутствии водозаборов из реки на орошение и другие хозяйственные нужды (участки II типа) уравнение (6.1) приобретает вид:

$$Q_{в} + Q_{пр} + Q_{ос} - Q_{н} - Q_{ив} - Q_{ис} - Q_{рр} - Q_a - Q_{гр} + Q_o = 0. \quad (6.2)$$

При наличии на участке реки водохранилищ, но отсутствии выраженной поймы (участки III типа), РВБ может быть представлен уравнением

$$Q_{в} + Q_{пр} + Q_{ос} - Q_{н} - Q_{вз} + Q_{вс} - Q_{ив} - Q_{рр} + Q_o = 0. \quad (6.3)$$

Оценка значимости отдельных элементов РВБ баланса показала, что для беспойменных участков рек при отсутствии водохранилищ можно пренебречь значениями расходов воды, обусловленных поступлением осадков на водную поверхность русла $Q_{ос}$, испарением с последней $Q_{ив}$ и русловым регулированием ($Q_{рр}$).

В связи с этим уравнение РВБ для участков IV типа может быть записано в виде

$$Q_{в} + Q_{пр} - Q_{н} - Q_{вз} + Q_{вс} + Q_o = 0. \quad (6.4)$$

Все компоненты уравнений (6.1) — (6.4), кроме компонента Q_o , поддаются измерению. Поэтому расчет РВБ сводится к решению приведенных уравнений относительно остаточного члена Q_o с целью определения его физической сущности и оценки изменения последнего под влиянием естественных и антропогенных факторов.

В случае, когда все элементы РВБ измеряются, а подземный водообмен незначителен, результаты расчета РВБ можно считать надежными, если соблюдается соотношение

$$|Q_o| \leq a_p \sigma_o, \quad (6.5)$$

где σ_o — средняя квадратическая ошибка расчета элемента Q_o , а значение a_p зависит от доверительной вероятности P . Обычно ограничиваются значением $P = 0,95$, для которого $a_p = 2$. Следова-

вательно, критерий надежности расчета русловых водных балансов в рассматриваемых условиях может быть представлен в виде

$$|Q_0| \leq 2\sigma_0. \quad (6.6)$$

При отсутствии данных наблюдений за отдельными элементами РВБ и невозможности их оценки по косвенным данным при расчетах РВБ они не учитываются. В этих случаях остаточный член Q_0 совокупно отражает все неучтенные элементы РВБ и ошибки его расчета. В рассматриваемых условиях рассчитанные по уравнению РВБ значения Q_0 имеют определенный физический смысл лишь в случае, если они существенно больше средней квадратической ошибки их расчета σ_0 , вычисляемой по данным о средних квадратических погрешностях определения отдельных компонентов уравнения РВБ, т. е. соблюдается соотношение

$$|Q_0| \geq 2\sigma_0. \quad (6.7)$$

Выполнение этого критерия указывает на существование физических факторов, вызывающих увеличение или уменьшение стока дополнительно к тем, которые были учтены при решении уравнений (6.1) — (6.4).

Если $|Q_0| \leq \sigma_0$, остаточный член Q_0 соизмерим с ошибкой его определения и в связи с этим полученное значение Q_0 следует рассматривать как случайное.

При $\sigma_0 < |Q_0| < 2\sigma_0$ природа остаточного члена Q_0 является неопределенной. Заключение о случайности или неслучайности полученных значений Q_0 требует привлечения дополнительных материалов, например, многолетних данных. В этом случае особое внимание обращалось на изменение знака значений Q_0 в течение года и в многолетнем разрезе. Если остаточный член Q_0 уравнения РВБ во все месяцы года или от года к году имел один и тот же знак или чередование знаков носило закономерный характер (например, объясняется береговым регулированием стока), то результаты расчета считались надежными и имеющими определенный физический смысл даже в случаях малых абсолютных значений Q_0 . Когда в чередовании знака значений Q_0 не прослеживалось никакой закономерности, считалось, что результаты расчета РВБ носят случайный характер. При отсутствии закономерности в чередовании знака значений Q_0 , но явном преобладании того или иного знака в течение года, выяснение физического смысла остаточного члена уравнения РВБ производилось только в отношении его средних годовых и среднего многолетнего значений, а рассчитанные средние месячные значения Q_0 рассматривались как недостаточно надежные.

Помимо случайных погрешностей определения отдельных элементов РВБ, совокупное влияние которых оценивается средней квадратической погрешностью расчета его остаточного члена σ_0 , возможны также систематические ошибки, выявление которых, как правило, представляет весьма трудную задачу. Установление наличия и размеров таких ошибок возможно лишь путем проведения

специальных контрольных измерений с помощью более совершенных приборов и методики наблюдений.

6.1.2. Учет стока в гидрометрических створах

Основными источниками информации о стоке воды в отдельных гидрометрических створах на реках Чу, Талас и их притоках послужили результаты наблюдений, выполненных экспедицией ГГИ, управлениями по гидрометеорологии Казахской и Киргизской ССР и УОС Минводхозов указанных республик.

Схемы расположения гидрометрических постов, каналов, сбросов и коллекторов по длине рек Чу и Талас помещены в работе [82] и изданиях ОГХ, том 14, вып. 2.

Измерения расходов воды и вычисление стока рек в гидрометрических створах выполнялись в соответствии с наставлениями и руководствами, действующими в Гидрометслужбе СССР и органах Минводхозов Казахской и Киргизской ССР.

Гидрометрический учет речного стока, как правило, производился русловым методом с использованием связи между измеренными расходами и уровнями воды в виде кривых $Q = f(H)$. Выполненные в соответствии с Методическими указаниями № 90 [58] расчеты показали, что общая относительная погрешность подсчета средних месячных расходов воды в основных гидростворах на реках Чу и Талас и их притоках составляет $\pm 2-3 \%$, а средних годовых расходов — около $\pm 1 \%$.

При расчетах РВБ за многолетний период было обнаружено, что по ряду участков указанных рек данные по стоку за отдельные годы имеются лишь по одному ограничивающему створу, а по другому отсутствуют. В этих случаях производилось восстановление средних годовых расходов воды по графикам связи с результатами наблюдений на реках-аналогах или с другими элементами РВБ.

Точность восстановления стока по указанным способам составляла $\pm 5-10 \%$.

6.1.3. Водозаборы и сбросы

Одним из основных элементов РВБ являются водозаборы на орошение, промышленно-коммунальные нужды и возврат воды после ее использования по сбросным каналам и коллекторам.

Для учета водозаборов и сбросов УОС Минводхоза Казахской, Киргизской ССР, а также экспедицией ГГИ применялись следующие способы:

- 1) гидравлические, основанные на определении пропускной способности регулирующих, водозаборных и сбросных сооружений по данным расчета или тарировки для различных схем истечения из отверстий или через водосливы и лотки;

- 2) приборные, с установкой различных расходомеров в трубопроводах насосных станций;

3) русловые, с использованием кривых расходов воды и поправок к уровню;

4) расчетные, по производительности насосных станций.

Относительные средние квадратические погрешности измерения расходов воды протарированными сооружениями (гидравлические и приборные методы учета водозаборов) согласно работе [56] составляют 2—4 %.

При оценке точности расчета РВБ относительная средняя квадратическая погрешность определения средних месячных расходов воды на таких водозаборных сооружениях, как ЗБЧК, ВБЧК, Обводный канал, сброс Аламединских ГЭС и других принималась равной $\pm 3\%$.

Точность гидрометрического способа учета водозаборов и сбросов оценивалась по той же методике, что и для гидрометрических створов на реках. Относительная средняя квадратическая погрешность, рассчитанная по данным экспедиции ГГИ для отдельных водозаборных и сбросных каналов, оборудованных самописцами уровня воды, оказалась равной $\pm 2-3\%$ для средних месячных расходов водозаборов и $\pm 1-2\%$ — для средних годовых. При сложном регулировании режима уровней воды в каналах и отсутствии самописцев погрешность определения месячного водозабора за счет ошибок осреднения уровня воды может быть значительной (до 15—20 %).

При машинных водозаборах, если подача воды определяется по производительности насосов, точность водозабора устанавливается путем специальных контрольных измерений. При отсутствии таких измерений относительная средняя квадратическая погрешность учета водозаборов на насосных станциях ориентировочно принималась равной $\pm 10\%$.

6.1.4. Русловое регулирование

При наличии на участке реки значительной затапливаемой поймы или водохранилищ существенную роль в балансах речных вод может играть так называемое русловое регулирование — накопление воды в русле и на пойме (водохранилищах) при подъеме ее уровня и отдаче при спаде.

Расчет расходов руслового регулирования ($\text{м}^3/\text{с}$) в общем случае производился по формуле

$$Q_{pp} = \Delta W / 86400T, \quad (6.8)$$

где ΔW — изменение объема воды на участке реки (м^3) за расчетный интервал времени T , сут.

Для беспойменных участков рек при отсутствии водохранилищ значение ΔW может быть приближенно определено по формуле

$$\Delta W = L \Delta \omega_{cp} \cdot 10^3, \quad (6.9)$$

где L — длина участка реки, км; $\Delta \omega$ — изменение среднего по участку водного сечения реки (м^2) за расчетный интервал времени.

В связи с этим для оценки значимости величин Q_{pp} для указанных участков рек можно воспользоваться формулой

$$Q_{pp} = L \Delta \omega_{cp} / 86,4T, \quad (6.10)$$

вытекающей из формул (6.8) и (6.9).

Выполненные расчеты показали, что для беспойменных участков расходы руслового регулирования применительно к месячному интервалу времени весьма малы. В большинстве случаев они составляли менее 1 % суммы средних месячных расходов воды в верхнем створе участка и боковой приточности и ни разу не превысили 5 % этой суммы, что дает основание не учитывать их при соответствующих расчетах.

Для участка р. Чу от с. Миляфан до клх им. Чапаева (с. Ташуткуль), где в 1972 г. введено в эксплуатацию Ташуткульское водохранилище, изменения объемов воды за отдельные месяцы принимались равными изменениям объемов воды в водохранилище. При этом объемы воды в последнем на начало и конец каждого расчетного интервала времени определялись по кривой зависимости объема воды от ее уровня в водохранилище.

Попытки оценить изменения объемов воды за расчетный интервал времени ΔW на отдельных участках р. Чу ниже свх им. Амангельды, характеризующихся обширными поймами, по данным о площадях затопления и изменениях уровня воды в ограничивающих гидрометрических створах не привели к положительным результатам. Причина этого, по-видимому, заключается в большой протяженности указанных участков и чрезвычайной сложности поймы, поверхность которой расчленена многочисленными мелкими водотоками, котловинами озер, бессточными понижениями и староречьями. В связи с этим русловое (пойменное) регулирование стока воды оценивалось не непосредственно по данным измерений уровня воды и площадей затопления, а по средним месячным значениям остаточного члена уравнения руслового баланса Q_0 , которые в условиях небольшого подземного водообмена, характерного для низовий р. Чу, в основном отражают ход изменения объемов воды русла реки.

6.1.5. Определение площадей затопления поймы в низовьях р. Чу

Для определения отдельных составляющих РВБ ($Q_{ос}$, $Q_{ив}$, $Q_{ис}$, Q_a , $Q_{гр}$) при наличии поймы возникает необходимость в пересчете в расходы воды значений этих элементов, выраженных соответственно в слоях атмосферных осадков, испарения с залитых и обсохших участков поймы, в изменениях запасов влаги в почвогрунтах зоны аэрации и запасов грунтовых вод. Такой пересчет возможен при наличии данных о площадях затопления поймы и их динамики во времени.

Низовья р. Чу, протянувшиеся от пос. Фурмановка на запад более чем на 600 км, представляют обособленный почвенно-растительный комплекс, поверхность которого расчленена многочислен-

ными мелкими водотоками, котловинами озер, бессточными понижениями и староречьями. По строению поверхности поймы и режиму ее затопления низовья неоднородны. Здесь расположены обширные пойменные разливы — Гуляевские, Уланбельские, Камкалинские, представляющие собой внутренние дельты, участки прирусловой поймы (естественные стеснения долины между внутренними дельтами), конечную прирусловую дельту и устьевые разливы ниже принятого условного устья (Ащиколь-Акжайкынская котловина). Затопление этих участков в периоды весеннего половодья и осеннего повышения расходов воды происходит в течение 2—3 месяцев с различной интенсивностью.

Детальное определение площадей затопления отдельных участков в низовьях р. Чу, для которых рассчитывался РВБ, производилось на основе планиметрирования их на аэрофотоснимках русла и поймы и гидрографических обследований, выполненных в период работы экспедиции ГГИ. На аэрофотоснимках выделялись чистые плёсы, тростниковые и тугайные заросли в воде и обсохшие участки тростников в пределах максимальной в данном году площади затопления. При дешифрировании плановой основы разливов на аэрофотоснимках границы уровней высоких гор (УВВ) для конкретного года выделялись по наземным признакам УВВ, которые выявлялись при гидрографическом обследовании разливов с учетом их возможной ширины при данном затоплении, установленной по поперечным профилям. Выделение границ УВВ, зарослей тростника и других угодий при дешифрировании пойменных участков в низовьях р. Чу иногда было сопряжено с рядом трудностей в связи со сложностью точного установления того или иного цветового оттенка на снимке и отнесения его к определенному типу угодий.

По этим данным строились кривые зависимостей общих площадей затопления поймы и площадей отдельных угодий на них от среднего уровня (расхода) воды на участке реки (рис. 6.1—6.6), а также другие зависимости, которые затем использовались для определения соответствующих площадей в отдельные расчетные периоды.

6.1.6. Осадки

Расход воды, сформировавшийся за счет выпадения осадков на поверхность речных русел, водохранилищ и пойм, при определенных условиях (большая акватория водохранилища, широкая пойма, сравнительно небольшие расходы в реке, значительные осадки), может быть одной из важных составляющих РВБ. В таких случаях средний за расчетный интервал времени расход воды, сформировавшийся от поступления осадков ($\text{м}^3/\text{с}$), вычислялся по формуле

$$Q_{\text{ос}} = \bar{X}F_{\text{макс}}/86,4T, \quad (6.11)$$

где $\bar{X}$ — средняя по площади затопления сумма осадков за расчетный период, мм; T — продолжительность последнего, сут; $F_{\max}$ — максимальная в данном году площадь водной поверхности на участке реки, км².

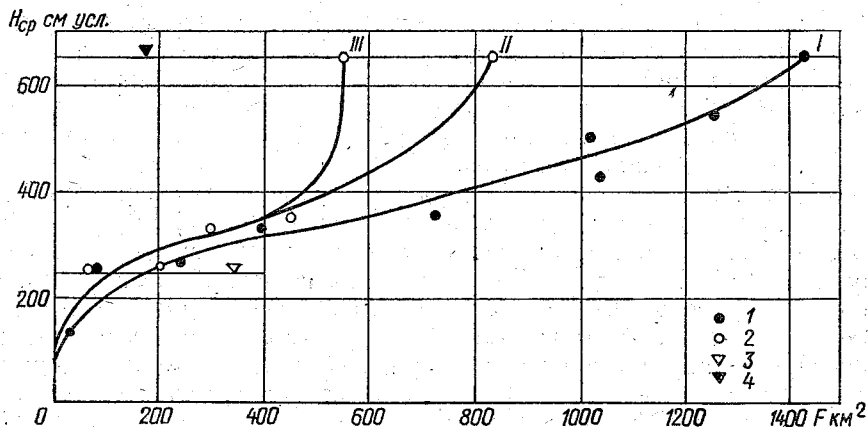


Рис. 6.1. Зависимость общей площади затопления F ($I, 1$) участка р. Чу от свх им. Амангельды до 1-й фермы Муюнкумского совхоза, площади этого участка, занятой полупогруженными тростниковыми и тугайными зарослями $F_{\text{тр}} + F_{\text{туг}}$ ($II, 2$) и площади, занятой полупогруженными тростниковыми зарослями $F_{\text{тр}}$ (III), от среднего уровня воды на участке $H_{\text{ср}}$.

3 — средний на участке уровень воды р. Чу, при котором начинается ее выход на пойму;
4 — средний на участке наивысший исторический уровень высоких вод $H_{\text{ср. НУВВ}}$

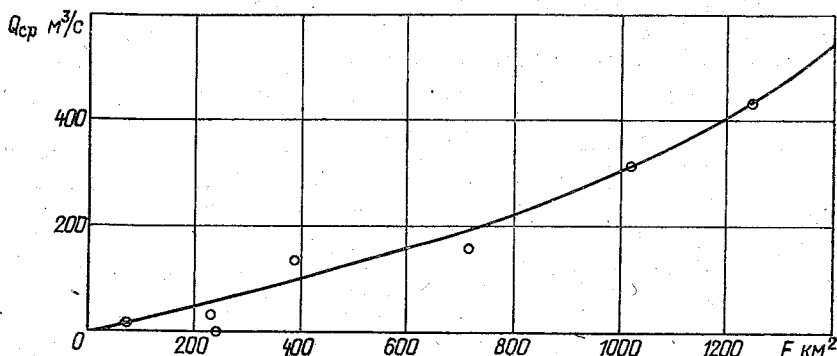


Рис. 6.2. Зависимость общей площади затопления F участка р. Чу от свх им. Амангельды до 1-й фермы Муюнкумского совхоза от среднего расхода воды на участке реки $Q_{\text{ср}}$.

На участках рек Чу и Талас, где отсутствуют водохранилища, а пойма выражена слабо или вовсе отсутствует, значения $Q_{\text{ос}}$ составляют менее 1 % и приходной части руслового водного баланса ($Q_{\text{в}} + Q_{\text{пр}}$). Для таких участков при расчетах РВБ осадки ввиду их малой значимости не учитывались.

Рис. 6.3. Зависимость общей площади затопления F (I, 1) экспериментального участка р. Чу между 1-й и 3-й фермами Муонкумского совхоза и его площади с открытой водной поверхностью $F_{\text{в}}$ (II, 2) от уровня воды в верхнем створе участка $H_{\text{в}}$.

3 и 4 — то же, что и на рис. 6.1.

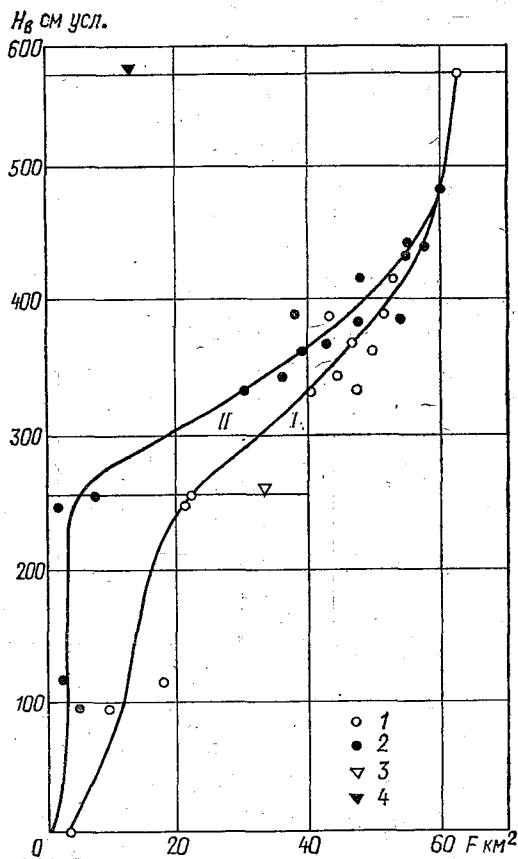
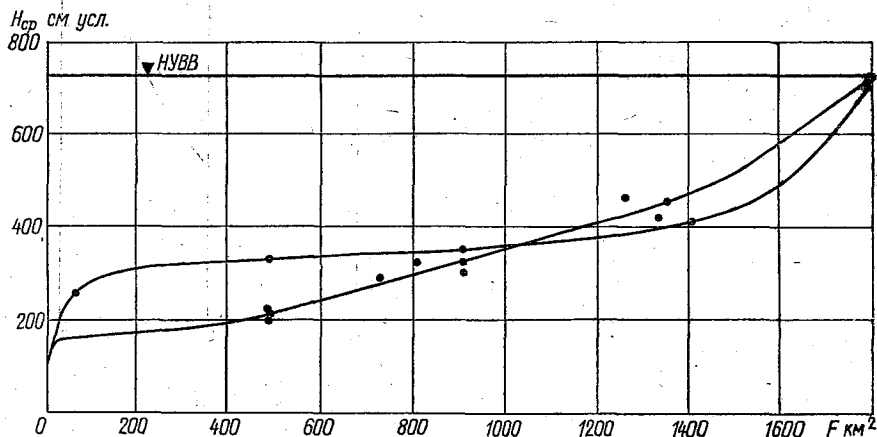


Рис. 6.4. Зависимость площади затопления F участка р. Чу от 3-й фермы Муонкумского совхоза до свх «Тасты» от среднего уровня воды на участке $H_{\text{ср}}$.

I — период подъема уровня, II — период его спада.



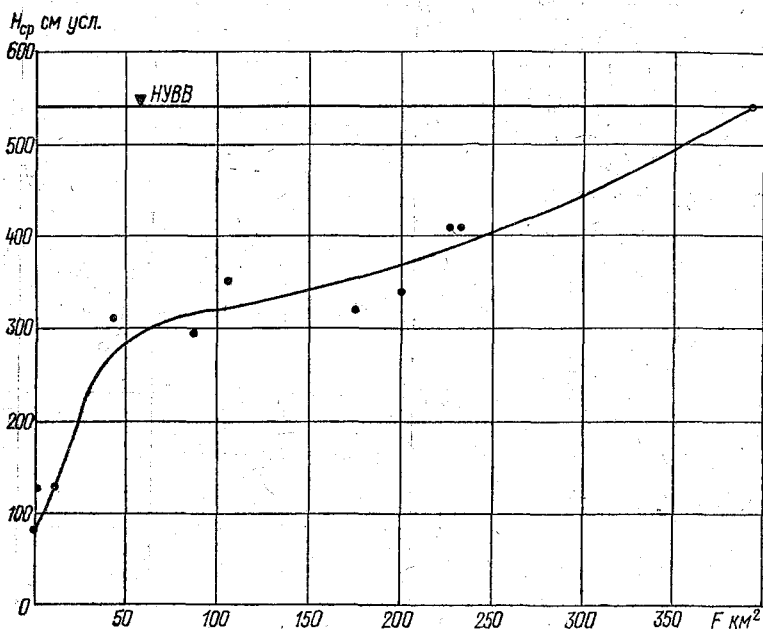


Рис. 6.5. Зависимость площади затопления F участка р. Чу от свх «Тасты» до гидрологического поста Нижний от среднего уровня воды на участке H_{cp} .

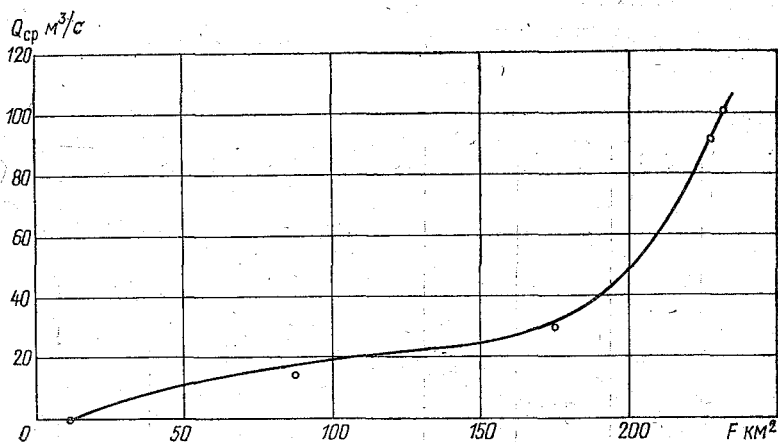


Рис. 6.6. Зависимость площади затопления F участка р. Чу от свх «Тасты» до гидрологического поста Нижний от среднего расхода воды на участке Q_{cp} .

При расчетах средних слоев осадков для отдельных участков поймы р. Чу использовались данные наблюдений по осадкомерным пунктам управлений гидрометслужбы и экспедиции ГГИ.

Относительная средняя квадратическая погрешность расчета месячных сумм осадков для низовьев р. Чу составляет $\pm 15-25\%$.

6.1.7. Испарение с поверхности воды и участков, занятых полупогруженной растительностью

На участках рек, где водохранилища и поймы отсутствуют или последняя выражена слабо, расходы воды на испарение с водной поверхности обычно не превышают $0,5\%$ расходной части РВБ и ими можно пренебречь.

При наличии широкой поймы и водохранилищ расходы воды на испарение с водной поверхности и с участков, занятых полупогруженной растительностью составляют значительную долю от расходной части РВБ и должны учитываться при расчетах последнего.

В общем случае расходы воды на испарение с водной поверхности и участков, занятых полупогруженной растительностью, вычислялись по формуле

$$Q_{\text{ив}} = Q_{\text{в}} + Q_{\text{в, л}} + Q_{\text{п}}, \quad (6.12)$$

где $Q_{\text{в}}$ — расходы воды на испарение с открытой водной поверхности русла реки, озер, водохранилищ, понижений, с участков затопленного луга со слоем воды 2 м и более, а также с участков зарослей тростников и кустарников, полностью погруженных в воду; $Q_{\text{в, л}}$ — расходы воды на испарение с водной поверхности затопленного луга при слое воды менее 2 м; $Q_{\text{п}}$ — расходы воды на испарение с участков, занятых полупогруженной растительностью.

Составляющие уравнения (6.12) в свою очередь определялись по формулам:

$$Q_{\text{в}} = E_{\text{в}} F_{\text{в}} / 86,4T, \quad (6.13)$$

$$Q_{\text{в, л}} = E_{\text{в, л}} F_{\text{в, л}} / 86,4T, \quad (6.14)$$

$$Q_{\text{п}} = E_{\text{п}} F_{\text{п}} / 86,4T, \quad (6.15)$$

где $E_{\text{в}}$, $E_{\text{в, л}}$, $E_{\text{п}}$ — испарение (мм) с открытой водной поверхности, участков затопленного луга и суммарное испарение с полупогруженных зарослей тростника за расчетный период (месяц); T — продолжительность последнего, сут; $F_{\text{в}}$, $F_{\text{в, л}}$, $F_{\text{п}}$ — площади соответствующих испаряющих поверхностей, км^2 .

Расчет значений $Q_{\text{в}}$ с водной поверхности водохранилищ и поймы при глубинах воды около 2 м производился согласно Указаниям [89] или по данным плавучих испарителей.

Испарение с затопленного луга (глубина менее 2 м) рассчитывалось по формуле

$$E_{\text{в, л}} = naU_{200} (e_0 - e_{200}), \quad (6.16)$$

где α — коэффициент, являющийся функцией фактора устойчивости атмосферы и представляющий собой отношение разности между температурой поверхности воды и температурой воздуха на окружающей территории к квадрату скорости ветра $\Delta T/U_2^{200}$ [89]; U_{200} — скорость ветра на высоте 200 см от поверхности земли, м/с; n — продолжительность расчетного периода, сут; e_0 , e_{200} — упругость водяного пара на поверхности воды и на высоте 2 м, гПа.

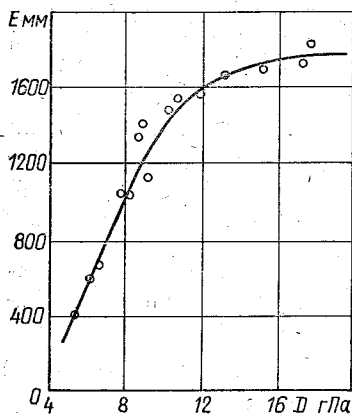


Рис. 6.7. Зависимость сезонного суммарного испарения с зарослей тростника E от среднего дефицита влажности воздуха D .

Для оценки испарения с периодически затапливаемых зарослей тростника Q_p использовались данные измерений по транспирационным испарителям, приведенные к условиям естественных зарослей, или рассчитывались значения испарения по метеорологическим данным с учетом суммарной площади листьев и высоты растений [46].

При отсутствии непосредственных измерений испарения с зарослей тростника или обуславливающих его факторов расчет производился по связи сезонной суммы испарения с площадей, занятых полупогруженной растительностью (тростником), и среднего за этот период дефицита влажности воздуха (рис. 6.7), вычисленного как среднее арифметическое из данных наблюдений на близлежащих метеостанциях. Эта зависимость построена по результатам наблюдений в дельтах рек Или (1954—1955, 1957—1959 гг.) и Амударьи (1953 г.), на озерах Кустанайской области (1960, 1961 гг.), Алтайского края (1958 г.) и Западного Казахстана (1966 г.).

Переход от сезонного значения испарения к месячным значениям последнего осуществлялся по данным, помещенным в табл. 6.1.

Относительная средняя квадратическая погрешность расчета месячных сумм испарения с затопленных участков поймы составляет 20—25 %.

Таблица 6.1

Распределение по месяцам значений испарения с зарослей тростника, доли сезонной суммы испарения

V	VI	VII	VIII	IX	X
0,10	0,21	0,26	0,23	0,14	0,06

6.1.8. Испарение с участков поймы, освободившихся от воды

В период затопления поймы часть речной воды теряется на аккумуляцию в почвогрунтах зоны аэрации, увеличивая их влагозапасы. После схода воды с поймы аккумулярованная влага расходуется на испарение.

Количество воды, расходуемой на испарение с обсыхающих и подтопленных участков суши на пойме р. Чу, вычислялись по формуле

$$Q_{ис} = Q_{л} + Q_{б} + Q_{к}. \quad (6.17)$$

В этой формуле $Q_{л}$, $Q_{б}$, $Q_{к}$ — средние месячные расходы воды на испарение соответственно лугового разнотравья (чингил, ажрек, пырей), болотной растительности (тростник, рогаз, камыш) и кустарника (тугай).

Для экспериментального участка поймы р. Чу, расположенного между 1-й и 3-й фермами Муюнкумского совхоза, где проводились наблюдения за испарением с поверхности почвы, отдельные члены правой части уравнения (6.17) определялись по формулам:

$$Q_{л} = \sum_{i=1}^{i=3} E_{л, i} F_{л, i} / 86,4T, \quad (6.18)$$

$$Q_{б} = \sum_{i=1}^{i=3} E_{б, i} F_{б, i} / 86,4T, \quad (6.19)$$

где $F_{л, i}$ и $F_{б, i}$ — площади (км^2), освободившиеся от воды после затопления к середине расчетной декады и занятые соответственно луговым разнотравьем и болотной растительностью; $E_{л, i}$ и $E_{б, i}$ — соответствующие декадные суммы испарения (мм) с этих площадей, T — продолжительность расчетного периода, сут.

Декадные и месячные значения испарения с лугового разнотравья на освободившейся от воды части поймы экспериментального участка рассчитывались как полусуммы из результатов наблюдений на указанных двух почвенно-испарительных площадках.

Расчет испарения с участков, занятых болотной растительностью, производился по формуле

$$E_{б} = k_{б} E_{л}, \quad (6.20)$$

где $k_{б}$ — переходный коэффициент от испарения с обсохшего луга $E_{л}$.

Переходный коэффициент ориентировочно принимался равным отношению

$$k_6 = E_{6, п} / E_{л, в}, \quad (6.21)$$

где $E_{6, п}$ и $E_{л, в}$ — месячные суммы испарения (в мм) соответственно с участков, занятых полупогруженной болотной растительностью и залитым лугом.

Для определения значений $F_{л, i}$ и $F_{6, i}$ использовались зависимости их от уровня воды.

Для участков поймы р. Чу от свх им. Амангельды до 1-й фермы Муонкумского совхоза, от 3-й фермы этого совхоза до свх «Тасты» и от свх «Тасты» до гидрологического поста Нижний, где наблюдения за испарением отсутствовали, средний месячный расход воды на испарение с освободившихся от воды площадей, занятых луговой или болотной растительностью, рассчитывался в соответствии с работой [47].

Испарение с обсохших кустарниковых угодий ориентировочно определялось по соотношению [47]

$$E_k = 0,7 E_6. \quad (6.22)$$

6.1.9. Изменение запасов влаги в почвогрунтах

При затоплении речных пойм часть воды расходуется на аккумуляцию в почвогрунтах зоны аэрации, а при обсыхании последних — на испарение с почвы.

Расход воды (m^3/c), соответствующий изменению запаса влаги в почвогрунтах зоны аэрации за отдельные расчетные периоды, вычислялся по формуле

$$Q_a = (U_{a, к} - U_{a, н}) F_{\max} / 86,4 T, \quad (6.23)$$

где $U_{a, к}$ и $U_{a, н}$ — средние запасы влаги в почвогрунтах зоны аэрации поймы (мм) соответственно на конец и начало расчетного периода, определяемые как среднее арифметическое из влагозапасов во всех пунктах наблюдений; $F_{\max}$ — максимальная в данном году площадь затопления, km^2 ; T — продолжительность расчетного периода, сут.

Для находящихся под водой песчаных и супесчаных наблюдательных участков влагозапасы принимались равными полной влагоемкости независимо от продолжительности их затопления. При расчете продолжительности насыщения водой до полной влагоемкости суглинистых почвогрунтов были использованы проработки, выполненные для лиманов Западного Казахстана [13], в основу которых положены формулы Н. Н. Биндемана [7] и П. И. Шиненко [102], проведенных на материалах наблюдений экспедиции ГГИ. Результаты расчета показали, что период насыщения водой до полной влагоемкости суглинистых почвогрунтов колеблется от 4 до 6 сут. Поэтому при нахождении указанных наблюдательных участков под водой более 5 сут запасы влаги в 1,5-метровом слое

почвогрунтов принимались равными полной влагоемкости, при меньшей продолжительности затопления — наименьшей влагоемкости.

Точность определения влагозапасов в почвогрунтах составляла 8—10 %.

Для затопляемых участков поймы р. Чу от свх им. Амангельды до 1-й фермы Муюнкумского совхоза, от 3-й фермы Муюнкумского совхоза до свх «Тасты» и от свх «Тасты» до гидрологического поста Нижний, где отбор проб для определения влажности почвогрунтов не проводился, влагозапасы на начало расчетного месяца $U_{a, n}$ в соответствии с Методическими указаниями [57] определялись по формуле

$$U_{a, n} = \beta_n U_{пв}, \quad (6.24)$$

где β_n — коэффициент, зависящий от суммарной испаряемости за период между датой насыщения почвогрунтов до полной влагоемкости и началом расчетного периода; $U_{пв}$ — средние для расчетного участка запасы влаги, соответствующие полной влагоемкости почвогрунтов, мм.

6.1.10. Изменение запасов подземных вод

При разливах часть речной воды идет на пополнение запасов грунтовых вод, а в период обсыхания поймы эта вода расходуется главным образом на испарение. Расчет расхода воды (m^3/c), соответствующего изменению запасов грунтовых вод $Q_{гр}$ производился по формуле

$$Q_{гр} = \Delta U_{гр} / 86,4T, \quad (6.25)$$

где $\Delta U_{гр}$ — изменение запасов грунтовых вод, m^3 ; T — продолжительность расчетного периода в сутках.

Изменение объема водовмещающих пород на затопляемой пойме характеризуется изменением уровня грунтовых вод $\Delta H_{гр}$, которое определялось по данным наблюдений в скважинах.

Расчет изменения запасов грунтовых вод (m^3) за каждый расчетный период $\Delta U_{гр}$ производился по формуле

$$\Delta U_{гр} = \left(\sum_{i=1}^{i=n} \mu_i \Delta H_{гр, i} / n \right) \cdot F_{\max} \cdot 10^6, \quad (6.26)$$

где $\Delta H_{гр, i}$ — изменение уровня грунтовых вод за расчетный период по i -й наблюдательной скважине, м; μ — коэффициент гравитационной емкости почвогрунтов в зоне изменения уровня грунтовых вод; $F_{\max}$ — площадь максимального затопления, km^2 ; n — число наблюдательных скважин.

Значения μ_i рассчитывались по формуле

$$\mu_i = \alpha_a ПВ, \quad (6.27)$$

где ПВ — полная влагоемкость в долях объема почвогрунтов в зоне изменения уровня грунтовых вод; α_a — коэффициент, кото-

рый определялся по методике, предложенной С. Ф. Аверьяновым [2], в зависимости от значения β_a . Последнее рассчитывалось по формуле

$$\beta_a = (\bar{h}_0/h_k) [1 - (НВ/ПВ)^2], \quad (6.28)$$

где $\bar{h}_0$ — средняя за расчетный период глубина залегания грунтовых вод, м; h_k — высота капиллярного поднятия, м; НВ и ПВ — соответственно наименьшая и полная влагоемкости, выраженные в долях объема почвогрунта. Значения $\bar{h}_0$ определялись по формуле

$$\bar{h}_0 = (h'_0 + h''_0)/2, \quad (6.29)$$

где h'_0 и h''_0 — глубина залегания грунтовых вод соответственно в начале и конце расчетного периода.

Расчет значения β_a осуществлялся по формуле (6.28) с подстановкой средних значений НВ, ПВ и h_k , равных соответственно 0,32; 0,40 и 2,0 м.

6.2. Русловой водный баланс р. Чу

Природные условия и хозяйственное использование воды р. Чу на отдельных ее участках резко различны. В верхнем и среднем течении реки (до свх им. Амангельды) русло значительно врезано, пойма слабо выражена или полностью отсутствует, а речные воды в тех или иных размерах используются на орошение. В низовьях река, как правило, имеет широкую ежегодно затопляемую пойму, а изъятие воды на хозяйственные нужды почти не производится. Кроме того, в верховьях реки (у с. Ортокой) и в ее среднем течении (у с. Ташуткуль) имеются водохранилища сезонного регулирования.

С учетом изложенного и расположения пунктов гидрометрических наблюдений расчет РВБ г. Чу производился по следующим участкам:

- 1) от пгт Орто-Токой до с. Терек-Джон;
- 2) от ст. Джильарыкская до Бурулдайского моста;
- 3) от Бурулдайского моста до г. Токмака;
- 4) от г. Токмака до с. Миляфан;
- 5) от с. Миляфан до клх им. Чапаева (с. Ташуткуль);
- 6) от клх им. Чапаева (с. Ташуткуль) до свх им. Амангельды;
- 7) от свх им. Амангельды до 1-й фермы Муюнкумского совхоза;
- 8) между 1-й и 3-й фермами Муюнкумского совхоза;
- 9) от 3-й фермы указанного совхоза до свх «Тасты» (пос. Жуантюбе);
- 10) от свх «Тасты» (пос. Жуантюбе) до гидрологического поста Нижний.

Результаты расчетов руслового водного баланса для указанных участков р. Чу за отдельные интервалы времени приводятся ниже.

Ниже Орто-Токойского водохранилища река вначале протекает по 4-километровому ущелью, рассекающему горы Кызыл-Омпул, затем — на протяжении 14 км по западной оконечности Иссык-Кульской впадины и далее по глубокому Боомскому ущелью, отделяющему Киргизский хребет от хр. Кюнгей-Ала-Тоо.

В пределах рассматриваемого участка осуществляется водозабор на орошение и отмечается приток воды в р. Чу по многочисленным ручьям, логам и оврагам. Суммарное среднее годовое значение этого притока, согласно данным измерений экспедиции ГГИ, выполненных при гидрографических обследованиях, приблизительно составляет около $2 \text{ м}^3/\text{с}$.

Результаты расчетов годовых РВБ за период после начала эксплуатации Орто-Токойского водохранилища, когда отдельные элементы РВБ определены наиболее надежно (см. табл. П.IV.1), показывают, что на рассматриваемом участке р. Чу преобладают потери русловых вод, которые достигают наибольших значений в многоводные годы (например, в 1966 и 1971 гг.). При малой водности реки (1962 и 1975 гг.) питание реки подземными водами преобладает над потерями русловых вод и средние годовые значения Q_0 становятся положительными.

За многолетний период значение остаточного члена РВБ составило в среднем — $2,2 \text{ м}^3/\text{с}$, что позволяет рассматривать участок р. Чу от с. Орто-Токой до с. Терек-Джон как участок потерь стока.

Анализ данных табл. П.IV.1 показывает, что соотношения между отдельными элементами годовых РВБ характеризовались преобладанием стока воды в верхнем створе участка $Q_{\text{в}}$ в приходной части баланса (91—94 %) и стока воды в нижнем створе $Q_{\text{н}}$ в расходной (95—97 %). Боковая приточность $Q_{\text{пр}}$ и водозабор $Q_{\text{вз}}$ составляли лишь 6—9 и 3—5 % соответствующих частей баланса, а водосбросы $Q_{\text{вс}}$ отсутствовали.

В этих условиях средние годовые расходы воды р. Чу у с. Терек-Джон зависели в основном от средних годовых расходов воды у пгт Орто-Токой.

Во внутригодовом ходе значений Q_0 уравнения РВБ отмечается наличие двух четко выраженных фаз (табл. 6.2). В начале года значения Q_0 невелики, имеют положительный знак, затем начиная с марта, а в особенности с апреля (при пусках воды из Орто-Токойского водохранилища) они становятся только отрицательными и резко возрастают по абсолютному значению, достигая своего максимума в мае, и далее постепенно уменьшаются до сентября, после чего приобретают вновь положительный знак.

Такое внутригодовое изменение значений Q_0 уравнения РВБ отражает характер взаимосвязи между речными и подземными водами, который на рассматриваемом участке р. Чу является весьма сложным.

Таблица 6.2

Осредненное внутригодовое распределение значений Q_0 (м³/с)
по участкам рек Чу и Талас

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII

р. Чу

пгт Орто-Токсой — с. Терек-Джон (1971—1975 гг.)

0,3 | 0,3 | -0,3 | -2,2 | -11,7 | -5,7 | -4,1 | -4,9 | -2,1 | 2,2 | 0,6 | 0,4

Бурулдайский мост — г. Токмак (1971—1975 гг.)

-13,2 | -12,7 | -9,4 | -4,1 | -22,0 | -49,0 | -48,2 | -35,5 | -11,2 | -3,6 | -11,1 | -13,4

г. Токмак — с. Миляфан (1971—1975 гг.)

15,2 | 14,4 | 16,5 | 15,5 | 13,0 | 12,3 | 11,5 | 15,3 | 15,6 | 15,1 | 15,3 | 14,1

с. Миляфан — клх им. Чапаева (1971—1975 гг.)

22,7 | 35,9 | 39,0 | 32,1 | 16,2 | 13,0 | 11,5 | 14,3 | 10,9 | 17,2 | 45,4 | 40,2

клх им. Чапаева — свх им. Амангельды (1971—1975 гг.)

13,0 | 6,0 | 8,9 | 9,1 | 5,1 | 6,3 | 2,3 | 4,8 | 7,5 | 6,9 | 6,6 | 5,2

свх им. Амангельды — 1-я ферма Муюнкумского совхоза (1967—1973 гг.)

-54,6 | -76,6 | 25,8 | 56,6 | 12,0 | 33,4 | 16,7 | 2,8 | -10,0 | -33,7 | -85,2 | -57,7

1-я ферма — 2-я ферма Муюнкумского совхоза (1967—1973 гг.)

-1,9 | -1,5 | -1,8 | -10,5 | 8,8 | 3,9 | 3,8 | 1,7 | 0,8 | -0,2 | -0,9 | -7,6

3-я ферма Муюнкумского совхоза — свх «Тасты» (1967—1973 гг.)

-30,5 | -20,7 | -142 | -34,9 | 59,4 | 91,7 | 75,7 | 23,4 | 10,0 | -8,9 | -10,6 | 5,1

свх «Тасты» — гидрометрический пост Нижний (1971—1973 гг.)

0 | 0 | -1,1 | -26,3 | -11,7 | 13,4 | 6,5 | 1,5 | 0,3 | -1,0 | -1,4 | -1,7

р. Талас

с. Караой — с. Иваново-Алексеевка (1971—1974 гг.)

3,1 | 3,8 | 3,1 | 2,5 | -1,8 | -5,2 | -3,1 | -0,3 | 4,3 | 2,9 | 3,6 | 2,6

с. Иваново-Алексеевка — с. Орловка (1971—1974 гг.)

4,3 | 3,7 | 4,4 | 4,0 | 4,2 | 7,4 | 7,3 | 4,1 | 2,6 | 2,1 | 2,8 | 2,3

с. Орловка — с. Кировское (1971—1974 гг.)

1,8 | 1,3 | 1,6 | 1,7 | 0,1 | 0,9 | 3,4 | 2,2 | 2,7 | 3,5 | 1,9 | 1,7

с. Кировское — с. Покровка (1971—1974 гг.)

-0,7 | -0,8 | -0,1 | -3,7 | -2,6 | -1,9 | -5,4 | -2,8 | -2,8 | -4,2 | -2,2 | 0,7

с. Покровка — г. Джамбул (1971—1975 гг.)

3,6 | 2,3 | 2,3 | 3,3 | 0,7 | -2,4 | -1,9 | -1,3 | 0,5 | 1,8 | 2,3 | 3,0

г. Джамбул — с. Шаповаловка (1971—1975 гг.)

-3,0 | -1,8 | -0,1 | 0,7 | 1,1 | -0,5 | -0,1 | 0,8 | 1,6 | 0,3 | -2,6 | -6,1

Протекая в глубоких (400—500 м) ущельях на протяжении около 55 км, река питается подземными водами, циркулирующими по трещиноватым зонам коры выветривания и тектонических разломов палеозойских скальных пород. Расход подземного притока составляет в среднем около 1 м³/с. При подъемах уровня воды в русле здесь возможен фильтрационный отток речных вод в берега, который, как показали гидрогеологические расчеты, однако, за месяц не превышает в среднем 0,1 м³/с. Таким образом, в пределах ущелий сток подземных вод в русло преобладает над оттоком речных вод в берега.

В пределах Иссык-Кульской впадины река течет по территории, сложенной четвертичными аллювиальными, аллювиально-пролювиальными и озерными отложениями, которые представлены песками, галечниками, супесями, суглинками суммарной мощностью 250—300 м.

Данные наблюдений за уровнями воды в смотровых скважинах Иссык-Кульского створа Северо-Киргизской комплексной гидрогеологической партии показывают, что гидравлические градиенты потока подземных вод здесь постоянно направлены от реки в сторону озера, что обуславливает возможность потерь речных вод на фильтрацию. При этом наибольшие градиенты по времени совпадают с периодом больших потерь русловых вод, а наименьшие имеют место при малой водности реки.

Как следует из изложенного выше, по условиям водообмена участок р. Чу от пгт Орто-Токой до с. Терек-Джон неоднороден. Подземный водообмен реки с водоносными горными породами включает приток подземных вод из трещиноватых палеозойских пород в ущельях, приток воды в реку в северо-западной оконечности Иссык-Кульской впадины в периоды низких уровней воды в ее русле и, наконец, потери речной воды на всем протяжении реки в пределах этой котловины при попусках воды из Орто-Токойского водохранилища.

6.2.2. Участок от ст. Джильярыкская до Бурулдайского моста

На этом участке река, вступая в Чуйскую долину, течет еще в узком каньонообразном ущелье, врезанном в скальные породы и валунно-галечные наносы. В начале участка мощность аллювия мала — несколько метров, ниже по течению она увеличивается до нескольких десятков метров в связи со ступенчатым погружением поверхности палеозойских пород. В местах резкого увеличения мощности аллювия грунтовые воды залегают глубже дна русла, а ниже по течению при слабо изменяющейся мощности валунно-галечных аллювиальных отложений глубина залегания их постепенно уменьшается и, так же как и в начале участка, они частично выклиниваются в реку. В конце участка в связи с очередным резким погружением палеозойских пород речные воды свободно фильтруются сквозь мощную толщу речных наносов до поверхности глубоко залегающих грунтовых вод.

В начале участка река питается подземными водами, стекающими из горных сооружений, а там, где мощность аллювия резко возрастает, грунтовые воды в нем получают дополнительное питание еще и за счет речных вод и стекают далее в сторону Чуйской долины, лишь местами частично выклиниваясь в русло. При увеличении речного стока подземные потери речных вод возрастают из-за увеличения площади фильтрации и повышения уровня речных вод.

Для суждения о направлении подземного водообмена в течение длительного промежутка времени рассмотрим результаты определения составляющих РВБ за отдельные годы и в среднем за многолетний период (см. табл. П.IV.2).

Следует отметить, что учитывая соизмеримость приходной и расходной частей годовых РВБ и связанную с этим трудность интерпретации рассчитанных значений их остаточного члена Q_0 , в табл. П.IV.2 включены данные только за те годы, когда все элементы баланса достаточно надежно измерены.

Из данных табл. П.IV.2 видно, что в большинстве лет рассматриваемого периода остаточный член уравнения РВБ имел отрицательный знак, соответствующий потерям русловых вод на фильтрацию. Его среднее за многолетний период значение равно $-1,8 \text{ м}^3/\text{с}$. Какой-либо зависимости рассчитанных значений Q_0 от водности р. Чу Q_v или от разности $Q_v - Q_{вз}$ не обнаруживается, что, по-видимому, свидетельствует о малой достоверности средних годовых абсолютных значений Q_0 , вычисленных по разности соизмеримых значений.

В этих условиях заключение о характере взаимосвязи речных и подземных вод на рассматриваемом участке р. Чу может быть сделано лишь на основании преобладания в многолетнем разрезе отрицательного знака остаточного члена уравнения РВБ. Это позволяет сделать вывод о наличии на изучаемом участке реки потерь русловых вод, составляющих, судя по результатам расчета РВБ, около 4 % расхода воды р. Чу у ст. Джильярыкская (в среднем за многолетний период). Внутригодовое распределение значений Q_0 (в среднем за 1971—1975 гг.) мало отличается от аналогичных данных на предыдущем участке.

6.2.3. Участок от Бурулдайского моста до г. Токмака

В начале участка на протяжении 22 км (до плотины ВБЧК) река с прямолинейным, местами многорукавным руслом протекает по наклонной равнине в верхней части конуса выноса, сложенного четвертичными валунно-галечниками. Эти легко водопроницаемые отложения залегают на относимой к неогену толще водоупорных конгломератов, глин, песчаников, реже на палеозойских скальных породах.

Валунно-галечники содержат до 40 % валунов, заполнителем является песчано-гравийный материал. Мощность этой четвертич-

ной толщи от 250 м и более. В начале участка буровая скважина на глубине 150 м вскрыла водоупорные породы неогена, а в районе плотины ВБЧК буровые скважины глубиной до 250 м не вышли из четвертичной толщи.

Грунтовые воды здесь залегают ниже дна русла реки, причем глубина залегания их увеличивается вниз по течению от 3—25 м в начале участка до 200 м у плотины ВБЧК, вследствие чего происходит свободная фильтрация речной воды в аллювиальные отложения.

Ниже по течению, от плотины ВБЧК до г. Токмака, река на протяжении 26 км продолжает течь по конусу выноса. Здесь также имеет место свободная фильтрация речной воды до зеркала грунтовых вод, глубина залегания которых постепенно уменьшается. У г. Токмака в — конце участка — грунтовые воды выклиниваются на поверхность, образуя многочисленные источники и заболачивая низкие террасы.

Палеозойские скальные породы, залегающие у плотины ВБЧК на глубине более 250 м, у г. Токмака вскрыты скважинами на глубине 50—146 м.

Наивысшее положение уровней подземных вод у плотины ВБЧК — в средней части так называемой «провальной зоны речного стока» — отмечается в июле—августе, а в конце участка с некоторым запаздыванием — в сентябре—октябре. Годовая амплитуда колебаний уровня грунтовых вод соответственно уменьшается от 3,5 до 0,5 м.

На рассматриваемом участке р. Чу естественная боковая приточность отсутствует, так как р. Кичи-Кемин с конца 60-х годов вследствие разбора воды на орошение обычно не достигала реки. Водозабор осуществляется многочисленными каналами, среди которых выделяются бетонный обводной канал и Восточный-Большой Чуйский канал. В русло р. Чу поступают лишь сбросные воды с обводного канала.

Результаты расчетов годовых значений составляющих РВБ за многолетний период помещены в табл. П.IV.3. Она составлена с использованием материалов наблюдений экспедиции ГГИ, Управлений по гидрометеорологии и эксплуатационных органов Минводхозов Казахской и Киргизской ССР.

Средние годовые расходы воды р. Чу у Бурулдайского моста за 1963—1970 гг. были восстановлены по графику связи со средним годовым стоком р. Чонг-Кемин в устье. Недостающие сведения о средних годовых расходах воды р. Чу у г. Токмака были получены по графику, представленному на рис. 6.8, при построении которого использовались материалы о стоке р. Чу у г. Токмака за 1946, 1947, 1961 и 1971—1975 гг.

Из данных табл. П.IV.3 видно, что в пределах изучаемого участка наблюдается постепенный рост водозаборов и сбросов в р. Чу. Отмеченные обстоятельства вместе с другими факторами не могли не сказаться на характере взаимодействия поверхностных и подземных вод.

В среднем за 30-летний период потери русловых вод на фильтрацию на участке «провальной зоны» р. Чу, отражаемой величиной Q_0 , равнялись $20,8 \text{ м}^3/\text{с}$. При этом за первое десятилетие они

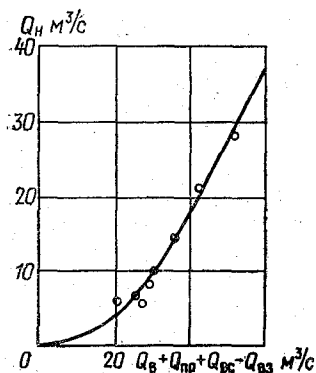


Рис. 6.8. Зависимость $Q_n = f(Q_v + Q_{пр} + Q_{вс} - Q_{вз})$ для участка р. Чу от Бурулдайского моста до г. Токмак.

составили $21,7 \text{ м}^3/\text{с}$, за второе — $20,8 \text{ м}^3/\text{с}$, за третье — $19,9 \text{ м}^3/\text{с}$. За те же периоды средние расходы водозаборов $Q_{вз}$ были соответственно равны $3,14$, $9,98$ и $19,8 \text{ м}^3/\text{с}$, а значения расхода воды $Q_v + Q_{пр} + Q_{вс} - Q_{вз}$ составили $50,2$, $39,1$ и $29,4 \text{ м}^3/\text{с}$. Таким образом, приведенные данные позволяют сделать вывод, что на рас-

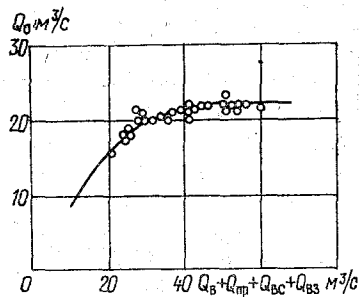


Рис. 6.9. Зависимость $Q_0 = f(Q_v + Q_{пр} + Q_{вс} - Q_{вз})$ для участка р. Чу от Бурулдайского моста до г. Токмак.

сматриваемом участке р. Чу отмечалась тенденция уменьшения потерь русловых вод на фильтрацию, обусловленная уменьшением расхода воды на участке вследствие роста водозаборов на орошение.

Зависимость средних годовых значений Q_0 от соответствующих значений $Q_v + Q_{пр} + Q_{вс} - Q_{вз}$ показана на рис. 6.9.

Приведенные в табл. 6.2 данные дают представление о среднем за пятилетний период работы экспедиции ГГИ внутригодовом распределении потерь русловых вод на участке «провальной зоны» р. Чу от Бурулдайского моста до г. Токмака.

Из табл. 6.2 следует, что наибольшие потери русловых вод на фильтрацию имеют место в июне—июле, что соответствует макси-

мальному стоку, проходящему в это время по р. Чу, а наименьшие — в октябре и апреле.

В период работы экспедиции ГГИ средние потери речного стока за вегетационный период (апрель—октябрь) изменялись от 20,5 до 29,8 м³/с, составляя за пятилетие в среднем 24,9 м³/с, или 74,5 % объема годовых потерь.

6.2.4. Участок от г. Токмака до с. Миляфан

Река здесь протекает по нижней части конуса выноса, отличающейся от его верхней части в 2,5 раза меньшим уклоном поверхности. Долина реки имеет ширину 5—6 км, террасирована. В ее поперечном профиле четко выделяются три нижние террасы, а более высокие морфологически почти не выражены и незаметно сочленяются с прилегающей равниной.

В разрезе аллювия ниже г. Токмака уменьшается содержание и размер валунов, заполнитель в галечниках становится гравийно-песчаным, появляются прослой супесей и суглинков.

Речные террасы с поверхности покрыты слоем суглинка мощностью 1—5 м, а на широкой первой террасе развиты низинные болота, у которых мощность ила и торфа достигает 6 м. По окраинам болот распространены иловатые суглинки с прослоями песка и торфа общей мощностью до 15 м.

Водоносные галечники в долине р. Чу залегают на породах неогена, реже палеозоя. Мощность водоносного горизонта составляет 250—300 м, а в конце участка уменьшается до 200 м. Грунтовые воды, движущиеся из верхней части конуса выноса, вследствие подпора из-за уменьшения водопроницаемости отложений, залегают на первой террасе у поверхности, часто выклиниваются, образуя многочисленные родники. Начиная с этого участка, долина р. Чу в пределах Чуйской долины является региональной дренажной. О движении подземных вод ко дну долины свидетельствуют карты гидроизогипс, составленные на май и октябрь 1972 г., а также данные многолетних круглогодичных наблюдений в скважинах Кенбулуньского створа, показывающие, что уклон поверхности грунтовых вод постоянно направлен в сторону р. Чу. На протяжении первых 10 км (до плотины ЗБЧК) участок долины является зоной интенсивного выклинивания грунтовых вод, часть которых, по-видимому, участвует в формировании стока р. Красной. Ниже по течению интенсивность дренирования снижается, о чем свидетельствует уменьшение количества и дебитов родников, а также не повсеместная заболоченность поверхности дна.

На рассматриваемом участке в р. Чу поступает сток рек, источников «карасу», а по коллекторам — сбросы с орошаемых земель.

О соотношении между годовыми значениями элементов РВБ можно судить по данным помещенным в табл. П. IV. 4, которая составлена на основании результатов исследований ГГИ и с учетом материалов, имеющихся за другие годы.

Из данных табл. П.IV.4 видно, что в целом по этому участку р. Чу за все принятые в расчет годы отмечается приток подземных вод в реку. За годы работ экспедиции ГГИ он составлял 14—15 м³/с, а за более ранние — 10—11 м³/с.

При анализе материалов обращает на себя внимание близость средних годовых расходов воды у с. Миляфан Q_n к суммарному приходу воды ($Q_v + Q_{пр}$), поступающему на участок по р. Чу и ее притокам.

Зависимость между этими величинами, построенная по данным за 1946, 1947, 1961 и 1971—1975 гг., характеризуется прямой линией, аналитическим выражением которой является уравнение

$$Q_n = 0,97 (Q_v + Q_{пр}), \quad (6.30)$$

откуда

$$Q_v + Q_{пр} = 1,03 Q_n. \quad (6.31)$$

С учетом выражения (6.4) расчетное уравнение РВБ для исследуемого участка р. Чу преобразуется к виду

$$\begin{aligned} Q_o &= Q_n - Q_v - Q_{пр} + Q_{вз} - Q_{вс} = Q_n + Q_{вз} - Q_{вс} - 1,03 Q_n = \\ &= Q_{вз} - Q_{вс} - 0,03 Q_n. \end{aligned} \quad (6.32)$$

Пользуясь этим уравнением, были определены средние годовые значения Q_o за 1948—1960 и 1962—1970 гг., для которых не представлялось возможным рассчитать русловые водные балансы ввиду отсутствия полных данных наблюдений за боковой приточностью.

В сводном виде результаты расчетов средних значений Q_o м³/с за 1946—1975 гг. следующие:

1946—1955 гг.	1956—1965 гг.	1966—1975 гг.	1946—1975 гг.
19,1	20,2	18,2	19,2

Следует обратить внимание, что полученные значения выклинивания грунтовых вод в русло р. Чу (18—20 м³/с) в виде р. Красной, родников и источников «карасу» (20—23 м³/с) соизмеримы с суммой:

потерь русловых вод из р. Чу (21 м³/с в табл. П.IV.3) и боковых притоков (примерно 7—10 м³/с) в пределах конусов выносов; объемов грунтовой составляющей возвратных вод с орошаемых земель (13—15 м³/с, см. табл. 8.4).

Равенство потерь и выклиниваний грунтовых вод на участке от Бурулдайского моста до с. Чумыш указывает на существование здесь обособленной гидрогеологической зоны.

Среднее за пятилетие распределение подземного притока по месяцам, так же как и стока р. Красной, было сравнительно равномерным (табл. 6.2). Наименьшие его значения приходятся на июль, когда по реке проходят паводочные расходы, наибольшие — на март при малом стоке реки, что указывает на гидравлический характер связи.

Средний расход подземного притока воды за вегетационный период (апрель—октябрь) изменялся по годам от 12,4 до 16,2 м³/с, за пятилетие составляя в среднем 14,0—56,6 % годового объема подземного притока.

6.2.5. Участок от с. Миляфан до клх им. Чапаева (с. Ташуткуль)

Этот участок представляют большую часть (около 70 %) реки в пределах Чуйской долины, для которой р. Чу рассматривается как региональная дрена.

В начале участка (до Чумышской плотины) долина реки постепенно суживается до 2 км, причем на правобережье она ограничивается палеозойскими скальными породами, которые ниже по течению, у с. Георгиевское, местами выходят в долине на поверхность, суживая поперечное сечение подземного потока в аллювиальных отложениях. Мощность водоносного горизонта составляет около 200 м, уменьшаясь у с. Георгиевское до 100—110 м, где расход подземного потока по аллювию составляет 0,5 м³/с. На левобережье долина сочленяется с аллювиально-пролювиальной равниной, сложенной суглинками с прослоями галечников, по которым осуществляется сток подземных вод от Киргизского хребта, а с противоположной стороны — с пролювиальным шлейфом гор Кендыктас.

В четвертичных отложениях отмечается более мощный поток подземных вод от Киргизского хребта, чем от гор Кендыктас. Подземные воды первого из этих потоков в связи с уменьшением водопроницаемости четвертичной толщи частично выклиниваются в нижних частях конусов выноса, а остальная их часть продолжает движение по долине р. Чу, причем глубина их залегания постоянно увеличивается. Согласно данным наблюдений за уровнями грунтовых вод в створах гидрологических постов и в Чумыш-Лебединском створе наблюдательных скважин режимной сети УГ КиргССР уклон поверхности подземных вод, как правило, направлен в сторону р. Чу.

На правобережье р. Чу в пределах подгорной равнины грунтовые воды повсюду залегают на значительной (более 6—10 м) глубине. На площадях с глубоким залеганием грунтовых вод происходит подпитывание последних за счет оросительных вод.

Прирусловая часть долины, сложенная преимущественно гравийно-галечными отложениями, является региональной дрена. Подземные воды расходуются на испарение и транспирацию и разгружаются непосредственно в русло реки. На левобережье гравийно-галечные отложения распространяются за пределы современной долины р. Чу. Водоносный аллювий в гидродинамическом отношении представляет единый водоносный горизонт, залегает на толще неогена, обладающей слабой водопроницаемостью.

Вдоль р. Чу грунтовые воды залегают на глубине 2—3 м, реже 0—1 или 3—5 м в зависимости от высоты берегов. В обсыхающей части русла грунтовые воды находятся вблизи поверхности, на

прибрежных террасах — на глубине до 5 м. Судя по картам гидро-изогипс, составленным на май и октябрь 1972 г., и данным об уровнях грунтовых вод в наблюдательных скважинах трех створов режимной сети УГ КиргССР, подземные воды в аллювии на левобережье и в пролювии на правобережье направлены к руслу р. Чу. В прирусловой зоне, по данным наблюдений в скважинах, оборудованных в створах гидрологических постов, иногда имеет место отток русловых вод в берега.

Ниже свх «Нижнечуйский» до конца рассматриваемого участка гидрогеологические условия существенно не меняются, мощность водоносного комплекса составляет 150—200 м, глубина залегания грунтовых вод в полосе, примыкающей к реке, не превышает 5 м.

В пределах участка в р. Чу по ее многочисленным притокам, сбросам ГЭС и коллекторам поступает значительное количество воды. Водозабор осуществляется двумя крупными и одним небольшим каналами.

В нижней части участка со второй половины 1972 г. вступило в эксплуатацию Ташуткульское водохранилище. Режим его работы в период исследований ГГИ характеризуется данными, помещенными в табл. 6.3.

О соотношении между элементами годовых русловых водных балансов рассматриваемого участка р. Чу, составленных за многолетний период (1946—1975 гг.), можно судить по данным табл. П.IV.5. Из таблицы видно, что средние годовые расходы воды в нижнем створе участка Q_n в несколько раз превышали расходы в верхнем створе Q_v . Наиболее многоводными были 1958 и 1969 гг., а самыми маловодными — 1974 и 1975 гг. Боковая приточность $Q_{пр}$ и водозаборы на орошение $Q_{вз}$ колебались соответ-

Таблица 6.3

Изменение площадей (км²) и объема (млн. м³) Ташуткульского водохранилища

Год	Накопление		Сработка	
	период	$\frac{\text{площадь}}{\text{объем}}$	период	$\frac{\text{площадь}}{\text{объем}}$
1972	Июль—декабрь	$\frac{11}{40,0}$	—	—
1973	Январь—май	$\frac{23}{114}$	Июнь—сентябрь	$\frac{10}{22,7}$
1974	Октябрь—май	$\frac{33,5}{195}$	Июнь—сентябрь	$\frac{11,5}{43}$
1975	Октябрь—март	$\frac{44}{300}$	Апрель—сентябрь	$\frac{18,5}{73}$
1975	Октябрь—декабрь	$\frac{58}{370}$	—	—

ственно в пределах от 9,34 до 28,9 и от 14,4 до 38,6 м³/с, причем наименьшие значения последних приходились на период с 1946 по 1950 г. Сброс воды в р. Чу изменялся от 23,2 до 36,6 м³/с.

Осадки, выпавшие на водную поверхность Ташуткульского водохранилища $Q_{ос}$, и испарение с последней $Q_{ив}$ существенной роли в формировании годовых русловых водных балансов не играли.

Расходы воды, обусловленные регулированием стока водохранилищем, были небольшими и изменялись в пределах в среднем от -5,97 до 4,34 м³/с.

Остаточный член Q_0 уравнения РВБ во все годы имел положительный знак, соответствующий притоку подземных вод в р. Чу. Основным источником формирования этого притока, по-видимому, являлась подземная составляющая возвратных вод.

Сопоставление результатов расчета РВБ показывает, что на рассматриваемом участке сначала отмечается увеличение выклинивания грунтовых вод, что связано с развитием орошаемого земледелия и увеличением притока возвратных вод (см. далее табл. П.IV.5). В последние годы (1974 и 1975 гг.) значение Q_0 вновь снижается в связи с истощением ресурсов в период маловодья. Особенностью данного участка является почти постоянное превышение сбросов $Q_{вс}$ над водозаборами ($Q_{вз}$), что объясняется отводом излишков ирригационных вод из крупных магистральных каналов (ВБЧК, ЗБЧК), отходящих от р. Чу выше с. Миляфан.

Приведенные выше результаты расчета РВБ позволяют сравнить приток подземных вод в р. Чу на отдельных участках так называемой «зоны выклинивания» (от г. Токмака до клх им. Чапаева), определить суммарный приток подземных вод в пределах этой зоны и выявить соотношения между его значениями и другими элементами руслового водного баланса. Из сопоставления средних годовых значений выклинивания подземных вод в р. Чу на участках от г. Токмака до с. Миляфан и от с. Миляфан до клх им. Чапаева видно, что выклинивание на первом из указанных участков было обычно меньше, чем на втором, и лишь в некоторые годы больше. Вместе с тем подземный приток, отнесенный к длине участка, на первом из них был всегда существенно больше, чем на втором. Суммарный приток подземных вод в р. Чу на всем протяжении от г. Токмака до клх им. Чапаева в отдельные годы превышал 50 м³/с, а наиболее маловодные 1974, 1975 гг. составляли лишь 23—25 м³/с (табл. 6.4).

Таблица 6.4

Суммарные значения выклинивания подземных вод на участках от г. Токмака — с. Миляфан ($Q_{0Т.-М}$) и с. Миляфан — клх им. Чапаева ($Q_{0М.-ч}$), м³/с

Год	1946	1947	1961	1971	1972	1973	1974	1975
$Q_{0Т.-М}$	11,1	9,46	19,8	15,2	15,0	14,8	14,0	13,7
$Q_{0М.-ч}$	10,8	12,4	31,7	26,0	26,1	29,2	(9,20)	(11,0)
$Q_{0Т.-ч}$	21,9	21,9	51,5	41,2	41,1	44,0	23,2	24,7

Внутригодовое распределение подземного притока на участке характеризуется значительными изменениями значений $Q_{0M.-ч.}$ (от 10 до 40—46 м³/с). При этом наибольшие их значения, как правило, приходились на первые и последние месяцы года, а наименьшие — на летние месяцы (см. табл. 6.2).

6.2.6. Участок от клх им. Чапаева (с. Ташуткуль) до свх им. Амангельды

Миновав в самом начале участка район Ташуткульского поднятия палеозойского фундамента, которым ограничивается собственно Чуйская долина, р. Чу устремляется на равнинные пространства западной части Чу-Сарысуйской депрессии, заполненной песчано-глинистыми отложениями неогеновой системы, а также аллювиальными четвертичными осадками, слагающими приречную полосу шириной до нескольких десятков километров.

Аллювий представлен песками с прослоями гравийно-галечных отложений, супесей и суглинков, общей мощностью 40—60 м. В начале же участка, где выступы скальных пород сузили долину до 1 км, мощность аллювия не превышает 20 м, а расход подрудового потока в естественных условиях (до создания Ташуткульского водохранилища) не превышал 0,02 м³/с (по оценке Киргизского геологического управления).

Резкое расширение долины и увеличение мощности аллювиальных отложений ниже верхнего створа участка при незначительном боковом притоке подземных вод со стороны Чу-Илийских гор и Киргизского хребта [модули подземного стока там составляют до 0,3 м/(с·км²)] позволяют предположить наличие постоянных потерь речной воды на питание аллювиальных подземных вод в начале участка, тогда как ниже по течению возможно проявление берегового регулирования речного стока, но с небольшим возвратом речных вод в русло, в связи с расхождением их в прирусловой зоне на испарение в летний период. В районе пос. Жершапкан ниже ответвлений от русла Правобережного и Левобережного каналов сток подземных вод, подпитываемых из этих магистральных каналов, постоянно направлен в сторону р. Чу. Таким образом, для начала участка (до ответвлений от реки каналов) характерны потери речных вод в течение года.

Ниже по течению река продолжает путь по широкой аллювиальной равнине. Мощность аллювиальных отложений находится обычно в пределах 29—45 м, коэффициент фильтрации составляет 18—20 м/сут.

Взаимодействие гидравлически связанных речных и подземных вод аллювиальных отложений зависит от орошения прилегающих к реке площадей и хода уровней воды в реке. В приречной зоне уровенный режим подземных вод аллювия обусловлен изменением уровня речных вод, для которого характерно высокое положение в начале и конце года и низкое в летний период. В некотором удалении от реки высокие уровни грунтовых вод отмечаются

в июне—августе, а низкие—в конце зимы. Данные о режиме уровней речных и подземных вод в районе пос. Айдарлы (по скважинам ГГИ № 74 и 75 соответственно на правом и левом берегах реки в 20—25 м от русла) свидетельствуют об их синхронности и превышении уровня грунтовых вод над уровнем речных, т. е. о подземном стоке в реку. Только при высоких уровнях речных вод они иногда несколько превышали уровень воды в скважинах.

О синхронности хода уровней речных вод и грунтовых вод в приречной зоне свидетельствуют также данные наблюдений Муюнкумской гидрогеологической станции. По данным этой станции можно судить также о соотношении уровней воды в скважинах, расположенных по створам, перпендикулярным руслу, и качественно оценить ход подземного стока к реке. Эти данные свидетельствуют, что между рекой и каналами подземные воды неизменно движутся к реке, причем наибольшие уклоны их поверхности отмечаются в летний период, когда уровни воды в русле наименьшие. На пути к руслу аллювиальные воды, сформировавшиеся за счет подтока подземных вод из смежных районов, инфильтрации осадков и оросительной воды, на участках с неглубоким залеганием интенсивно расходуются на испарение и транспирацию.

В отличие от верхней части участка (от клх им. Чапаева до пос. Жершапкан), для которой в основном характерны двухсторонние потери речных вод, и его средней части (от пос. Жершапкан до пос. Айдарлы), где река питается притекающими с обоих берегов подземными водами, нижняя часть участка (от пос. Айдарлы до свх им. Амангельды) характеризуется асимметричными условиями взаимодействия речных и подземных вод. Это обусловлено дополнительным поступлением на правобережье в аллювиальный водоносный горизонт воды, фильтрующейся из канала, протянувшегося вдоль берега, тогда как подток подземных вод к аллювию из песков Муюнкум и Чу-Илийских гор незначителен [модули подземного стока составляют там всего около $0,2 \text{ л/с} \cdot \text{км}^2$].

При подъеме уровня воды в русле возможна фильтрация речных вод в берега, но такое предположение достоверно лишь для левобережья, где гидравлический градиент грунтового потока незначителен, а для правобережья однозначное заключение невозможно из-за недостаточности гидрогеологической информации.

На рассматриваемом участке в р. Чу впадает две реки. Изъятие стока осуществляется несколькими каналами (наиболее крупными являются Правобережный и Левобережный), а также насосными установками.

Анализ данных табл. П.IV.6 показывает, что в многолетнем разрезе на рассматриваемом участке преобладал приток подземных вод в р. Чу (большинство значений Q_0 положительно). Четкой зависимости этого притока от водности р. Чу не обнаружено, однако обращает на себя внимание, что в маловодные годы (1974, 1975) значения Q_0 максимальны, а в многоводные могут даже

преобладать потери русловых вод на фильтрацию (средние годовые значения Q_0 отрицательны). Среднее за 30-летний период значение Q_0 имеет положительный знак, соответствующий притоку подземных вод в русло р. Чу, и равно $1,9 \text{ м}^3/\text{с}$.

Следует отметить, что за годы работы экспедиции ГГИ (1971—1975 гг.) значения Q_0 и внутри года оказались в среднем положительными, что свидетельствует о притоке подземных вод (см. табл. 6.2). Вместе с тем рассчитанные за отдельные месяцы значения Q_0 , по-видимому, обладают невысокой точностью, поскольку получены по разности соизмеримых между собой значений приходной и расходной частей руслового водного баланса.

6.2.7. Участки в нижнем течении р. Чу

Для нижнего течения р. Чу, начинающегося от с. Фурмановка (свх. им. Амангельды), характерно разветвление русла и наличие обширных разливов (Гуляевских, Уланбельских, Камкалинских), соединенных между собой узкими горловинами.

Заливаемые при паводках площади сложены с поверхности супесчано-суглинистыми отложениями мощностью 2—3,5 м, ниже которых залегают пески с гравием, иногда пески-пльвуны с прослоями супесей, суглинков. Эта аллювиальная толща с глубины 10—20 м подстилается на большей площади олигоценowymi глинами и лишь в восточной части Гуляевских разливов неогеновыми песчано-глинистыми отложениями. Аллювиальная толща характеризуется небольшой водопроницаемостью, которая обычно не превышает $100 \text{ м}^2/\text{сут}$.

Поверхность разливов изобилует староречьями, небольшими озерами, покрыта тростниковыми зарослями или занята лугами. Вниз по реке растительный покров видоизменяется, становится более низкорослым из-за повышения минерализации воды и засоления почвогрунтов.

Затопление поймы происходит весной и поздней осенью, причем в первом случае площадь затопления обычно больше, чем во втором (табл. 6.5). Период стояния уровня воды на низких участках поймы длительный, охватывает зиму и весну.

При затоплении поймы часть речной воды теряется на заполнение понижений и на насыщение зоны аэрации, а в период обсыхания почти вся эта вода расходуется на испарение. Подземный приток из берегов в русло при снижении уровня воды в последнем весьма мал из-за малой водопроницаемости аллювия. Этой причиной обуславливается синхронный ход уровня грунтовых вод, фиксируемый по наблюдательным скважинам как вблизи русла, так и на значительном удалении от него. Низкие уровни грунтовых вод наблюдаются летом (на глубинах до 2—3 м, местами до 5 м).

Приток подземных вод к пойме с юга — из песков Муюнкум незначителен. Судя по гидрогеологической карте [20], подземный сток в указанных районах колеблется от значений менее 1 мм в год до 6 мм в год. Учитывая, что подземный сток из песков

Таблица 6.5

Максимальные площади затопления на отдельных участках поймы р. Чу
в 1967—1974 гг., км²

Участок	Год							
	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974
свх им. Амангельды — 1-я ферма	900	640	960	615	945	795	720	635
Муюнкусского совхоза								
Между 1-й и 3-й фер- мами	57	56	57	50	57	50	57	49
Муюнкусского совхоза								
3-я ферма Муюнкус- ского совхоза — свх «Та- сты»	1470	1440	1510	1475	1395	1365	1415	840
свх «Тасты» (в 1973 г. пос. Жуантубе) — гид- рометрический пост Нижний	—	—	—	—	232	136	238	—

Муюнкум направлен к р. Чу, приток подземных вод к полосе распространения современного аллювия из этого района может быть не более 17 л/с на 1 км, а из пустыни Бетпак-Дала — еще меньше [20]. В пределах самого нижнего расчетного участка вдоль реки известно несколько десятков восходящих родников, носящих местное название «тма», посредством которых происходит частичная разгрузка палеоцен-эоценового водоносного комплекса. Расход этих родников обычно небольшой (до 1 л/с).

Участок от свх им. Амангельды до 1-й фермы Муюнкусского совхоза включает Гуляевские разливы, площадь которых при наивысшем историческом уровне высоких вод (НУВВ) составляет около 1400 км². Густота речной сети в пределах пойменных разливов при НУВВ равна около 1 км/км², а коэффициент озерности составляет около 3 %.

Гуляевские разливы — самая древняя и верхняя внутренняя дельта низовьев, сильно изрезанная многочисленными старыми руслами и притоками, протянувшаяся на запад от с. Фурмановка на 130 км. По своему устройству и характеру гидрографической сети Гуляевские разливы мало чем отличаются от конечных речных дельт. Наибольшая ширина разливов здесь достигает 30—35 км и приходится на центральную, наиболее глубокую их часть. Микрорельеф поверхности разливов очень сложный и представлен различными сочетаниями песчаных и аллювиальных островов с понижениями, руслами, западинами, озерными котловинами, ложбинами, крупными русловыми образованиями (ямы, обрывочные глубокие русла-узбеки и т. п.). Почти все острова расположены в нижней части разливов.

Сложный рельеф дна котловины, в которую поступают воды р. Чу, обусловил формирование многочисленных водотоков по всей ширине фронта движения потока, а это в свою очередь вызвало образование многочисленных больших и малых островов и поступления большого количества твердого материала, который река приносила в котловину. После того как дно котловины (дельты) было в значительной степени занесено наносами, а базис эрозии речных русел повысился, осуществился прорыв воды вдоль высокого уступа плато Бетпак-Дала дальше на запад, в сторону другой котловины — Уланбельских разливов, разделенных с предыдущими перемычкой длиной около 50 км.

Многочисленные озера, представляющие иногда целые озёрные системы, расположены в нижней половине Гуляевских разливов и нередко имеют хорошо выраженные озерные котловины. Площади водного зеркала озер в межень изменяются в широких пределах: от нескольких тысяч квадратных метров до 10—15 км². Большинство озер не пересыхает даже в самую низкую межень, а в период прохождения паводков их площадь увеличивается в несколько раз. Наибольшая глубина даже самых глубоких озер не превышает 2 м. Как правило, средняя глубина большинства озер мало отличается от наибольших глубин и варьирует от 0,5 до 1 м. Дно озер сильно заилено, мощность ила достигает иногда нескольких метров.

В целом все приречные затапливаемые участки и озерные чаши сложены супесями и суглинками, подстилаемыми разнотернистыми песками с вкраплениями гравия и гальки и перекрытыми сверху мощным (1—2 м) слоем торфа.

Грунтовые воды питаются главным образом за счет фильтрации вод р. Чу в обширных пойменных разливах и в значительно меньшей степени атмосферными осадками. Глубина их залегания в обводненной части долины (современная пойма и первая надпойменная терраса) колеблется в пределах 0—5 м, а минерализация в большинстве случаев составляет 0—3 г/дм³ [20].

Анализ соотношений между средними значениями элементов РВБ рассматриваемого участка р. Чу за 1967—1973 гг. (см. табл. П. IV. 7) показывает, что в приходной его части основная доля (в среднем за год 89—95 %) приходилась на приток речных вод, остальная — на осадки, выпадавшие на поверхность русла и поймы.

В расходной части РВБ сток речных вод в указанные годы составил за год в среднем 61—72 %, испарение с водной поверхности составило 8—12 %, испарение с освободившихся от воды участков поймы — 14—27 %, водозабор на орошение находился в пределах 1—4 %. Расход воды, соответствующий изменению запаса влаги в почвогрунтах зоны аэрации поймы Q_a не превышал 2 % приходной части баланса. Значение Q_o за указанные годы было в среднем отрицательным, что свидетельствует об аккумуляции воды в пределах поймы и расходовании ее на пополнение запасов подземных вод.

Из данных табл. 6.2 видно, что накопление воды имело место в основном в осенний и зимний периоды. Это связано с увеличением притока речных вод (вследствие уменьшения забора воды на орошение на вышележащих участках), с затоплением поймы и образованием льда на ее поверхности. В весенне-летний период, наоборот, обычно отмечалось превышение расходной части РВБ над приходной, что обусловлено сработкой ранее накопленных запасов воды на пойме. Средние значения Q_0 за вегетационный период (апрель—октябрь), как правило, были положительными и изменялись по абсолютному значению от 2 до 48 % приходной части РВБ.

Участок между 1-й и 3-й фермами Муюнкумского совхоза расположен в районе пос. Малые Камкалы. Он представлен естественным стеснением долины и примыкает к Уланбельским разливам. Площадь пойменных разливов при НУВВ составляет около 70 км². Густота речной сети в пределах пойменных приречных разливов при НУВВ равна 1,44 км/км². На пойме имеется много староречий и небольших озер, заполняемых водами р. Чу в периоды ее разлива. Самым крупным из этих озер является оз. Малые Камкалы.

Пойма на участке представляет почти ровную поверхность долины р. Чу. С севера она ограничена 20—25-метровым уступом пустыни Бетпак-Дала, с юга — невысокой (10—15 м) грядой песков северной окраины песков Муюнкум.

Преобладающие почвогрунты поймы — супеси и лёссовидные суглинки, в значительной степени перекрытые с поверхности слоем гумуса мощностью до 1 м. В отдельных частях участка встречаются сильно засоленные почвы. Примыкающий к участку левобережный склон долины р. Чу представлен коренными палеозойскими породами: известняками с прослоями песчаников, мергелей, глин и гипсов. На левобережном склоне коренные породы залегают под толщей четвертичных аллювиальных отложений мощностью около 30 м, состоящих в верхнем 1,5—2-метровом слое из суглинков, а ниже из тонкозернистых глинистых слюдистых песков.

Глубина залегания грунтовых вод в пределах поймы колеблется от 2—3 м в меженные периоды до поверхности земли в период затопления поймы.

Пойма на площади около 20 км² покрыта тростниковыми зарослями, а более высокие и менее увлажненные места — луговым разнотравьем с преобладанием влаголюбивой растительности (куга, осока). К руслу в отдельных местах примыкают густые заросли многолетнего старого тростника общей площадью около 10 км² с труднопроходимыми заломами, которые в начальный период паводка создают подпор воде, текущей по центральной, наиболее низкой части поймы и руслу р. Большой Арны.

Наибольшая ширина пойменных разливов при НУВВ, равная около 6 км, отмечается в верхней части рассматриваемого приречного пойменного массива р. Чу. В 9,7 км ниже по течению долина

реки резко расширяется, глубоко вдаваясь в пустыню Бетпак-Дала и образуя под правым склоном долины «залив», большая часть которого занята котловиной оз. Малые Камкалы. Ранее (до постройки в 1956 г. плотины в пос. Малые Камкалы) вода из этого «залива» по естественной протоке на дне крупной ложбины поступала в Уланбельские разливы, в систему озер Каракуль. Площадь затопления котловины оз. Малые Камкалы при НУВВ равна 7 км², что составляет 11,5 % общей площади пойменных разливов в пределах рассматриваемого участка при НУВВ. Наибольшая ширина разливов вместе с озером в этом районе составляет около 5 км. Ниже «залива» максимальная ширина разливов не превышает 2 км, постепенно уменьшаясь к нижнему створу участка (в районе 3-й фермы Муюнкумского совхоза) до 0,83 км. В такой же мере неравнозначны отдельные участки поймы по степени изрезанности их речными руслами. Наиболее сильно изрезана поверхность поймы в верхней и средней частях участка и в меньшей степени в нижней части. Суммарная длина водотоков в пределах каждой части соответственно составляет 38, 17 и 9 км.

Весеннему затоплению поймы водами р. Чу в паводок предшествует заполнение части ее (около 10 %) местными талыми водами, а также водами, поступающими с верхнего участка, где они образовались в результате таяния снега и льда.

Поступление талых вод вначале происходит за счет схода снежного покрова на крутом и обрывистом склоне уступа пустыни Бетпак-Дала, в многочисленных ложбинах и логах, при этом вода вначале аккумулируется в присклоновых седловинах вдоль бортов долины.

Затопление поймы, как правило, происходит дважды: в период весеннего половодья и осенью в результате сброса воды из выше лежащих водохранилищ. В последнем случае на залитой пойме зимой образуется ледяной покров.

Водозабор из реки и сброс воды в реку отсутствуют. Боковая приточность осуществляется только по небольшим логам в основном в весенний период, однако в 1971—1975 гг. она была ничтожно мала.

Из данных табл. П.IV.8 следует, что в приходной части годового РВБ основная доля (99 %) приходится на приток речных вод к участку. Осадки, выпадающие на поверхность поймы, играют незначительную роль, составляя лишь 1 % приходной части баланса. В расходной части РВБ основное значение (94—97 %) имеет отток воды по руслу за пределы участка. Остальная часть приходится на долю испарения с водной поверхности и обсохших участков поймы. Расход воды, соответствующий изменению запаса влаги в почвогрунтах зоны аэрации за год, был близок к нулю.

Значение Q_0 за 1967, 1969, 1970, 1972 гг. в среднем оказалось отрицательным, но не превышало 2 % приходной части РВБ, что, по-видимому, соответствует невязке последнего. Для 1968, 1971 и 1973 гг. она получилась положительной и изменялась в пределах 4,7—18,5 % приходной части баланса, что связано с дополнитель-

ным поступлением на участок воды, образовавшейся от таяния льда на части поймы, где он смерзся с почвой в конце предыдущего года.

Накопление воды (льда) на рассматриваемом участке р. Чу, так же как и на предыдущем, имело место в осенние и зимние месяцы года. В эти месяцы расходная часть РВБ, как правило, оказывалась меньше приходной, в связи с чем остаточный член Q_0 уравнения РВБ имел отрицательный знак. В остальное время года, наоборот, расходная часть РВБ больше приходной, а значения Q_0 положительны, что обусловлено сработкой ранее накопленных запасов воды на пойме и притоком подземных вод в русло реки (см. табл. 6.2).

Средние значения Q_0 за вегетационный период (апрель—октябрь) были положительными и изменялись от 1,7 до 10,5 м³/с, или от 5 до 42 % от приходной части баланса.

За 1967—1973 гг. значение Q_0 составило в среднем 1,3 м³/с, что, по-видимому, соответствует среднему многолетнему притоку подземных вод на рассматриваемом участке р. Чу.

Участок от 3-й фермы Муюнкумского совхоза до свх «Тасты» в 1971—1972 гг. имел длину 284 км. С 1973 г. в связи с переносом нижнего поста в пос. Жуантюбе длина участка составила 330 км.

Этот участок включает две системы разливов — Уланбельские и Камкалинские, а также два участка с приречными неширокими поймами (участки естественного стеснения долины — прорыва между внутренними дельтами). Площадь пойменных разливов при НУВВ составляет около 1850 км², густота речной сети в пределах разливов при НУВВ — 0,25 км/км², коэффициент озерности — около 5 %.

Пройдя самый узкий участок всех низовий в районе створа у 3-й фермы Муюнкумского совхоза (ширина долины здесь около 1 км), река вступает в следующую внутреннюю дельту — Уланбельские разливы, четко ограниченную с севера уступом плато Бетпак-Дала, а на юге бугристо-грядовыми песками Муюнкум.

Наибольшая ширина Уланбельских разливов при НУВВ лежит в пределах 10—20 км.

Гидрографическая сеть Уланбельских разливов сильно отличается от таковой на пойменном массиве Гуляевских разливов. Она состоит из сравнительно крупных русел протоков р. Чу, из которых основными являются русла рек Большой Арны и Малой Арны.

Отложения наносов на территории Уланбельских разливов представлены толщей суглинков, подстилаемых на глубине 2,5—3,5 м водоносными разнотерными песками-песчаниками. Водоупор залегает на глубине 0—10 м, но не глубже 15 м, представлен красноватыми неоген-палеогеновыми глинами.

Грунтовые воды располагаются на глубине 0—2,5 м при затоплении поймы они смыкаются с поверхностными.

В отличие от Гуляевских разливов здесь нет большого разнообразия почв, зато на участке разливов и на контакте последних с Примуюнкумской равниной отмечается сильное засоление почв.

Ниже Уланбельских разливов (о-ва Куарал) р. Чу течет несколькими рукавами в сравнительно узкой долине (7—8 км) до самого о. Акарал, где долина снова резко расширяется в северном и южном направлении, образуя Камкалинские разливы. Эти разливы являются самыми крупными из всех разливов низовий. Общая площадь их около 2,5 тыс. км².

На участке сужения долины между Уланбельскими и Камкалинскими разливами русло р. Чу в начале многорукавное (здесь наиболее крупной протокой является Итмурун), а ниже свх «Жайлауколь» (до свх «Камкалинский») преимущественно однорукавное. Здесь также встречается целый ряд крупных островов-останцев, сложенных красноцветными неоген-палеогеновыми глинами, в понижениях рельефа которых имеются солончаки. Ниже пос. Жайлауколь к осени появляются мелкие пойменные солончаки-соры, совершенно лишенные растительности или покрытые сочными солянками. Образуются они в результате пересыхания временных мелководных озер. Здесь и ниже по течению р. Чу на контакте последней с Примуюнкумской равниной получили большое распространение соленые источники «тма» и обширные солончаки. Почвы и растительность этой части участка такие же как и в Уланбельских разливах.

В отличие от компактных Уланбельских разливов, четко ограниченных пустыней Бетпак-Дала и Примуюнкумьем, Камкалинские разливы за о. Акарал (урочище Акарал) представлены несколькими узкими долинами пересыхающих протоков. Наиболее крупными из них являются Орта-Чу (Балыкозек), протекающая под Бетпак-Далинским склоном долины, Шаман-Чу в центральной части пойменного массива и Шетки-Чу (Бала-Чу), русло которой проходит в непосредственной близости от невысокого уступа Примуюнкумской равнины.

В нижней части Камкалинских разливов, где все три протоки снова сходятся или подходят довольно близко друг к другу, на пойме имеется большое количество больших и малых озер и густая гидрографическая сеть из мелких протоков. За урочищем Кызыл-Арал близ пос. Тасты разрозненные русла сливаются воедино, здесь Камкалинские разливы кончаются. Река имеет заросшую тростником долину шириной 2—3 км.

Грунтовые воды на участке Камкалинских разливов и ниже располагаются на глубине 1,5—2,5 м. Они соленые, хлоридного типа. Расходная часть РВБ в 1968 г. была больше приходной в среднем на 8 %, в 1970 г. — на 28 %, в 1971 г. — на 8 %, в 1972 г. — на 20 %, а в 1969 и 1973 гг. — наоборот, меньше соответственно на 15 и 6 %. В 1967 г. приходная и расходная части РВБ были примерно равны между собой. Основную долю (72—87 %) в приходной части РВБ составил приток речных вод на участок, а в расходной — испарение с воды и почвы (71—87 %). В отличие от предыдущих двух участков отток воды по реке за пределы участка составил сравнительно небольшую долю от расходной части РВБ — только 7—29 % (см. табл. П. IV. 9).

Анализ данных табл. 6.2, в которой приведены результаты расчета внутригодового распределения значений Q_0 для рассматриваемого участка р. Чу за 1967—1973 гг., показывает, что в осенний и зимне-весенний периоды на участке, как правило, отмечались потери воды на аккумуляцию (значения Q_0 отрицательны), а в остальное время года обычно имело место превышение расходной части РВБ над приходной (значения Q_0 положительны). Последнее обусловлено расходом ранее накопленных на пойме запасов воды на отток за пределы участка; испарение с водной поверхности и почвы.

Среднее значение Q_0 за вегетационный период (апрель—октябрь) были положительными и изменялись в пределах 10,0—94,7 м³/с.

Среднее за 1967—1973 гг. значение Q_0 составило 1,8 м³/с, что, по-видимому, соответствует среднему многолетнему притоку подземных вод на рассматриваемом участке р. Чу.

Участок от свх «Тасты» (в 1973 г. от пос. Жуантюбе) до гидрологического поста Нижний является предустьевым. Здесь площадь пойменных разливов при НУВВ составляет около 350 км². Густота речной сети в пределах разливов без учета старой арычной сети составляет около 0,55 км/км², коэффициент озерности в пределах границ НУВВ без учета солончаково-соровых котловин, примыкающих к пойме, — около 6 %. Котловины солончаков и соров приурочены главным образом к самым низовьям р. Чу, где ее устьевые разливы смыкаются с бывшими разливами р. Сарысу в Ащыкольской котловине. Здесь, западнее увала Тогузкентау и размытой северо-западной границы песков Муюнкум, по восточной периферии Ащыколь-Телекольской котловины сохранилось множество солончаков, окаймляющих устьевые разливы Чу.

Начиная от границы с Камкалинскими разливами русло р. Чу главным образом однорукавное, выражено хорошо, врезано до 5—6 м, извилистое. Плёсовые участки чередуются с сухими и влажными перекатами. Ширина русла здесь составляет 25—40 м. Плёсы имеют длины в несколько метров и глубину до 3 м. Пойма неширокая (4—5 км), умеренно изрезана руслами протоков и густой сетью арыков бывшей системы орошения как в районе пос. Тасты, так и пос. Жуантюбе. Речная гидрографическая сеть негустая и представлена протоками, соединяющими пойменные озера.

В почвенном покрове рассматриваемого участка р. Чу сильно возрастает процент солончаков луговых и болотных. Почвы — карбонатные, однако не сплошь, как в Уланбельских разливах.

В 30 км на юго-восток от оз. Ащыколь один из рукавов р. Чу (правый) теряется в песках. Заполняя многочисленные обширные понижения и мелкие озерные котловины, воды р. Чу по левому руслу поступают в обширную систему озер Акжайкын (площадь ее около 100 км²) на стыке северо-западной окраины песков Муюнкум, каменистой пустыни на горном шлейфе северного склона хр. Каратау и разрушенного в этой части уступа пустыни Бетпак-Дала.

Большинство понижений обширной депрессии заняты сравнительно глубокими (до 10 м) котловинами озер, крупных соров и солончаков, окаймляющих ее со всех сторон.

Общая площадь водного зеркала озер при НУВВ составляет около 250 км², а объем воды в них при таком заполнении — около 0,15 км³. Наличие в обычные по водности годы в устьевых разливах р. Чу большого количества воды, пригодной для водопоя скота, и обширных пастбищных угодий в многочисленных понижениях и озерных котловинах делает этот район низовий особенно интересным для практического использования его природных ресурсов в животноводстве.

Гидрография и гидрологические условия исследуемого района со второй половины 70-х годов существенно изменились. Эти изменения были обусловлены главным образом значительным снижением стока в низовьях р. Чу. Так, водность р. Чу у свх им. Амангельды за 1976—1983 гг. составила в среднем 0,7 км³/год по сравнению с 1,9 км³/год в 1962—1975 гг. Вследствие отмеченного обстоятельства площади разливов в низовьях р. Чу сократились, а поступление воды ниже Камкалинских разливов к оз. Акжайкын уже не происходило.

Из данных табл. П. IV.10 следует, что, так же как и на предыдущем участке, основную долю в приходной части РВБ (82—93 %) составлял приток речных вод, а в расходной — испарение с водной поверхности и почвы. Накопление воды на участке происходило в отдельные месяцы периода с марта по май и в октябре—декабре (значения Q_0 отрицательны). В остальное время года расходная составляющая РВБ, как правило, превышала приходную, что связано со сработкой запасов воды на пойме (см. табл. 6.2).

6.3. Русловой водный баланс р. Талас

Река Талас на протяжении от с. Караой до с. Кировское имеет хорошо выраженное русло. При больших расходах воды его пропускная способность обеспечивается не за счет увеличения ширины водотока, а главным образом за счет увеличения скоростей течения. При условиях, когда площадь водной поверхности сравнительно невелика, такие составляющие руслового водного РВБ, как расходы воды, обусловленные выпадением осадков на поверхность воды и испарением с последней, на отдельных участках незначительны по сравнению с притоком воды по реке. Как показали расчеты, расходы воды, сформировавшиеся за счет выпадения на поверхность русла обильных осадков (80 мм/сут), составили менее 0,5 % притока по реке, который в это время был наименьшим. Расход воды на испарение с водной поверхности в периоды, когда интенсивность ее была наибольшей, составлял менее 1 % оттока с участка. Кроме того, весьма незначительными были расходы руслового регулирования Q_{pp} .

Участки р. Талас ниже с. Кировское характеризуются наличием незначительной поймы, которая, как правило, не затопливается.

В связи с изложенным расчет РВБ р. Талас выполнялся по уравниванию (6.4), в котором расходы воды, обусловленные выпадением осадков, испарением и русловым регулированием, не учитываются.

Природные условия и хозяйственное использование р. Талас на отдельных ее участках различны. Наибольший водозабор из р. Талас на орошение сельскохозяйственных полей осуществляется в средней и нижней частях реки, где наиболее развита ирригационная сеть.

В среднем течении реки у с. Кировское, где долина резко сужается и река протекает в узком ущелье, в 1975 г. было создано водохранилище сезонного регулирования площадью 26,6 км² (при полном заполнении).

Расчет РВБ р. Талас производился по следующим участкам: 1) от с. Караой до с. Иваново-Алексеевка; 2) от с. Иваново-Алексеевка до с. Орловка; 3) от с. Орловка до с. Кировское; 4) от с. Кировское до с. Гродеково и от с. Кировское до с. Покровка; 5) от с. Гродеково до г. Джамбула; 6) от г. Джамбула до с. Шаповаловка (см. табл. 6.2).

6.3.1. Участок от с. Караой до с. Иваново-Алексеевка

На рассматриваемом участке р. Талас, вступая в Таласскую долину, протекает по верхней части конуса выноса. Здесь ее воды частично фильтруются сквозь русловые отложения до уровня грунтовых вод, залегающих на глубине 5—8 м. Эта зона фильтрации поверхностных и формирования подземных вод простирается до г. Талас, в районе которого и ниже по течению отмечается площадное и русловое выклинивание подземных вод.

Долина реки на участке от с. Караой до с. Иваново-Алексеевка четко выражена. Ширина ее изменяется от 1,0—1,5 км в верхней части участка до 10—15 км у г. Талас. В русле реки имеется много проток, отмелей, осередков, покрытых галькой и валунами.

В пределах участка река принимает ряд притоков, по многочисленным каналам осуществляется водозабор на орошение. Возврат воды непосредственно в русло р. Талас не наблюдался.

Русловой водный баланс для рассматриваемого участка рассчитывался только за период работы экспедиции ГГИ (1971—1974 гг.), поскольку за другие годы отсутствуют данные наблюдений в нижнем гидрометрическом створе и восстановить их по связям с расходами воды в других створах р. Талас или на ее притоках не представилось возможным.

Из данных табл. П.IV.11 видно, что на водозабор в среднем за год расходовалось 19—21 % стока, поступающего на участок, а за вегетационный период — 23—25 %. Боковой приток на участке небольшой и в среднем за период наблюдений составил лишь

12—14 % расхода воды р. Талас у с. Караой. Наибольшие его значения наблюдались главным образом в мае (24—36 % от значений Q_v), наименьшие — в июле—сентябре (2—5 % от значений Q_v).

За год остаточный член Q_o уравнения РВБ имеет в среднем то положительный (1971, 1972 гг.), то отрицательный (1973, 1974 гг.) знак в зависимости от преобладания того или иного вида взаимосвязи речных и подземных вод.

Из анализа хода средних месячных значений Q_o следует, что на рассматриваемом участке р. Талас с мая по август при значительном поверхностном притоке ($Q_v + Q_{пр}$) преобладают потери русловых вод (значения Q_o отрицательны). В осенне-зимний период, которому присуща малая водность реки, наблюдается подземный приток в русло (табл. 6.2).

Сток реки в нижнем створе Q_n формируется в основном соотношением $Q_v + Q_{пр} - Q_{вз}$.

6.3.2. Участок от с. Иваново-Алексеевка до с. Орловка

Рассматриваемый участок расположен в южной части Таласского артезианского бассейна. Русло реки здесь является региональной дренажной; грунтовые воды в приречной зоне находятся близко к поверхности и на всем протяжении участка питают реку [21].

Река Талас на рассматриваемом участке имеет только один приток — р. Нельды, стекающую с южных склонов Киргизского хребта. На левом берегу в межконусном пространстве рек Бештан и Урмарал отмечается несколько выходов источников «карасу».

Водозабор р. Талас на орошение сельскохозяйственных полей осуществлялся пятью каналами.

Анализ данных табл. П.IV.12, в которой приведены результаты расчета РВБ за период работы экспедиции ГГИ, показывает, что, несмотря на водозабор в количестве 3,0—3,5 м³/с в среднем за год и около 4,0—4,5 м³/с в среднем за вегетационный период, на рассматриваемом участке, как правило, происходило нарастание стока, обусловленное не только поступлением воды по р. Нельды, которое было сравнительно небольшим (1,5—2,0 м³/с), но главным образом притоком подземных вод Q_o . Последний в среднем за год составлял 2,5—5,3 м³/с, или 14—37 % стока воды в верхнем створе участка.

Внутригодовое распределение притока подземных вод представлено в табл. 6.2, из которой видно, что наибольший подземный приток на рассматриваемом участке р. Талас отмечается в июне—июле, наименьший — в октябре.

6.3.3. Участок от с. Орловка до с. Кировское

Рассматриваемый участок, так же как и предыдущий, находится в зоне Таласского артезианского бассейна, где грунтовые воды залегают близко к поверхности земли.

Долина реки по сравнению с предыдущим участком постепенно расширяется и перед с. Кировское достигает ширины 20—25 км. Далее к северо-западу ниже с. Кировское межгорная котловина замыкается горами Ичкелетау и Акташ, прорезая которые река образует ущелье. На рассматриваемом участке в р. Талас впадают притоки Урмарал, Кумыштаг и Кара-Бура, а также несколько групп источников «карасу» (Бакиянские, Бейшекинские, Минбулак и др.). Водозабор в очень незначительных размерах осуществляется пятью небольшими каналами.

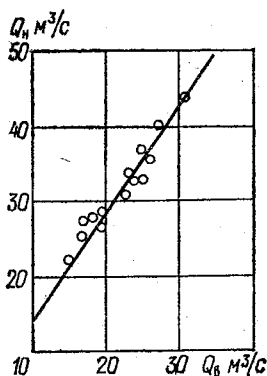


Рис. 6.10. График связи между средними годовыми расходами воды р. Талас у с. Кировское (Q_n) и у с. Орловка (Q_b).

Сброс воды с орошаемых сельскохозяйственных полей поверхностным путем не производится.

Расчет годовых РВБ р. Талас на рассматриваемом участке, выполненный по данным за 1961—1974 гг. (см. табл. П. IV. 13), показывает, что средние годовые расходы воды у с. Кировское Q_n были всегда больше, чем у с. Орловка Q_b . За многолетний период это превышение составило в среднем 43 %, а в отдельные годы достигало 49—56 %. При этом основной прирост расходов воды в отличие от вышерасположенного участка происходил за счет боковой приточности, которая за многолетний период составила в среднем 32 % стока воды в верхнем створе участка. Средние годовые значения Q_0 за весь рассматриваемый период оказались положительными, что указывает на приток подземных вод в р. Талас, который за 1961—1974 гг. составил в среднем $2,3 \text{ м}^3/\text{с}$, или 8 % приходной части РВБ.

Поскольку средние годовые значения $Q_{\text{пр}}$ сравнительно мало варьируют от года к году, а водозабор ничтожно мал, изменения средних годовых расходов воды у с. Кировское Q_n определяются в основном их колебаниями у с. Орловка Q_b , что подтверждается зависимостью на рис. 6.10.

Для характеристики изменений условий взаимосвязи речных и подземных вод в течение года использованы результаты расчета РВБ за отдельные месяцы периода работы экспедиции ГГИ.

Из данных табл. 6.2 видно, что средние месячные значения Q_0 были в большинстве случаев значимы, также имели обычно поло-

жительный знак и свидетельствуют о притоке подземных вод. Лишь в редкие месяцы остаточный член Q_0 уравнения РВБ получался с отрицательным знаком, что, по-видимому, обусловлено погрешностями определения отдельных элементов РВБ.

Зависимость между средними годовыми значениями подземного притока воды в русло и водностью реки не обнаружена.

6.3.4. Участки от с. Кировское до с. Гродеково и от с. Кировское до с. Покровка

Долина реки в верхней части участка от с. Кировское до с. Гродеково представлена узким (60—80 м) ущельем; ниже она расширяется, переходя на левом берегу в обширную равнину, слабо наклоненную к реке. Правобережная часть долины плавно поднимается к горам Киргизского хребта. Склоны ее глубоко изрезаны саями и балками. Пойма по выходе реки из ущелья имеет ширину 600—700 м, а ниже с. Покровка до с. Дунгановка — свыше 1 км. Средняя ширина русла равна 170 м. Ниже с. Покровка русло сильно расширяется и расчленяется на большое количество проток, разделенных островами, осередками и отмелями, сложенными песком, галькой и валунами.

Боковой приток на участке осуществляется несколькими группами источников-«карасу», из которых наиболее значительными являются Чимкентские. Воды р. Каинды теряются в 8 км северо-западнее с. Чештюбе и не достигают русла р. Талас. Ниже с. Покровка имеется горный источник Алмалысай, теряющий свои воды в 2 км северо-западнее с. Джайлган.

Изъятие воды из р. Талас на орошение осуществляется на 10-километровом участке до с. Покровка девятью каналами, от с. Покровка до с. Гродеково — семью каналами.

Сброс оросительных вод в р. Талас отсутствует.

Река на участке от с. Кировское до с. Покровка протекает по верхней части конуса выноса, выполненного крупнообломочными четвертичными отложениями. Вода частично фильтруется до уровня грунтовых вод, залегающих на глубине от 2—3 до 10—20 м. В начале участка отмечается наибольшая амплитуда колебаний средних месячных уровней грунтовых вод. Так, например, в 1968 г. она составила здесь 11,2 м, в 5 км ниже по течению — 6,1 м, а в конце зоны потерь речного стока (в 3—5 км ниже с. Покровка) уменьшилась до 0,4—1,2 м. Наивысшие уровни грунтовых вод устанавливаются в середине лета, наинизшие — весной.

Таким образом, участок находится в зоне, где подземные воды формируются за счет поверхностных. Это подтверждается и результатами расчета РВБ от с. Кировское до с. Гродеково за 1946—1969 гг. (табл. П.IV.14).

Для расчета приведенных в табл. П.IV.14 значений $Q_{пр}$ был использован график связи годового притока по Чимкентским источникам-«карасу» с водностью р. Талас у с. Кировское, построенный за годы работы экспедиции ГГИ.

Поскольку по Джасуркенским источникам-«карасу» имелись данные наблюдений только за один год (с сентября 1974 г. по сентябрь 1975 г.) и при этом из этих источников в вегетационный период производились изъятия воды на орошение, которые учитывались суммарно с водозабором из р. Талас на этом участке, сброс с Джасуркенских источников-«карасу» в р. Талас при расчете русловых водных балансов не включался в значения $Q_{пр}$, а учитывался суммарно с общим подземным притоком в виде остаточного члена Q_v уравнения РВБ. Средний годовой сброс Джасуркенских источников-«карасу» в р. Талас, по данным наблюдений экспедиции ГГИ за указанный выше период, составил $0,94 \text{ м}^3/\text{с}$.

Анализ данных табл. П.IV.14 показывает, что значение Q_0 почти для всех лет рассматриваемого периода оказалось отрицательным, что свидетельствует о потерях воды из русла реки на фильтрацию. За многолетний период они были значительными и составили в среднем $2,7 \text{ м}^3/\text{с}$, или 7 % приходной части РВБ. Наибольшие потери, равные $4,4 \text{ м}^3/\text{с}$, отмечались в 1956 г., а наименьшие ($0,6 \text{ м}^3/\text{с}$) — в 1949 г.

На участке от с. Кировское до с. Гродеково происходило уменьшение стока в среднем на 17 % как за счет потерь на фильтрацию из русла реки, так и вследствие изъятий воды на орошение сельскохозяйственных полей.

Расчет РВБ за 1970—1974 гг. выполнен для участка от с. Кировское до с. Покровка, поскольку пост у с. Гродеково был закрыт и с 1970 г. Казгидрометом начаты работы у с. Покровка. Как показывают данные табл. П.IV.15, средние годовые значения Q_0 имеют отрицательный знак, т. е. на рассматриваемом участке также ежегодно происходили потери стока, которые за пятилетний период составили в среднем $2,5 \text{ м}^3/\text{с}$.

Анализ внутригодового распределения значений Q_0 показал, что потери на фильтрацию наблюдаются практически на протяжении всего года (см. табл. 6.2). Определенной закономерности в изменении абсолютных значений Q_0 не прослеживается.

Изъятия воды на орошение за год составили 12—15 % расходов в верхнем створе (у с. Кировское).

С марта 1975 г. после начала эксплуатации Кировского водохранилища месячные РВБ были рассчитаны для двух участков: от с. Ключевка (в 23 км выше с. Кировское) до плотины Кировского водохранилища и от указанной плотины до с. Покровка. Как показывают данные расчета (табл. 6.6) на первом из упомянутых участков расходы воды, сформировавшиеся за счет выпадения осадков на зеркало водохранилища, а также расходы воды на испарение с его поверхности были очень малы, поскольку площадь водохранилища была незначительной: средние месячные значения ее изменялись от 1,16 до $7,45 \text{ км}^2$. Наибольшее наполнение водохранилища наблюдалось в ноябре—декабре; максимальный объем его к концу декабря составил 124 млн. м^3 , а площадь была равна $8,9 \text{ км}^2$.

Таблица 6.6

Русловой водный баланс р. Талас от с. Кировское до с. Покровка в 1975 г., м³/с

Месяц, период	Составляющие РВБ									
	Q_B	$Q_{пр}$	$Q_{ос}$	Q_H	$Q_{ив}$	$Q_{вз}$	$Q_{вс}$	Q_{pp}	Q_o	$Q_B + Q_{пр} - Q_{вз}$
Участок от с. Ключевка до плотины Кировского водохранилища										
Март	(25,6)	(2,53)	0,03	19,5	0,02	0	0	7,35	-1,3	28,1
Апрель	7,99	(2,42)	0,01	13,0	0,05	0	0	-1,96	0,7	10,4
Май	8,77	(2,01)	0,01	16,1	0,05	0	0	-4,48	0,9	10,8
Июнь	21,7	(2,14)	0	24,1	0,03	0	0	-0,41	-0,1	23,8
Июль	32,8	(2,23)	0	32,0	0,03	0	0	0,03	-3,0	35,0
Август	23,4	(2,16)	0	25,3	0,03	0	0	0,37	0,2	25,6
Сентябрь	13,7	(2,45)	0	15,6	0,02	0	0	0,61	0,1	16,2
Октябрь	10,6	(2,90)	0	14,3	0,02	0	0	1,49	(2,3)	13,5
Ноябрь	(29,3)	(2,59)	0,03	6,42	0,03	0	0	21,6	-2,9	31,9
Декабрь	(26,6)	(2,25)	0,09	5,00	0	0	0	21,3	-2,6	28,8
Апрель—октябрь	17,0	(2,33)	0	20,1	0,03	0	0	-0,62	0,2	19,3
Март—декабрь	20,0	(2,37)	0,02	17,1	0,03	0	0	4,59	-0,7	22,4
Участок от плотины Кировского водохранилища до с. Покровка										
Март	19,5	0	0	15,1	0	2,69	0	0	-1,7	16,8
Апрель	13,0	0	0	7,70	0	4,78	0	0	-0,5	8,2
Май	16,1	0	0	8,98	0	5,91	0	0	-1,2	10,2
Июнь	24,1	0	0	15,4	0	7,28	0	0	-1,4	16,8
Июль	32,0	0	0	23,7	0	8,95	0	0	0,6	23,0
Август	25,3	0	0	18,0	0	5,55	0	0	-1,8	19,8
Сентябрь	15,6	0	0	10,1	0	4,51	0	0	-1,0	11,1
Октябрь	14,3	0	0	6,86	0	5,57	0	0	-1,9	8,7
Ноябрь	6,42	0	0	6,57	0	0	0	0	0,2	6,4
Декабрь	5,00	0	0	5,34	0	0	0	0	0,3	5,0
Апрель—октябрь	20,1	0	0	13,0	0	6,08	0	0	-1,0	14,0
Март—декабрь	17,1	0	0	11,8	0	4,52	0	0	-0,8	12,6

Остаточный член Q_0 уравнения РВБ при большой водности ($Q_{\text{в}} + Q_{\text{пр}}$) на рассматриваемом участке р. Талас имел отрицательный знак, соответствующий потерям русловых вод в берега водохранилища, а при малой водности значения Q_0 были положительными, что обусловлено притоком грунтовых вод.

При расчете РВБ за март—сентябрь 1975 г. на участке р. Талас ниже плотины Кировского водохранилища расходы воды у с. Покровка принимались по материалам наблюдений экспедиции ГГИ. Данные табл. 6.6 показывают, что на рассматриваемом участке происходили потери речных вод, которые оказались несколько меньше, чем на участке от с. Кировское до с. Покровка в 1971—1974 гг. и за десятимесячный период наблюдений составили в среднем $0,8 \text{ м}^3/\text{с}$. Однако сделать вывод об уменьшении потерь речных вод на этом участке после ввода в эксплуатацию Кировского водохранилища на основании кратковременных наблюдений экспедиции ГГИ, по-видимому, нельзя, поскольку снижение средних месячных расходов воды у с. Покровка $Q_{\text{ш}}$ в период с марта по декабрь 1975 г. обусловлено уменьшением значений $Q_{\text{в}} + Q_{\text{пр}} - Q_{\text{вз}}$.

6.3.5. Участок от с. Покровка до г. Джамбула и от с. Гродеково до г. Джамбула

Описание большей его части (до с. Гродеково) приведено в предыдущем разделе. Длина участка от с. Гродеково до г. Джамбула 8 км.

Левобережная часть долины р. Талас сливается с примыкающей к ней обширной равниной. Правобережная часть долины, поднимаясь, уходит к горам Тиктурмас, которые в районе с. Дунгановка близко расположены к реке. Склоны долины изрезаны ложбинами и оврагами. Ширина поймы, по сравнению с предыдущим участком, резко уменьшается, составляя в среднем 20—40 м и только местами 300—400 м. Ниже с. Дунгановка пойма отмечается лишь около вогнутых частей берегов, причем максимальная ширина ее составляет около 100 м. В русле реки имеются отмели и острова, дно сложено песчано-галечными отложениями с валунами различных размеров.

Участок от с. Покровка до г. Джамбула неоднороден по взаимосвязи речных и подземных вод. В начале его на протяжении 3—5 км река питает подземные воды, а затем речное русло является дреной. Ниже с. Учкурган грунтовые воды, кроме выклинивания в русло, выходят на поверхность низких террас.

Притоков на участке от с. Гродеково до г. Джамбула, кроме нескольких групп небольших источников «карасу», не имеется.

Наиболее крупным источником пополнения р. Талас поверхностными водами является канал Асса-Талас, построенный в 1957 г. Канал предназначен главным образом для орошения земель между этими двумя реками водами р. Ассы. Неиспользованная вода сбрасывается в р. Талас. По данным многолетних

наблюдений (1957—1975 гг.), сброс воды составил около 50 % от ее забора из р. Ассы.

Водозабор на втором из рассматриваемых участков осуществляется 12 каналами.

Расчет годовых РВБ для рассматриваемых участков (см. табл. П. IV.16) показывает, что подземный водообмен в значительной части случаев находился в пределах ошибок его определения. За многолетний период (1950—1969 гг.) значение остаточного члена Q_0 уравнения РВБ для участка от с. Гродеково до г. Джембула получилось в среднем близким к нулю. Для участка от с. Покровка до г. Джембула среднее за 1970—1975 гг. значение Q_0 составило 1,2 м³/с, что свидетельствует о небольшом притоке подземных вод в русло реки.

От с. Гродеково (с. Покровка) до г. Джембула происходит уменьшение водности реки, обусловленное существенными изъятиями ее стока. Значение $Q_{вз}$ для двух участков составило в среднем 35—40 % стока в верхнем створе ($Q_в$) (см. табл. П. IV.17).

Изменение средних месячных значений Q_0 (табл. 6.2) показывает, что в большую часть года здесь наблюдается приток подземных вод в реку. Фильтрация воды из русла р. Талас происходит только летом в период прохождения наибольших расходов воды.

6.3.6. Участок от г. Джембула до с. Шаповаловка

В пределах участка высокие цепи гор отходят еще дальше от реки, ее долина расширяется, река течет одним руслом. Правый склон долины имеет высоту 10—12 м, задернован, сильно изрезан узкими оврагами и балками с большой глубиной вреза. Левый склон пологий. Средняя ширина долины 5—6 км. Ширина поймы небольшая—30—50 м. Русло реки резко меандрирует по дну долины. Берега в отдельных местах укреплены бетонными плитами. Дно сложено песчаными отложениями, ниже с. Михайловка появляется ил и суглинок.

Притоков на участке не имеется.

Водозабор осуществляется 15 каналами.

Из данных табл. П. IV.18 видно, что водозаборы на рассматриваемом участке сравнительно невелики. За многолетний период они равнялись в среднем 3,51 м³/с, что составило 18 % приходной части РВБ. В маловодный 1975 г. изъятия воды достигали 30 %, а в многоводный 1969 г. они составили лишь 8 % расхода воды в верхнем створе участка.

Сток по длине р. Талас на участке от г. Джембула до с. Шаповаловка за многолетний период уменьшался в среднем на 17 %, что в основном связано с изъятиями воды на орошение и другие хозяйственные нужды.

Остаточный член Q_0 уравнения РВБ, так же как и для предыдущего участка, имеет и положительные, и отрицательные значения, что обусловлено преобладанием того или иного вида взаимо-

действия подземных и русловых вод в течение года. Зачастую значение Q_0 сопоставимо с точностью определения значений Q_v и Q_n .

Помесячное распределение значений Q_0 характеризуется данными, помещенными в табл. 6.2. Потери поверхностных вод на фильтрацию наблюдаются при повышенном стоке реки в верхнем створе. Обычно это происходит в осенне-зимний период.

Летом же на рассматриваемом участке р. Талас вследствие заборов воды на орошение имеет место в целом низкий сток. Можно предположить, что во время интенсивных поливов, обуславливающих повышение уровня грунтовых вод на территории, примыкающей к руслу, при одновременном снижении уровня воды в реке появляется приток подземных вод в русло.

7. ОРОСИТЕЛЬНЫЕ НОРМЫ И РЕЖИМЫ ОРОШЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

7.1. Теоретическое обоснование методики расчета

Одним из наиболее обоснованных теоретически и подтвержденных данными экспедиционных исследований на Северном Кавказе и в Южном Казахстане является тепловоднобалансовый метод ГГИ [92, 94], в основу которого положено понятие «недостатка» (дефицита) водопотребления:

$$d_E = E_{\text{оп}} - [X + (W_n - W_k) + K - I - Y], \quad (7.1)$$

где d_E — «недостаток», или дефицит, водопотребления; $E_{\text{оп}}$ — оптимальное суммарное испарение; X — осадки; W_n и W_k — соответственно начальные и конечные продуктивные влагозапасы за расчетный интервал времени в верхнем метровом слое почвы; K — расход грунтовых вод в зону аэрации; I — инфильтрация; Y — поверхностный сток.

Под оптимальным суммарным испарением понимается то его значение, которое формируется при оптимальном увлажнении почвы, соответствующем диапазону изменения последнего от наименьшей до 0,8—0,6 влагоемкости $W_{\text{нв}}$ в зависимости от вида культуры и фазы ее развития.

Верхний предел увлажнения W_k определяется водоудерживающей способностью почвы и условиями достаточной аэрации почвы; нижний предел $W_{\text{но}}$ характеризует доступность почвенной влаги для растений, что соответствует, примерно, влажности разрыва капилляров, и подвержен изменению в зависимости от вида и фазы вегетации растений.

Расчет значений $E_{\text{оп}}$ осуществляется по формуле

$$E_{\text{оп}} = \beta E_0, \quad (7.2)$$

где E_0 — испаряемость, β — параметр, зависящий от фазы развития растений.

Испаряемость определялась в соответствии с работами [18, 70]. Типовые значения β могут несколько корректироваться на основе экспериментальных данных для каждого исследуемого района [15].

Расход грунтовых вод в зону аэрации K определялся по формуле

$$K = E_0 e^{-mH_{\text{гп}}}, \quad (7.3)$$

где e — основание натуральных логарифмов; $H_{\text{гр}}$ — глубина залегания грунтовых вод, м; m — эмпирический параметр, зависящий от водно-физических свойств почвы и фазы развития растений.

Значения параметра m приводятся в работах [18, 70].

Расчетным интервалом времени при оценке значений d_E является декада, так как при этом случайные ошибки расчета достаточно малы и этот интервал позволяет охарактеризовать динамику водного режима почвы в течение вегетационного периода.

В начальный период вегетации растений принималось, что $W_n = W_{\text{нв}}$. В дальнейшем значение W_k предыдущей декады приравнивалось значению W_n последующей декады.

Расчет конечного значения W_k осуществлялся на текущую декаду по формуле

$$W_k = \left[W_n \left(1 - \frac{E_{\text{оп}}}{2\gamma} \right) + X + K + M \right] \left(1 + \frac{E_{\text{оп}}}{2\gamma} \right). \quad (7.4)$$

В формуле (7.4) $\gamma = W_{\text{нв}} - W_{\text{вз}}$. Если $W_k > \gamma$, то принимается $W_k = \gamma$ и

$$I + Y = X - E_{\text{оп}} (W_n W_{\text{нв}} / 2W_{\text{нв}}) - (W_{\text{нв}} - W_n) + K. \quad (7.5)$$

При этом значение $I + Y$ характеризует формирующийся суммарный отток, состоящий из поверхностных и грунтовых (из зоны аэрации) вод.

В случае, если $W_k < W_{\text{но}}$, то принимается $W_k = W_{\text{но}}$. Тем самым значение d_E возрастает до уровня, необходимого для поддержания почвенных влагозапасов в пределах оптимального диапазона.

По полученным значениям $E_{\text{оп}}$, K , W_n , W_k и $I + Y$ по формуле (7.1) производился расчет декадных значений d_E . Естественно, что при $(Y + I) > 0$, значение d_E становится равным 0.

Нижний оптимум увлажнения почвы $W_{\text{но}}$ вычислялся по формуле А. Н. Костякова

$$W_{\text{но}} = \frac{S_{\text{ф}}}{\lambda} (\nu W_{\text{нв}} - W_{\text{вз}}), \quad (7.6)$$

где $S_{\text{ф}}$ и λ — соответственно фактическое и предельно допустимое содержание солей в корнеобитаемом слое почвы; ν — эмпирический коэффициент, зависящий от вида и фазы развития сельскохозяйственной культуры.

Значения параметра ν помещены в работе [18].

Суммарное значение дефицита водопотребления за период вегетации D_E находилось путем суммирования декадных значений d_E . Учитывая, что для большинства сельскохозяйственных культур полив в последнюю фазу вегетации приводит к снижению качества урожая, поливная норма нетто определялась как сумма дефицитов водопотребления только за поливной период без последнего значения d_E .

Методика определения типовых режимов орошения базируется на графоаналитическом способе, основанном на построении интегральных кривых значений d_E [92]. Расчет осуществлялся исходя из заданного (проектного) значения обеспеченности суммы недостатка водопотребления за период вегетации. В качестве типового

обычно берутся годы 5,25- или 50 %-обеспеченности по сумме значений d_E . Недостаток подхода очевиден: типовые сроки полива оказываются зависимыми от случайности распределения декадных значений d_E в течение конкретного года. Для устранения недостатка использовано построение сглаженных интегральных кривых значений d_E в виде

$$\sum d_{E_i} = D_E \left(\sin \frac{\pi}{2} \frac{\tau_i}{T} \right)^{F_p}, \quad (7.7)$$

где $\sum d_{E_i}$ — сумма недостатков водопотребления от начала периода вегетации до момента времени τ_i ; D_E — сумма недостатка водопотребления за период вегетации продолжительностью T ; F_p — показатель степени, зависящий от характера распределения значения d_E в течение вегетационного периода.

Этот способ применим для условий засушливых зон, имеющих устойчивый сезонный ход значений d_E с одним максимумом. В частности, для исследуемого района установлено, что средняя ошибка аппроксимации интегральных кривых d_E по формуле (7.7) составляет 3 % значения D_E , средняя максимальная — 7 %, а абсолютная максимальная — 18 %.

Параметр F_p определяет время наступления максимума засушливости: при $F_p = 1$ максимальные значения d_E приходятся на начало вегетации, а с увеличением значений F_p этот максимум смещается на все более поздние сроки. Для доказательства этого положения достаточно продифференцировать уравнение (7.7) [92].

Сроки полива в предлагаемом способе определяются из уравнения (7.7) при известном значении F_p : время первого полива соответствует значению τ_i , при котором сумма $\sum d_{E_i}$ становится равной значению первой поливной нормы; время второго полива — когда этот параметр принимает значение, равное сумме первой и второй поливной норм и т. д.

Расчет поливной нормы M осуществляется по формуле

$$M = W_{нвh} - W_{ноh}. \quad (7.8)$$

Индекс h означает, что запасы влаги определяются в слое почвы, соответствующем оптимальной глубине промачивания. Значения глубины промачивания почвы для различных сельскохозяйственных культур брались из работы [14].

Реализация изложенного способа расчета режимов орошения осуществлялась на ЭВМ по специально разработанным программам.

7.2. Характеристика исходных данных

Расчеты значений d_E производились по данным наблюдений гидрометстанций, расположенных непосредственно в долинах рек Чу, Талас и в прилегающих к исследуемой территории областях Киргизии и Казахстана (табл. 7.1). Основными культурами в рас-

Таблица 7.1

Исходные данные для оценки значений d_E сельскохозяйственных культур

Гидрометстанция	Высота, м над ур. м	Влагозапасы, мм			Период наблюдений, число лет	Культура
		W _{пв}	W _{нв}	W _{вз}		
Киргизская ССР						
Фрунзе	760	452	290	112	21	Сахарная свекла, яровая и озимая пшеница, люцерна
Чуйская Токмак	597	489	268	80	22	То же
	817	489	268	80	30	Сахарная свекла, яровая пшеница, люцерна
Чонарык	1108	550	278	90	25	Яровая пшеница, люцерна
Рыбачье	1658	489	268	80	27	То же
Нарын	2049	451	213	68	30	"
Беловодская	726	489	268	80	По средним многолетним данным	Сахарная свекла, яровая и озимая пшеница, люцерна
Новороссийка	1524	458	279	91	То же	Яровая и озимая пшеница, эспар- цет
Байтык	1580	458	279	91	"	Сахарная свекла, яровая и озимая пшеница, люцерна
Кочкорка	1910	489	268	80	"	То же
Кировское	857	500	274	114	22]	Сахарная свекла, яровая и озимая пшеница, эспар- цет
Талас	1218	(489)	338	92	18	Яровая и озимая пшеница, эспарцет
Казахская ССР						
Новотроицкое	454	468	217	58	По средним многолетним данным	Яровая и озимая пшеница, эспарцет
Уланбель	270	412	200	34	21	Сахарная свекла, яровая пшеница, люцерна
Фурманово Луговая	848	489	268	80	21	То же
	683	489	268	80	22	Сахарная свекла, яровая пшеница, люцерна
Тасты	190	345	153	32	По средним многолетним данным	Сахарная свекла, яровая и озимая пшеница, люцерна
Мерке	703				То же	То же
Байкадам	337	368	188	39	21	Сахарная свекла, яровая и озимая пшеница, люцерна
Бетпакдала	328	357	208	94	25	Сахарная свекла, яровая пшеница
Уюк	366	440	200	56	22	То же

Примечание. $W_{пв}$ — полная влагоемкость почвы, $W_{нв}$ и $W_{вз}$ — см. по тексту.

рассматриваемом районе являлись сахарная свекла, яровая и озимая пшеница и многолетние сеяные травы (люцерна и эспарцет). Недостатки водопотребления рассчитывались отдельно для каждой сельскохозяйственной культуры по декадным интервалам времени за периоды наблюдений 18—30 лет при условии залегания грунтовых вод на глубине 1, 1,5, 2, 3 и 5 м.

В бассейнах рек Чу и Талас данные по фенологии сельскохозяйственных культур являлись отрывочными и разрозненными. Фактические сроки сева в силу хозяйственных причин часто оказывались сдвинутыми относительно оптимальных (климатических) сроков, отчего и последующее развитие растений происходило не в оптимальные сроки. Поэтому использование фенологических наблюдений для определения оптимальных режимов орошения оказывалось не совсем правомерным. Более объективным способом определения режимов орошения было определение сроков развития сельскохозяйственных растений по агрометеорологическим показателям: срок сева определялся по «пороговой» температуре воздуха (устойчивый переход температуры воздуха в зависимости от сельскохозяйственной культуры через 5, 10, 15 °C), продолжительности фаз развития растений по сумме средних суточных температур воздуха от даты посева.

На основании данных, приведенных в работе [3], по средним датам наступления фенологических фаз для различных пунктов рассматриваемого района, были установлены «пороговые» значения и суммы температуры воздуха за отдельные фазы вегетации

Таблица 7.2

Интегральные суммы температур воздуха от начала вегетации до наступления очередной фазы развития растений, °C

Фазы вегетации или температура воздуха	Пшеница		Сахарная свекла	Люцерна	Эспарцет
	яровая	озимая			
Всходы	130				
3-й лист	310		430		
Начало утолщения корня			700		
Кущение	410				
Выход в трубку	670	260			
Колошение	1020	610			
Цветение	1160	570			
Спелость					
молочная	1420	1010			
восковая	1660	1250			
полная	1890	1890			
техническая			2500		
Уборка			2900		
За укос, °C				800	
гмс Кировское					650
гмс Талас					700

Примечание. Для сахарной свеклы пороговая температура воздуха равна 10 °C, а для остальных культур — 5 °C.

и в целом за вегетационный период. Принятые для расчетов значений d_E на рассматриваемой территории значения «пороговых» температур и суммы температур воздуха за различные фазы периода вегетации сельскохозяйственных культур (с учетом данных, приведенных в литературе [24, 78], и экспедиционных наблюдений ГГИ) помещены в табл. 7.2. Средняя продолжительность периода вегетации для рассматриваемых культур приведена на схемах рис. 7.1—7.3.

При отсутствии необходимой информации значения наименьшей влагоемкости и влажности завядания устанавливались с учетом данных, содержащихся в работах А. Д. Карбышевой [45], А. В. Процерова [67] и др. Значения параметров v , β , m и глубин промачивания почвы взяты из работ [18, 70].

7.3. Технологическая схема расчета режимов орошения сельскохозяйственных культур

Используя изложенную выше методику и исходные данные, по рассматриваемым районам выполнены расчеты значений d_E , их статистических характеристик и в целом режимов орошения (табл. 7.3).

Пространственная изменчивость средних многолетних значений недостатков водопотребления за период вегетации $D_{E_{гд}}$ для люцерны представлена на рис. 7.4, а для пшеницы и сахарной свеклы опубликована в работе [96]. Анализ их показывает, что в целом по территории значения $D_{E_{гд}}$ закономерно изменяются, уменьшаясь с северо-запада на юго-восток по мере увеличения высоты местности над уровнем моря.

Диапазон изменения значений $D_{E_{гд}}$ для яровой пшеницы составляет 700—300, озимой пшеницы — 650—200, сахарной свеклы — 900—500, люцерны — 1300—500 мм.

Таким образом, на рассматриваемой территории потребности сельскохозяйственных культур в оросительной воде изменяются в 2—3 раза, причем в этом изменении четко прослеживается вертикальная зональность: с увеличением высоты местности вследствие увеличения осадков и снижения температуры воздуха значения $D_{E_{гд}}$ уменьшаются, а коэффициенты их вариации C_v в основном увеличиваются (см. табл. 7.3).

Построенные для разных станций и сельскохозяйственных культур нормированные относительно среднего квадратичного отклонения кривые распределения значений $D_{E_{гд}}$ характеризуются (в пределах точности построения кривых распределения) одинаковой асимметрией. Это позволило вместо частных кривых распределения значений $D_{E_{гд}}$ для каждой станции и культуры построить одну универсальную нормализованную кривую для

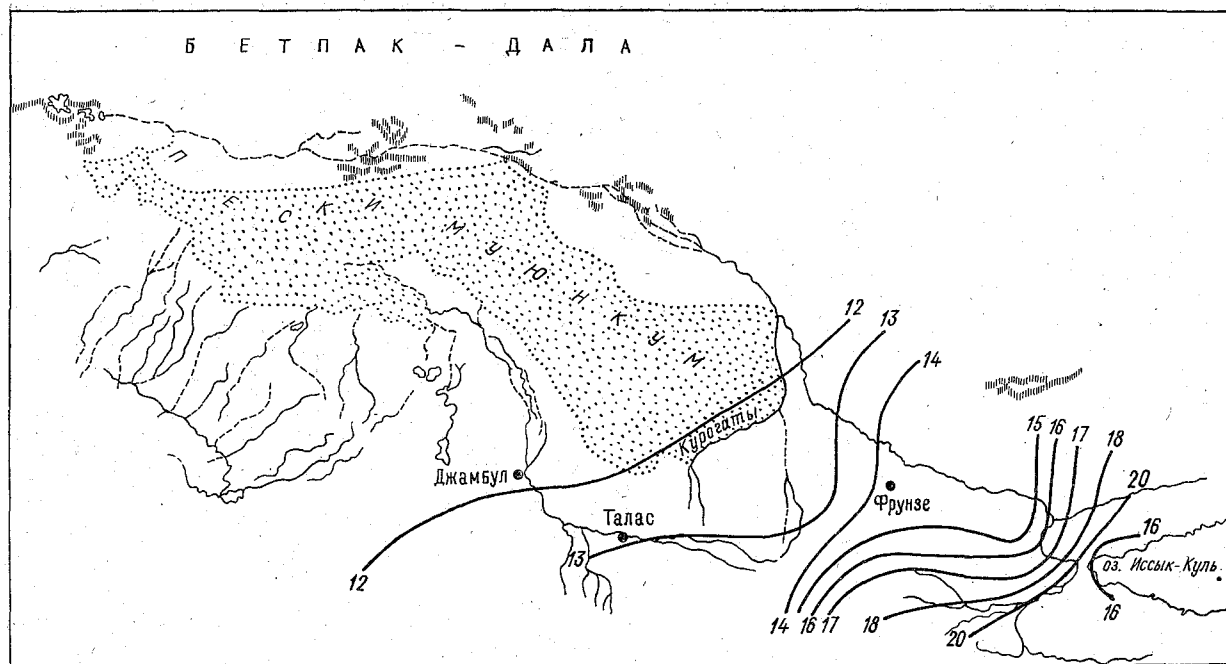


Рис. 7.1. Продолжительность периода вегетации яровой пшеницы (число декад).

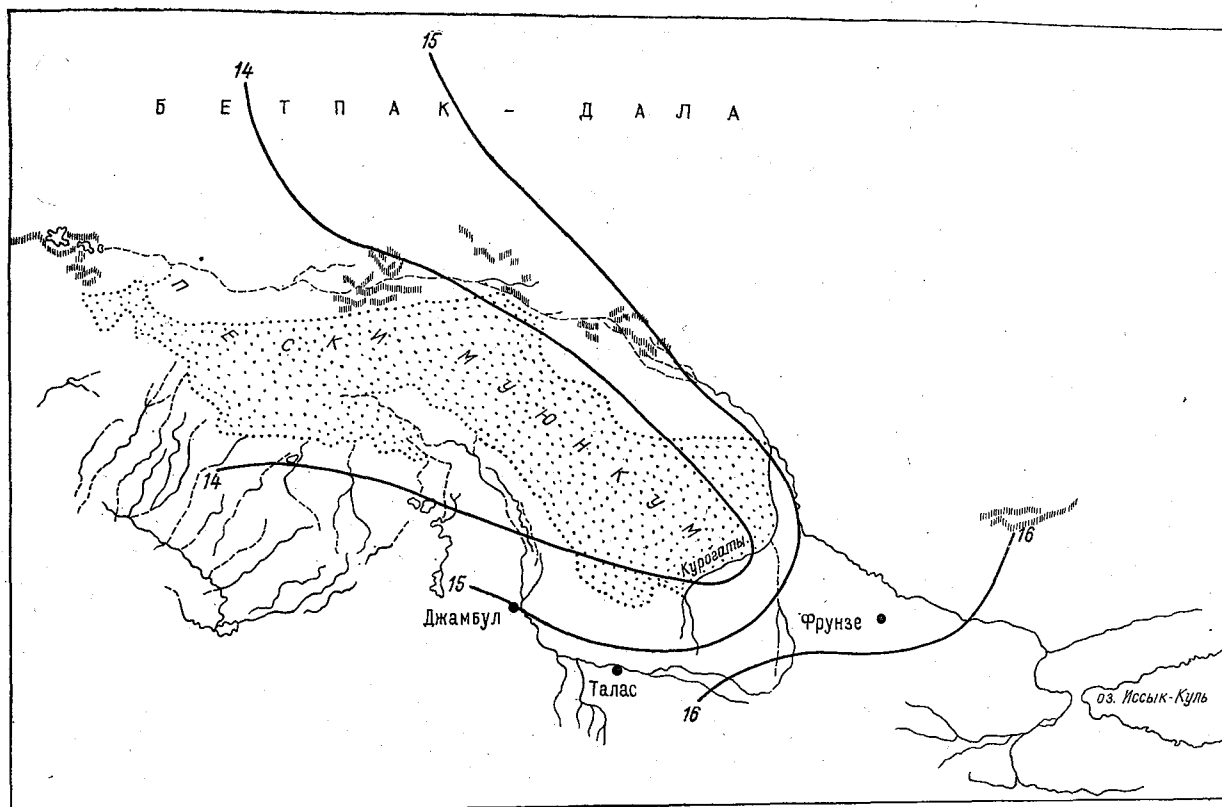


Рис. 7.2. Продолжительность периода вегетации сахарной свеклы (число декад).

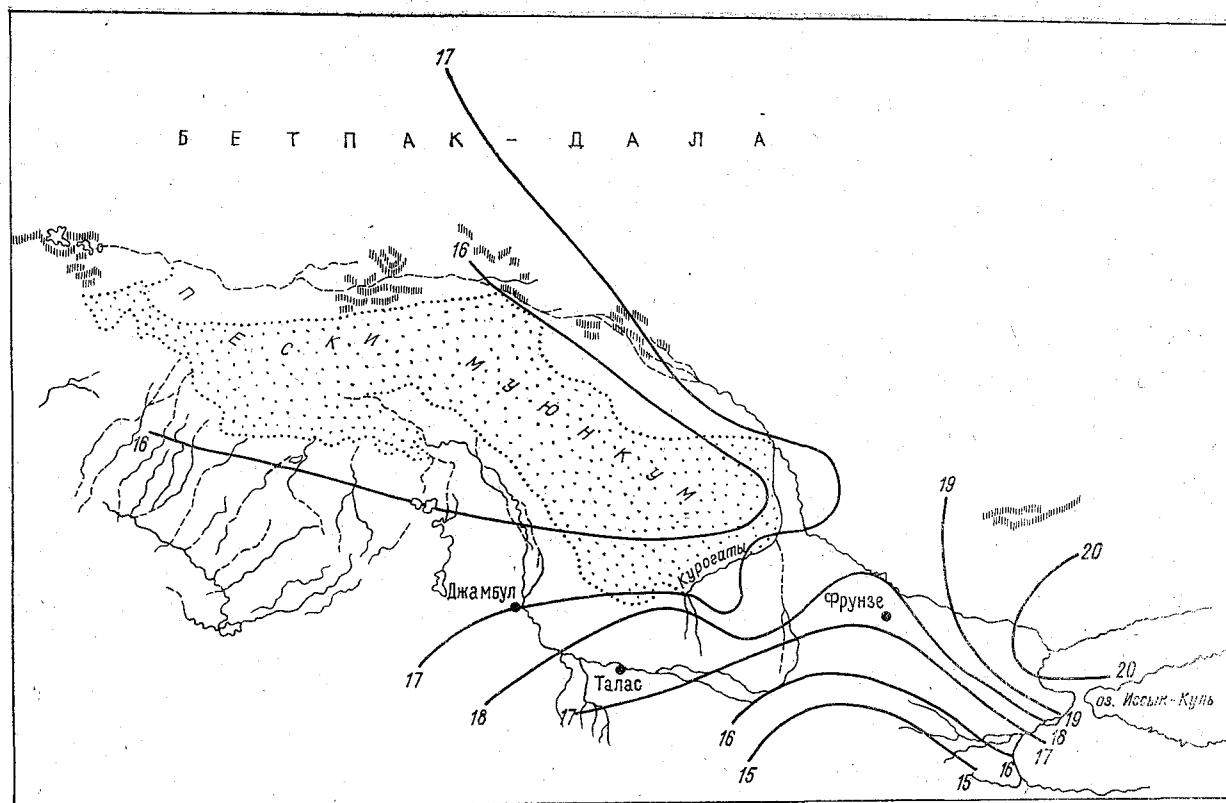


Рис. 7.3. Продолжительность периода вегетации люцерны (число декад).

Таблица 7.3

Средние многолетние значения $D_{E_{гд}}$ и статистические характеристики C_v и σ
(глубокое залегание грунтовых вод)

Гидрометстанция	Число лет наблюдений	Высота, м над ур. м	$D_{E_{гд}}$	C_v	σ мм

Яровая пшеница

Уланбель	21	270	652	0,08	50
Фурмановка	21	348	536	0,12	62
Чуйская	22	597	376	0,26	—
Луговая	22	683	428	0,21	92
Фрунзе	21	760	370	0,24	90
Токмак	30	817	330	0,25	—
Чонарык	25	1108	299	0,30	87
Рыбачье	27	1658	500	0,12	61
Кировское	22	857	421	0,20	84
Талас	18	1218	418	0,22	92

Озимая пшеница

Фурмановка	21	348	461	0,11	50
Чуйская	22	597	295	0,29	86
Фрунзе	21	760	287	0,26	75
Кировское	22	857	345	0,23	78
Талас	18	1218	337	0,23	78

Сахарная свекла

Уланбель	19	270	1011	0,05	51
Фурмановка	21	348	752	0,05	40
Чуйская	22	597	593	0,16	—
Луговая	22	683	737	0,12	92
Фрунзе	21	760	602	0,13	80
Токмак	30	817	560	0,13	—
Кировское	22	857	635	0,14	88

Травы

Уланбель (4 укоса)	19	270	1062	0,06	—
Фурмановка (4 укоса)	21	348	920	0,06	53
Чуйская (4 укоса)	22	597	733	0,15	—
Луговая (4 укоса)	22	683	802	0,11	—
Фрунзе (4 укоса)	21	760	746	0,10	74
Токмак (4 укоса)	30	817	722	0,12	—
Чонарык (3 укоса)	25	1108	472	0,18	84
Рыбачье (3 укоса)	27	1658	680	0,10	66
Кировское (5 укосов)	22	857	740	0,12	86
Талас (4 укоса)	18	1218	658	0,14	89

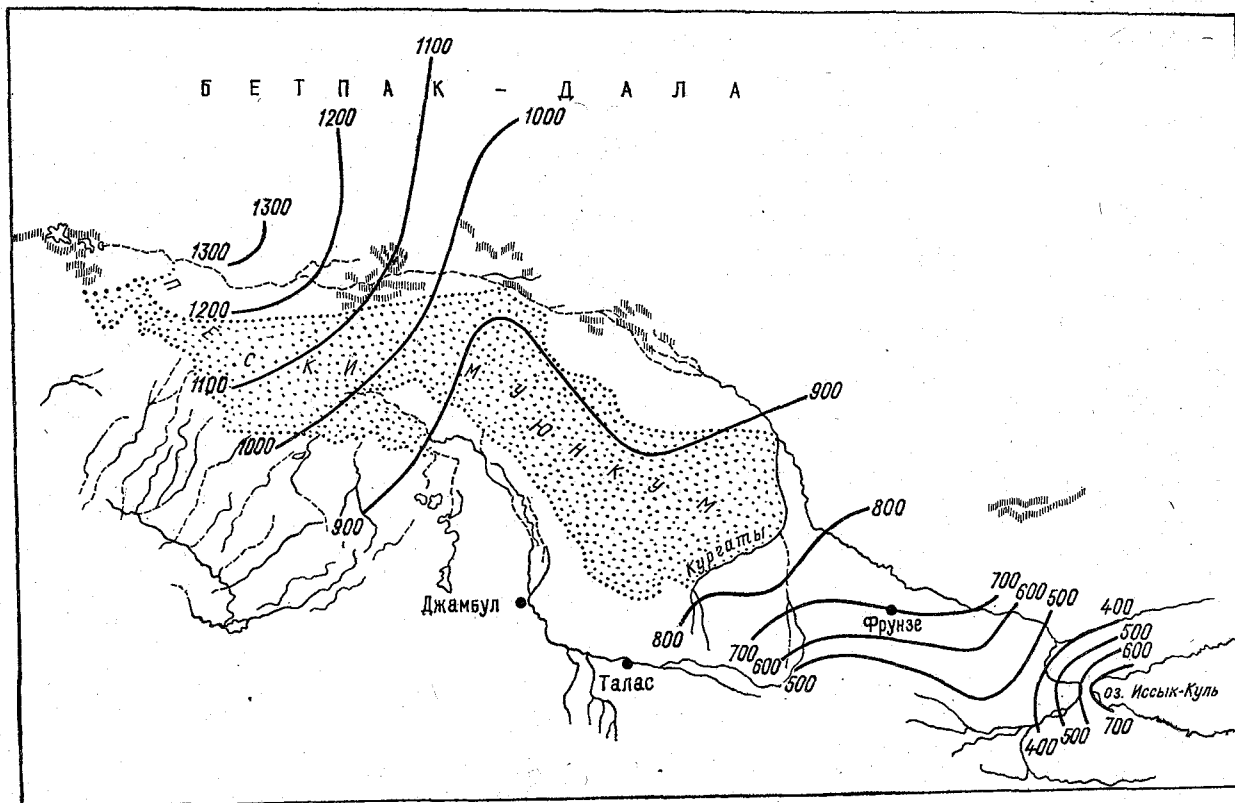


Рис. 7.4. Суммы недостатков водопотребления (мм) за период вегетации люцерны при глубоком залегании грунтовых вод.

всей территории и всех культур (рис. 7.5). Используя ее и карты распределения значений $D_{E_{г.л}}$ и C_v , можно для любой точки территории рассчитать значения $D_{E_{г.л}}$ заданной обеспеченности.

С уменьшением глубины залегания уровня грунтовых вод и приближением их к поверхности земли увеличивается расход

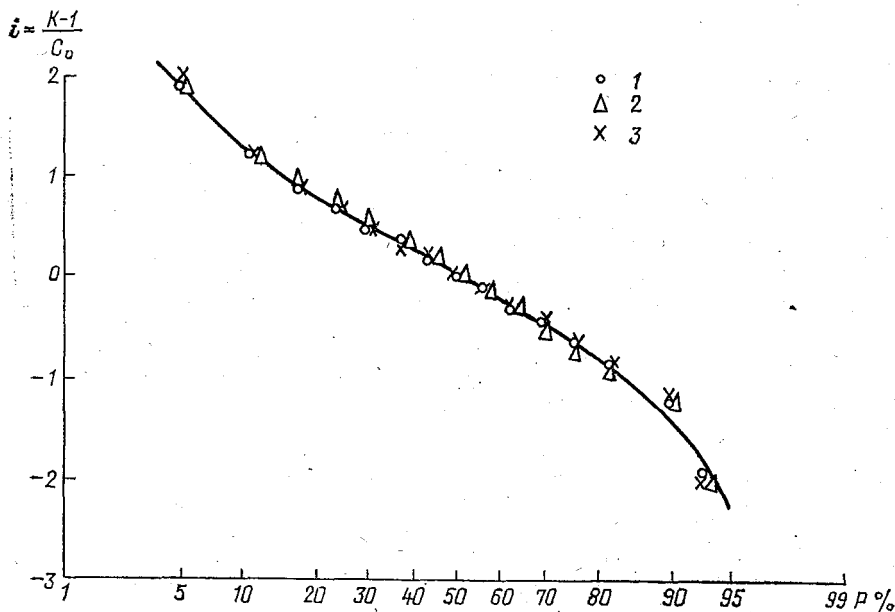


Рис. 7.5. Обобщенная кривая обеспеченности сумм недостатков водопотребления за период вегетации различных сельскохозяйственных культур.

1 — зерновые, 2 — сахарная свекла, 3 — люцерна.

грунтового потока в зону аэрации за счет капиллярного поднятия. При этом дефицит водопотребления снижается.

При проектных разработках необходимо оперировать значениями недостатка водопотребления за весь период вегетации при разных глубинах залегания грунтовых вод D_{E_H} , для чего предложены зависимости $D_{E_H} = f(D_{E_{г.л}})$ при H , равном 1, 1,5, 2 и 3 м (рис. 7.6). Эти зависимости близки к линейным и характеризуются высокой теснотой связи. При $H=1$ м значение D_{E_1} почти в два раза меньше, чем при глубоком залегании, а при $H=5$ м — $D_{E_5} \approx D_{E_{г.л}}$. Зависимости на графике 7.6 удобны при практических расчетах, так как позволяют непосредственно определять значения D_{E_H} по уровню $\bar{D}_{E_{г.л}}$ или по обеспеченному значению $D_{E_{г.л}}$, P .

Использование сглаженных (типовых) интегральных кривых d_E показало, что для рассматриваемой территории значения пара-

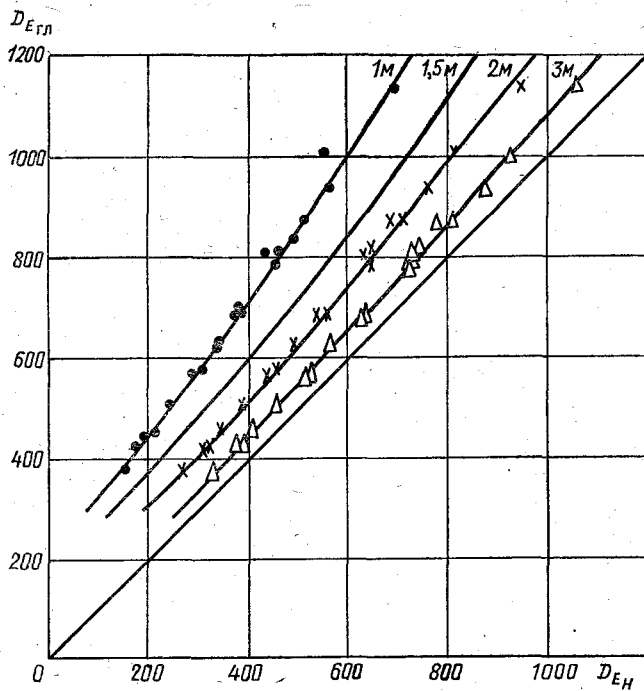


Рис. 7.6. Зависимость $D_{ЭН} = f(D_{ЭГЛ})$.

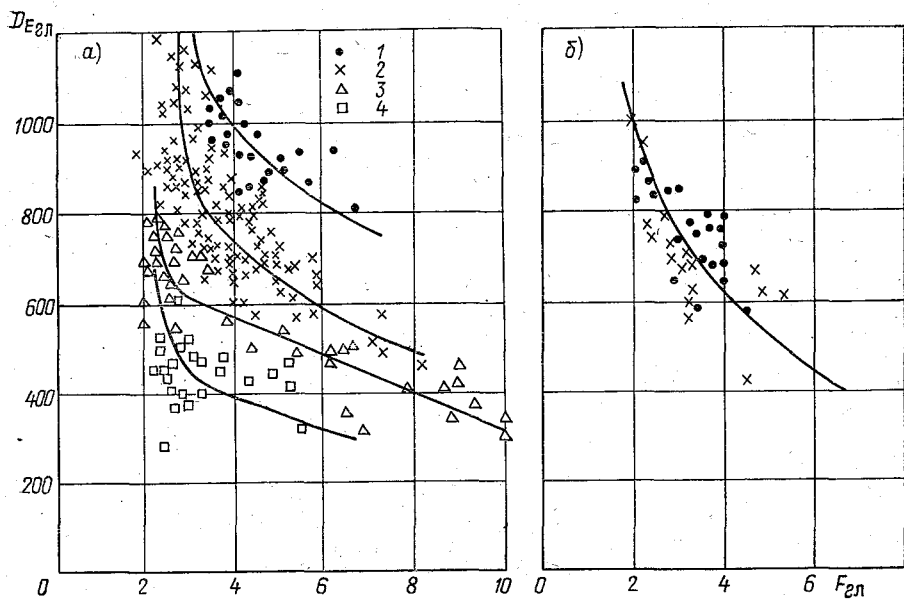


Рис. 7.7. Зависимость $F_{ГЛ} = f(D_{ЭГЛ})$ для люцерны (а) и эспарцета (б).

1 — 5 укосов, 2 — 4 укоса, 3 — 3 укоса, 4 — 2 укоса.

метра F_p зависят от значения $D_{E_{гЛ}}$. При этом характер зависимости определяется видом культуры и физико-географическими условиями. Полученные зависимости параметра $F_{гЛ}$ от сезонных сумм $D_{E_{гЛ}}$ представлены на графиках рис. 7.7—7.9.

С приближением уровня грунтовых вод к дневной поверхности соответственно уменьшается значение d_E и на более поздний срок

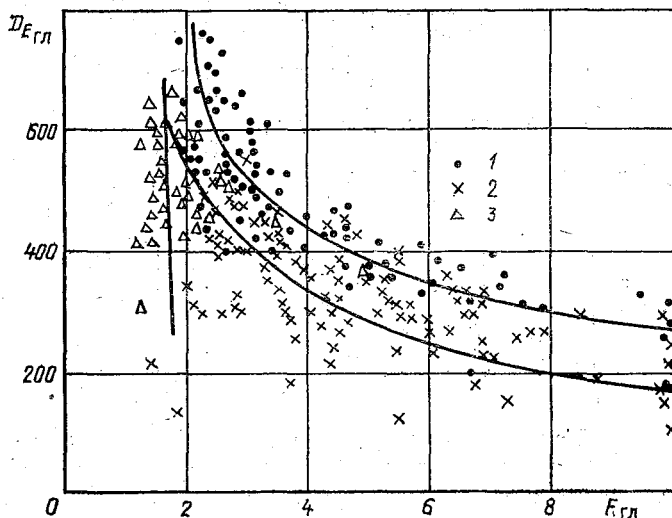


Рис. 7.8. Зависимость $F_{гЛ} = f(D_{E_{гЛ}})$ для яровой и озимой пшеницы.

1 — равнинная часть бассейна р. Чу, 2 — Северо-Киргизская область, 3 — Иссык-Кульская область.

смещается время наступления максимума значений этого параметра. Тогда в аппроксимационных зависимостях сезонного хода параметра d_E значения $F_{H_{гЛ}}$ становятся больше, чем при глубоком залегании уровней грунтовых вод. Эта общая закономерность четко прослеживается на графиках зависимости $F_{H_{гЛ}} = f(F_{гЛ})$, которые можно использовать для расчетов внутригодового хода значений d_E при глубинах залегания грунтовых вод менее 5 м (рис. 7.10). Использование расчетных поливных норм (табл. 7.4), сглаженные интегральные кривые d_E и значения $F_{гЛ}$ позволяют определить сроки полива по времени наступления равенства приращения значений d_E водопотребления (с момента предыдущего полива или начала вегетации) величине очередной поливной нормы.

Обычно расчеты проектных режимов орошения ведутся для значений d_E 75 %-ной обеспеченности. Поэтому формула при использовании нормированной кривой обеспеченности принимает вид

$$D_{E_{гЛ}} = \bar{D}_{E_{гЛ}} (1 + 0,72C_v). \quad (7.9)$$

Таблица 7.4

**Поливные нормы (мм) сельскохозяйственных культур в зависимости
от водно-физических свойств почвы на незасоленных участках**

Почвенные константы, мм		Сахарная свекла			Люцерна	Пшеница яровая и озимая	
$W_{\text{нв}}$	γ	от посева до 3-го листа	от 3-го листа до начала утолщения корня	от начала утолщения корня до уборки	за период между укосами	от посева до выхода в трубку	от выхода в трубку до молочно-восковой спелости
		глубина промачивания почвы (см)					
		50	80	80	100	50	100
350	220	33	62	70	66	33	77
300	200	30	56	64	60	30	70
250	180	27	50	58	54	27	68
200	150	23	43	49	46	23	53
150	120	18	34	38	36	18	42
100	70	11	20	22	21	11	25
80	40	6	12	13	13	6	15

Далее по районной зависимости (рис. 7.11) и по значению заданной обеспеченности находится соответствующее значение параметра $F_{\text{гл}}$. Переход к необходимым значениям глубины грунтовых вод осуществляется по графикам рис. 7.6 и 7.10, с которых по значениям $D_{\text{Егл}}$ и $F_{\text{гл}}$ находятся соответствующие значения $D_{\text{Ен}}$ и $F_{\text{Нгр}}$.

Наконец, по данным полевых обследований или по значению $W_{\text{нв}}$ для данного типа почв (рис. 7.11) или с помощью табл. 7.4 определяются значения параметра γ и оптимальные поливные нормы.

Найденные поливные нормы выражаются в долях единицы путем деления их на определенное значение $D_{\text{Ен}}$. При установлении сроков поливов возможны два пути. В первом случае используется номограмма (рис. 7.12). На оси ординат этой номограммы откладываются значения первой поливной нормы в долях от суммы недостатка водопотребления за период вегетации $D_{\text{Е}}$, а при соответствующем ему значении F находится время первого полива в относительных единицах $\sum \tau_i / T$ (где $\sum \tau_i$ — продолжительность от начала вегетации до определенного момента; T — общая продолжительность периода вегетации). После умножения относительного времени полива на общую продолжительность вегетации T данной культуры (см. рис. 7.1—7.3) получаем количество суток от начала вегетации до первого полива. Зная дату начала вегетации (имеется в виду дата наступления «пороговой» для данной культуры температуры воздуха) и число суток до первого полива, определяем дату полива.

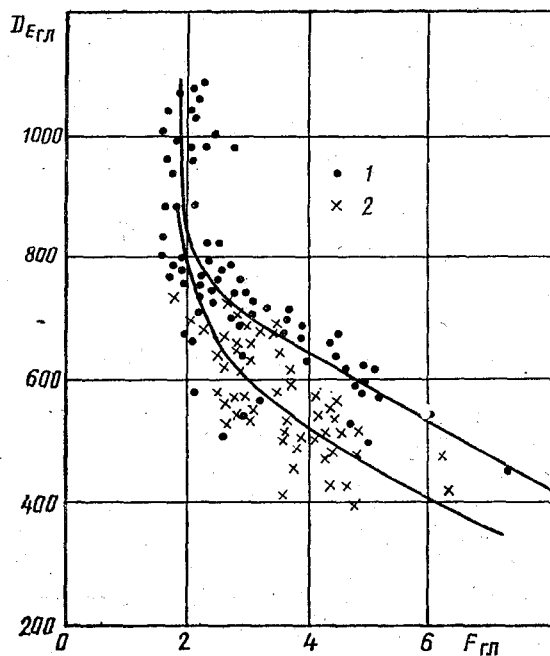


Рис. 7.9. Зависимость $F_{ГЛ} = f(D_{ЕГЛ})$ для сахарной свеклы.

1 — равнинная часть бассейна р. Чу, 2 — Северо-Киргизская область.

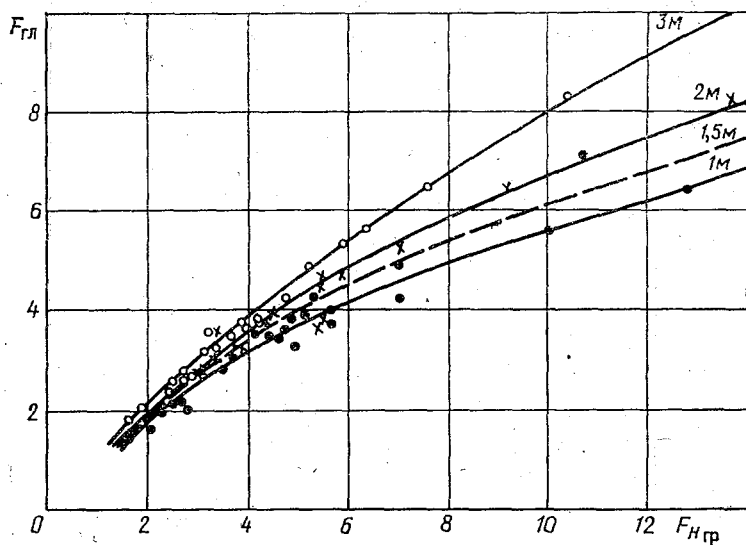


Рис. 7.10. Зависимость $F_{НГР} = f(F_{ГЛ})$.

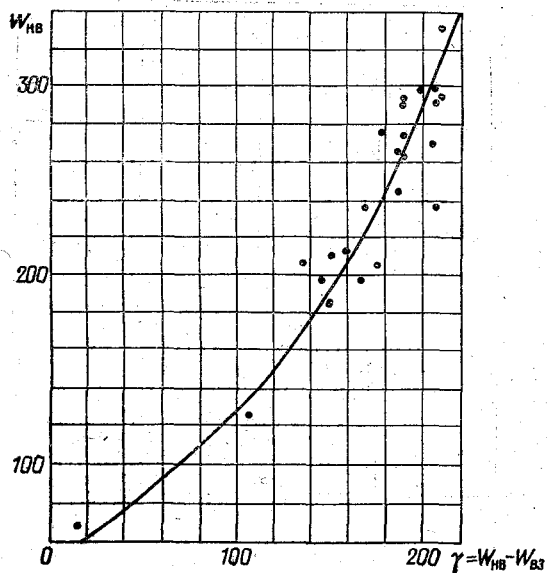


Рис. 7.11. Зависимость параметра γ от значений $W_{вв}$, мм.

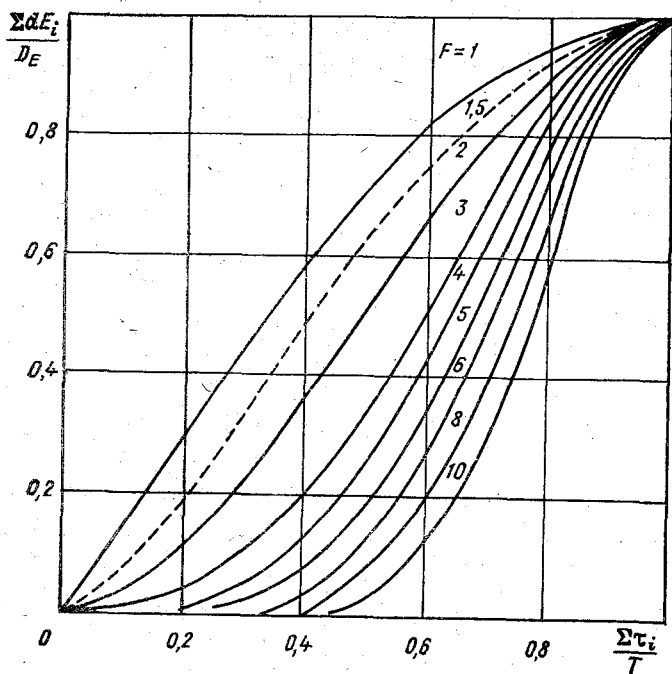


Рис. 7.12. Интегральный график сезонного хода параметра d_E за период вегетации.

Далее по номограмме (рис. 7.12) от точки ординаты, соответствующей первой поливной норме, откладывается вторая поливная норма и в соответствии с изложенным выше определяется дата второго полива. Если дата второго полива приходится на следующую фазу вегетации, в которую поливная норма меняется, то следует переходить к норме, отвечающей новой фазе вегетации, и соответственно срок полива рассчитывать по ней. Далее процедура вычислений повторяется последовательно до окончания поливного периода. Оросительная норма определяется как сумма поливных норм.

Данная методика была реализована на ЭВМ «Минск 32». Результаты расчетов режимов орошения для основных культур района при глубоком залегании грунтовых вод представлены в приложении V.

При более детальном обосновании проектов развития орошения расчеты необходимо выполнять по предложенной схеме с использованием данных непосредственных определений водно-физических характеристик почв и прогноза глубин залегания грунтовых вод.

8. БЕЗВОЗВРАТНОЕ ВОДОПОТРЕБЛЕНИЕ И ВОЗВРАТНЫЕ ВОДЫ С ОРОШАЕМЫХ ЗЕМЕЛЬ

При планировании дальнейшего развития водоемких отраслей экономики первостепенное значение приобретает точный учет водных ресурсов в том числе и возвратных вод с поливных земель.

Возвратными водами следует считать часть стока с орошаемых земель, сформировавшуюся от водоподдачи и достигшую вновь речной сети поверхностным или подземным путем. При соответствующем качестве возвратные воды пригодны к повторному использованию в хозяйственных целях.

Для количественной оценки объема возвратных вод используется воднобалансовый метод, основанный на учете суммарной водоподдачи (водозабора) на исследуемую территорию, атмосферных осадков и суммарного испарения, определенного для различных сельскохозяйственных культур при различных глубинах залегания грунтовых вод [85]. Расчет объема стока возвратных вод B_c за календарный год осуществляется по уравнению

$$B_c = Q_{вз} + X - E_{ор} \pm \Delta U, \quad (8.1)$$

где $Q_{вз}$ — водозабор в ирригационные каналы, X — сумма осадков за год в зоне развития орошения, $E_{ор}$ — суммарное испарение с орошаемых земель, ΔU — изменение запасов грунтовых вод.

Для анализа использования речного стока на нужды орошения формула (8.1) преобразуется в вид

$$B_c = Q_{вз} - (E_{ор} - X) \pm \Delta U, \quad (8.2)$$

где составляющая $(E_{ор} - X) = \Delta E_{ор}$ обозначает безвозвратное водопотребление водных ресурсов при развитии орошения.

Применение формулы (8.2) для расчета значений B_c в Чуйской и Таласской долинах отличается некоторыми особенностями из-за различия в их природных условиях.

8.1. Оценка возвратных вод за многолетний период в Чуйской долине

Расчет возвратных вод с орошаемых земель Чуйской долины проведен отдельно по участкам, отличающимся друг от друга характером водообмена русла р. Чу с прилегающей территорией [82] и гидрогеологическими особенностями [36].

Первый участок долины (см. рис. 4:1) от с. Джилъарык до границы, пересекающей долину р. Чу с севера на юг у Чумышской плотины, представляет конусы выноса р. Чу и ее боковых притоков, т. е. относится к зоне формирования грунтовых вод. В районе конуса выноса р. Чу находится «провальная зона», где речные воды расходуются в значительной степени на фильтрационные русловые потери, а в районе г. Токмак и ниже начинается зона интенсивного дренирования грунтовых вод руслом, выполняющим роль региональной дрены.

Второй участок занимает часть долины между границами, пересекающими ее в створах у плотин Чумышской и Ташуткульской. По площади он является весьма значительным ($F_{\text{уч}} = 6690 \text{ км}^2$). Здесь находятся основные массивы орошаемых земель долины. Наибольшую площадь на данном участке занимает зона дренирования грунтовых вод в русло р. Чу, а в предгорьях располагается зона формирования грунтового потока.

На третьем участке, от Ташуткульской плотины до с. Фурмановка, основную площадь занимает зона транзита грунтовых вод, разделяющая орошаемый массив на две части, первая из которых расположена у северного склона Киргизского хребта, а вторая — непосредственно вдоль самого русла р. Чу.

Для ослабления влияния водности различных лет, изменчивости климатических факторов и случайных погрешностей расчета на значение B_c последний проводился в среднем за пятилетия, а за годы работы экспедиции ГГИ, по которым имеются более подробные данные, — за каждый год в отдельности.

Количественная оценка использования речного стока для орошения по формуле (8.2) дает сток B_c , сформировавшийся на полях орошения в пределах расчетного участка долины. Однако при движении к водоприемнику, т. е. к р. Чу, сформировавшийся в пределах орошаемых массивов сток расходуеться на испарение с площади перелогов и в транзитной зоне при условии близкого залегания грунтовых вод. В Чуйской долине потерями грунтовых вод на испарение в пределах транзитной зоны можно пренебречь вследствие расположения уровня грунтовых вод на глубине 10—20 м и более [21].

Под перелогами подразумеваются неорошаемые участки, расположенные среди поливных земель. В процессе расчета значений B_c введено понятие орошаемого массива, включающего в себя орошаемые (фактически политые) площади и перелог. Средневзвешенное суммарное испарение $E_{\text{ор}}$ и безвозвратное водопотребление $\Delta E_{\text{ор}}$ рассчитывались в двух вариантах: для площади фактически политых земель и для площади орошаемого массива. В первом варианте получены потенциально возможные объемы возвратных вод (условно далее называемых стоком с орошаемых земель), во втором варианте — собственно возвратные воды, поступающие вновь в речную сеть бассейна.

Для производства расчетов по формуле (8.2) требуются данные о площадях орошения, коэффициентах землепользования, во-

дозаборах, метеозлементах (для оценки затрат на испарение с сельскохозяйственных полей, занятых различными культурами), об уровне и изменении запасов грунтовых вод. Расчетный период принят с 1941 по 1985 г. За более ранние годы отсутствуют сведения о режиме грунтовых вод, нет достаточно полных данных о водозаборах на орошение. С 1940 г. начинается период интенсивного ирригационного строительства в Чуйской долине, развивается оросительная и коллекторно-дренажная сеть, расширяются площади орошаемых земель. Наиболее подробные сведения о всех характеристиках имелись за годы производства экспедиционных исследований (1971—1975 гг.), а за последнее десятилетие (1976—1985 гг.) оценки выполнены с некоторыми, вполне обоснованными сокращениями.

Динамика орошаемых площадей. К 1941 г. в Чуйской долине орошалось 275 тыс. га. На территории долины ежегодно часть земли с наличием ирригационной сети оставалась неполитой, составляя так называемые перелогии.

Площади перелогов не поливались по разным причинам: недовостача воды, плохая планировка полей, разрушения и ремонт каналов и т. д.

Переложные участки могли находиться как внутри, так и по периферии массивов поливных земель; общая площадь перелогов и фактически политых угодий составляла, как сказано выше, орошаемый массив, в пределах которого образовывались (на поливных участках) и частично расходовались на испарение (в перелоггах) возвратные воды.

В процессе развития орошения площади перелогов сокращались в связи с повышением уровня хозяйственного использования водоземельных ресурсов. Так, в 1941 г. площадь перелогов составляла 149 тыс. га, а к 1980—1985 г. она сократилась до 85 тыс. га. В восточном, наиболее старом районе орошения Чуйской долины перелогии исчезли вообще в период после 1965—1970 гг. В основном перелогии находятся теперь в западной части долины (третий участок), где расположение орошаемых земель носит мозаичный характер.

В период 1980—1985 гг. при площади орошаемого массива Чуйской долины в 543 тыс. га фактически политые земли составляли 458 тыс. га.

Водозаборы на орошение из р. Чу и ее притоков. Основной характеристикой для оценки возвратных вод, как видно из уравнения (8.2), является величина водозабора. Сбор данных об изъятии воды в оросительную сеть из водоисточников представляет собой весьма сложную задачу из-за необходимости учета многочисленных мелких водозаборов из притоков р. Чу наряду с крупными магистральными каналами, отходящими от р. Чу и передающими воду с одного участка на другой. Кроме того, имеет место подпитывание крупных каналов остатками речного стока боковых притоков, существуют сбросы из ирригационной сети — катастрофические и для ГЭС.

Оценка подачи воды на орошаемые земли водохозяйственных участков осуществлялась главным образом суммированием расходов воды в головных сооружениях водозаборных каналов и прибавлением к ним значений водозаборов из подземных вод (из скважин вертикального дренажа, артезианских скважин, из колодцев). При использовании скважин вертикального дренажа для понижения уровня грунтовых вод на сельскохозяйственных полях откачанную воду направляли в коллекторно-дренажную сеть, не увеличивая при этом общую водоподачу на поля. В исключительно маловодные годы, несмотря на низкое качество, откачанная вода использовалась на орошение; тогда ее значение входило в объем водозабора. В ряде случаев учитывалась передача воды с одного участка долины на другой по крупным магистральным каналам (ВБЧК, ЗБЧК).

На первом участке долины площадью 2049 км², расположенном между створами ст. Джилъарыкская — Чумышская плотина, от р. Чу, отходят 17 водозаборных каналов — Обводной, ВБЧК, ЗБЧК, Самотек, Алапай, Шортюбе и др. На данном участке имеются еще шесть каналов (Истам, Калмакшу, Сарбос, Белый Пикет, Шобдан, Баубек), которые брали начало в одно время от р. Чу, в другое — от Обводного канала. На первый расчетный участок долины из таких крупных каналов, как ВБЧК и ЗБЧК, расходовалось соответственно около 75 и 10 % водозабора в их головных сооружениях. Сток 15 боковых притоков почти полностью разбирается на орошение (реки Кичи-Кемин, Каражоныз, Кегаты, Ысык-Ата, Норуз и т. д.), частично используются также воды р. Красной (3,0—3,5 м³/с).

В сумме водозаборы на орошаемые земли первого участка составляли от 20—25 м³/с в 1941—1960 гг. и до 35—40 м³/с в последующие годы (1961—1985 гг.).

На втором, более крупном участке между Чумышской и Ташуткульской плотинами водозабор осуществлялся каналами Ат-Башинским, Георгиевским, Успеновским, Благовещенским и Акча-тоганом, отходящими от р. Чу. На второй участок с первого поступали остаток водозабора ВБЧК и основная часть водозабора ЗБЧК. После создания Краснореченского гидроузла в ЗБЧК стал поступать сток р. Красной.

Весьма существенное количество воды забиралось из 11 боковых притоков (рек Аламедин, Ала-Арча, Ак-Су, Карабалты, Ргайты, Калгата, Кокпатас и др.). В сумме количество изъятной воды из притоков составляло 20—25 м³/с и с течением времени почти не менялось. Водозаборы из р. Чу, наоборот, с 1940 по 1985 г. интенсивно возрастали от 15 до 30—45 м³/с. Суммарные значения забора воды на орошаемые земли второго участка составляли 35—60 м³/с.

На третий участок долины (Ташуткульская плотина — с. Фурмановка) подача воды на орошение осуществлялась 7—10 каналами из р. Чу, главными из которых являлись Правобережный и Левобережный. Количество каналов непостоянно из года в год.

Менялось местоположение головы канала Бейназар (некоторое время он отходил от Правобережного). На третий участок поступали остатки воды из канала ЗБЧК, оканчивающегося Меркенской веткой. Подача воды из р. Чу с течением времени возрастала от 10 до 22—25 м³/с.

В пределах данного участка на орошение разбираются 22 водотока, (Джарды-Каинды, Мерке, Аспара, Курагаты и др.), стекающие в основном с северного склона Киргизского хребта и дающие в оросительную сеть за год в среднем 10—12 м³/с воды.

За 1940—1985 гг. в пределах всей Чуйской долины в сумме водозаборы из рек увеличились от 75—80 до 120—135 м³/с.

При оценке водозаборов не было учтено подпитывание магистральных каналов ВБЧК и ЗБЧК остатками речного стока притоков р. Чу. Данные о подпитывании отрывочны, измерения проводились эпизодически, что не позволяет сделать необходимые обобщения. Отсутствуют сведения и о водозаборах из коллекторов. По этим причинам значения водозаборов на орошение несколько преуменьшены. При сборе данных о заборах воды в каналы учтено, что не вся забранная вода из рек идет на орошение. Частично она сбрасывается через ГЭС, мельницы, подается для промышленных объектов. Поэтому из водозабора ЗБЧК исключен сброс воды для каскада Аламединских ГЭС, из Ат-Башинского — так называемый деривационный сброс (для ГЭС), из Георгиевского — сброс Зимний, Мельничный, для цемзавода. Исключены также значения небольших сбросов воды для малых ГЭС, действовавших на каналах в пределах Ташуткульской оросительной системы. Сведения о катастрофических сбросах из каналов отсутствуют. Недоучет их частично компенсирует подпитывание, о котором уже было сказано.

При расчете потенциально возможного стока оросительных вод для перевода в миллиметры слоя значение общего водозабора отнесено к площади фактически политых земель $F_{ф.п}$ орошаемого массива.

При оценке действительного количества возвратных вод водозабор разделен на общую площадь орошаемого массива, в которую входят, помимо фактически политых земель, площади переполюгов $F_{пер}$ с неглубоким залеганием уровня грунтовых вод.

Атмосферные осадки. Для расчета годовых сумм осадков на территории Чуйской долины использованы метеоданные по 15 метеостанциям и постам с продолжительностью наблюдений от 16 до 64 лет. В отдельных случаях производилось удлинение рядов наблюдений и восстановление пропущенных данных. Анализ исходного материала показывает, что распределение осадков на рассматриваемой территории неравномерно. Оно определяется в первую очередь высотой местности, а также ориентацией горных хребтов по отношению к влагонесущим воздушным массам. Наибольшее количество осадков выпадает в восточной части долины (400—500 мм), наименьшее — в районе с. Фурмановка (150 мм).

Для определения прихода атмосферных осадков на площадь расчетных участков долины использованы данные следующих гидрометеостанций и постов: первый участок — Джильарык, Новороссийска, Токмак, Константиновка, Фрунзе; второй участок — Константиновка, Фрунзе, Чуйская, Беловодское, Ташуткуль; третий участок — Ташуткуль, Фурмановка, Новотроицкое, Берлик, Мерке, Луговая, Аспара.

Для первого участка приход атмосферных осадков вычислен как средневзвешенное из их значений по двум частям этого участка: ГМС Джильарык — ГМС Токмак ($F=632 \text{ км}^2$) и ГМС Токмак — ГМС Чумыш ($F=1415 \text{ км}^2$). При этом данные по ГМС Токмак использованы дважды. По второму и третьему участкам осадки получены как среднее арифметическое из данных по перечисленным станциям.

Безвозвратное водопотребление. Безвозвратное водопотребление оросительных вод $\Delta E_{\text{ор}}$ определялось по разности между суммарным испарением с фактически политых земель $E_{\text{ор}}$ и атмосферными осадками X .

Суммарное испарение рассчитывалось тепловоднобалансовым методом [71, 92] с уточнением параметров для условий Чуйской долины [15]. К расчетам безвозвратного водопотребления привлечены данные наблюдений девяти гидрометеорологических станций, расположенных в зоне развития орошения Чуйской долины. Суммарное испарение для трех преобладающих в долине сельскохозяйственных культур (озимой пшеницы, сахарной свеклы и люцерны) приведено в табл. 8.1. При расчетах принималось, что испарение с остальных культур (бахчевых, огородных и т. д.) приблизительно такое же, как с люцерны. Полученные значения испарения интерполировались по территории с учетом относительной площади глубин залегания грунтовых вод (табл. 8.2), оказывающих влияние на условия вертикального водообмена зоны аэрации и водоносного горизонта. Далее производился учет влияния структуры сельскохозяйственных угодий на уровень испарения (табл. 8.3). Небольшая изменчивость испарения по годам позволила для 1976—1985 гг. принять средние многолетние значения испарения.

Средневзвешенное испарение с орошаемого массива $E_{\text{ор}}$ определялось по формуле

$$E_{\text{ор}} = (E_{\text{ор}}F_{\text{ор}} + E_{\text{п}}F_{\text{п}})/F_{\text{ор мас}}, \quad (8.3)$$

где $E_{\text{ор}}$ и $F_{\text{ор}}$ — испарение с фактически политых земель и их площадь, $E_{\text{п}}$ и $F_{\text{п}}$ — соответственно для переложных земель.

Испарение для перелогов $E_{\text{п}}$ из-за отсутствия экспериментальных данных условно было принято равным среднему между испарением с фактически политых земель $E_{\text{ф}}$ и с богары $E_{\text{бог}}$, т. е.

$$E_{\text{п}} = (E_{\text{ор}} + E_{\text{бог}})/2 \approx (E_{\text{ор}} + X)/2. \quad (8.4)$$

После получения средневзвешенных значений испарения с фактически политых земель и с орошаемого массива было определено безвозвратное водопотребление с тех же территорий.

Таблица 8.1

Суммарное испарение (мм) с различных сельскохозяйственных культур

Период, годы	Сельскохозяйственная культура	Гидрометстанция								
		Новороссий-ка	Токмак	Фрунзе	Чонарых	Беловод-ское	Чуйская	Ново-троицкое	Луговая	Фурмановка
1941—1945	Зерновые	(640)	(850)	(680)	630	795	570	(670)	(710)	(660)
	Технические	(905)	(1175)	(1115)	—	1080	1010	(1005)	(1090)	(1105)
	Кормовые	(850)	(1095)	(900)	985	995	800	(985)	(860)	(965)
1946—1950	Зерновые	610	800	(680)	700	(840)	615	(670)	(710)	(660)
	Технические	880	1150	(1115)	—	1100	1030	(1005)	(1090)	(1105)
	Кормовые	815	1030	(900)	1050	1040	855	(985)	(860)	(965)
1951—1955	Зерновые	645	810	690	720	790	640	685	720	660
	Технические	905	1165	1130	—	1080	1020	975	1070	1085
	Кормовые	860	1060	870	1030	1015	870	1005	850	950
1956—1960	Зерновые	640	830	650	690	800	620	630	700	645
	Технические	860	1150	1100	—	1080	1030	975	1080	1080
	Кормовые	890	1055	900	1030	1010	860	980	825	965
1961—1965	Зерновые	650	840	685	760	825	660	660	700	645
	Технические	960	1160	1140	—	1120	1035	985	1090	1090
	Кормовые	830	1080	940	1100	1040	890	1010	910	975

1966—1970	Зерновые	670	845
	Технические	910	1165
	Кормовые	860	1060
1971	Зерновые	645	905
	Технические	1005	1340
	Кормовые	875	1150
1972	Зерновые	652	850
	Технические	910	1190
	Кормовые	885	1060
1973	Зерновые	674	955
	Технические	1055	1250
	Кормовые	890	1060
1974	Зерновые	682	1055
	Технические	968	1320
	Кормовые	822	1170
1975	Зерновые	699	940
	Технические	967	1275
	Кормовые	900	1110
1971—1975	Зерновые	670	940
	Технические	980	1275
	Кормовые	875	1110

700	750	815	670	690	765	690
1090	—	1080	1000	985	1085	1125
890	1060	1025	860	1010	855	1010
570	685	835	755	655	792	640
1210	—	1060	1176	981	1115	1145
880	981	1110	794	1020	866	980
705	790	859	716	767	676	635
1005	—	1032	1096	1082	1060	1090
870	1009	989	886	933	874	975
763	771	927	724	662	618	753
1263	—	1232	1179	1204	1114	1210
853	874	1042	833	886	837	857
711	767	905	673	669	623	580
1212	—	1211	1168	1133	1157	1112
900	915	1050	827	837	912	856
750	856	764	630	697	695	687
1132	—	1036	1017	1055	1050	1186
962	1000	975	861	990	920	1068
700	775	858	700	690	680	660
1165	—	1114	1127	1091	1110	1150
893	955	1033	840	933	882	947

Таблица 8.2

Относительные площади гидрогеологических зон в пределах расчетных участков Чуйской долины

Участок	Гидрогеологическая зона (расчетные ГМС)	Относительная площадь гидро- геологической зоны, % общей площади участка
ст. Джильярыкская — Чумышская плотина	Формирования (Новороссийка, Фрунзе, Токмак при условной $H_{гр} > 3$ м)	70
	Выклинивания (Токмак с $H_{гр} < 3$ м)	30
Чумышская плотина — Ташуткульская плотина	Формирования (Фрунзе, Чонарык)	60
	Выклинивания (Беловодская)	15
	Региональной дрены (Чуйская)	25
Ташуткульская плоти- на — с. Фурмановка	Формирования (Луговая)	30
	Региональной дрены (Новотроицкое, Фурмановка)	70

Изменение запасов грунтовых вод. Оценка изменений запасов грунтовых вод производилась по формуле

$$\Delta U = \mu \Delta H_{гр}, \quad (8.5)$$

где μ — коэффициент гравитационной емкости (водоотдачи); $\Delta H_{гр}$ — изменение средних годовых глубин залегания уровня грунтовых вод. Подробное изложение результатов расчета по формуле (8.5) приведено в работе Н. Д. Осолковой [63].

Расчеты значений ΔU дифференцированы в пределах трех выделенных гидрогеологических зон (формирования, выклинивания, транзита и региональной дрены). По среднезвешенному по площади значению среднего годового уровня грунтовых вод вычислены значения $\Delta H_{гр}$ между смежными годами, а затем — в сумме за пятилетие. Значения μ для каждой гидрогеологической зоны найдены по результатам опытных работ и соответствуют картам, составленным Управлением геологии Киргизской ССР.

Определение параметра ΔU по участкам и зонам показывает, что односторонне направленных изменений нет. За 1941—1975 гг. значение ΔU по участкам составляет в среднем 1—10 мм, для долины в целом — 4 мм. В отдельные пятилетия оно достигало 50—100 мм по участкам и 20—40 мм — по долине. Ошибки в определении значений ΔU значительны, особенно в начальный период расчета (1941—1950 гг.), когда число гидрогеологических скважин в Чуйской долине было крайне недостаточным. Ввиду небольшого абсолютного значения ΔU за период 1976—1985 гг. этот параметр не определялся.

После систематизации и обработки данных по площадям орошаемых земель, водозаборами и безвозвратному водопотреблению по формуле (8.2) был определен сток оросительных и возвратных вод (табл. 8.4). Кроме того, произведено разделение суммар-

Таблица 8.3

Средневзвешенное испарение с фактически политых земель Чуйской долины

Период, годы	Экспликация земель на участке, %			Испарение с фактически политых земель, E_{op} , мм			
	зерновые	технические	кормовые	с учетом гидрогеологических зон (табл. 8.2)			с учетом гидрогеологических зон и экспликации земель
				зерновые	технические	кормовые	

ст. Джильарыкская — Чумышская плотина

1941—1945	(49)	(16)	(35)	733	1134	952	876
1946—1950	53	12	35	707	1118	916	830
1951—1955	40	17	43	717	1113	925	879
1956—1960	(42)	(16)	(42)	706	1118	932	866
1961—1965	43	14	43	730	1139	966	888
1966—1970	40	13	47	738	1117	932	878
1971	38	12	50	714	1265	974	907
1972	39	12	49	743	1097	927	872
1973	40	12	48	801	1248	915	908
1974	40	12	48	822	1247	993	953
1975	39	13	48	842	1191	1001	964
1971—1975	39	12	49	784	1210	962	921
1941—1975	44	14	42	731	1136	941	877

Чумышская плотина — Ташуткульская плотина

1941—1945	(46)	(17)	(37)	690	1090	930	850
1946—1950	42	16	42	720	1100	960	882
1951—1955	27	22	51	720	1100	940	916
1956—1960	(30)	(21)	(49)	695	1085	950	902
1961—1965	31	25	44	730	1120	990	942
1966—1970	28	22	50	740	1080	950	920
1971	28	19	53	690	1165	950	918
1972	28	19	53	765	1025	930	902
1973	28	19	53	805	1245	910	944
1974	28	20	52	770	1210	940	946
1975	29	21	50	757	1091	960	930
1971—1975	28	20	52	757	1147	938	928
1941—1975	33	20	47	722	1103	951	906

Ташуткульская плотина — с. Фурмановка

1941—1945	40	20	40	680	1040	945	860
1946—1950	42	17	41	680	1040	945	850
1951—1955	32	15	53	693	1014	953	880
1956—1960	17	19	64	652	1017	932	900
1961—1965	20	26	54	670	1027	977	929
1966—1970	28	30	42	710	1030	965	913
1971	27	29	44	695	1040	970	916
1972	27	29	44	730	1080	920	915
1973	27	29	44	660	1180	870	903
1974	27	29	44	646	1140	860	883
1975	26	18	56	695	1067	977	920
1971—1975	27	27	46	685	1100	919	907
1941—1975	29	22	49	681	1038	948	891

Расчет возвратных вод с оро

Период	Площадь, тыс. га			X мм	E _{ор} мм			Безвозвратное водопотребление, ΔE _{ор} мм		Водо-м ³ /с
	фактически поливных земель	перелогов	орошаемого массива		с фактически поливных земель	с перелогов	с орошаемого массива	с фактически поливных земель	с орошаемого массива	

ст. Джилярарская — Чумышская

1941—1945	(92,0)	(23,8)	116	361	876	600	818	515	457	22,0
1946—1950	93,0	23,5	116	389	830	590	785	441	396	24,4
1951—1955	96,6	21,9	118	390	879	615	834	489	444	22,1
1956—1960	(94,7)	(21,9)	117	420	865	622	817	445	397	25,0
1961—1965	104	9,8	114	410	888	628	864	478	454	30,9
1966—1970	109	3,6	113	461	878	646	868	417	407	36,8
1971	112	0	112	318	907	596	907	589	589	37,4
1972	113	0	113	420	872	625	872	452	452	35,2
1973	114	0	114	403	908	636	908	505	505	38,7
1974	112	0	112	347	953	632	953	606	606	38,6
1975	110	0	110	324	964	628	964	640	640	36,9
1971—1975	112	0	112	362	921	624	921	559	559	37,4
1976—1985	136	0	136	400	877	618	877	477	477	38,1
1941—1985	108	11,6	120	399	877	618	851	478	452	30,5

Чумышская плотина — Ташуткуль

1941—1945	(117)	(92,0)	(209)	351	850	583	732	499	381	34,7
1946—1950	138	71,3	209	360	882	603	788	522	428	41,2
1951—1955	143	82,2	225	372	916	626	811	544	439	54,1
1956—1960	(130)	(92,0)	(222)	391	902	627	788	511	397	56,9
1961—1965	166	56,5	222	367	942	636	866	575	499	51,1
1966—1970	176	45,2	221	414	920	646	865	506	451	59,5
1971	185	38,4	223	298	918	593	864	620	566	52,9
1972	189	37,3	226	415	902	638	860	487	445	45,6
1973	190	36,1	226	363	944	636	895	581	532	62,4
1974	186	35,0	221	292	946	604	892	654	600	53,2
1975	186	35,7	222	286	930	594	875	644	589	51,6
1971—1975	187	36,5	224	331	928	613	877	597	546	53,1
1976—1985	232	40,0	272	369	906	619	818	537	449	51,6
1941—1985	169	61,7	231	369	906	619	818	537	449	50,4

Ташуткульская плотина — с.

1941—1945	66,1	33,1	99,2	273	860	553	758	587	485	19,4
1946—1950	61,0	30,6	91,6	307	850	563	754	543	447	20,2
1951—1955	67,3	33,7	101	321	880	584	781	559	460	17,4
1956—1960	60,2	30,1	90,3	345	900	605	802	555	457	20,5
1961—1965	72,4	36,2	109	288	929	594	814	641	526	26,9
1966—1970	85,1	42,6	128	353	913	616	812	560	459	33,2
1971	91,8	45,9	138	244	916	568	798	672	554	32,6
1972	94,8	47,4	142	345	915	612	815	570	470	34,6
1973	96,0	48,0	144	294	903	584	797	609	503	33,1
1974	95,5	47,7	143	247	883	552	774	636	527	37,8
1975	96,6	47,0	144	251	920	573	804	669	553	31,3
1971—1975	94,9	47,2	142	276	907	578	798	631	522	33,9
1976—1985	107	45,0	152	309	891	585	800	582	491	36,0
1941—1985	80,2	38,2	118	309	891	585	791	582	482	27,1

шаемых земель Чуйской долины

забор, Q_{B3}			ΔU мм	Сток оросительных вод с фактически политых земель		Возвратные воды с орошаемых массивов							
в мм слоя						суммарные B_c			B_{II}		$B_{Г}$		
на факт. политой земле	на орошаемый массив	мм		мм	$Q_{B3}^{\%}$	м³/с	мм	$Q_{B3}^{\%}$	м³/с	мм	мм	м³/с	$Q_{B3}^{\%}$

плотина ($F_{yч}=2049 \text{ км}^2$)

753	597	25	213	28	4,23	115	19	0,55	15	100	3,68	17
826	663	—30	415	50	10,9	297	45	0,41	12	285	10,5	43
721	590	39	193	27	4,01	107	18	0,55	15	92	3,46	16
832	673	30	357	43	9,14	246	37	0,84	23	223	8,30	33
936	854	—12	470	50	14,9	412	48	1,68	47	365	13,2	43
1063	1026	64	582	55	19,9	555	54	2,18	62	493	17,7	48
1052	1052	5	458	44	16,3	458	44	2,53	70	388	13,8	37
981	981	—77	606	62	21,7	606	62	2,11	60	546	19,6	56
1069	1069	—57	621	58	22,5	621	58	2,10	57	564	20,4	53
1086	1086	—40	520	48	18,5	520	48	1,20	33	487	17,3	45
1057	1057	—68	485	46	16,9	485	46	0,88	27	458	16,0	43
1049	1049	—47	538	52	19,2	538	51	1,76	49	489	17,4	47
882	882	—	404	46	17,4	404	46	1,60	37	367	15,8	41
883	802	8	397	44	13,0	342	40	1,24	33	309	11,8	37

ская плотина ($F_{yч}=6690 \text{ км}^2$)

934	523	34	401	43	7,17	108	21	(1,0)	15	93	6,17	18
940	621	3	415	44	12,6	190	31	(1,0)	15	175	11,6	28
1192	757	4	644	54	22,4	314	41	1,46	21	293	20,9	39
1379	807	3	865	63	28,7	407	50	2,05	30	377	26,6	47
970	725	—5	400	41	16,3	231	32	5,15	72	159	11,2	22
1065	848	15	544	51	26,8	382	45	7,35	105	277	19,4	33
901	747	—38	319	33	15,5	219	29	5,20	74	145	10,3	19
760	636	—99	373	49	20,9	291	46	5,00	69	222	15,9	35
1035	870	—14	468	45	25,3	352	40	6,40	89	263	18,9	30
901	758	—39	286	32	13,8	197	26	5,54	79	118	8,26	16
874	732	—100	330	38	17,1	243	33	6,50	93	150	10,6	21
894	749	—58	355	40	18,5	260	35	5,72	80	180	12,8	24
741	632	—	204	28	15,8	183	29	4,89	57	126	10,9	21
984	699	0	448	44	18,2	251	35	3,72	50	201	14,5	28

Фурмановка ($F_{yч}=6780 \text{ км}^2$)

924	616	(0)	337	36	4,13	131	21	(0)	0	131	4,13	21
1043	695	(0)	500	48	7,11	248	36	(0)	0	248	7,21	36
814	543	(0)	255	31	2,66	83	15	(0,11)	3	80	2,55	15
1073	715	9	508	47	7,11	248	35	(0,37)	13	235	6,74	33
1170	777	—8	537	46	8,96	259	33	(1,00)	29	230	7,96	30
1229	817	4	665	54	14,4	354	43	(1,57)	39	315	12,8	39
1119	744	—27	474	42	9,51	217	29	(2,00)	46	171	7,51	23
1150	768	38	541	47	11,7	259	34	(1,40)	31	228	10,3	30
1086	724	24	453	42	9,01	197	27	(3,30)	72	125	5,71	17
1247	833	—28	639	51	15,2	334	40	(0,30)	6	328	14,9	39
1021	685	—19	371	36	6,90	151	22	0,94	21	130	5,96	19
1125	751	—2	496	44	10,5	232	30	1,58	36	196	8,87	26
1060	746	—	478	45	12,3	255	34	1,84	38	217	10,5	29
1055	712	—	473	45	8,58	229	32	1,29	37	192	7,19	27

ных возвратных вод B_c на составляющие — грунтовую B_r и поверхностную B_{π} .

Грунтовая составляющая возвратных вод достигает русла реки подземным путем, а поверхностная — в виде притока по коллекторно-дренажной сети, поверхностных сбросов излишков оросительных вод непосредственно в русло р. Чу. Расчет значений B_{π} выполнен на основе анализа данных наблюдений экспедиции ГГИ на коллекторах и дренах Чуйской долины. В результате расчленения гидрографов было установлено, что эта составляющая приближенно равна половине объема коллекторного стока, сформировавшегося в зоне орошения долины р. Чу. После определения составляющей B_{π} подземная составляющая B_r находилась по разности

$$B_r = B_c - B_{\pi}. \quad (8.6)$$

Соотношения возвратных вод и водозабора по трем расчетным участкам долины должны иметь существенные различия. На первом участке долины — от выхода из Боомского ущелья (ст. Джильарыкская) до Чумышской плотины, где оросительные воды в значительной мере тратятся на фильтрацию сквозь легкопроницаемые грунты конусов выноса, сток с орошаемых земель составляет 44 % от водозабора в среднем за 1941—1985 гг. Потери его на непродуктивное испарение невелики, поскольку площади перелогов незначительны, зона транзита отсутствует, грунтовые воды почти повсеместно залегают на большой глубине. На первой половине участка — от ст. Джильарыкская до г. Токмак, т. е. на протяжении «провальной зоны», сток с орошаемых земель не попадает обратно в р. Чу. В целом на первом участке возвратные воды за расчетный период равны в среднем 13,0 м³/с. При среднем за период 1971—1975 гг. значениях водозабора, равном 37,4 м³/с, суммарное количество B_c достигало 19,2 м³/с, или 51 %, что, очевидно, говорит о нерациональных нормах и несовершенных способах полива земель на данной территории. На участке до Чумышской плотины в долине слабо развита коллекторно-дренажная сеть, возвратные воды почти полностью достигают русла реки подземным путем, лишь 6—10 % попадает в р. Чу в виде поверхностных сбросов.

Второй участок долины (между плотинами Чумышской и Ташуткульской), включает в себя основной массив орошаемых земель, площадь которого в два раза больше, чем на первом участке. Поливные земли располагаются вдоль горного обрамления (на конусах выноса) и непосредственно в самой долине. Орошаемый массив разделен зоной неполивных земель, где часть территории имеет неглубокое залегание грунтовых вод. До 1960 г. перелogi занимали существенную часть орошаемого массива, равную примерно 30—35 % его площади, а в последние 10—15 лет снизились до 20 %.

С ростом водозабаров на орошение от 35 до 62 м³/с увеличивается и объем возвратных вод от 7 до 28 м³/с, составляя в среднем 35 % водозабора.

В пределах рассматриваемого участка широко развита коллекторно-дренажная сеть. Начало ее развития приходится на 1960—1965 гг. В этот отрезок времени $B_{\text{п}}$ возросло с 1—2 до 5—6 м³/с. Грунтовая составляющая является все-таки преобладающей.

На третьем участке (от Ташуткульской плотины до с. Фурмановка) орошалось от 60 до 107 тыс. га. Площади перелогов, составляющие около трети орошаемого массива, изменялись от 30 до 48 тыс. га. Водозабор из р. Чу и ее притоков был равен 17—37 м³/с. Возвратные воды составили в среднем 32 % водозабора, почти все они достигали р. Чу подземным путем.

Для всей долины в целом возвратные воды равны 38 % водозабора. Довольно значительная роль в их формировании обусловлена гидрогеологическими и почвенными условиями, а именно, хорошей проницаемостью пород и высокой точностью грунтовых вод.

8.2. Возвратные воды в Таласской долине

Водные ресурсы бассейна р. Талас используются для поливов возделываемых сельскохозяйственных культур — зерновых, многолетних трав, табака и др.

Отличительной особенностью долины р. Талас в пределах Киргизии является почти повсеместное глубокое залегание грунтовых вод. По данным экспедиции ГГИ, в с. Ленинполь уровень грунтовых вод залегает на глубине 40—45 м, а в с. Водном, находящемся в 1—2 км от русла р. Талас, уровень воды в колодцах устанавливается на глубине 4—7 м от поверхности земли. Лишь в районе с. Кировское на площади орошаемых земель в 6,2 тыс. га наблюдается близкое залегание грунтовых вод (0—3 м), что составляет 6 % общей площади орошаемого массива. При $H_{\text{гр}} > 3,0$ м потери стока с орошаемых земель на перелогам и в транзитной зоне фактически отсутствуют.

Вторая особенность Таласской долины — высокая дренированность территории, обусловленная высокой проницаемостью пород и значительными уклонами уровня грунтовых вод на конусах выноса горных рек, где расположены основные орошаемые массивы. Отмеченные обстоятельства обеспечивают хороший отток грунтовых вод, ввиду чего изменений запасов грунтовых вод в долине не происходит ($\Delta U = 0$). Это подтверждается данными гидрогеологических наблюдений, начало которым было положено в конце 50-х годов.

Площади орошаемых земель. За 1941—1975 гг. эти величины характеризуются приростом фактически политых земель около 20 тыс. га (от 73 до 92 тыс. га). По мелиоративной карте,

Водозаборы из р. Талас

Год	Талас (до с. Кировское)	Каракол	Уч.-Кошой	Терек-Сай	Тетерек-Сай	Чунгур	Чонг.-Чичкан	Бала-Чичкан	Талдыбулак I
1951	(1,40)	(0,35)	(0,35)	(0,30)	(0,30)	(0,40)	(0,15)	+	(0,05)
1952	(1,40)	(0,40)	0,40	(0,040)	0,035	0,043	0,15	++	(0,05)
1953	(1,50)	(0,40)	0,39	(0,030)	0,054	0,068	(0,15)	+	(0,05)
1954	(1,50)	(0,40)	0,36	0,024	0,066	0,093	(0,15)	+	0,038
1955	(1,50)	(0,40)	0,40	(0,015)	0,042	0,064	(0,15)	+	0,017
1956	(1,50)	(0,40)	0,24	(0,015)	0,039	0,069	(0,15)	+	(0,05)
1957	1,59	(0,40)	0,20	(0,015)	0,037	0,053	(0,15)	+	(0,050)
1958	1,64	(0,40)	0,17	(0,015)	0,036	0,057	(0,15)	+	(0,050)
1959	(1,50)	(0,40)	(0,20)	(0,12)	(0,040)	(0,040)	(0,15)	+	(0,050)
1960	1,54	(0,40)	0,19	0,12	0,050	0,049	(0,15)	+	0,068
1961	2,46	(0,40)	0,23	0,016	0,040	0,051	0,073	0,11	0,057
1962	2,11	(0,40)	0,19	0,008	0,036	0,051	(0,15)	+	0,036
1963	2,45	(0,28)	0,22	0,011	0,024	0,041	(0,15)	+	(0,050)
1964	3,15	0,41	0,28	0,031	0,028	0,048	(0,15)	+	(0,050)
1965	3,00	0,38	0,28	0,018	0,042	0,066	(0,15)	+	(0,050)
1966	4,56	0,47	0,28	0,023	0,032	0,063	0,078	0,11	(0,050)
1967	4,67	0,44	0,28	0,038	0,044	0,046	0,088	0,13	(0,050)
1968	5,20	0,52	0,35	0,079	0,090	0,025	0,12	0,10	(0,050)
1969	4,24	0,32	0,22	0,039	0,039	0,045	(0,15)	0,13	(0,050)
1970	4,88	0,47	0,29	0,037	0,046	0,064	0,095	0,11	(0,050)
1971	4,12	0,51	0,28	0,032	0,048	0,060	0,089	0,18	0,007
1972	4,96	0,54	0,28	0,029	0,057	0,073	0,079	0,13	0,013
1973	5,74	0,51	0,27	0,045	0,063	0,057	0,076	0,17	0,013
1974	4,08	0,45	0,22	0,046	0,057	0,044	0,050	0,10	0,004
1975	3,16	0,25	0,12	0,061	0,048	0,030	0,057	0,031	0,072

Примечание. Водозаборы по р. Бала-Чичкан за 1951—1960, 1962—1965

составленной в В/О «Союзводпроект», было установлено, что до с. Кировское расположено 75 %, а до с. Покровка — 90 % орошаемых земель бассейна р. Талас в пределах Киргизской ССР. В расчет не входят земли в бассейнах рек Бакаир-Сай и Куркуреу-Суу, по административному делению входящие в Киргизскую ССР, но относящиеся к бассейну р. Ассы. При анализе сведений о развитии орошения в Таласской долине обнаружено, что в инвентаризации земель допущены ошибки, несоответствие фактов. Например, мало вероятно, что наличие земель с оросительной сетью в 1960—1967 гг. уменьшалось (в 1960 г. — 171 тыс. га, в 1967 г. — 130 тыс. га), а за пятилетие 1940—1945 гг. наблюдался слишком интенсивный прирост земель с оросительной сетью (на 33 тыс. га) и совсем незначительное увеличение в это же время фактически орошаемых земель (1—5 тыс. га). Поэтому сведения о развитии орошения в бассейне р. Талас являются до некоторой степени приближенными.

лица 8.5

и ее притоков, м³/с

Колба	Кенкол	Беш-Таш	Нельды	Урмарал	Кумыштаг	Кара-Буура	Сумма до с. Кировское	Талас (от с. Кировское до с. Покров-ка)	Сумма до с. Покровка
0,50	0,25	2,00	0,15	2,50	2,00	2,16	12,0	(2,50)	14,5
0,46	0,15	1,43	0,11	2,08	1,09	2,20	9,99	(2,50)	12,5
0,40	0,18	1,40	0,13	2,07	0,99	2,14	9,95	2,76	12,7
0,18	0,21	(1,80)	0,19	1,81	1,27	1,69	9,78	2,50	12,3
0,43	0,23	2,21	0,14	2,09	1,70	1,85	11,2	2,64	13,8
0,39	0,33	1,56	0,22	2,75	1,42	1,91	11,0	2,65	13,6
0,37	0,31	1,70	0,20	2,22	1,16	1,59	10,0	2,02	12,0
0,42	0,25	1,62	0,21	1,87	0,95	1,84	9,68	1,55	11,2
0,32	0,29	1,12	0,19	2,45	0,86	1,89	9,62	2,25	11,9
0,31	0,28	1,20	0,18	2,12	0,82	1,75	9,23	2,12	11,4
0,34	0,35	1,44	0,19	2,33	1,35	2,30	11,7	2,36	14,1
0,29	0,36	1,62	0,22	2,85	1,34	2,72	12,4	2,63	15,0
0,34	0,37	1,86	0,18	2,88	1,31	2,55	12,7	3,24	15,9
0,39	0,30	1,85	0,21	3,48	1,07	2,50	13,9	3,34	17,2
0,50	0,27	1,59	0,17	3,13	1,54	2,34	13,5	2,66	16,2
0,58	0,41	1,70	0,24	3,87	1,30	1,71	15,5	3,06	18,6
0,67	0,36	2,13	0,24	3,85	1,34	2,23	16,6	2,96	19,6
0,65	0,54	2,08	0,11	4,48	1,48	2,06	17,9	3,02	20,9
0,63	0,46	1,62	0,50	4,34	1,21	1,92	15,9	3,05	19,0
0,56	0,44	1,62	0,13	3,69	1,17	2,40	16,1	3,32	19,4
0,54	0,43	1,52	0,19	3,55	1,41	2,17	15,1	3,37	18,5
0,72	0,42	1,75	0,18	3,38	1,37	1,75	15,7	3,27	19,0
0,71	0,44	1,83	0,25	3,53	1,14	2,16	17,0	3,77	20,8
0,76	0,39	2,10	0,24	4,33	1,50	1,93	16,3	3,44	19,7
0,85	0,22	2,03	0,26	3,52	1,52	1,69	13,9	3,31	17,2

гг. даны в сумме с водозабором по р. Чон-Чичкан.

Приход атмосферных осадков. На территории долины до с. Кировское он определялся в виде среднего значения, полученного по данным наблюдений шести метеостанций, три из которых расположены по дну долины (Буденновское, Талас, Кировское), две — в предгорьях на левобережной ее части (Ленинполь, Октябрьское), а пост Верхний находится на правобережном склоне долины (в бассейне р. Нельды). До с. Покровское в расчет осадков включались еще два пункта наблюдений — Покровское и Кара-Арча. В случае пропусков наблюдений проводилось восстановление годовых сумм атмосферных осадков по графикам связи.

Южное обрамление долины, или северный склон Таласского хребта, является более увлажненным районом.

Здесь в пригребневой части выпадает 400—500 мм осадков в год, тогда как по дну и северному склону долины — всего 200—300 мм.

Водозабор на орошаемые земли. Водозабор из р. Талас и ее притоков на орошаемые земли осуществлялся многочисленными небольшими каналами. Общее их число достигало порядка 150. Наиболее крупными каналами являлись Новая Каирма, Чон, Объединяющий и Таласский подпитывающий (ТПК). Средние за год расходы воды в голове этих каналов составляет не более 1—3 м³/с, при этом по ТПК осуществляется межбассейновая переброска стока. Примерно половина забранной в него воды подается на орошение земель в бассейне притоков р. Ассы (Бакаир-Сай и Куркуреу-Суу).

Изъятие воды на орошение непосредственно из самой р. Талас на протяжении от ее истоков до с. Кировское увеличивается от 1,5 до 5,5 м³/с, а до с. Покровка забирается еще 2—3 м³/с. Притоки р. Талас более интенсивно разбираются на орошение, до устья доходит вода только по наиболее крупным из них.

В сумме водозабор из р. Талас и ее притоков до с. Кировское составляет 9—18,5 м³/с, а до с. Покровка — 12—22,5 м³/с. Подробные данные о водозаборах (табл. 8.5) собраны за 1951—1975 гг., до 1951 г. сведения неполные. Оросительные системы в бассейне р. Талас отличаются примитивностью строения, низкими значениями КПД (0,40—0,55). На притоках имеются лишь бассейны суточного регулирования. На самой р. Талас в 1974 г. вступило в строй Кировское водохранилище.

Расчеты суммарного испарения. Они произведены для зерновых и многолетних трав, являющихся основными профилирующими культурами в долине. Для остальных сельскохозяйственных культур испарение приближенно принято аналогичным испарению с трав (эспарцету). В расчете испарения приняты фактически наблюдаемые оросительные нормы по данным экспедиции ГГИ на экспериментальных полях в районе с. Ленинполь (междуречье Урмарал—Кумыштаг). Испарение с орошаемых земель долины определялось на основе данных метеорологических станций Талас и Кировское с учетом структуры сельскохозяйственных угодий (табл. 8.6). За расчетный период с эспарцета испаряется в среднем 780—830 мм, а с зерновых — 610—650 мм, что согласуется с данными В. П. Емца [28], приводимыми им для орошаемых земель в бассейне р. Талас в районе с. Гродеково. Испарение с богары принято равным $E_{\text{бог}} = 0,9 X$ [87].

Испарение на территории долины р. Талас от верховьев до с. Ленинполь вычислены на основе данных ГМС Талас, на основной части долины — по данным ГМС Кировское. Соотношение площадей орошаемых земель, отнесенных к указанным станциям, на территории долины до с. Кировское принято равным 2 : 1, а при расчете до с. Покровка, наоборот, — 1 : 2. Полученные таким образом значения средневзвешенного суммарного испарения (табл. 8.6) составили 700—750 мм в год, из которых примерно 270 мм обусловлено испарением выпадающих атмосферных осадков, а остальные 400—450 мм — подачей оросительных вод или

Таблица 8.6

Суммарное испарение с орошаемых земель

Период, годы	ГМС Талас				ГМС Кировское				Средневзвешенное испарение с орошаемых земель, мм	
	испарение, мм		посевные площади, %		испарение, мм		посевные площади, %		до с. Кировское	до с. Покровка
	зерновые	многолет- ные травы и другие	зерновые	многолет- ные травы и другие	зерновые	многолет- ные травы и другие	зерновые	многолет- ные травы и другие		
1941—1945	660	835	(75)	(25)	590	780	(68)	(32)	690	670
1946—1950	655	835	61	39	605	775	57	43	710	694
1951—1955	665	850	62	38	605	785	54	46	720	705
1956—1960	640	830	52	48	605	770	50	50	720	704
1961—1965	640	840	49	51	600	820	48	52	735	724
1966—1970	670	810	42	58	630	785	44	56	740	728
1971	(650)	(825)	36	64	627	786	40	60	750	735
1972	640	821	37	63	620	778	40	60	740	728
1973	644	806	40	60	630	800	41	59	740	735
1974	638	806	39	61	620	755	42	58	730	715
1975	548	896	37	63	(608)	(785)	39	61	750	733
1971—1975	624	831	38	62	621	781	40	60	742	729
1941—1975	651	833	54	46	608	785	52	48	722	708

затратами речного стока. Грунтовые воды вследствие глубокого их залегания в процессах испарения не участвуют.

Как правило, водозаборы из рек превышают безвозвратное водопотребление и потому на орошаемых землях формируется сток, который в условиях Таласской долины почти без потерь достигает русла р. Талас. В среднем за 35-летний период в пределах Таласской долины (до с. Кировское) сток возвратных вод составляет 4—5 м³/с (в среднем за многолетие). При существующих площадях орошения оптимальный водозабор из рек равен 10—12 м³/с. При превышении этого значения водозабора происходит почти пропорциональный прирост возвратных вод (до 6—8 м³/с), что говорит о нерациональном использовании воды. При включении в расчет площади бассейна от с. Кировское до границы с Казахской ССР (с. Покровка) происходит увеличение возвратных вод на 1,5—2,0 м³/с при возрастании водозабора на 2,0—4,0 м³/с (табл. 8.7), т. е. на данном участке долины возвратные воды достигают 50 % водозабора, что указывает также на низкую эффективность использования поверхностных водных ресурсов.

За 1941—1985 гг. возвратные воды составляют в среднем 33 % водозабора до с. Кировское и 35 % — до с. Покровка, вследствие чего сток р. Талас в этих створах на 5,5—7,5 м³/с обеспечен за счет формирования его в зоне развития орошения.

Таблица 8.7

Возвратные воды с орошаемых земель в бассейне р. Талас

Период, годы	Площадь фактически поливаемых земель, тыс. га	Сумма осадков за год, мм	Испарение, мм		Безвозвратное водопотребление, мм	Водозабор $Q_{вз}$		Возвратные воды B_c		
			с фактически поливаемых земель	с богарных земель		м ³ /с	мм	мм	м ³ /с	$B_c/Q_{вз}$ %
От верховьев до с. Кировское										
1941—1945	(55,2)	272	690	245	445	(12,3)	702	284	4,98	41
1946—1950	61,6	282	710	254	456	(13,6)	696	268	5,24	38
1951—1955	65,1	309	720	278	442	10,6	513	102	2,11	20
1956—1960	67,2	301	720	271	449	9,1	464	45	0,96	10
1961—1965	66,1	292	735	263	472	12,8	610	167	3,50	27
1966—1970	69,8	371	740	334	406	16,4	740	371	8,22	50
1971	69,0	234	750	211	539	15,1	689	173	3,79	25
1972	69,0	370	740	333	407	15,7	717	347	7,60	48
1973	68,9	238	740	214	526	17,0	777	275	6,02	35
1974	68,2	303	730	273	457	16,3	753	326	7,06	43
1975	67,5	230	750	207	543	13,9	649	129	2,76	19
1971—1975	68,5	275	742	248	494	15,6	717	250	5,44	34
1976—1985	75,5	300	722	270	452	18,5	784	332	7,06	38
1941—1985	67,2	300	722	270	452	14,2	668	239	4,95	33

От верховьев до с. Покровка

1941—1945	66,2	218	670	196	474	(14,8)	704	252	5,30	36
1946—1950	74,0	267	694	240	454	(16,1)	685	258	6,06	38
1951—1955	78,1	318	705	286	419	13,2	532	145	3,60	27
1956—1960	80,6	316	704	284	420	12,0	469	81	2,07	17
1961—1965	79,3	302	724	272	452	15,6	620	198	4,98	32
1966—1970	83,7	370	728	333	395	19,5	734	376	9,99	51
1971	82,8	253	735	228	507	18,5	704	222	5,84	32
1972	82,8	371	728	334	394	19,0	723	366	9,62	51
1973	82,6	248	735	223	512	20,8	793	306	8,02	39
1974	81,8	332	715	299	416	19,7	759	376	9,76	50
1975	81,0	257	733	231	502	17,2	669	193	4,96	29
1971—1975	82,2	292	729	263	466	19,0	730	293	7,64	40
1976—1985	89,1	298	708	268	440	22,5	720	280	7,98	35
1941—1985	80,3	298	708	268	440	17,2	657	240	6,18	35

8.3. Оценка возвратных вод на перспективу

Оценка возвратных вод на перспективу проводилась с учетом данных о планируемых приростах орошаемых земель, структуре посевных площадей, значениях КПД оросительных систем и изменений запасов грунтовых вод. Дефициты водопотребления на перспективу определены согласно представленным в предыдущем разделе научно обоснованным режимам орошения. Проектируемые площади орошения и рекомендации по экспликации земель

приняты по данным проектных организаций (табл. 8.8). Приросты орошаемых земель в Чуйской долине будут в основном приурочены к зоне выклинивания грунтовых вод. По данным Киргизгипроводхоза, значения КПД оросительных систем примерно к 2000 г. для долины р. Чу составят в среднем 0,73, а для Таласской долины, по данным В/О «Союзводпроект», — 0,67—0,68. Расчетные значения d_E различных культур, планируемые экспликация земель, общая их площадь и КПД оросительных систем дают возможность определить значение $Q_{вз}$ на перспективу по соотношению

$$Q_{вз} = d_{E_{ср. взв}} F_{ор} / \text{КПД}, \quad (8.7)$$

где $d_{E_{ср. взв}}$ — средневзвешенное по культурам значение d_E ; $F_{ор}$ — площадь орошаемых земель на проектные уровни. Средневзвешенное значение d_E определено по методике, представленной в разделе 7. В связи с изменением структуры посевов и с учетом оптимальных условий, необходимых для произрастания сельскохозяйственных культур, перспективные значения d_E отличаются от наблюдавшихся ранее в сторону увеличения.

Таблица 8.8

Экспликация земель на перспективу

Участок	Орошаемые площади, тыс. га	Состав культур, %		
		техниче- ские	зерновые	кормовые и прочие
Чуйская долина				
До створа с. Ташуткуль	371,7	4	29	67
с. Ташуткуль — с. Фурмановка	196,8	13	30	57
Таласская долина				
До створа у с. Кировское	88,8	3	29	66

Для оценки возвратных вод на перспективу необходимо установить, каковы будут площади переложных земель, способствующих потерям возвратных вод при движении их к русловой сети. Размещение перспективных орошаемых земель показывает сокращение перелогов на территории Чуйской долины за счет освоения неорошаемых земель с близким залеганием грунтовых вод.

В Таласской долине по причине почти повсеместного глубокого залегания грунтовых вод учет площади перелогов не производился.

Изменение запасов грунтовых вод ΔU в перспективе будет иметь сложный и дифференцированный по зонам характер. В результате реконструкции оросительных систем резко уменьшится приток подземных вод с предгорной зоны в зону выклинивания,

где произойдет соответственно снижение уровня грунтовых вод. В зоне транзита, несмотря на планируемый рост откачек, при наличии малой проницаемости мощного слоя покровных мелкоземов [36] в период развития орошения возможно повышение уровня грунтовых вод. В результате исследований, проведенных М. И. Каплинским [36], делается вывод, что в определенных пределах изменения КПД (для Чуйской долины от 0,43 до 0,65) общие динамические ресурсы и отдельные элементы баланса подземных вод меняются мало ($\Delta U=0$). Водозабор из подземных вод увеличится в основном на водоснабжение населенных пунктов, промышленных предприятий и достигнет в будущем 776 млн. м³, или 24 мм³/с (табл. 8.9). На нужды орошения увеличение водозабора составит всего 5 м³/с (по данным Северо-Киргизской комплексной гидрогеологической станции).

Таблица 8.9

Водопотребление и водоотведение населенных пунктов и промпредприятий на перспективу, млн м³/год

Участок	Водопотребление		Безвозвратное водопотребление	Водоотведение
	из поверхностных вод	из подземных вод		
ст. Джильарыкская — Чумышская плотина	56	65	21	100
плотина Чумышская — Ташуткульская плотина	287	675	100	862
Ташуткульская плотина — с. Фурмановка	—	36	8	28

Расчет значений возвратных вод B_c на перспективу для Чуйской долины представлен в табл. 8.10. При достижении КПД=0,73 возвратные воды составят 20—27 % водозабора. На первом расчетном участке значение B_c достигнет 27 % по причине отсутствия перелогов и хорошей естественной дренированности, на втором и третьем участках произойдут потери возвратных вод на испарение с переложных земель и к водоисточнику вновь возвратится порядка 20 % объема воды, забранной на орошение. Общее значение B_c в перспективе будет характеризоваться расходом воды около 33 м³/с (в среднем за год), что представляет некоторое повышение рационализации в ведении водного хозяйства. В действительности объем возвратных вод может быть еще более (до 50 м³/с), если орошение будет осуществляться повышенными поливными нормами, которые приняты в проектных проработках.

В Таласской долине расчет значений B_c произведен по той же методике. По абсолютному значению B_c в перспективе увеличатся на 0,6—0,7 м³/с, а в процентном отношении к водозабору составят около 33 % вместо 35—38 % на современном уровне (табл. 8.10).

Таблица 8.10
Оценка возвратных вод на перспективу в Чуйской и Таласской долинах

Период, годы	Площадь, тыс. га			Безвозвратное водопотребление, мм			Водозабор, Q мм		Возвратные воды		
	фактически поли- тые земли	перелог	орошаемый массив	фактически поли- тых земель	орошае- мого массива	м³/с	на факти- чески поли- тые земли	орошае- мый массив	мм	м³/с	% Q
Бассейн р. Чу											
ст. Джилыаркская — Чумышская плотина											
1976—1985	136	0	136	477	477	38,1	882	882	404	17,4	46
Перспектива	150	0	150	545	545	35,5	747	747	202	9,60	27
Чумышская плотина — Ташуткульская плотина											
1976—1985	232	40	272	537	449	51,6	741	632	183	15,8	29
Перспектива	260	35	295	565	542	64,0	766	684	142	13,3	21
Ташуткульская плотина — с. Фурмановка											
1976—1985	107	45	152	582	482	38,0	1060	746	255	12,3	29
Перспектива	158	40	198	725	637	50,0	1000	795	158	9,93	20
Бассейн р. Талас											
От верховьев до с. Кировское											
1976—1985	75,5	0	75,5	452	452	18,5	784	784	332	7,06	38
Перспектива	91,8	0	91,8	541	541	23,4	805	805	264	7,70	33
От верховьев до с. Покровка											
1976—1985	89,1	0	89,1	440	440	22,5	720	720	280	7,98	35
Перспектива	105	0	105	549	549	26,8	805	805	256	8,60	32

9. СОВРЕМЕННЫЕ И ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ПОД ВЛИЯНИЕМ ВОДНЫХ МЕЛИОРАЦИЙ

Под воздействием орошаемого земледелия и обеспечивающего его гидротехнического строительства происходят существенные изменения природных условий речных бассейнов. Они заключаются прежде всего в трансформации водного, теплового и солевого балансов мелиорируемых территорий, преобразовании отдельных элементов ландшафта дельтовой поверхности, изменении гидрологического режима, гидрогеологических условий и т. п.

В настоящей главе рассматриваются вопросы, связанные, главным образом с изучением процессов изменения количественных и качественных характеристик поверхностных и подземных вод в связи с развитием орошения в исследуемых речных долинах.

9.1. Изменение стока рек

9.1.1. Состояние вопроса и методика исследований

Орошаемое земледелие является наиболее крупным потребителем водных ресурсов. Развитие ирригации сопровождается строительством плотин, водохранилищ, прокладкой коллекторно-дренажной сети. Отмеченные обстоятельства приводят к существенному изменению элементов водного баланса и в первую очередь объема речного стока, его внутригодового распределения.

По рассматриваемому вопросу уже опубликовано значительное количество исследований, анализ которых обнаруживает существование различных взглядов относительно влияния орошения на сток и гидрологический режим рек-водоисточников.

Так, до сравнительно недавнего времени существовало мнение [27, 80, 104], что орошение не влияет на сток, а иногда даже и увеличивает его. Такое положение обычно объяснялось хозяйственным освоением обширных пойменных участков, заменой дикорастущей влаголюбивой растительности культурной, характеризующейся существенно меньшим испарением.

И действительно, водность наиболее крупных рек Средней Азии и Южного Казахстана примерно до начала 60-х годов оставалась практически неизменной. Однако по мере включения в сельскохозяйственный оборот земель, расположенных на значительном уда-

лений от источников орошения, рост безвозвратных потерь уже не компенсировался снижением естественных затрат стока, что повлекло за собой существенное изменение гидрологического режима водотоков, снижение годовых и сезонных значений стока рек.

Вместе с тем в работах других авторов [74, 92, 100] указывалось, что произошли значительные изменения стока рек в районах с развитым орошением, с которыми следует считаться уже на современном этапе водохозяйственного строительства и тем более необходимо оценить возможные изменения стока при разработке планов развития орошаемого земледелия на перспективу.

Наличие различных точек зрения по затронутому вопросу свидетельствует как о недостаточной изученности этой проблемы и отсутствии необходимой информации, так и о большой сложности самого явления. Опыт научных разработок в данной области говорит, что развитие орошаемого земледелия нередко происходит под воздействием ряда противоположно направленных факторов. Если, например, орошение увеличивает интенсивность испарения, что приводит к уменьшению водных ресурсов, то строительство коллекторов, осушение пойменных заболоченных участков, наоборот, способствует увеличению стока рек.

Существует два вида влияния орошения на речной сток:

1) прямой отъем воды из реки с дальнейшим ее использованием на орошение или другие хозяйственные нужды и с последующим сбросом излишков оросительных вод, в том числе и возвратных, за пределы оросительной системы, отдельных участков бассейна или водосбора в целом;

2) потери стока в процессе орошения за счет дополнительного испарения; аккумуляции влаги в зоне аэрации.

Первый вид потерь учитывается достаточно просто: потери стока равны водозабору; второй вид потерь определяется путем применения достаточно сложных приемов, заключающихся в основном в расчете безвозвратного водопотребления с орошаемых массивов.

В настоящем разделе главное внимание уделяется изменениям стока, связанным со вторым видом потерь.

Изучение влияния орошения на сток разделяется на два этапа: оценку современных изменений стока и прогноза изменения водности рек на перспективу.

Расчет современного изменения стока рек под воздействием орошения ΔY_a осуществляется по уравнению

$$\Delta Y_a = Y_{\text{ест}} - Y_{\text{быт}}, \quad (9.1)$$

где $Y_{\text{быт}}$ — наблюдаемый бытовой сток в исследуемом створе; $Y_{\text{ест}}$ — естественный или восстановленный сток в этом же створе.

Под значением $Y_{\text{ест}}$ понимается такой расход воды, который имел бы место, если бы не было орошения. Для того чтобы исключить влияние естественных (климатических) факторов, сопоставление значений $Y_{\text{ест}}$ и $Y_{\text{быт}}$ должно производиться при одинаковых значениях водных ресурсов.

Наибольшие затруднения возникают при определении или восстановлении естественного стока рек. Для расчета значений $Y_{\text{ест}}$ широкое распространение получили две группы методов [17]: сравнительного анализа многолетних рядов стока и воднобалансового.

Первый методический подход предполагает интегральную оценку влияния орошения на гидрологический режим и сток рек в результате исследования колебаний стока (в области его формирования и зоне использования) одновременно с основными стокообразующими факторами и развитием орошения в бассейне.

Преимущество этого способа в том, что он основывается на использовании многолетних надежных гидрометрических материалов. Однако указанная методика не учитывает основные факторы, оказывающие непосредственное воздействие на процессы изменения стока и поэтому не может быть использована для прогноза изменения водности рек на перспективу. Кроме того, применение данного метода возможно лишь при условии наличия соответствующей наблюдательной сети и преимущественного (по отношению к другим видам хозяйственной деятельности) развития орошаемого земледелия, что, к сожалению, ограничивает выбор объектов исследований.

Воднобалансовый метод базируется на определении независимым путем главных факторов орошаемого земледелия: безвозвратного водопотребления, возвратных вод, а также естественных потерь речного стока, от соотношения которых и зависят в конечном итоге изменения стока рек.

Преимущество воднобалансовой методики состоит в возможности использования ее для расчетов изменения стока на перспективу в зависимости от намечаемых планов развития оросительных мелиораций. Применение рассматриваемого способа в современных условиях ограничено, так как требует большого объема данных об элементах водного баланса, которые часто отсутствуют.

Использование перечисленных выше методов зависит от наличия исходной информации, уровня развития орошаемого земледелия, физико-географических особенностей водосборов.

Для решения практических задач исследования и количественной оценки современного изменения стока рек рекомендуется применять параллельно оба метода. Такой прием обеспечивает надежную оценку происшедших изменений стока и одновременно позволяет уточнить расчетные значения параметров, входящих в воднобалансовые уравнения, которые в дальнейшем должны быть использованы для обоснования прогнозных изменений стока под воздействием орошения.

Ниже излагаются основные положения упомянутых методов и особенности их применения в практике гидрологических расчетов, связанных с оценкой влияния орошения на водный баланс и сток рек.

Метод сравнительного анализа стоковых рядов. Он, как указывалось выше, основан на сравнении значений стока рек за синхронные периоды времени в опорных гидромет-

рических створах зоны формирования и зоны использования стока.

В процессе выполнения необходимого анализа и расчетов применяются различные технические приемы: исследование закономерностей изменений стока непосредственно по ряду наблюдений, построение корреляционных зависимостей, интегральных величин стока и др.

Исследование закономерностей рядов стока. В этом случае имеющиеся ряды гидрометрических наблюдений подразделяются на следующие расчетные периоды:

на промежутки времени, когда орошение отсутствовало;

на период, который характеризуется тем или иным уровнем развития орошаемого земледелия и соответствующим комплексом гидротехнических мероприятий, его обеспечивающих.

В соответствии с выделенными периодами подразделяются данные гидрометрических наблюдений в зоне использования стока рек и в области его формирования. Сток зоны его формирования обычно рассчитывается путем суммирования расходов воды по створам изученных рек с неискаженным гидрологическим режимом. При одинаковой водности обоих периодов, т. е. при неизменном стоке зоны формирования, обнаруженное изменение (снижение) расходов воды в исследуемых створах должно быть обусловлено влиянием орошаемого земледелия. В случае различной водности сравниваемых периодов изменения стока, определенные по стокowym рядам, будут в интегральной форме учитывать эффект влияния водности и хозяйственной деятельности на водосборе. При пониженной водности современного этапа (с наличием орошения) расчетное изменение стока будет завышенным, а при повышенной водности, наоборот, заниженным.

Построение корреляционных графиков. Для раздельной оценки влияния водности рек в зоне формирования их стока и развития орошаемого земледелия сопоставление расходов воды проводится в графической форме в виде построения зависимостей $Y_n = f(\sum Y_{з. ф})$ (где Y_n — сток реки в створе, находящемся в зоне его использования; $\sum Y_{з. ф}$ — сток реки зоны его формирования [86, 93, 101]).

Так, в работе [86] для рек Амударьи и Сырдарьи были выявлены две зависимости $Y_n = f(\sum Y_{з. ф})$, соответствующие двум периодам: 1930—1960 и 1961—1975 гг. Сток в зоне использования этих рек и до 1960 г. не характеризует естественный гидрологический режим водотоков, так как орошение в бассейне Аральского моря было развито с древнейших времен и к началу гидрометрических наблюдений под поливные земли было занято свыше 1,5 млн. га. Поэтому промежуток времени между 1930 и 1960 гг. в данном случае называется условно естественным периодом. Такое понятие вводится для рек, в бассейнах которых сток был искажен влиянием орошения еще до организации гидрометрической сети. Однако благодаря наличию компенсационных факторов (уменьшение потерь влаги на транспирацию с влаголюбивой рас-

тельности, увеличение стока с орошаемых земель после создания коллекторно-дренажной сети) до 60-х годов рост безвозвратного водопотребления на орошение не сопровождался ощутимым односторонним изменением стока.

О продолжительности такого периода можно судить по ряду признаков: неизменности соотношения расходов воды в зоне использования стока реки и области его формирования, относительно стабильному положению уровня воды внутренних замкнутых водоемов.

Другой (1961—1975 гг.) современный период характеризуется интенсивным развитием орошаемого земледелия.

Разность ординат каждой пары зависимостей будет соответствовать изменению значения ΔY_a , поскольку данные о расходах воды с обеих зависимостей снимаются при одних и тех же значениях речного стока в зоне формирования водных ресурсов.

Оценив влияние параметра ΔY_a , можно определить и воздействие естественных факторов на колебания водности в исследуемом створе ΔY_b . Последнее получается по разности между суммарным снижением речного стока ΔY_c и значением ΔY_a , рассчитанным по графикам связи $Y_n = f(\sum Y_{z.ф})$, т. е.

$$\Delta Y_c = \Delta Y_a + \Delta Y_b \quad (9.2)$$

или

$$\Delta Y_b = \Delta Y_c - \Delta Y_a. \quad (9.3)$$

Построение интегральных кривых. При построении этих кривых, помимо стоковых характеристик, необходимо дополнительно учитывать данные по температуре воздуха, атмосферным осадкам, характеризующим климатические условия и питание бассейна исследуемой реки. Интегральные кривые речного стока, температуры воздуха и осадков целесообразно анализировать по периодам с учетом изменения водности в зоне формирования речного стока.

Изменение тангенса угла наклона интегральных кривых речного стока в створах, где имеет место использование стока на нужды орошения по сравнению с наклоном кривых стока, температуры воздуха и осадков в области его формирования, дает возможность определить начало процесса антропогенного изменения стока, его уровень и интенсивность [93].

Воднобалансовый метод. Он заключается в оценке безвозвратного водопотребления и возвратных вод с орошаемых земель. Эти характеристики определяются путем расчета водного баланса орошаемых и богарных территорий (см. раздел 8). Такой подход позволяет раскрыть механизм формирования и изменения водного баланса орошаемой территории, количественно оценить его составляющие и в первую очередь сток с мелиорируемых земель.

Существенным дополнением к упомянутой методике является совместное рассмотрение уравнения РВБ участка русла реки в зоне

интенсивного использования ее стока с уравнением водного баланса орошаемого контура, прилегающего к расчетному участку реки [96]. Руслевой водный баланс дает возможность оценить воздействие орошения как на отдельные его компоненты, так и на руслевой сток в целом при изменении водозабора, возвратных вод, естественных потерь стока и др.

Как было показано выше, при применении воднобалансовой методики, требуется большой объем исходной информации за длительное время. Такие материалы можно получить лишь в результате проведения комплексных экспериментальных исследований, что и было выполнено экспедицией ГГИ в 1971—1975 гг. в бассейнах рек Чу и Талас.

При проектировании объектов мелиоративного и гидротехнического строительства расчет стока рек с неискаженным гидрологическим режимом в различных створах обычно производится по данным гидрометрических наблюдений. При этом рассчитанные за длительный период характеристики (нормы стока, коэффициенты вариации и др.) экстраполируются на последующие десятилетия без каких-либо поправок.

Для рек с преобразованным режимом, тем более тех, на которых намечалось уменьшение стока под воздействием ирригационных мероприятий, определение указанных характеристик стока обычным путем ввиду неоднородности рядов становится невозможным.

В этом случае перспективная оценка изменения речного стока осуществляется исходя из учета водных ресурсов исследуемой территории (стока зоны формирования) и суммарного безвозвратного водопотребления до принятого в расчет створа.

Расчетное уравнение в общем виде записывается следующим образом:

$$Y_n = \sum Y_{з.ф} - \Delta E, \quad (9.4)$$

где ΔE — суммарное безвозвратное водопотребление.

Использование уравнения (9.4) возможно при отсутствии ощутимого подрусового стока в зоне его формирования, в расчетном створе и перетока грунтовых вод в соседние бассейны.

В свою очередь

$$\Delta E = \Delta E_{ор} + \Delta E_{вдхр} + \Delta E_{пр}, \quad (9.5)$$

где $\Delta E_{ор}$ и $\Delta E_{вдхр}$ — безвозвратные потери с орошаемых земель и водохранилищ, $\Delta E_{пр}$ — затраты на промышленно-коммунальное водоснабжение.

В процессе использования водных ресурсов для орошения и других хозяйственных нужд нередко случаются случаи, когда даже в пределах одного бассейна имеет место территориальное перераспределение стока. В связи с этим необходимо оценить размеры перебросок стока по каналам П и включить их в суммарное безвозврат-

ное водопотребление (затраты стока) на данной орошаемой территории.

Тогда расчетное уравнение принимает следующее выражение:

$$Y_n = \sum Y_{з. ф} - \Delta E_{ор} - \Delta E_{вдхр} - П - \Delta E_{пр}. \quad (9.6)$$

При отсутствии данных о размерах безвозвратного водопотребления или невозможности его количественного определения для предварительных ориентировочных расчетов используется способ экстраполяции на перспективу выявленной тенденции снижения стока рек под влиянием орошения, т. е.

$$Y_n = Y_{н. совр} - S_{уд} \Delta F_{ор}, \quad (9.7)$$

где $Y_{н. совр}$ — речной сток в расчетном створе на современном этапе (существующее положение); $S_{уд}$ — удельное снижение речного стока, отнесенное к определенным значениям вводимых орошаемых площадей; $\Delta F_{ор}$ — приращение орошаемых земель на перспективу по отношению к существующему положению.

Удельное снижение стока рек определяется за предшествующий прогнозу интервал времени (5—10 лет), начальные и конечные границы которого характеризуются различными значениями стока в расчетном створе и различными размерами орошаемых площадей, а именно

$$S_{уд} = (Y'_n - Y''_n) / (F'_{ор} - F''_{ор}) = \Delta Y / \Delta F_{ор}. \quad (9.8)$$

Приближенность расчета заключается в механическом переносе на перспективу современных способов ведения водного хозяйства, так как не учитывается рост КПД оросительных систем, внедрение рациональных режимов орошения и т. п., а изменение стока ставится в зависимость только от приращения площадей орошаемых земель.

Изложенные методические положения явились основой для количественной оценки современных и перспективных изменений стока рек Чу и Талас под влиянием орошения.

9.1.2. Современные изменения стока рек Чу и Талас

Оценка современного изменения стока р. Чу. В долине р. Чу развитие мелиоративного и воднохозяйственного строительства получило гораздо больший размах по сравнению с долиной р. Талас. Следует отметить, что в связи с развитием орошения в бассейне р. Чу сток ее на различных этапах претерпевал значительные изменения.

Изучение истории орошения указывает на то, что сток главной артерии в той или иной степени был искажен водохозяйственными мероприятиями еще в начале этого века. В этот период орошение тяготело в основном к притокам р. Чу, что в значительной степени снижало водность последних в устьях.

Как следует из рис. 9.1, за период с 1911 по 1971 г. сток р. Чу на участке с. Орто-Токой — Бурулдайский мост, на котором име-

ются лишь небольшие водозаборы, изменился в сторону его уменьшения. Причиной является ввод в действие Орто-Токойского водохранилища в 1957 г., что повлекло за собой резкое снижение стока реки в зимний период и повышение потерь его в ее русле во время летних попусков из водохранилища.

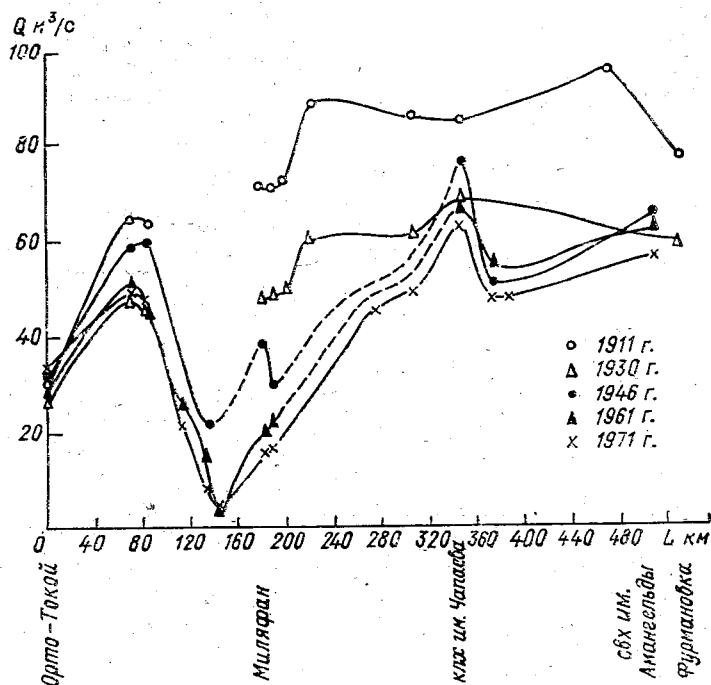


Рис. 9.1. Изменение стока р. Чу по ее долине за различные годы.

Аналогичные изменения стока, но в больших размерах, прослеживаются от Бурулдайского моста вниз по течению р. Чу до с. Миляфан, где за рассматриваемый период более существенное уменьшение стока наблюдается за счет возрастающих водозаборов в оросительные каналы.

Несмотря на снижение годовых расходов воды в восточной части Чуйской долины от плотины ЗБЧК вниз по реке наблюдается приращение стока реки до створа у клх им. Чапаева. Следует отметить, что в настоящее время это увеличение обусловлено поступлением в русло р. Чу выклинивающихся вод (ранее [82] здесь наблюдались потери) и сбросом излишков оросительных вод по коллекторно-дренажной сети. Наиболее крупным сбросным трактом является русло р. Ак-Суу.

Ниже Ташуткульской плотины снова отмечается снижение стока р. Чу, так как водозабор на этом участке не компенси-

руется боковой приточностью и поступлением возвратных вод. Здесь произошли значительные изменения и во внутригодовом распределении стока. Гидрограф расходов воды носит прямо противоположный характер наблюдавшемуся ранее, когда орошение здесь было развито незначительно [32].

Приведенный анализ стока р. Чу дает лишь качественное представление о его изменениях под воздействием хозяйственной деятельности. Для количественной оценки изменения стока р. Чу было выбрано три створа: у с. Миляфан, клх им. Чапаева и свх им. Амангельды (с. Фурмановка), которые замыкают крупные массивы орошения соответственно в восточной, центральной и западной частях Чуйской долины. Все три пункта обладают достаточно длительным рядом наблюдений. При анализе стокового ряда р. Чу у с. Миляфан за ранние годы (до 1939 г.) были использованы материалы наблюдений у с. Георгиевка.

Расчет естественного стока реки зоны его формирования выполнен за 1930—1975 гг. Водные ресурсы верховьев р. Чу оценивались по стоку р. Чу у с. Кочкорка и стоку р. Чонг-Кемин в устье. Данные по расходам воды р. Чу в створе выше устья р. Чонг-Кемин не использовались, так как в связи с вводом в действие Орто-Токойского водохранилища (1957 г.) естественное внутригодовое распределение стока в этом створе резко изменилось.

Оценка суммарного притока воды в Чуйскую долину (неискаженного хозяйственной деятельностью) произведена на основании обобщения материалов наблюдений по 49 изученным боковым притокам (36 левобережных и 13 правобережных).

Согласно изложенной выше методике были построены графики связи стока реки зоны его формирования и расходов воды в исследуемых створах для сезонных и годовых значений стока.

Для р. Чу у с. Миляфан (рис. 9.2) обозначились три совокупности точек, образующие зависимости, соответствующие следующим периодам: 1) 1930—1943 гг., 2) 1946—1961 гг., 3) 1962—1975 гг. Первая группа точек может быть отнесена к условно-естественному периоду, который характеризуется незначительным водозабором из р. Чу. Нарушение указанной зависимости было обусловлено строительством ЗБЧК, когда в начальной стадии его эксплуатации водозабор осуществлялся из р. Красной, в результате чего приток воды в русло р. Чу уменьшился, что повлекло в свою очередь снижение стока р. Чу у с. Миляфан. Поэтому точки на графиках за 1944—1945 гг. являются как бы переходными от первой совокупности ко второй. В 1946—1947 гг. головное сооружение подпитывающего канала ЗБЧК было выведено непосредственно из русла р. Чу, что привело к образованию на рис. 9.2 второй зависимости, действие которой прослеживается до 1961 г. Третья совокупность точек вызвана вводом в действие канала ВБЧК, начало работы которого относится к 1958—1959 гг. Таким образом, каждый раз в результате создания крупного гидротехнического узла происходит заметное изменение количественных характеристик стока.

Аналогичные изменения наблюдаются и для вегетационного стока.

Графики зависимости вида $Y_n = f(\sum Y_{з.ф})$ для двух других створов (кх им. Чапаева и с. Фурмановка) (рис. 9.3) дают основание говорить о том, что сток р. Чу в этих пунктах практически не изменился. Значительное отклонение от общей совокупности точек имеет место лишь после 1973 г., что объясняется строительством Ташуткульского водохранилища и увеличением потерь речного стока, связанных с заполнением последнего.

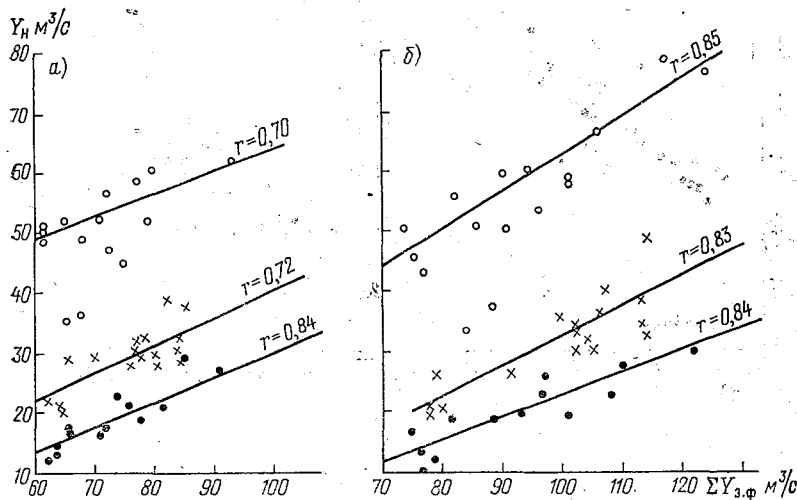


Рис. 9.2. Зависимость стока р. Чу у с. Миляфан (Y_n) от стока зоны формирования ($\sum Y_{з.ф}$).

а — годовой сток, б — сток за вегетационный период. Светлый кружок — до 1945 г., крестик — 1946—1961 гг., черная точка — 1962—1975 гг.

Поскольку сток р. Чу у с. Миляфан уменьшился весьма значительно, то следовало бы ожидать такого же снижения стока и в нижележащих створах. С другой стороны, поскольку аналогичного уменьшения в этих створах, как следует из рис. 9.3, не отмечается, необходимо провести дополнительный анализ причин неизменности стока в исследуемых пунктах и выявить источники его пополнения. Последнее имеет решающее значение при составлении прогноза стока на перспективу. С этой целью были сопоставлены осредненные значения расходов воды за синхронные периоды в створах и зоне формирования стока реки (табл. 9.1).

Данные табл. 9.1 показывают, что сток р. Чу зоны его формирования за рассматриваемые периоды оставался неизменным и, следовательно, колебания стока в исследуемых створах могут быть обусловлены только факторами антропогенного происхождения, т. е. хозяйственной деятельностью.

Из этой же таблицы следует, что годовой сток р. Чу у кх им. Чапаева уменьшился всего на $5 \text{ м}^3/\text{с}$, т. е. убыль его не

выходит за пределы точности расчета стока. Водность р. Чу у с. Фурмановки не претерпевала каких-либо изменений.

Во внутригодовом распределении стока р. Чу в рассматриваемых створах произошли коренные преобразования: сток умень-

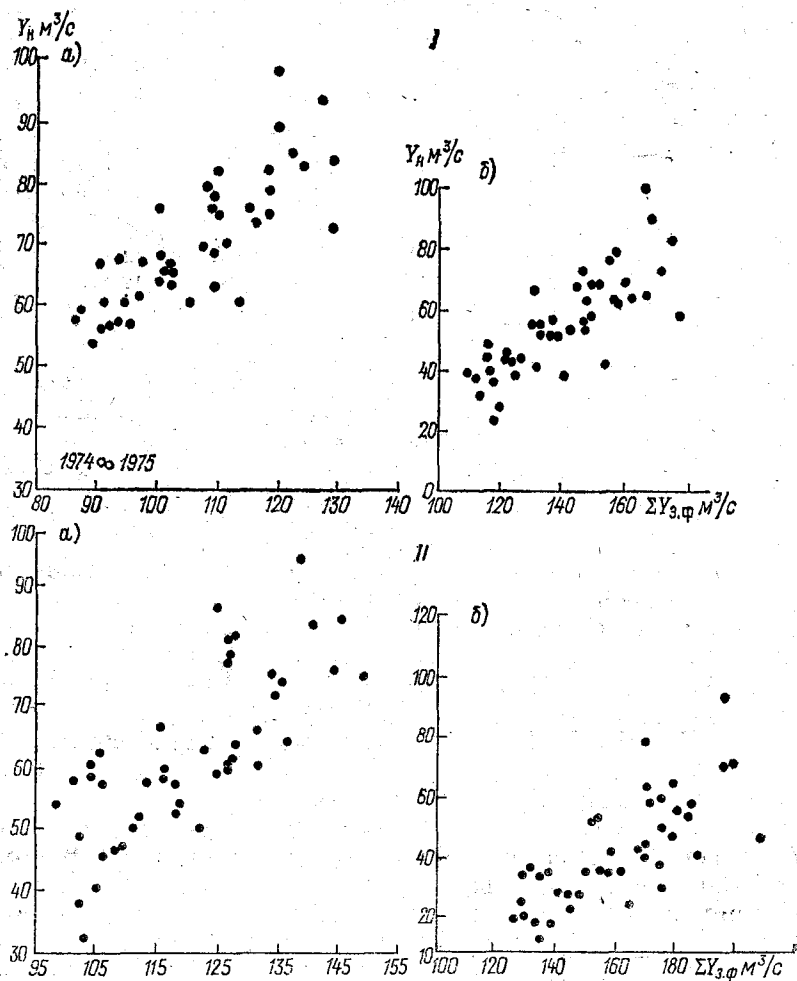


Рис. 9.3. Зависимость стока р. Чу у клх им. Чапаева (I) и у с. Фурмановка (II) (Y_n) от стока зоны формирования ($\Sigma Y_{з.ф}$).

а — годовой сток, б — сток за вегетационный период.

шился за вегетационный период и увеличился за невегетационный.

Убыль стока летом обусловлена возросшим водозабором на орошение, а увеличение его в течение осенне-зимнего периода (при неизменном стоке зоны его формирования) объясняется поступлением возвратных вод с орошаемых массивов. Доказательством

Таблица 9.1

Сток и его изменение ΔY_a во времени р. Чу по периодам, м³/с

Створ	Период, годы	Годовой сток		Вегетационный сток		Невегетационный сток	
		$\Sigma Y_{з.ф.}$	Y_H	$\Sigma Y_{з.ф.}$	Y_H	$\Sigma Y_{з.ф.}$	Y_H
клх им. Чапаева	1930—1943	106	69	140	59	56	83
	1962—1975	106	64	140	46	56	88
	ΔY_a	0	-5	0	-13	0	5
с. Фурмановка (свх им. Амангельды)	1930—1943	121	60	162	46	63	81
	1962—1975	121	60	162	34	63	97
	ΔY_a	0	0	0	-12	0	16

этому служит изменение гидрохимического режима р. Чу. Исследования показывают, что в зоне формирования стока минерализация речных вод остается неизменной и составляет примерно 0,25 г/дм³. В свою очередь минерализация р. Чу в створе у клх им. Чапаева в 1938 г. была равна 0,25 г/дм³, а в 1972 — 0,75 г/дм³, т. е. возросла в три раза. Содержание иона Cl увеличилось в два раза, а иона SO_4^{2-} — в пять раз. Анализ приведенных данных показывает, что главным источником солей в воде является вынос их из толщи почвогрунтов орошаемых массивов.

Какие же причины обусловили относительную неизменность стока р. Чу? Выше уже отмечалось, что увеличение ее стока за невегетационный период в некоторой степени скомпенсировало его убыль летом (табл. 9.1). Кроме того, часть современного стока р. Чу формируется за счет сбросов воды с орошаемых полей и увеличения выклинивания грунтовых вод.

О величине сбросов оросительных вод с левобережного орошаемого массива можно судить по данным о стоке р. Ак-су. В 1932 г. по этой реке до р. Чу доходило лишь 4 м³/с ее стока. В настоящее время сток р. Ак-Су при ее впадении в р. Чу составляет 8—10 м³/с. Таким образом, приток по р. Ак-Су увеличился в два раза при относительно одинаковой водности этой реки, что можно объяснить возрастанием сброса в нее излишков оросительных вод с ЗБЧК и других каналов.

Изменился процесс водообмена русла р. Чу с прилегающей территорией. Согласно работе [82], на участке р. Чу от Чумышской плотины до с. Чурмановка в 1911—1915 гг. наблюдались потери речных вод в размере 8—9 м³/с, в настоящее время здесь уже имеет место выклинивание грунтовых вод в количестве 24—26 м³/с. Увеличение притока грунтовых вод к руслу р. Чу также вызвано строительством коллекторно-дренажной сети (КДС), особенно в левобережной части Чуйской долины (общая протяженность

КДС составляет свыше 2000 км), что способствовало сработке в реку многолетних запасов подземных вод.

Немаловажную роль сыграло осушение заболоченных участков в пойме р. Чу, уничтожение влаголюбивой растительности, уменьшение разливов реки в результате руслового регулирования и водозаборов.

Соотношение суммарного безвозвратного водопотребления, определенного по разности между фактическим притоком воды с горного обрамления и оттоком ее в створе (у с. Фурмановка), с рассчитанным безвозвратным водопотреблением непосредственно на орошаемых полях характеризуется данными табл. 9.2.

Таблица 9.2

Изменение структуры безвозвратного водопотребления (м³/с) в Чуйской долине

Безвозвратное водопотребление	1941—1945 гг.	1962—1975 гг.
Суммарное	66	65
За счет орошения	50	71
За счет испарения с естественных угодий	16	0

Из приведенных данных следует, что примерно 30 лет тому назад суммарное безвозвратное водопотребление в Чуйской долине составляло порядка 66 м³/с, причем 76 % из них затрачивалось на хозяйственные нужды, остальные 24 %, по-видимому, обязаны своим происхождением естественным причинам, в основном испарению с участков, занятых влаголюбивой растительностью.

В настоящее время роль водопотребления на естественных угодьях сведена до минимума. Расчетное безвозвратное водопотребление с полей орошения даже превышает суммарные на 6 м³/с, вероятно, за счет приближенности проведенных оценок. Тем не менее становится очевидным, что на современном уровне компенсационные возможности Чуйской долины исчерпаны и при дальнейшем развитии орошения следует ожидать прогрессирующего снижения стока р. Чу. Выполненные воднобалансовые расчеты согласуются с теоретическими соображениями по данному вопросу, изложенными в материалах IV Всесоюзного гидрологического съезда [17].

Оценка изменения стока р. Чу под влиянием орошения, полученная с помощью графиков $Y_n = f(\sum Y_{з.ф})$ (см. табл. 9.1) характеризуется данными, приведенными в табл. 9.3.

Ввиду отсутствия тесной зависимости $Y_n = f(\sum Y_{з.ф})$ снижение стока р. Чу у с. Миляфан за невегетационный период получено по разности между снижением стока за год и за вегетационный период.

Наибольшая убыль стока (годового) прослеживается в восточной части Чуйской долины, где по сравнению с 1930—1943 гг. сни-

Таблица 9.3

Расчетное изменение стока р. Чу ΔY_a под влиянием орошаемого земледелия, 1962—1975 гг.

Створ	Сток					
	за год		за вегетационный период		за невегетационный период	
	м³/с	%	м³/с	%	м³/с	%
с. Миляфан	—35	65	—37	64	—32	60
клх им. Чапаева	—5	7	—13	22	5	6
с. Фурмановка (свх им. Амангельды)	0	0	—12	26	16	20

жение водности реки за 1962—1975 гг. составило 65 %. Примерно на столько же понизился сток и в различные сезоны, годы.

Безвозвратное водопотребление с орошаемых полей с 40-х годов до настоящего времени увеличилось только на 3 м³/с. Принимая округленно это значение с 30-х годов равным 5 м³/с, следует считать, что остальные 30 м³/с обусловлены возрастающим забором воды в каналы и переброской значительной части этих вод на участки долины, находящиеся ниже с. Миляфан. Таким образом, основная роль в процессах уменьшения стока в этой части Чуйской долины принадлежит непосредственному изъятию водных ресурсов из русла реки. Воды рек Чу и Красной, перебросенные на нижележащие участки, совместно с осуществленным здесь водохозяйственным и мелиоративным строительством, вызвали существенные изменения водного баланса в центральной и западной частях Чуйской долины. В результате увеличения поверхностного и подземного притока воды с участков, занятых ранее влаголюбивой растительностью, процессы снижения стока в течение длительного времени были замедлены. Только вначале 70-х годов в связи с ростом безвозвратных потерь стока на орошение и строительством Ташукткульского водохранилища обнаружилась тенденция к уменьшению стока р. Чу, которая в последующие годы продолжала усиливаться (табл. 9.4).

Как видно из табл. 9.4, наибольшее уменьшение стока произошло в среднем и нижнем течении р. Чу. Особенно резко оно проявилось на участке клх им. Чапаева — свх им. Амангельды, где водозабор из реки в 1976—1983 гг. по сравнению с предшествующим периодом возрос почти вдвое.

Оценка современного изменения стока р. Тала с под влиянием орошаемого земледелия. Эта оценка осуществлялась путем сопоставления расходов воды в створах с. Кировская и с. Покровка со стоком зоны его формирования. Значение стока зоны его формирования получено по данным много-

Таблица 9.4

Изменение годового стока р. Чу ΔY_a , 1930—1983 гг.

Период, годы	Сток, м³/с		ΔУ _а %
	в створе	ΔУ _а	
с. Миляфан			
1930—1943	54,4	—	—
1962—1975	19,4	35	65
1976—1983	14,9	39,5	73
клх им. Чапаева			
1930—1943	69	—	—
1962—1975	64	5	7
1976—1983	43	26	38
свх им. Амангельды			
1930—1943	60	—	—
1962—1975	60	0	0
1976—1983	25,7	34,3	57

летних гидрометрических наблюдений (1940—1975 гг.) на р. Талас и на семи притоках при выходе их из горных ущелий в долину. Сток неизученных рек составляет около 1,0 м³/с (по оценке Киргизгипроводхоза) и потому не принят во внимание при расчете стока зоны его формирования. Сопоставление проводилось при помощи построения зависимостей стока в замыкающем створе бассейна Y_n от суммарного стока зоны формирования $\sum Y_{з.ф.}$. Несмотря на перенос поста, данные о стоке в створе у с. Покровское объединены в один ряд с данными по створу у с. Гродеково. Из-за пропусков в наблюдениях при переносе поста (1967—1979 гг.) расчеты изменения стока у с. Покровское более приближенные, чем для стока у с. Кировское. По расположению точек, образующих первую зависимость на графиках рис. 9.4, можно сказать, что в стоке р. Талас в течение длительного периода (1941—1963 гг.) не обнаруживается существенных изменений. Прирост орошаемых земель в это время был незначительным. Зависимости, относящиеся к данным до 1963 г., приняты за характеристику условно-естественного периода, относительно которого и выполнялась оценка современного изменения стока. С середины 1960-х годов после достижения площадей орошения 69 тыс. га намечается появление второй зависимости, с помощью которой устанавливается уменьшение стока исследуемой реки. Расчетное снижение расходов в среднем за год и за вегетационный период (табл. 9.5) получено по разнице ординат зависимостей, представленных на рис. 9.4.

Как видно из табл. 9.5, снижение стока невелико: годового — 12—17 %, вегетационного — 14—16 %, снижение невегетационного стока (5—19 %) ввиду отсутствия надежной зависимости $Y_H =$

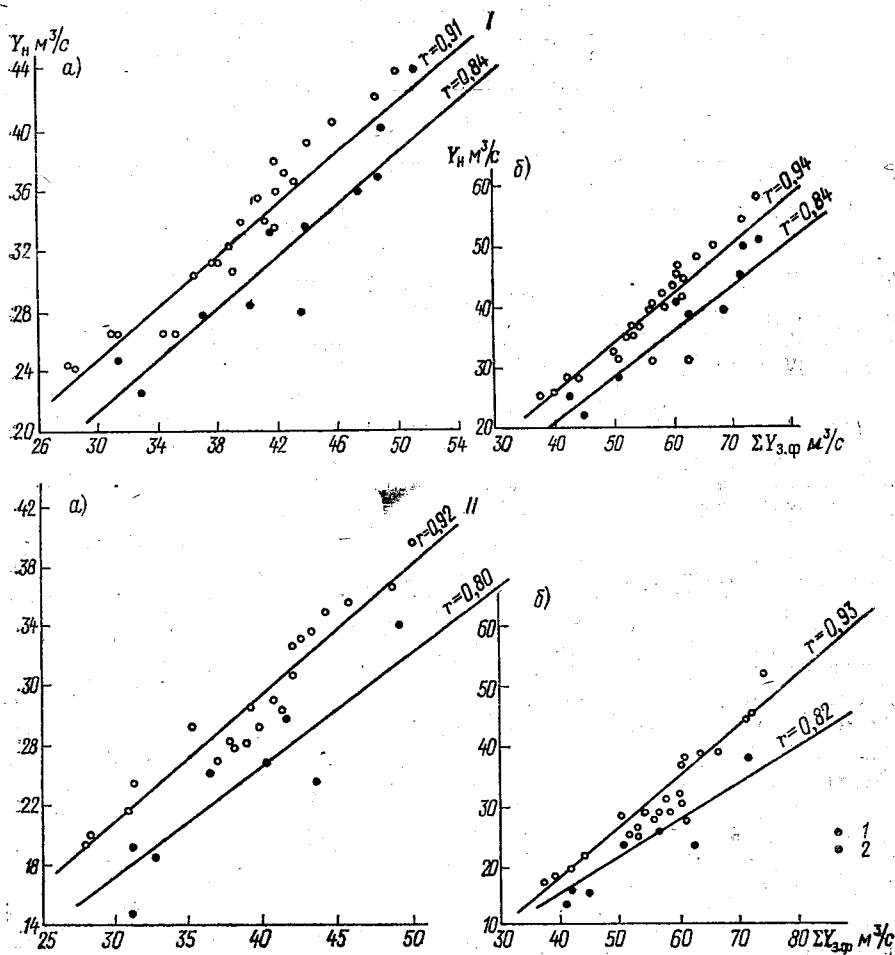


Рис. 9.4. Зависимость стока р. Талас у с. Кировское (I) и у с. Гродеково (с. Покровка) (II) (Y_H) от стока зоны формирования ($\Sigma Y_{з.ф}$).

а — годовой сток, б — сток за вегетационный период. 1 — до 1963 г., 2 — 1964—1975 гг.

$=f(\Sigma Y_{з.ф})$ получено по разнице между значениями уменьшения стока за год и за вегетацию.

В створе у с. Покровка невегетационный сток снизился более существенно по сравнению со стоком у с. Кировское, что объясняется вводом в эксплуатацию и заполнением Кировского водохранилища.

Надо отметить, что период 1964—1975 гг. для р. Талас характеризуется относительно повышенной водностью зоны формирова-

Таблица 9.5

Изменение стока р. Талас под влиянием орошаемого земледелия, 1964—1975 гг.

Пункт	Сток					
	за год		за вегетационный период		за невегетационный период	
	м³/с	%	м³/с	%	м³/с	%
с. Кировское	4	12	6	14	1	5
с. Покровка	5	17	5	16	5	19

ния ее стока (примерно на 5 % выше средней водности за 1940—1963 гг.). При средней или пониженной водности реки уменьшение ее стока было бы более существенным в абсолютных значениях. Таким образом, современное снижение годового стока оценивается в размере 4—5 м³/с, что обусловлено увеличением безвозвратного водопотребления в орошаемом земледелии и переброской части стока р. Талас (в размере 2—3 м³/с) по ТПК в бассейн р. Ассы, а также влиянием эксплуатации Кировского водохранилища.

В последующий период (1976—1983 гг.) снижение стока р. Талас продолжало увеличиваться, чему способствовали продолжающееся развитие орошения и пониженная (примерно на 10 %) водность реки в области формирования стока. У с. Кировское под влиянием хозяйственной деятельности средние годовые расходы по сравнению со стоком за условно-естественный период уменьшились на 25 %, а у с. Покровка — на 35 %.

Значительное уменьшение стока реки на участке с. Кировское — с. Покровка обусловлено не только ростом безвозвратных потерь на орошение, но и увеличением водозабора воды в каналы, осуществляющие переброску стока на участки бассейна р. Талас, находящиеся ниже с. Покровское.

В среднем и нижнем течении р. Талас ее сток уже издавна был искажен водозаборами на орошение. Гидрограф имеет отчетливо выраженную летнюю межень, что говорит об обратном ходе стока по сравнению с его естественным гидрологическим режимом. В низовьях реки у с. Учарал средние годовые расходы воды примерно до начала 70-х годов составляли 8—10 м³/с. Уже свыше 10 лет речные воды практически не доходят до указанного створа из-за интенсивного разбора их на орошение и введения в эксплуатацию Кировского водохранилища.

9.1.3. Изменения стока рек на перспективу

Оценка изменения стока рек Чу и Талас на перспективу осуществлялась по формуле (9.6), т. е. путем сопоставления водных ресурсов указанных бассейнов $\sum Y_{з.ф}$ с рассчитанным без-

возвратным водопотреблением на орошение и другими видами хозяйственной деятельности, так как последние уже сейчас определяют режим и уровень стока в створах Y_n , находящихся в области его интенсивного использования.

Ожидаемое безвозвратное водопотребление с орошаемых земель $\Delta E_{ор}$ определялось исходя из норм орошения, разработанных ГГИ, и перспективных планов развития поливного земледелия. В дополнение к значениям $\Delta E_{ор}$ оценивались потери на испарение с водного зеркала водохранилищ, переброска по каналам части речного стока на соседние участки бассейна, а также затраты на водообеспечение промышленно-коммунального хозяйства $\Delta E_{пр}$.

Оценка изменения стока выполнялась применительно к условиям средней водности стока зоны формирования, значения которого для различных створов рассматриваемых долин приняты в соответствии с данными, приведенными в разделе 2. Количественные значения T получены по материалам проектных разработок В/О «Союзводпроект».

Расчетные изменения стока на перспективу под влиянием хозяйственной деятельности в бассейнах рек Чу и Талас приводятся в табл. 9.6.

Таблица 9.6

Расчет изменения стока рек Чу и Талас на перспективу, м³/с

Расчетный створ	Сток зон формирования	Безвозвратное водопотребление					Ожидаемый сток в створе
		суммарное	$\Delta E_{ор}$	$\Delta E_{вдхр}$	T	$\Delta E_{пр}$	
Чуйская долина							
с. Миляфан	88,2	74,4	25,7	0	48,0	0,7	13,8
кх им. Чапаева	120	95,2	76,4	3,0	12,0	3,8	24,8
сх им. Амангельды	134	123,6	116,5	3,0	0	4,1	10,4
Таласская долина							
с. Кировское	45,2	20,3	15,7	0,6	4,0	—	24,9
с. Покровка	47,2	27,8	18,2	0,6	9,0	—	19,4

Наибольшее уменьшение водности ожидается на р. Чу в створе у сх им. Амангельды — на 50 м³/с или 83 % по отношению к стоку за условно-естественный период. В бассейне р. Талас снижение годового стока предполагается на 7—10 м³/с.

В рассматриваемых водосборах в процессах изменения стока рек значительная роль принадлежит его переброске на соседние участки. Так, у с. Миляфан в перспективе переброска стока составит свыше 60 % суммарных затрат водных ресурсов на этом участке Чуйской долины, а у с. Покровка в долине р. Талас — 32 %.

На перспективу сток по р. Чу будет обеспечиваться преимущественно за счет возвратных вод. В р. Талас доля возвратных вод в речном стоке возрастет до 44 %.

Следует отметить, что рассчитанное снижение стока основывается на учете оросительных норм, разработанных ГГИ, и планируемом росте КПД оросительных систем. При сохранении существующих способов ведения водного хозяйства, уменьшение стока рек будет происходить более интенсивно. В этом случае при достижении площадей орошаемых земель в Чуйской долине порядка 560 тыс. га сток реки у свх им. Амангельды может прекратиться полностью, а в Таласской долине у с. Покровка сток при $F_{ор}=105$ тыс. га составит всего 8—10 м³/с.

9.2. Изменение минерализации речных вод под влиянием орошения

Изменение минерализации воды в р. Чу было рассмотрено по нескольким створам, расположенным в различных участках одноименной долины.

Анализ гидрохимических данных по р. Чу за многолетний период позволяет в целом сделать вывод о возрастании минерализации воды в реке, что связано с развитием в Чуйской долине хозяйственной деятельности, особенно орошения. Однако отмеченные изменения по длине р. Чу проявляются по-разному.

Минерализация речных вод в верхнем течении р. Чу, где не наблюдалось заметного роста площадей орошаемых земель, не претерпела существенных изменений на протяжении рассматриваемого периода — с 1911 по 1975 г.

Значения минерализации воды по постам Кутемалды, Семеновский мост, Бурулдайский мост колеблются в интервале 150—400 мг/дм³ (минимальные летом, максимальные зимой). В 1911 г. плотный остаток в этом районе составлял 148,8—187,2 мг/дм³, в 1912 г. — 206,0—250,8 мг/дм³. Минерализация и химический состав воды (гидрокарбонатная с преобладанием кальция в катионной части), по данным поста Бурулдайский мост, в 1971—1975 гг. остались на том же уровне, что и в начале периода наблюдений: средняя за период 1971—1975 гг. минерализация воды оказалась равной 268,3 мг/дм³ (табл. 9.7, рис. 9.5).

В начале средней части долины (посты Миляфан, Чумышская плотина, Константиновский, Васильевка) минерализация довольно постоянно сохраняется в пределах 0,20—0,40 г/дм³. Наблюдаемое в 1971—1975 гг. ее повышение незначительно. В 1910—1912 гг. у поста Константиновский плотный остаток составлял 217,6—264,1 мг/дм³, а у поста Васильевский — 226,4—277,6 мг/дм³. В 1970—1975 гг. у с. Миляфан минерализация воды составила 411,8 мг/дм³. Химический состав воды за период наблюдений существенно не изменился. Подобная ситуация имела место и в первой половине 80-х годов.

Таблица 9.7

Средняя минерализация рек Чу и Талас в различные периоды

Пост	Период (годы)	Количество измерений (анализов)	Средняя минерализация, мг/дм³	Примечание
Река Чу				
Бурулдайский мост	1938—1940	13	245,5	1938—1941 гг. по данным поста Семеновский мост (УГМС)
	1941—1950	9	312,8	
	1951—1957	40	231,6	
	1971—1975	25	268,3	
с. Миляфан	1940	2	372,5	1970—1975 гг. по данным поста Чумышская плотина (ГГИ)
	1941—1943			
	1950	8	354,5	
	1951—1955	34	322,5	
	1970—1975	11	411,8	
	1980—1983	47	399,0	
	1939	2	348,2	
	1945, 1950	5	517,0	
кхл им. Чапаева	1951—1960	49	479,7	
	1967—1970	23	556,3	
	1971—1975	33	681,2	
	1954—1955,	9	581,4	
	1958			
	1974—1975	22	950,4	
свх им. Амангельды	1980—1983	11	850,0	
	1938	2	396,0	
	1950—1951	5	493,6	
	1974—1975	9	897,8	
Река Талас				
с. Караой — 2,6 км ниже устья р. Учкешой	1938—1940	10	187,8	
	1941—1950	20	234,9	
	1951—1955	35	149,2	
	1967—1970	22	159,9	
	1971—1975	30	192,4	
	1980—1983	28	176,8	
	1938—1940	19	270,4	
	1941—1943,	21	294,9	
с. Кировское	1950			
	1951—1955	35	261,4	
	1965—1970	28	277,8	
	1971, 73			
	1973—1975	9	871,5	
	1970	8	291,2	
	1971—1975	40	364,8	
с. Покровка	1980—1983	15	407,0	
	1974—1975	9	628,6	
	1974—1975	9	707,5	
г. Джамбул кхл «Трудовой Пахарь» вдхр Темирбек с. Учарал	1974—1975	10	571,6	
	1950	2	472,4	
	1954—1960	35	490,8	
	1974—1975	4	851,2	

Существенное увеличение минерализации в среднем течении р. Чу произошло в конце 50-х — начале 60-х годов, что связано со значительным увеличением площадей орошаемых земель в Чуйской долине в этот период. Этот процесс продолжается и в настоящее время. По данным для створа с. Ташуткуль, минерализация в вегетационный период увеличилась почти в два раза: от 368,5 в 1911 г. до 720,2 мг/дм³ в 1975 г., а содержание Cl⁻-иона от 24,3 до 33,4 мг/дм³ соответственно. Если же сравнивать пе-

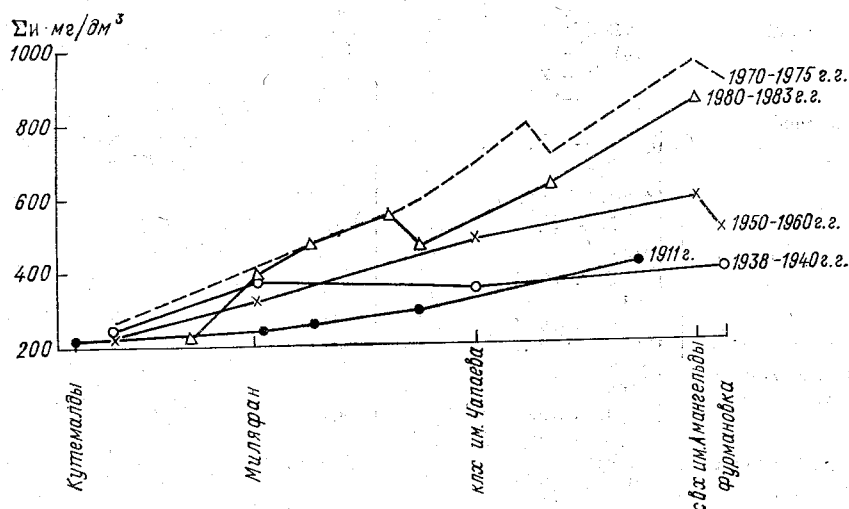


Рис. 9.5. Изменение минерализации воды по руслу р. Чу в разные периоды.

риоды 1951—1960 и 1971—1975 гг., то за это время минерализация в створе у с. Ташуткуль, замыкающем среднее течение р. Чу, возросла в 1,4 раза.

Речные воды в створе у с. Ташуткуль — сульфатно-гидрокарбонатные и сульфатные со смешанным катионным составом. Увеличение минерализации речной воды сопровождалось возрастанием относительного содержания сульфат-иона.

Гидрокарбонатно-кальциевый состав речной воды у сел Караой и Кировское (р. Талас) сохраняется на протяжении всего периода наблюдений. В низовьях р. Талас состав воды — сульфатный с преобладанием в катионной части ионов натрия и магния.

Поскольку развитие орошения в долине р. Талас имело меньшие масштабы, нежели в Чуйской долине, увеличение минерализации и изменение ионного состава речной воды р. Талас намечается лишь как тенденция в нижнем течении (табл. 9.7).

Минерализация речных вод в районах орошаемого земледелия зависит от количества и качества возвратных вод. В то же время минерализация последних в значительной мере определяется содержанием солей в сбросных и дренажно-коллекторных водах.

Полученные данные по составу дренажно-коллекторных вод свидетельствуют об их обогащении растворенными солями, обуславливающим изменение ионного состава (см. раздел 5.4.1). Оросительные воды по составу гидрокарбонатные с преобладанием иона кальция в катионной части. Для дренажно-коллекторных вод характерно заметное преобладание сульфатного иона и натрия. Минерализация вод, сбрасываемых по дренажно-коллекторной сети, увеличивается в 1,5—3 раза по сравнению с той водой, которая поступает по магистральным каналам на орошаемый массив.

Поступающие в реку с дренажно-коллекторными водами соли заметно изменяют минерализацию речных вод. В 1972—1975 гг. ежегодное поступление солей в р. Чу по крупным коллекторам колебалось от 102,76 до 196,05 тыс. т. В эти годы ионный сток по коллекторам в вегетационный период составляет 45—66 % годового и 17 % ионного стока в р. Чу в створе клх им. Чапаева. По отношению к годовому ионному стоку р. Чу в створе клх им. Чапаева ионный сток в коллекторах составляет 13 %.

В 1951—1960 гг. средний годовой вынос растворенных веществ р. Чу в створе клх им. Чапаева составлял 1179,4 тыс. т, а в 1971—1975 гг. — 1149,2 тыс. т. Практически ионный сток в этом створе остался прежним, но в результате уменьшения объема речного стока под влиянием хозяйственной деятельности и главным образом орошения концентрация солей в речной воде увеличилась.

В. М. Стародубцевым [88] выполнена ирригационная оценка речных вод, которая показала, что, если в 50-е годы по всей длине р. Чу ее воды для орошения относились к хорошим, то в 70-е — увеличение минерализации и изменение химического состава воды в среднем и нижнем течении привели к ухудшению качества ирригационных вод.

9.3. Оценка взаимодействия поверхностных и подземных вод методом электроаналогового моделирования

Взаимосвязь русловых и подземных вод обычно изучается методами руслового водного баланса (РВБ) и гидродинамическим, основанным на решении задач фильтрации подземных вод методом конечных разностей. Применение гидродинамического метода для прогнозных оценок взаимосвязи речных и подземных вод по Чуйской впадине весьма затруднено. Основная сложность заключается в резкой неоднородности фильтрационных и емкостных свойств пород в плане и разрезе, взаимодействии различных водоносных горизонтов при очень сложных контурах, разделяющих слабопроницаемые слои, зарегулированности стока р. Чу, в наличии большого числа эксплуатационных скважин, оросительной сети и горизонтального дренажа.

В описанных гидрогеологических условиях перспективным методом прогнозирования притока подземных вод в русло р. Чу

в зависимости от водохозяйственных и мелиоративных условий района является метод моделирования на современных АВМ. Этот метод позволяет более полно учитывать природную структуру и водно-физические свойства фильтрационной среды, сложный характер внешних и внутренних условий в отношении как их геометрии, так и гидравлического воздействия на водоносный горизонт.

9.3.1. Задачи моделирования и исходные материалы

Следует отметить, что моделированию данной задачи предшествовал трехлетний этап работы по сбору и обобщению исходных материалов и разработке фильтрационной схемы модели. За это время был составлен следующий комплект исходных материалов, использованный для моделирования:

1) геологические материалы, включающие геолого-структурную, геолого-фациальную, тектоническую и геоморфологическую карты и геологические разрезы;

2) карты фактического материала, на которые были нанесены все пробуренные на воду скважины с гидрогеологическими данными, водозаборные, дренажные и ирригационные сооружения, горные выработки и другие источники возмущения фильтрационного потока;

3) карты гидрогеологических параметров водоносных горизонтов, таких, как водопроницаемости грунтовых и напорных вод, водоотдачи и упругоемкости, изомощностей и коэффициентов фильтрации слабопроницаемого слоя;

4) материалы, характеризующие положение уровней грунтовых и напорных вод (карты гидроизогипс и гидроизопьез на несколько периодов времени), хронологические графики уровня режима подземных и поверхностных вод;

5) материалы, отражающие внутренние и внешние граничные условия фильтрационного потока, карта инфильтрационного питания, мелиоративно-ирригационная карта, карта взаимосвязи поверхностных водотоков с подземными водами, графики водоотбора по каждому групповому водозабору за период их эксплуатации;

6) результаты расчетов общего водного баланса Чуйской впадины с характеристикой отдельных элементов формирования подземных вод и другие отчетные материалы по результатам исследований 1952—1975 гг.

Все карты составлялись в масштабах 1:200 000 и 1:100 000. Анализ исходных материалов позволил принять следующую программу решения поставленной задачи:

1) воспроизведение квазистационарного режима фильтрации подземных вод, сформировавшегося в результате орошения земель, работы действующих водозаборных сооружений и других водохозяйственных мероприятий по состоянию на 1965 г. путем решения обратной стационарной задачи;

2) воспроизведение нарушенного режима подземных вод в условиях эксплуатации действующих водозаборов и орошаемых земель с учетом изменения водоотбора и режима орошения во времени путем решения обратной нестационарной задачи;

3) прогноз притока подземных вод в русло р. Чу при объеме водоотбора подземных вод и мелиоративном состоянии орошаемых земель на уровень 1977 г., а также при условии введения новых площадей под орошаемое земледелие и увеличение водоотбора подземных вод начиная с 1980 г. С этой целью была разработана расчетная схема фильтрации подземных вод, описание которой дается ниже.

9.3.2. Схематизация природных условий

В пределах изучаемой территории выделяются два существенно различных по структуре фильтрационной среды гидродинамических района. Первый район соответствует зоне распространения отложений конусов выноса вдоль северного склона Киргизского хребта, восточной части Чуйской долины (до широты пос. Ивановское) и зоне современной долины р. Чу. Ко второму району относится предгорная равнина, объединяющая зоны выклинивания и транзита подземных вод.

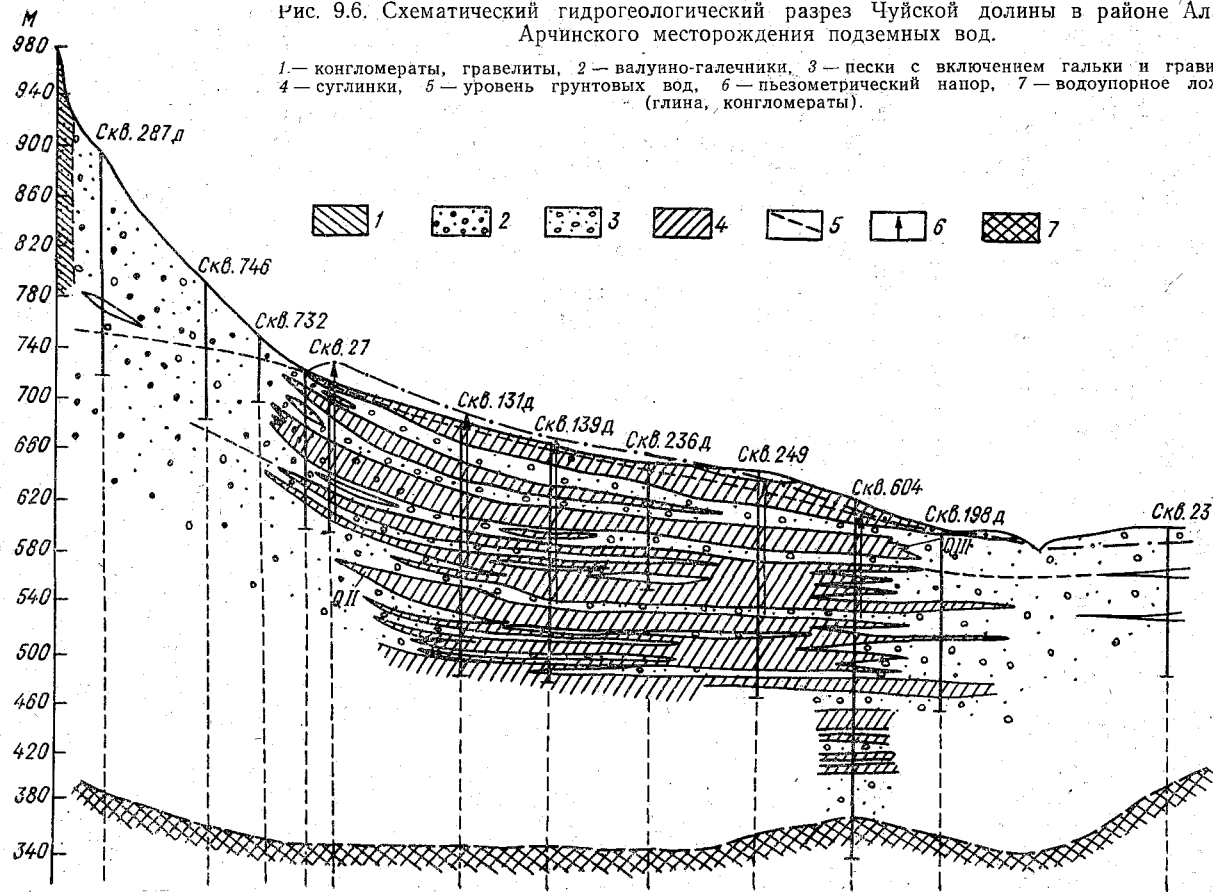
Первый гидродинамический район сложен гравийно-галечниковым и песчаным материалом с относительно однородным строением по вертикали. В разрезе этих отложений прослои слабопроницаемых пород имеют локальный характер распространения. В связи с этим площади развития отложений конусов выноса и современных отложений в долине р. Чу в фильтрационной схеме рассматриваются как однородные по вертикали и кусочно-неоднородные в плане. На конусах выноса плановая неоднородность определяется в основном уменьшением коэффициента фильтрации водоносных пород в направлении к их бортам и к предгорной равнине. На участках современной долины р. Чу фильтрационные свойства зависят главным образом от литологического состава и размера фракций водовмещающих рыхлых пород.

Район предгорной равнины характеризуется весьма сложным строением фильтрационной среды как в плане, так и, особенно, в разрезе. Здесь она представлена слоистой толщей — песками, залегающими в виде маломощных слоев в мощной суглинистой толще (рис. 9.6). Песчаные горизонты имеют прерывистый характер, часто изолированы друг от друга суглинистыми и глинистыми слоями. В направлении к долине р. Чу мощность песчаных слоев уменьшается, увеличивая сопротивление на пути движения потока. При наличии гидростатического давления со стороны водоносного горизонта, приуроченного к отложениям предгорного шлейфа, образуется напорный режим фильтрации подземных вод.

В схеме строения предгорной равнины были выделены два водоносных горизонта, разделенных слабопроницаемым слоем. Первый водоносный горизонт с эффективной мощностью 20—40 м

Рис. 9.6. Схематический гидрогеологический разрез Чуйской долины в районе Ала-Арчинского месторождения подземных вод.

1 — конгломераты, гравелиты, 2 — валуново-галечники, 3 — пески с включением гальки и гравия, 4 — суглинки, 5 — уровень грунтовых вод, 6 — пьезометрический напор, 7 — водоупорное ложе (глина, конгломераты).



(чаще 30—35 м) рассматривается как горизонт грунтовых вод, распространенный по всей территории Чуйской долины. Подошва горизонта грунтовых вод залегает на глубинах 60—120 м (чаще 70—100 м) от земной поверхности.

Водоносный комплекс, распространенный узкой полосой в правобережной части Чуйской долины, из-за слабой его изученности и отсутствия мощных водозаборных сооружений подземных вод принят за единый горизонт грунтовых вод.

Фильтрационные и емкостные свойства горизонта грунтовых вод характеризуются следующими данными: водопроводимость km валунно-галечниковых отложений конусов выноса изменяется от 600 до 9000 м²/сут. Наибольшие ее значения отмечаются в средних частях конусов, а наименьшие (600—1000 м²/сут) — на бортовых участках конусов. Коэффициент водоотдачи валунно-галечниковых отложений составляет 0,2—0,25, а песчаных прослоев — 0,15—0,18. На правобережье р. Чу горизонт грунтовых вод характеризуется водопроводимостью 50—700 м²/сут, коэффициент водоотдачи не превышает 0,15.

Водопроводимость отложений современной долины р. Чу колеблется в пределах 450—11000 м²/сут. Наибольшие ее значения имеют рыхлые отложения, распространенные в верховьях долины, а наименьшие — в районе Ташуткульской плотины, где коренные породы палеозойского возраста почти выходят на дневную поверхность. На остальной части современной долины р. Чу водопроводимость меняется от 600 до 3000 м²/сут.

Второй водоносный горизонт общей мощностью 80—200 м (чаще 120—170 м) фиксируется на глубинах 100—160 м от земной поверхности. Эффективная мощность этого горизонта составляет не более 40 % общей, и она колеблется от 30 до 70 м (чаще 40—60 м). В подошве этого горизонта залегают нерасчлененные верхнеплиоценовые и нижнечетвертичные отложения ($N_2—Q$), представленные толщами конгломератов и гравелитов с мощными прослоями глин и суглинков. Этот водоносный горизонт характеризуется напорным режимом фильтрации. В пределах зоны выклинивания уровень напорных вод устанавливается выше отметок грунтовых вод. Максимальные напоры зафиксированы в южной части этой зоны в полосе шириной 5—10 км, где они на 20—25 м выше поверхности земли. Далее на север к долине р. Чу напор уменьшается.

На схематизированной расчетной модели процесс фильтрации был описан следующей системой уравнений:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k_x H_0 \frac{\partial H_0}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k_y H_0 \frac{\partial H_0}{\partial y} \right) + \frac{k_0}{m_0} (H_1 - H_0) - W_0 = \mu \frac{\partial H_0}{\partial t}, \quad (9.9)$$

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(T_{1,x} \frac{\partial H_1}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(T_{1,y} \frac{\partial H_1}{\partial y} \right) + \frac{k_0}{m_0} (H_0 - H_1) = \mu \frac{\partial H_1}{\partial t}, \quad (9.10)$$

где k_x , k_y , H_0 — соответственно коэффициенты фильтрации пород горизонта грунтовых вод по осям x и y и отметка уровня грунто-

вых вод относительно нулевой плоскости сравнения; k_0, m_0 — коэффициент фильтрации и мощность разделяющего слабопроницаемого слоя; $T_{1,x}, T_{1,y}, H_1$ — соответственно проводимость и пьезометрический напор в напорном водоносном горизонте.

Среднее положение напоров, характерное в целом для выделенного напорного водоносного горизонта, определялось по данным фактических замеров напоров в процессе проходки скважин по зависимости

$$H_{\text{ср}} = [H_1(km)_1 + H_2(km)_2 + \dots + H_n(km)_n] / \sum_{i=1}^{i=n} (km)_n, \quad (9.11)$$

где $H_{\text{ср}}$ — отметка осредненной поверхности пьезометрического напора в данной точке поля; H_i — отметка уровней воды во вскрытых скважиной песчаных прослоях данного объединенного водоносного горизонта; $(km)_i$ — водопроводимость соответствующих слоев данного водоносного горизонта.

В схеме взаимодействия напорного водоносного горизонта с вышележащим горизонтом грунтовых вод учитывается принцип Мятлева—Гиринского, согласно которому в слабопроницаемом разделяющем слое имеет место только вертикальная фильтрация, т. е. $k_{0,x}, k_{0,y} = 0$.

В пределах Чуйской долины южной и северной границами области фильтрации подземных вод принимаются контуры приращения отложений конусов выноса к коренным мезокайнозойским и палеозойским породам Киргизского хребта и Чу-Илийский гор. Приток подземных вод со стороны горного массива через эти границы, как отмечается в работах М. И. Каплинского [36], У. М. Ахмедсафина [6] и других исследователей, не превышает 2,5 % суммы динамических ресурсов подземных вод. Учитывая весьма малое его значение, указанные границы по обоим бортам долины р. Чу аппроксимируются как непроницаемые ($Q_{г1,3} = 0$).

Западная граница моделируемой области частично проходит по контуру р. Курагата (до ж.-д. станции Аспара), а затем по гидроизогипсе с отметкой 500 м до пересечения ее с контуром северной границы в районе Ташуткульской плотины. По контуру р. Курагаты, которая характеризуется как типичная река с грунтовым питанием, задавались граничные условия III рода

$$Q_{гi} = (H_i - H_{i3}) / \Phi_n, \quad (9.12)$$

где $Q_{гi}$ — расход выклинивающихся грунтовых вод в русло реки в i -й точке; H_i, H_{i3} — соответственно отметка бытового напора грунтовых вод и отметка поверхности земли в бортовой части русла реки в i -й точке; Φ — фильтрационное сопротивление.

Часть контура западной границы моделируемой области, проходящей по гидроизогипсе с отметкой 500 м, рассматривается как граница I рода ($H_{гi} = \text{const}$). Восточная граница области моделирования проходит по линии тектонического разлома, которая про-

слеживается в районе Бурулдайского массива. Она рассматривается как граница с постоянным притоком подземных вод со стороны горного массива $Q_{г2} = f(x, y)$.

Площадь развития отложений конусов выноса в целом аппроксимируется как область питания подземных вод за счет фильтрации речных вод, стекающих с горного массива, потерь оросительной воды на полях и инфильтрации атмосферных осадков.

Непосредственно на территории зоны выклинивания подземных вод и вблизи ее располагаются существующие и проектируемые водозаборы. При эксплуатации последних часть выклинивающихся или испаряющихся подземных вод будет привлекаться в водоносный горизонт, причем объем привлекаемой водозаборами воды будет изменяться во времени. Учитывая это обстоятельство, при решении нестационарных задач зона выклинивания подземных вод рассматривается как граничные условия III рода, переходящие в граничные условия II рода при снижении бытового напора до отметки поверхности земли. Описанная зависимость задания граничных условий выражается формулами вида:

$$\Delta Q_{в/S_t < H_0^в} = S_t(x, y, t)/\Phi_в(x, y), \quad (9.13)$$

$$\Delta Q_{в/S_t \geq H_0^в} = Q_{ир}(x, y), \quad (9.14)$$

где $\Delta Q_в$ — разница между расходом подземных вод на выклинивание или испарение в естественных условиях и при некотором понижении напора подземных вод за время $t(S_t)$ $Q_{ир}$ — расход подземных вод на выклинивание или испарение в естественных условиях; $H_0^в$ — превышение напора подземных вод над поверхностью земли в зоне выклинивания или критическая глубина испарения подземных вод в естественных условиях.

При решении стационарных задач для зоны выклинивания задаются граничные условия II рода с постоянным во времени расходом $Q_{ир} = f(x, y)$. Густая речная сеть (типа «карасу»), образующаяся в основном за счет выклинивания подземных вод, с момента вовлечения ее в область влияния водозаборов рассматривалась как источник дополнительного питания подземных вод. В зависимости от степени влияния водосборов на уровенный режим рек задавались граничные условия II рода (стационарные задачи) и III рода с переходом на граничные условия II рода — в нестационарной постановке.

Река Чу является региональной дренажной подземных вод Чуйской долины в описанных границах. Участок русла реки от Ташуткульской плотины до Токмакского гидроствора рассматривается как граница I рода с постоянным во времени напором $H_p = f(x, y)$. Следует заметить, что этот участок реки с учетом его несовершенства вообще должен был аппроксимироваться как граница III рода. Однако расчеты показали, что дополнительные фильтрационные сопротивления, учитывающие несовершенство

русла реки, весьма незначительны (25—250 Ом) по сравнению с сопротивлениями фильтрационного поля. Поэтому, как уже отмечалось выше, река на первом участке рассматривается как совершенная с заданием граничных условий I рода.

Участок русла реки от Токмакского гидроствора и выше по течению до самого Бурулдайского моста, где происходит фильтрация вод р. Чу в грунтовые воды, схематизируется как граничное условие II рода заданием на этот контур постоянной во времени свободной фильтрации речных вод в объеме $19,8 \text{ м}^3/\text{с}$ (рис. 9.7).

Аналогичное граничное условие задается по контуру р. Красной, которая образуется за счет выклинивания подземных вод в Токмакских болотах в объеме до $25 \text{ м}^3/\text{с}$. Такое обильное выклинивание подземных вод на этом участке объясняется наличием неотектонического поднятия, так называемого Токмакского вала.

При моделировании отдельные водозаборные скважины, расположенные недалеко друг от друга, объединялись в группы, которые в дальнейшем рассматривались как «большой колодец» с координатами центра тяжести [9]

$$x = \sum Q_i x_i / \sum Q_i \text{ и } y = \sum Q_i y_i / \sum Q_i, \quad (9.15)$$

где Q_i — расход i -й скважины, входящей в данную группу; x_i, y_i — координаты i -й скважины по осям x и y от условно выбранной точки.

9.3.3. Построение и функционирование электроаналоговой модели

Электрическая модель, воспроизводящая расчетную схему фильтрации вод р. Чу, состояла из двух сеток электрических сопротивлений для горизонтов безнапорных и напорных вод. Обе эти сетки соединялись вертикальными сопротивлениями R_z , моделирующими разделяющий слабопроницаемый слой (рис. 9.8). Сопротивления $R_{x,y}$, учитывающие переход от однослойного пласта к двухслойной системе, определялись следующим методом. При контактная зона однослойного водоносного горизонта разбивалась на отдельные слои мощностью, равной каждому выделенному водоносному горизонту многослойной системы. Затем сопротивление условно выделенных горизонтов определялось по формуле

$$R'_x = k_R [\Delta x / (k' m')_i \Delta y], \quad R'_y = k_R [\Delta y / (k' m')_i \Delta x], \quad (9.16)$$

где Δx и Δy — длина шага сетки по осям x и y до первого соседнего узла блока на границе перехода однослойного пласта к многослойным; k_R — масштабный коэффициент сопротивлений; k — коэффициент фильтрации пород однослойного пласта; m' — мощность i -го слоя многослойной толщи на границе контакта с однослойным горизонтом.

При этом должно соблюдаться условие

$$\frac{1}{R_{x,y}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} + \dots + \frac{1}{R_n}, \quad (9.17)$$

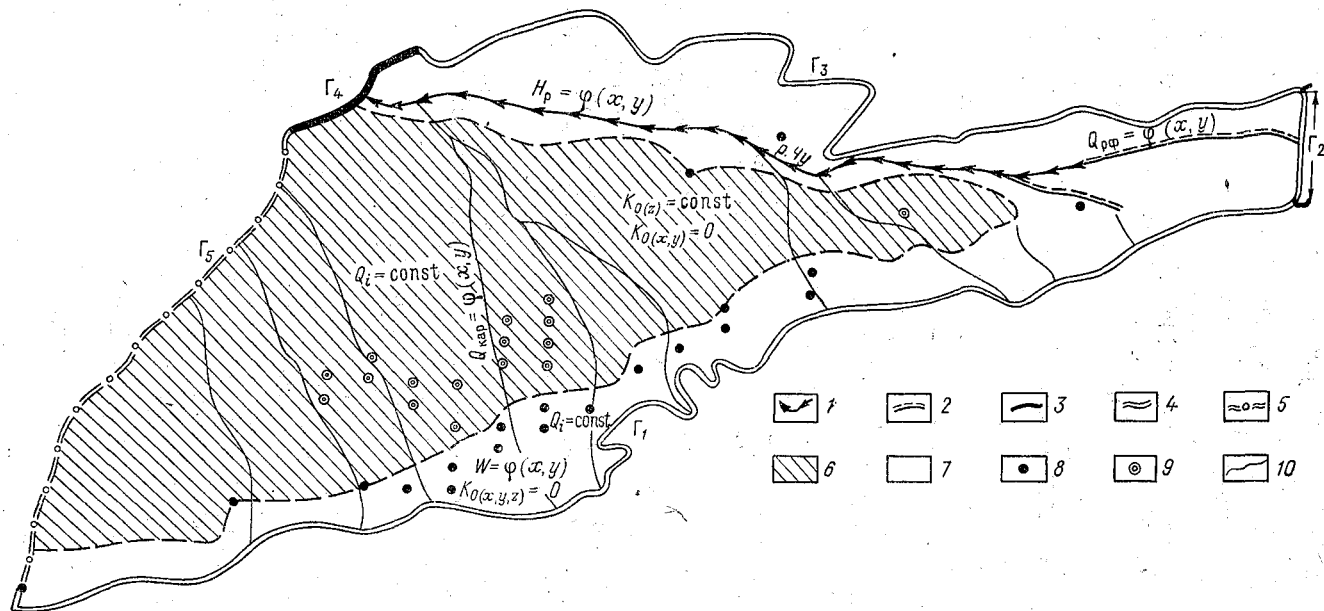


Рис. 9.7. Схема задания граничных условий при решении обратной стационарной задачи.
 1 — контур русла р. Чу с граничными условиями первого рода [$H_p = \varphi(x, y)$]; 2 — контур русла р. Чу с граничными условиями второго рода [$Q_{p\phi} = \varphi(x, y)$]; 3 — контур модели с граничными условиями первого рода [$H_{\Gamma_4} = \text{const}$]; 4 — внешний контур модели с граничными условиями второго рода [$Q_{\Gamma_{1,3}} = 0$; $Q_{\Gamma_4} \neq 0$]; 5 — внешний контур модели по р. Кургата с граничными условиями третьего рода [$Q_{\Gamma_5} = (H_2 - H_{13})/\Phi$]; 6 — участок, схематизированный как трехслойная система; 7 — участок, схематизированный как однослойный безнапорный водоносный горизонт; 8 — водозаборы, эксплуатирующие горизонт грунтовых вод [$Q_i = \text{const}$]; 9 — водозаборы, эксплуатирующие горизонт напорных вод; 10 — внутренние реки типа «карасу», заданные граничными условиями второго рода [$Q_{\text{кар}} = \varphi(x, y)$].

где $R_{x,y}$ — общее сопротивление переходного блока в пределах однослойного пласта по осям x и y ; R_i, R_n — сопротивления, определяемые по формуле (9.16).

Рассмотрим применение электроаналогового моделирования к условиям Чуйской долины. Анализ гидрогеологических материалов показал, что в 1967 г. в пределах моделируемой области наблюдался установившийся режим уровня подземных вод, нарушенный лишь на небольших участках действующих водозаборов и орошаемых земель. Однако и на этих участках систематического

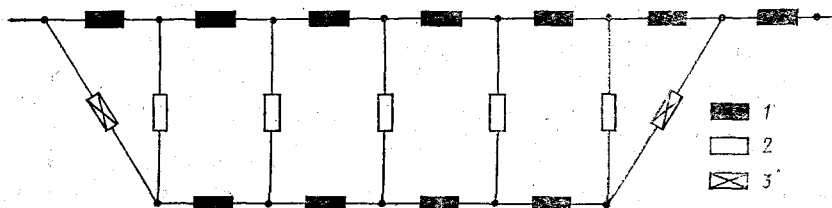


Рис. 9.8. Схематический разрез электрической модели Чуйской межгорной долины.

1 — сопротивления по координатам x и y , 2 — вертикальные сопротивления слабопроницаемых слоев, 3 — сопротивления, моделирующие переходную зону.

подъема или спада уровней не происходило. Здесь уровни подземных вод восстанавливались до бытового вскоре после прекращения полива или водоотбора.

Для воспроизведения на модели поверхности установившегося уровня подземных вод использовались карты гидроизогипс, составленные по средним годовым отметкам уровней подземных вод 1967 г.

Применяемая обратная стационарная задача решалась на основе данных о напорах. В соответствии с природной обстановкой при расчете масштаба напоров за 100 % потенциала была принята максимальная отметка уровня воды $H_{\text{макс}}$, равная 1150 м, а за 0 % потенциала — напор с отметкой 450 м ($H_{\text{мин}}$).

Решение обратной стационарной задачи заключалось в получении на модели по каждому горизонту потенциальных полей, близко совпадающих с фактической пьезометрической поверхностью соответствующих горизонтов. Первоначально на модель были заданы элементы формирования подземных вод в количествах, оцененных воднобалансовыми расчетами в работе [36], а также исследованиями ГГИ. Однако результаты решения в такой постановке давали большие расхождения напоров с соответствующими исходными картами гидроизогипс не только по высотному их положению, но и по пространственной их конфигурации. Для достижения удовлетворительного совпадения модельных и натурных уровней подземных вод путем подбора изменялись параметры слабопроницаемого разделяющего слоя, распространенного в предгорной равнине.

По результатам решения обратной стационарной задачи были уточнены исходные значения коэффициентов фильтрации слабо-проницаемого слоя в сторону увеличения на один порядок. Исходная водопроницаемость водоносных пород практически не изменялась, за исключением лишь узкой полосы правобережного предгорного шлейфа, где ее значение было увеличено в два раза вместо исходного значения равного $50 \text{ м}^2/\text{сут.}$

Сравнение модельных и натурных данных показывает, что на преобладающей площади гипсометрические поверхности подземных вод, полученные моделированием, практически совпадают с фактическими как по конфигурации гидроизогипс, так и по высотному положению. Хорошая сходимость характерна почти для всей предгорной равнины и современной долины р. Чу, где имеется достаточно густая сеть режимных скважин. Здесь разница между модельными и натурными значениями отметок не превышает $\pm 0,5 \%$.

Однако в отдельных точках модели расхождение достигает 7—12 %. Такие точки имеют место в полосе распространения отложенных конусов выноса южной и северной границ моделируемой территории, где рисовка исходных гидроизогипс является приближенной. Кроме того, на этих участках подбор уровней подземных вод чрезвычайно труден из-за резких перепадов их отметок. В таких случаях более правильно отдавать предпочтение уровенным отметкам, полученным моделированием, которое более полно учитывает особенности гидрогеологических условий участков.

В целом результаты решения обратной стационарной задачи показали, что принятая модель вполне отражает природную схему фильтрации подземных вод и уточненные значения фильтрационных параметров водоносных пород близки к действительным. Результаты расчета баланса подземных вод по данным моделирования и методом общего водного баланса [49] представлены в табл. 9.8.

Выклинивание подземных вод в русло р. Чу на участке от Токмакского гидроствора до Ташуткульской плотины определялись по формуле

$$Q_{pr_i} = k_R [(u_i - u_0)/R_i k_U], \quad (9.18)$$

где Q_{pr_i} — расход выклинивающихся подземных вод в i -м блоке, моделирующем русло реки, $\text{м}^3/\text{с}$; U_i , U_0 — электрический потенциал соответственно в i -м расчетном блоке модели, %; k_U — масштабный коэффициент напряжения; R_i — сопротивление сетки между соседним и расчетным блоками модели, Ом.

Также по формуле (9.18) оценивался отток подземных вод за пределы моделируемой области по контуру Γ_4 западной границы, где задавались граничные условия первого рода (см. рис. 9.6).

Сравнение между собой результатов расчета баланса подземных вод, полученных двумя методами, позволяет отметить следующее. По данным моделирования суммарное питание подземных вод

Таблица 9.8

**Сравнительная характеристика составляющих баланса подземных вод,
определенных методами электромоделирования и балансовым**

Элементы баланса подземных вод	Моделирование		Балансовый метод		Разница между моделированием и расчетом по балансовому методу, м³/с
	м³/с	%	м³/с	%	

Питание

Инфильтрация атмосферных осадков, притока со стороны, фильтрация речных вод, стекающих с горного массива, поливных вод на поля и из оросительной сети, $Q_{\text{ш}}$	51,34	74,7	85,1	81,1	33,8
Фильтрация вод р. Чу от Бурулдайского моста до Токмакского гидроствора, $Q_{\text{рф}}$	17,4	25,3	19,8	18,9	2,4
Итого	68,74	100	104,9	100	36,2

Расход

Испарение с уровня грунтовых вод и родниковый сток, $Q_{\text{ир}}$	18,1	26,3	36,1	34,4	18,0
Выклинивание в бассейне р. Красной, $Q_{\text{к}}$	23,0	35,5	25,1	24,0	2,1
Выклинивание в р. Чу, $Q_{\text{р.г}}$	17,0	24,6	39,8	37,9	22,8
в том числе:					
от Токмакского гидроствора	11,0				
до Чумышской плотины, $Q_{\text{рг}}$	6,0				
от Чумышской плотины до Ташуткульского водохранилища, $Q_{\text{р.г}}$	7,4	10,7	1,5	1,4	-5,9
Водоотбор из скважины, $Q_{\text{ск}}$	3,24	4,9	2,4	2,3	-0,84
Отток через западную границу за пределы моделируемой области, $Q_{\text{от}}$					
Итого	68,74	100	104,9	100	36,2

равно 68,74 м³/с, в том числе: 1) за счет фильтрации речных вод (без р. Чу), стекающих с горного обрамления, инфильтрации атмосферных осадков, поливных вод на полях и из оросительной сети $Q_{\text{ш}}$ 51,34 м³/с; 2) за счет фильтрации вод р. Чу на участке русла от Бурулдайского моста до Токмакского гидроствора $Q_{\text{рф}}$ 17,4 м³/с. По данным балансовых расчетов эти величины соответственно равны 85,1 и 19,8 м³/с и расхождения составляют 33,8 и 2,4 м³/с.

Суммарный расход подземных вод на испарение и образование

родникового стока, полученный по данным моделирования, равен $18,1 \text{ м}^3/\text{с}$ против $36,1 \text{ м}^3/\text{с}$, рассчитанных балансовым методом.

Выклинивание подземных вод непосредственно в русло р. Чу на участке от Токмакского гидроствора до Ташуткульской плотины равно $17 \text{ м}^3/\text{с}$. В пределах двух участков реки это значение распределилось следующим образом: от Токмакского гидроствора до Чумышской плотины — $11 \text{ м}^3/\text{с}$, причем интенсивность выклинивания составила $0,25 \text{ м}^3/\text{с}$ на 1 км пог. длины реки; от Чумышской плотины до Ташуткульского водохранилища — $6 \text{ м}^3/\text{с}$, что соответствует интенсивности выклинивания $0,06 \text{ м}^3/\text{с}$ на 1 км пог. длины.

Очевидно, что большие расхождения в значениях таких элементов формирования подземных вод, как суммарное питание $Q_{\text{в}}$, расход воды на испарение и образование родникового стока $Q_{\text{ир}}$, вызваны как неполнотой учета их при балансовых исследованиях, так и несовпадением сопоставляемых расчетных периодов. Безусловно, с 1959 по 1967 г. улучшалась техника полива, увеличивался КПД оросительных систем, были проведены многие другие водохозяйственные мероприятия, которые несомненно отразились на уровненом режиме подземных вод Чуйской впадины, а последние в свою очередь повлияли на результаты моделирования.

Анализ результатов моделирования обратной стационарной задачи позволяет отметить, что основной частью баланса подземных вод в пределах Чуйской впадины является фильтрация речных вод, стекающих с горного массива, инфильтрация атмосферных осадков и поливных вод на полях и из оросительной сети. Эта статья баланса составляет $74,7 \%$ его, а потеря вод р. Чу на питание подземных вод на участке от Бурулдайского моста до Токмакского гидроствора — $25,3 \%$.

В расходной части баланса основную роль играет выклинивание подземных вод в реки Красную и Чу ($60,1 \%$ этой части баланса), затем расходование подземных вод на площадное испарение и выклинивание по рекам типа «карасу» — $26,3 \%$. Водоотбор подземных вод в 1967 г. по сравнению с 1959 г. увеличился почти в пять раз, т. е. с $1,59$ до $7,5 \text{ м}^3/\text{с}$.

В целом, результаты решения обратной стационарной задачи показали, что расчетная схема фильтрации подземных вод и схема задания внешних и внутренних граничных условий вполне отражают натурные условия формирования подземных вод.

Результаты решения обратной стационарной задачи были использованы для следующего этапа решения обратной задачи в условиях нестационарного режима, основной целью которой являлась оценка водоотдачи пород водоносного горизонта.

Обратная нестационарная задача в отличие от стационарной заключалась в воспроизведении на модели режима подземных вод с 1967 по 1977 г. в условиях работы водозаборов. Эта задача и все варианты прогнозных задач решались при понижении уровней подземных вод относительно отметок, сформировавшихся в 1967 г. Поэтому начальные условия задавались в виде $S_{t=t_0}=0$.

По каждому водозабору и эксплуатационной скважине задавались средние годовые расходы подземных вод, определяемые по выражению

$$\Delta Q_{t_i} = Q_{t_i} - Q_{t_0}, \quad (9.19)$$

где Q_{t_i} — средний годовой расход i -й скважины, $\text{м}^3/\text{с}$; Q_{t_0} — средний годовой расход этой же скважины при $t=0$ (1967 г.); ΔQ_{t_i} — разница между расходами в i -й скважине при $t \neq 0$ и $t = 0$.

Зона выклинивания и густая речная сеть типа «карасу» на предгорной равнине рассматривались как граничные условия III рода, переходящие в граничные условия II рода, с начальными значениями расходов, полученными в результате решения стационарной обратной задачи. Сопротивления при задании граничных условий III рода определялись по формуле

$$R_i = k_R (\Delta H_0^B / Q_B), \quad (9.20)$$

где Q_B — расход подземных вод в узловой точке, моделирующей зону выклинивания, русло источника «карасу» или испарение подземных вод, определенный подбором при решении обратной стационарной задачи.

По данным режимных наблюдений, среднее значение ΔH_0^B в зоне выклинивания и в руслах источников «карасу» от земной поверхности составляло около 2 м, критическая глубина залегания грунтовых вод была принята равной 3 м.

Следует отметить, что при решении обратной нестационарной задачи емкостные свойства напорного водоносного горизонта не подбирались, а подбирались лишь водоотдача для горизонта грунтовых вод. Исходные значения коэффициента упругой водоотдачи для напорного водоносного горизонта определялись по известной формуле

$$\mu^* = \Delta \beta^* m_s, \quad (9.21)$$

где μ^* — коэффициент упругой водоотдачи; Δ — объемный вес воды, принятый равным 1; m_s — эффективная мощность водоносного горизонта; β^* — коэффициент упругоэластичности, в нашем случае принятый равным $1,10^{-3}$.

Подбор и контроль решения обратной стационарной задачи осуществлялся по 62 точкам на модели, в которых имелись средние значения фактических понижений уровней подземных вод по состоянию на 1975 г.

Сопоставления модельных и фактических понижений уровней грунтовых вод показали их хорошую сходимость. Так, например, в 10 точках наибольшая разница не превышала 1,5 м, а в остальных 52 точках была не более 0,5 м.

Таким образом, решение обратных задач (стационарной и нестационарной) позволило выявить не только общий характер схемы фильтрации подземных вод района, но и оценить элементы

формирования подземных вод, уточнить фильтрационные свойства водовмещающих пород и разделяющих их слабопроницаемых слоев в тесной увязке с геологическим строением и гидрогеологическими условиями Чуйской долины.

9.3.4. Прогноз изменения притока подземных вод под влиянием хозяйственной деятельности

Прогнозная оценка притока подземных вод в русло р. Чу, полученного методом моделирования, выполнялась на основе прогноза уровней подземных вод с учетом режима водоотбора этих вод и срока ввода новых площадей под орошаемое земледелие.

Прогнозное решение было выполнено в двух вариантах в следующей постановке: I — прогноз уровней подземных вод на перспективу при существующем на 1977 г. водоотборе подземных вод и мелиоративном состоянии орошаемых земель; II — прогноз уровней подземных вод при увеличении водоотбора подземных вод и орошения новых земель начиная с 1980 г.

Вариант I. По состоянию на 1977 г. в пределах моделируемой области эксплуатировалось около 40 обобщенных крупных водозаборных кустов с суммарным дебитом $10,3 \text{ м}^3/\text{с}$.

Анализ результатов решения по этому варианту показывает, что (см. рис. 9.9) при продолжении эксплуатации всех действующих водозаборных кустов с заданным дебитом уровень подземных вод на последних понизится.

Возможное максимальное понижение уровня подземных вод на Ала-Арчинском водозаборе составит около 4 м, на Калининском участке — 5,6 м, Сухулукском — 7,4 м. На остальных водозаборных кустах понижения уровня к концу прогнозного периода составят 1,2—6,6 м, чаще 4—6,6 м.

В горизонте напорных вод наибольшее снижение уровня подземных вод отмечается на участке Аспаринского месторождения — до 9,6 м. На других месторождениях понижение напоров не превышает 8,6 м.

Снижение уровня грунтовых вод вызовет частичное пересыхание источников — «карасу» и уменьшение испарения с поверхности грунтовых вод, т. е. будет иметь место инверсионное восполнение запасов подземных вод.

Динамика восполнения запасов подземных вод во времени рассчитывалась по выражению

$$Q'_t = S_t Q_{\text{ир}} / H_0^3, \quad (9.22)$$

где Q'_t — дебит восполняемых подземных вод за расчетное время t , $\text{м}^3/\text{с}$; $Q_{\text{ир}}$ — расход подземных вод на выклинивание или испарение с поверхности грунтовых вод.

Из табл. 9.9 видно, что суммарное выклинивание (совместно с испарением) подземных вод на дневную поверхность в начале прогнозного периода уменьшится на $2,42 \text{ м}^3/\text{с}$, а к концу — на $3,73 \text{ м}^3/\text{с}$.

Таблица 9.9

Динамика восполнения запасов подземных вод

Вид восполнения	Восполнение запасов подземных вод			
	вариант I		вариант II	
	прогнозный период			
	начало	конец	начало	конец
Инверсия выклинивания и испарения подземных вод, $\frac{\text{м}^3/\text{с}}{\%}$	$\frac{2,42}{13,4}$	$\frac{3,73}{20,6}$	$\frac{3,83}{21,2}$	$\frac{4,57}{25,3}$

Примечание. В знаменателе — содержание по отношению к общей сумме возможного восполнения ($18,1 \text{ м}^3/\text{с}$) без учета выклинивания в бассейнах рек Красной и Курагаты.

Изменения притока подземных вод в русло р. Чу на перспективу по сравнению с 1967 г. (при стационарном режиме) оценены по формуле (9.23) и даны в табл. 9.10.

$$\Delta Q_{\text{пр},it} = k_R [(S_i - S_0)/R i k_U], \quad (9.23)$$

где $\Delta Q_{\text{пр},it}$ — изменение расхода подземных вод, выклинивающихся в русло реки в i -м блоке, моделирующем русло реки, за время t ; S_i, S_0 — понижение уровня грунтовых вод в соседнем i -м и в расчетном блоках за время t , %.

Остальные обозначения прежние.

Как следует из табл. 9.10, расход подземных вод, выклинивающихся в русло р. Чу, сохраняется почти таким, каким был при стационарном режиме в 1967 г.

Таблица 9.10

Прогноз изменения подземного притока в р. Чу (вариант I)

Участок русла	Уменьшение расхода выклинивающихся подземных вод, $\text{м}^3/\text{с}$	
	прогнозный период	
	начало	конец
От Токмакского гидроствора до Чумышской плотины	$\frac{0,04}{10,96}$	$\frac{0,04}{10,96}$
От Чумышской плотины до Ташуткульского водохранилища	$\frac{0,22}{5,78}$	$\frac{0,27}{5,73}$

Примечание. Здесь и в табл. 9.11 в знаменателе — расход выклинивающихся подземных вод в русло р. Чу на расчетные периоды.

По результатам решения задачи по варианту I следует, что: при существующей схеме размещения водозаборов и режиме их эксплуатации, а также уровне мелиорации орошаемых земель понижение уровня подземных вод в Чуйской долине к концу прогнозного периода не превысит 7,4 (для грунтовых вод) — 11,5 м (для напорных вод);

под влиянием водоотбора подземных вод уменьшится выклинивание грунтовых вод на дневную поверхность до 3,73 м³/с и увеличатся запасы подземных вод за счет инверсии по руслам источников-«карасу» и уменьшения испарения с поверхности подземных вод;

суммарное выклинивание подземных вод в русло р. Чу на участке от Токмакского гидроствора до Ташуткульской плотины к концу расчетного периода составит 16,69 м³/с и по сравнению с 1967 г. уменьшится всего лишь на 0,31 м³/с.

В а р и а н т II. При моделировании по данному варианту ставилась задача оценить приток подземных вод в русло р. Чу на расчетный период при условии, что в 1980 г. увеличивается отбор подземных вод на следующих водозаборах: Луговском, Меркенском, Калининском, Сокулукском, Ала-Арчинском, Токмакском, Георгиевском, Канинском и Быстровском. В перспективе суммарный их водоотбор составит 21,1 м³/с. При этом с 1980 г. будут введены под орошение новые массивы земель (рис. 9.9).

Инфильтрационное питание на вновь орошаемых участках принимается таким же, как и на староорошаемых площадях. По данным М. И. Каплинского, инфильтрация поливных вод до уровня грунтовых вод составляла 42,45 м/с при площади орошения, равной 288,9 тыс. га, что соответствует интенсивности инфильтрационного питания в 450 мм/год.

На вновь орошаемых площадях это значение было принято за норму инфильтрационного питания подземных вод.

Предварительное опробование варианта II на модели показало, что применение указанной нормы питания на участках, расположенных в зоне выклинивания и транзита подземных вод с глубиной залегания 2—8 м и меньше, приводит к затоплению площадей орошаемых земель через 4—6 лет после их освоения. В связи с этим в конечной постановке варианта II дополнительное орошение на модели задавалось только на участках, расположенных в зоне формирования подземных вод, где уровни грунтовых вод залегают относительно глубоко. В остальном вариант II подобен варианту I.

Результаты решения задачи по варианту II в виде изолинии понижения уровней и напоров грунтовых вод на конец расчетного периода даны на рис. 9.11.

Рассмотрение данного варианта показывает, что на вновь орошаемых участках к концу прогнозного периода произойдет подъем уровня грунтовых вод на 2—12 м. Причем наибольшие их значения (10—12 м) приурочиваются к участкам правобережной части долины р. Чу (район с. Георгиевки, г. Токмак). На участках лево-

бережья подъем уровня, вызванный поливом, не превысит 7,5 м, чаще будет находиться в пределах 0,4—4,2 м.

Понижение уровней подземных вод на участках водозаборов, примыкающих или близко расположенных к новоорошаемым территориям, по сравнению с вариантом I уменьшится на 0,4—6,6 м. Так, на участке Калининского водозабора в точке с координатами $x=11$ и $y=9$ это понижение уменьшилось на 4,2 м, несмотря на увеличение водоотбора. На других водозаборах, удаленных от новоорошаемых земель, понижение уровней не превысит 12 м, за исключением водозаборных кустов Ала-Арчинского месторождения подземных вод, где пьезометрические напоры понижаются на 44—89 м относительно статических. Резкое понижение напоров на этом участке вызвано ростом суммарного водоотбора до 5,4 м³/с.

Анализ данных табл. 9.9 показывает, что восполняемые запасы подземных вод за счет инверсии на выклинивание и испарение с поверхности грунтовых вод со временем увеличиваются. Так, например, последние к концу прогнозного периода достигнут 4,57 м³/с. Однако темп роста инверсионных запасов во времени меньше, чем при решении варианта I, что связано с вводом новых орошаемых площадей, на которых происходит восполнение динамических запасов подземных вод.

Расчет притока подземных вод в русло р. Чу, выполненный по формуле (9.23), приведен в табл. 9.11. Из нее видно, что при

Таблица 9.11

Прогноз изменения подземного притока в р. Чу (вариант II)

Участок русла	Изменение выклинивающихся подземных вод, м ³ /с	
	прогнозный период	
	начало	окончание
От Токмакского гидроствора до Чумышской плотины	$\frac{0,00}{11,00}$	$\frac{0,52}{10,48}$
От Чумышской плотины до Ташуткульского водохранилища	$\frac{0,26}{5,74}$	$\frac{0,32}{5,68}$

условии увеличения отбора подземных вод по сравнению с 1967 г. примерно на 14 м³/с при одновременном расширении площадей новоорошаемых земель суммарный приток подземных вод в русло р. Чу от Токмакского гидроствора до Ташуткульского водохранилища к концу прогнозного периода уменьшится всего на 5 % (по отношению к бытовому) и составит 16,2 м³/с вместо 17 м³/с в 1967 г. Уменьшение притока на 0,8 м³/с обуславливается развитием депрессионной воронки от Ала-Арчинского водозабора с суммарным дебитом 8,2 м³/с. Таким образом, если на левобе-

режье долины под влиянием работы Ала-Арчинского водозабора происходит перехват подземного потока, движущегося к реке, то на правобережье этой долины происходит восполнение динамических запасов за счет орошения новых площадей.

В целом по результатам решения варианта II можно сделать следующие основные выводы:

проектируемые под орошение земли, расположенные в зонах выклинивания и транзита подземных вод, могут быть введены в строй действующих только при условии заложения дренажной сети. В противном случае через 4—6 лет им грозит затопление;

орошение новых участков земель при интенсивности инфильтрационного питания 450 мм/год увеличивает не только динамические запасы подземных вод района, но и продолжительность существования зоны выклинивания подземных вод с ее многочисленными источниками-«карасу»;

запроектированный режим и объем водоотбора подземных вод в сумме 21,1 м³/с при существующей схеме размещения водозаборов не приведет к заметному уменьшению притока подземных вод в русло реки Чу. Этот приток к концу прогнозного периода составит около 16 м³/с;

моделированием варианта II выявлено, что под влиянием увеличения отбора подземных вод скважинами уменьшается количество выклинивающихся подземных вод на дневную поверхность и расход выклинивающихся вод к концу прогнозного периода составит 13,5 м³/с против 18,1 м³/с в бытовых условиях (на 1967 г.). Если принять оросительную норму равной 3500 м³/год, то за счет этих вод можно оросить дополнительно 121,5 тыс. га.

Таким образом, исследования и методические проработки, выполненные на примере Чуйской долины, показали возможность воспроизведения на модели схемы фильтрации в сложных гидрогеологических условиях при наличии определенной информации о гидрогеологических, геолого-литологических и мелиоративных условиях района.

Необходимо отметить, что решающее значение для определения точности получаемых этим методом результатов, имеет полнота и качество исходной информации. В противном случае схематизация природных условий и осреднение по площади гидрогеологических параметров могут привести к существенным расхождениям, что ярко иллюстрируется сравнением оценок взаимодействия поверхностных и подземных вод р. Чу методом руслового водного баланса (39,8 м³/с) и аналогового электромоделирования (17,0 м³/с). Вместе с тем моделирование является важным шагом вперед в процессе познания такого сложнейшего региона, как бассейн р. Чу, и проделанная работа должна стать основой для дальнейшего уточнения и детализации полученных результатов.

10. ВОДНЫЙ БАЛАНС ЧУЙСКОЙ ДОЛИНЫ И ПОКАЗАТЕЛИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЕЕ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

Полевые воднобалансовые и мелиоративные исследования на рассматриваемой территории проводились с 1958 г. КиргНИИВХ, а затем ВНИИКАМС совместно с Минводхозом Киргизской ССР и Киргизской гидрогеологической экспедицией (КГЭ) Мингео КиргССР на трех воднобалансовых участках и Панфиловской оросительной системе в целом, на семи опытных участках вертикального и восьми горизонтального дренажа в различных зонах Чуйской долины [41, 42].

Целью этих исследований являлось обоснование комплекса водохозяйственных мероприятий, разработка рациональной структуры водного баланса, при которой возможен выход продукции высокого качества — максимально возможный, а затраты водных, земельных, трудовых и энергетических ресурсов на единицу продукции — минимально возможные [37, 38, 39].

На основе результатов изучения регионального годового водного баланса Чуйской долины (в пределах КиргССР) за многолетний период освещены следующие вопросы:

- изменения структуры водного баланса, размеров безвозвратного изъятия стока и оттока поверхностных вод по замыкающему створу в результате развития орошения (и других отраслей водного хозяйства);

- оценки приемлемости различных расчетных методов определения испарения (по региону в целом);

- характеристики изменчивости элементов водного баланса и основных метеофакторов с целью установления их расчетных значений требуемой обеспеченности;

- выявления взаимозависимостей между отдельными элементами водного баланса и метеофакторами;

- оценки влияния учета асинхронности колебаний элементов водного баланса на оросительную способность рек;

- определения динамики показателей использования водных и тепловых ресурсов региона.

10.1. Водный баланс Чуйской долины

Уравнение общего водного баланса принято в виде

$$Y_{\text{пр}} - Y_{\text{п}} + Y_{\text{гр}} - Y_{\text{г}} + X - E \pm \Delta U = 0, \quad (10.1)$$

где $Y_{\text{пр}}$ — приток поверхностных вод из зоны формирования; $Y_{\text{п}}$ — отток поверхностных вод по замыкающему створу (у с. Ташут-

куль); $Y_{\text{пр}}$ — приток грунтовых вод с горного обрамления; Y_r — отток грунтовых вод по замыкающему створу; X — атмосферные осадки; E — суммарное испарение; ΔU — изменение запасов грунтовых вод (изменением запасов поверхностных вод зоны аэрации пренебрегаем).

Значение притока поверхностных вод в Чуйскую долину получено по данным фактических наблюдений гидрологических постов Киргизгидромета и составило за многолетний период в среднем $114 \text{ м}^3/\text{с}$. Определение неучтенного стока с площадей, где отсутствовали измерения, выполнено в соответствии с методикой, изложенной в разделе 2. Среднее многолетнее значение неучтенного стока весьма незначительно — $3,83 \text{ м}^3/\text{с}$.

Отток поверхностных вод за пределы изучаемой территории учтен по данным наблюдений на гидрологическом створе р. Чу у с. Ташуткуль. В связи со строительством Ташуткульского водохранилища с 1969 г. нет данных о расходах воды по этому створу. Поэтому за средний сток в 1966—1970 гг. принято его среднее значение за 1966—1968 гг. Недоучет оттока поверхностных вод по Меркенской ветке, передающей воду из Западного БЧК на территорию Казахской ССР (по данным Минводхоза КиргССР около $1 \text{ м}^3/\text{с}$), а также сбросов этих вод по логам в отдельные годы, компенсировался принятыми допущениями при определении подруслового притока.

Значение $Y_{\text{пр}}$ определялось на основе оценок подруслового притока $Y_{\text{подр}}$ по данным исследований КГЭ и принято в размере 4—5 % учтенного стока боковых притоков р. Чу. Подрусловой приток по р. Чу у створа Джильарык не учитывался ввиду отсутствия данных. Таким образом, значение $Y_{\text{пр}}$ принято равным $Y_{\text{подр}}$.

Отток подземных вод за пределы долины с востока на запад определялся по формуле Дарси с использованием данных наблюдений по трем створам скважин и принят округленно равным $2,0 \text{ м}^3/\text{с}$.

Осадки определены по данным метеостанций и постов Киргизгидромета.

По восьми станциям (Джильарык, Новороссийска, Беловодское, Токмак, Фрунзе, Чуйская, Константиновка, Ташуткуль) в пределах абсолютных высот 500—1524 м получено средневзвешенное значение осадков, равное 376 мм [16]. По 17 станциям и постам в пределах абсолютных высот до 1000 м — 383 мм, по 25 — в пределах абсолютных высот до 1200 м — 422 мм [81]. Следует учесть, что в расчетах, так же как и в работе [16], не введены поправки к осадкам, которые для данной территории не существенны [72].

Анализом установлено, что в пределах принятых границ достаточно репрезентативными являются четыре метеостанции, расположенные в долине на высотах 596—818 м над ур. м (табл. 10.1).

При осреднении за пятилетия средние арифметические значения температуры, дефицита влажности воздуха и испаряемости отли-

Таблица 10.1

Средние многолетние значения осадков и других метеозлементов
за 1936—1975 гг.

Метеостанция	Высота, м над ур. м.	Площадь влияния метеостан- ции		Осадки X		Средняя суточ- ная температура воздуха t °C	Дефицит влаж- ности d гПа	Испаряемость по Иванову E_0 мм
		F_i км²	F_i/F	мм	м³/с			
Токмак	818	1530	0,168	443	21,5	10,0	7,1	1200
Фрунзе	756	1284	0,141	405	16,5	10,0	8,1	1353
Беловодское	726	2176	0,239	441	30,4	9,3	6,4	1065
Чуйская	596	4115	0,452	361	47,0	8,8	7,0	1091
Итого (среднее)	—	9105	1,00	413	115	9,6	7,2	1180
				400		9,3	7,1	1145

Примечание. В числителе — среднее арифметическое, в знаменателе — средневзвешенное значение.

чаются от средневзвешенных не более чем на 1,4—4,3 %, в отдельные годы — на 7—8 %.

Изменение запасов грунтовых вод определено на основе обработки режимных наблюдений на опорной сети КГЭ по уравнению (8.5).

В данном разделе значения ΔU определены для всей площади расчетного участка долины, тогда как в разделе 8 аналогичная характеристика дана только для контура орошаемого земледелия.

На точности определения значения ΔU отражается ряд факторов:

1) недостаточное и неравномерное распределение по площади и не одинаковое в разные годы количество скважин. Совершенно не охвачена наблюдениями предгорная зона правого берега р. Чу. Привлечение данных наблюдательной сети мелиоративной службы УОС Минводхозов вызывает ряд затруднений, так как она организована только в семидесятые годы, расположена не всегда удачно и без увязки с опорной сетью КГЭ;

2) погрешности в определении значений μ ;

3) влияние методики подсчета изменения уровней грунтовых вод $\Delta H_{гр}$. Наиболее правильным является определение значений $\Delta H_{гр}$ для каждой скважины по срочным наблюдениям за уровнем грунтовых вод на начало и конец года. Сравнительные расчеты значений $\Delta H_{гр}$ за 1966—1970 гг. по срочным наблюдениям и по средним месячным данным на январь и декабрь каждого года дали расхождение до 22 %.

Определение значений $\Delta H_{гр}$ по скважинам и по составленным КГЭ картам глубин залегания грунтовых вод также дали значительные расхождения. Так, по картам глубин на 1/V 1959 г. и 1/X 1972 г., охватывающим площадь зон выклинивания и вторич-

ного погружения 390 тыс. га, получено $\Delta H_{гр}=0,16$ м. По скважинам, расположенным в этих зонах, получено за 1959—1973 гг. $\Delta H_{гр}=0,50$ м.

В табл. 10.2 дано принятое в выполненных здесь воднобалансовых расчетах значение ΔU по скважинам опорной сети с длительностью наблюдений не менее 15 лет при $\mu=0,10$ (вариант 1). Для сравнения значение ΔU определялось с привлечением дополнительного числа скважин (вариант 2). Кроме того, в табл. 10.2 помещены опубликованные данные, полученные примерно по тем же скважинам при дифференцированном определении значения μ (вариант 3).

Таблица 10.2
Средние годовые значения ΔU по пятилеткам, мм

Вариант	Годы								Среднее за 1941—1975 гг.
	1936—1940	1941—1945	1946—1950	1951—1955	1956—1960	1961—1965	1966—1970	1971—1975	
1	—13,5	10,3	1,7	8,4	4,7	—8,7	3,8	—16,5	+0,5
2	—7,7	8,3	6,0	5,1	1,3	—7,1	5,6	—29,8	—1,5
3	—	32,0	9,3	12,3	9,4	—1,0	26,5	—55,3	+4,7

Достоверность подсчетов значения ΔU невелика. Однако, учитывая, что абсолютные значения ΔU в любом варианте не превышают 5—10 % годового суммарного испарения, на точности определения последнего это сказывается не столь заметно. В то же время при определении безвозвратного изъятия $E-X$ учет элемента ΔU имеет довольно существенное значение, т. к. за отдельные годы его изменение составляет до 25 % значений $E-X$.

Поэтому при определении значений $E-X$ пренебрежение членом ΔU допустимо лишь для средних многолетних расчетов (во всяком случае не менее чем за 5 лет), когда погрешность не превышает 5—7 %.

Суммарное испарение (табл. 10.3) определено как остаточный член уравнения водного баланса, а затем самостоятельно тепловоднобалансовым методом по данным работ [16] и по другим расчетным схемам.

С целью оценки влияния водохозяйственных мероприятий, а также обеспечения сравнимости результатов расчетов, выполненных здесь и ранее (1936—1975 гг.), выделены соответствующие периоды.

Результаты расчетов и анализ структуры водного баланса показывают, что средняя многолетняя (за 1936—1975 гг.) сумма приходных элементов водного баланса составляет 234 м³/с, в том числе осадки равны 114 м³/с (48,7 % водного баланса), приток по-

Таблица 10.3
Водный баланс Чуйской долины, м³/с ($F=9105 \text{ км}^2$)

Статья баланса	1936—1940	1941—1945	1946—1950	1951—1955	1956—1960	1961—1965	1966—1970	1971—1975	1936—1945	1946—1960	1961—1975	1936—1975	1941—1975
Приходные статьи													
X	99	108	111	111	125	116	136	101	104	116	118	114	116
У _{пп}	111	120	120	122	122	110	124	112	115	121	116	118	119
У _{подр}	2,34	2,55	2,55	2,46	2,60	2,36	2,76	2,78	2,44	2,54	2,63	2,55	2,58
Итого (без учета значений ΔU)	213	231	233	235	250	229	263	216	222	239	236	234	238
Расходные статьи													
У _п	62,3	71,6	69,2	76,0	80,0	64,6	69,9	53,6	67,0	75,1	62,7	68,4	69,2
У _{пт}	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
E (без учета значений ΔU)	148	157	162	157	168	162	191	160	153	162	171	163	166
Итого (без учета значений ΔU)	213	231	233	236	250	229	263	216	222	239	236	234	237
ΔU	-3,89	2,97	0,49	2,44	1,36	-2,50	1,09	-4,76	-0,46	1,43	-2,06	-0,35	0,15
E (с учетом ΔU)	152	154	162	155	166	165	190	165	153	161	173	164	166
То же, мм	527	535	561	538	576	571	660	572	531	558	601	567	573
То же, по работе [16], мм	—	478	513	524	527	539	566	526	—	520	544	—	522
мм	183	159	175	152	144	169	188	223	171	157	193	174	172
E—X, мм	—	122	144	146	128	160	139	186	—	139	162	—	522
мм	—	57	48	14	49	32	94	46	—	38	57	—	51
Условная невязка баланса при значениях E по работе [16], мм	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
То же, %	—	10,6	8,6	2,6	8,5	5,6	14,2	8,0	—	6,8	9,2	—	8,9

Примечание. Для принятой площади региона 1 м³/с соответствует 3,46 мм.

верхностных вод — 118 м³/с (50,4 %). Остальные поступления играют несущественную роль.

В расходной части на испарение приходится 163 м³/с (69,7 %), на отток поверхностных вод — 68,4 м³/с (29,2 %).

Безвозвратные потери стока составляют 49 м³/с, или 42,5 % притока поверхностных вод, или в среднем 1740 м³/га. Непосредственно на орошаемых землях расходуется 5600 м³/га стока [16]. По пятилеткам доля осадков колеблется в пределах 46—52, притока — 47—52, испарения — 67—74, оттока поверхностных вод — 25—40 % итога приходных (расходных) элементов водного баланса.

Среднее многолетнее значение испарения с принятого в расчет участка Чуйской долины равно 567 мм, а отдельно с орошаемых массивов — 827 мм [16]. В табл. 10.3 средневзвешенное значение E (по работе [16]) с орошаемых массивов и богары не включает испарения с водоемов, каналов, а также за счет водоснабжения и других отраслей водного хозяйства, в то время как значение E по водному балансу автоматически их учитывает. Поэтому полученная невязка водного баланса названа условной и то, что она всегда положительна, вполне закономерно.

10.2. Сопоставление методик оценки суммарного испарения

Тепловоднобалансовый метод впервые применен для оценки испарения со значительных по своим размерам орошаемых массивов Чуйской долины. Как было показано, определение испарения тепловоднобалансовым методом за каждый год требует наличия исходных данных по значительному числу параметров. Поэтому, приняв его как основной, эталонный способ, осуществили также расчеты испарения и по другим методикам, требующим значительно меньший объем информации.

В работе [39] была предложена упрощенная формула расчета испарения

$$E = E_{ор} + E_{неор} = (k_{бк}E_{0вег} + E_{0невег})\alpha_{ор} + (X_{неор} + K_{неор})\alpha_{неор} = \\ = E_{ор. год}\alpha_{ор} + E_{неор. год}\alpha_{неор}, \quad (10.2)$$

где $E_{ор}$ — испарение с орошаемых земель; $E_{неор}$ — то же, с неорошаемых земель (включая испарение с богарных — неполивных посевов и насаждений); $E_{0вег}$, $E_{0невег}$ — испаряемость за вегетационный и невегетационный периоды; $K_{неор}$ — испарение грунтовых вод на неорошаемых землях (капиллярное подпитывание зоны аэрации); $X_{неор}$ — осадки на неорошаемых землях; $\alpha_{ор}$, $\alpha_{неор}$ — доля орошаемых и неорошаемых земель общей площади участка долины; $k_{бк}$ — биоклиматический коэффициент, принятый для среднего состава сельскохозяйственных культур на орошаемых землях Чуйской долины равным 0,75 [39]. Здесь для простоты расчетов принято $X_{неор} = X_{ор} = X$. Согласно [36, 39] значение $K_{неор}$ за 1946—1960 гг. составляет 6—7 м³/с.

Для более точного определения испарения в формулу (10.2) необходимо включить еще компоненты $E_v + E_{\text{вдсн}}$, где E_v — испарение с водной поверхности каналов, русел рек и водохранищ, $E_{\text{вдсн}}$ — безвозвратное изъятие стока на водоснабжение других отраслей народного хозяйства.

Расчеты за отдельные годы дали значение $E_v = 2 \dots 4 \text{ м}^3/\text{с}$. Что касается члена $E_{\text{вдсн}}$, то, если за 1946—1960 гг. водозабор из скважин составлял $1,5 \text{ м}^3/\text{с}$, в 1972 г. он достиг $15 \text{ м}^3/\text{с}$. Если считать, что безвозвратно уходит 30 % этой величины, то значение $E_{\text{вдсн}}$ составляет $0,5\text{—}5,0 \text{ м}^3/\text{с}$. В связи с отсутствием погодичных данных эти составляющие не были учтены. Учитывая, что $E_{0 \text{ веп}} \approx 0,85 E_{0 \text{ год}}$, а $E_{0 \text{ не веп}} \approx 0,15 E_{0 \text{ год}}$, для облегчения расчетов формулу (10.2) можно представить в виде

$$E_0 = 0,79 E_{0 \text{ год}} \alpha_{\text{ор}} + \chi \alpha_{\text{неор}}. \quad (10.3)$$

Испаряемость E_0 определялась по формулам:

Н. Н. Иванова [31]

$$E_0 = 0,00006n(t + 25)(100 - r) \cdot 10^{-3} \text{ м}, \quad (10.4)$$

М. И. Будыко [10]

$$E_0 = (R_0/L) \cdot 10^{-3} \text{ м}, \quad (10.5)$$

В. С. Мезенцева [55]

$$E_0 = [(1,15R - 8,6)/L] \cdot 10^{-3} \text{ м}, \quad (10.6)$$

А. М. Алпатьева [5]

$$E_0 = 0,65 \sum d \cdot 10^{-3} \text{ м}, \quad (10.7)$$

где n — число суток в месяце, t и r — среднесуточная температура ($^{\circ}\text{C}$) и относительная влажность воздуха (%) за данный месяц; R_0 — радиационный баланс увлажненной поверхности [$\text{кДж}/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$]. По карте изолиний [71] для Чуйской долины $R_0 = 273 \cdot 10^3 \text{ кДж}/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$; L — удельная теплота испарения, равная $2520 \text{ кДж}/\text{кг}$ (для получения значений E_0 в миллиметрах принимается $L = 252 \text{ мДж}/\text{кг}$); R — радиационный баланс [$\text{кДж}/(\text{м}^2 \times \text{год})$] (принят по данным наблюдений на метеостанции Фрунзе, начатых в 1958 г.); $\sum d$ — годовая сумма суточных дефицитов влажности воздуха. Кроме этого, среднее многолетнее значение E_0 определено по графикам $E_0 = f(d)$ [71].

Различия между значениями испаряемости, рассчитанными по упомянутым формулам, невелики (табл. 10.4).

Таблица 10.4

Средние многолетние значения испаряемости, рассчитанные различными авторами

Раз- мер- ность	Формула				Графики Будыко— Зубенок [71]
	Н. Н. Иванова (за 1936—1975 гг.)	М. И. Будыко (за 1958—1975 гг.)	В. С. Мезенцева (за 1958—1975 гг.)	А. М. Алпатьева (за 1936—1975 гг.)	
мм	1145	1083	1070	1257	1222
%	106	100	98,7	116	113

В табл. 10.5 приведены результаты расчетов значений E и $E_{ор}$ по различным методикам. Испарение по В. С. Мезенцеву определялось по формуле

$$E = E_0 / \sqrt[3]{1 + (E_0/X_{вал})^3}, \quad (10.8)$$

где $X_{вал}$ — валовое увлажнение.

Таблица 10.5

Годовые значения испарения, рассчитанные по различным схемам и формулам, мм

Годы	E	$E_{ор}$	По упрощенной формуле (10.2) или (10.3)				По Мезенцеву при $n = 3$			
	по водному балансу	по работе [16]	E		$E_{ор}$		$X'_{вал} = X + (Y_{пп} - Y_{п})$		$X''_{вал} = X + 0,8 Q_{г}$	
			среднее по четырем метеостанциям	по метеостанции Беловодское	среднее по четырем метеостанциям	по метеостанции Беловодское	при E_0 по Иванову	при E_0 по Мезенцеву	при E_0 по Иванову	при E_0 по Мезенцеву
1941—1945	535	861	501	560	898	852	514	—	520	—
1946—1950	561	861	510	559	855	844	523	—	541	—
1951—1955	538	901	521	509	878	830	512	—	577	—
1956—1960	576	886	559	529	871	807	537	591	609	660 ¹
1961—1965	571	921	561	564	918	822	528	524	602	594
1966—1970	660	904	604	584	873	798	609	607	675	673
1971—1975	572	925	569	559	978	901	542	519	572	561
1941—1960	553	868	520	539	875	833	522	—	—	—
1946—1960	558	871	525	532	868	826	524	—	576	—
1961—1975	601	917	577	569	923	840	560	550	616	609
1941—1975	573	894	544	552	896	837	538	557 ²	585	618 ²
1936—1975	597	—	538	548	904	843	—	—	—	—

¹ Среднее за 1958—1960 гг.

² Среднее за 1958—1975 гг.

Испарение по формуле (108) определено при значения E_0 , вычисленных по выражениям (10.4) и (10.6) и при валовом увлажнении

$$X'_{вал} = X + (Y_{пп} - Y_{п}) \text{ и } X''_{вал} = X + 0,8 Q_{г},$$

где $Q_{г}$ — выклинивание грунтовых вод.

Обращает на себя внимание небольшая изменчивость значений E_0 по В. С. Мезенцеву при заданном значении $X_{вал}$, если расчет испарения осуществлять по формуле (10.4).

В табл. 10.5 даны также значения E и $E_{ор}$, рассчитанные по упрощенной формуле (10.3) с учетом данных одной метеостанции (Беловодское) и четырех (Токмак, Фрунзе, Беловодское, Чуйская).

Сравнение расчетных значений $E_{ор}$ в работе [16] и по сокращенным формулам показывает, что тепловоднобалансовый метод дает очень хорошие результаты.

Расчет испарения по формуле (10.3) с использованием средне-взвешенного значения E_0 по четырем метеостанциям свидетельствует о незначительных отклонениях по сравнению с методом водного баланса (табл. 10.3 и 10.5): средние за пятилетия значения E_0 отличаются не более чем на 8 %, годовые за 16 лет из 40 (1936—1975 гг.) — от 0 до 5 %, за 20 лет — от 5 до 10 %, за 4 года — от 13 до 16 %.

Использование данных только одной метеостанции — Беловодское — также дает неплохие результаты (табл. 10.5). Благодаря простоте выражений (10.2) и (10.3) они могут найти применение для оперативных расчетов годового испарения в исследуемом районе.

Использование формулы Мезенцева В. С. с определением E_0 по Н. Н. Иванову также дает результаты, близкие к рассчитанным по водному балансу.

Учитывая, что при $X_{вал} \leq 0,5E_0$ по формуле Мезенцева В. С. практически получается $E = X_{вал}$, были проверены (за 1946—1960 гг.) различные формулы этого типа, так как для аридной зоны, как правило, $X_{вал} \leq 0,5E_0$.

Очень близкий результат (98,9 % относительно воднобалансовой оценки значений E) дает формула

$$E = X + K + Q_{вз. н.} \quad (10.9)$$

Несколько хуже (94,2 %) выражение

$$E = Q_{вз. н.} + X - I + K, \quad (10.10)$$

где K — расход грунтовых вод в зону аэрации, $Q_{вз. н.}$ — водоподача нетто на поле; I — инфильтрация осадков в грунтовые воды.

Вычисленные средние многолетние значения суммарного испарения за 1946—1960 гг. разными методами в сравнении с данными по водному балансу, принятыми за 100 %, по М. И. Будыко составляют (при значениях R_0 по карте изолиний) 85,3 %, по В. С. Мезенцеву — 92,8 %, по И. А. Шарову (с поправками [34]) — 100,3 %.

Выполненные проработки подтверждают, что в воднобалансовых и мелиоративных расчетах точность определения искомой величины зависит не только от обоснованности принятой формулы, но от полноты и достоверности исходных данных. Поэтому и было уделено внимание как установлению возможностей применения расчетных упрощенных схем по определению значений E , так и по возможностям минимизации объема исходной информации, необходимой для их применения за счет выбора наиболее репрезентативных пунктов наблюдений и использования параметров, интегрально отражающих совокупное влияние ряда факторов без ущерба для точности расчетов.

10.3. Изменчивость колебаний элементов водного баланса и основных климатических факторов

Установление характера изменчивости элементов водного баланса имеет не только научный, но и практический интерес, так как водохозяйственные расчеты при проектировании оросительных систем и планировании водопользования на них ведутся на годы определенной расчетной обеспеченности. Наличие 40-летнего ряда наблюдений по большинству элементов позволило получить параметры кривых распределений, экстремальные значения, абсолютный и относительный размах колебаний элементов за расчетный период (рис. 10.1 и табл. 10.6).

Наибольшей изменчивостью отличаются атмосферные осадки ($C_v = 0,20$, а по метеостанции Чуйская $C_v = 0,23$).

Суммарный приток поверхностных вод обладает небольшой изменчивостью ($C_v = 0,09$), хотя для отдельных рек она доходит до 0,15—0,18. Отток поверхностных вод (за принятый расчетный период антропогенными изменениями стока в этом створе можно

Таблица 10.6

Эмпирические и теоретические значения элементов водного баланса, испаряемости (мм) и параметра $\xi = Y_{пп}/(E_0 - X)$

Кривая распределения	$Y_{пп}$	X	$Y_{пп} + X + Y_{подр}$	$Y_{п}$	E	E_0	$E_0 - X$	ξ
$P=2\%$								
Эмпирическая	498	576	1044	347	759	1397	1128	1,19
Теоретическая	489	566	1036	324	718	1382	—	1,04
$P=5\%$								
Эмпирическая	459	569	1018	326	693	1376	1096	0,98
Теоретическая	470	525	981	305	683	1323	—	0,90
$P=25\%$								
Эмпирическая	442	451	846	263	606	1221	872	0,68
Теоретическая	433	442	871	265	610	1218	—	0,66
$P=50\%$								
Эмпирическая	410	392	810	233	561	1140	718	0,53
Теоретическая	408	388	803	237	564	1135	—	0,54
$P=75\%$								
Эмпирическая	372	335	752	211	525	1055	646	0,45
Теоретическая	382	339	739	209	519	1066	—	0,45
$P=95\%$								
Эмпирическая	355	254	621	158	444	971	444	0,34
Теоретическая	350	273	659	168	460	980	—	0,36
$P=98\%$								
Эмпирическая	348	228	616	120	434	946	401	0,32
Теоретическая	335	245	625	149	433	939	—	0,34

пренебречь) имеет $C_v=0,18$, суммарное испарение — $C_v=0,13$. Небольшая изменчивость также характерна для испаряемости и дефицита влажности воздуха как средней за год, так и за вегета-

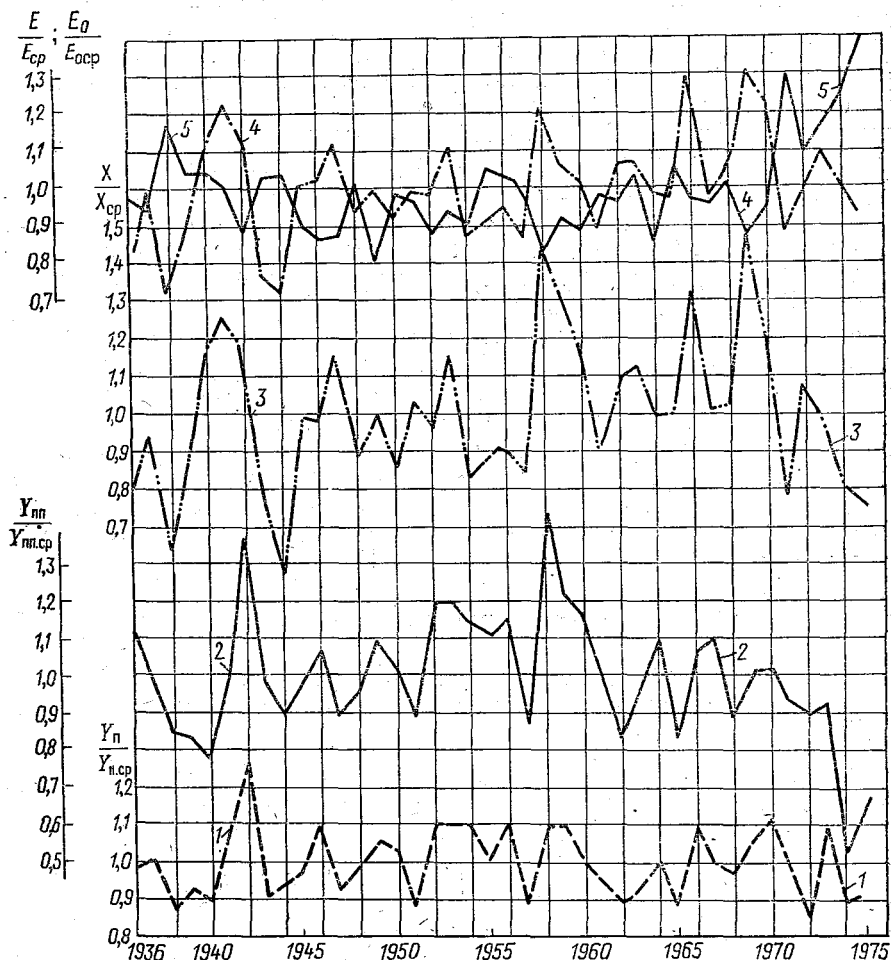


Рис. 10.1. Изменение во времени модульных коэффициентов притока $Y_{пн}/Y_{пн.ср}$ (1) и оттока $Y_{п}/Y_{п.ср}$ (2) поверхностных вод, осадков $X/X_{ср}$ (3), испарения $E/E_{ср}$ (4), испаряемости $E_0/E_{0.ср}$ (5).

ционный период (значения C_v указанных параметров изменяются в диапазоне 0,09—0,11). Очень слабой изменчивостью обладают суммы средних суточных значений температуры воздуха за вегетацию и сумма положительных температур больше 10°C ($C_v=0,03$ и 0,05). Низкие значения относительной ошибки среднего всех элементов говорят о достаточной репрезентативности рассматриваемого периода, что и подтверждается незначительным отклонением

статистических параметров за десятилетия (1936—1945, 1946—1955, 1956—1965, 1966—1975) от соответствующих значений для всего 40-летнего периода. Законы распределения элементов водного баланса и рассмотренных метеозлементов несущественно отличаются от нормального закона распределения (табл. 10.6). В этой же таблице приведены значения параметра $\xi = Y_{\text{шт}} / (E_0 - X)$ различной обеспеченности, который численно равен отношению потенциальной, теоретически предельно возможной площади орошения $F_{\text{пот}}$ (т. е. потенциальной оросительной способности) к валовой площади региона, на которую поступает приток $Y_{\text{шт}}$, т. е. $\xi = F_{\text{пот}} / F_{\text{вал}}$. Потенциальной она названа потому, что соответствует полному использованию годового стока $Y_{\text{шт}}$ при КПД = 1, с одной стороны, и полному использованию годовых тепловых ресурсов $E_0 - X$, с другой. Использование этого параметра целесообразно, так как, во-первых, он позволяет охарактеризовать распределение лет с фактическим сочетанием элементов водного баланса E_0 , $Y_{\text{шт}}$ и X , т. е. учитывает асинхронность их колебания, а, во-вторых, он показывает теоретический предел оросительной способности при полном использовании водных и тепловых ресурсов. Это стимулирует внедрение комплекса мер по повышению КПД, задержанию осадков, применению повторных и совмещенных посевов и т. д. Как видно из табл. 10.6, при заданном проценте обеспеченности P параметр $\xi_P \neq Y_P / (E_0 - X)_P$, так же как параметр $(E_0 - X)_P \neq E_{0P} - X_P$.

Именно поэтому и целесообразно расчеты вести по обеспеченности сочетания факторов, определяющих оросительную способность реки.

Проведенные различные способы определения оросительной способности, а именно по году с заданной обеспеченностью стока $Y_{\text{шт}}$ при фактических значениях E_0 , X и $(E_0 - X)$, по фиктивному году со значениями $Y_{\text{шт}}$, E_0 и X данной обеспеченности, по году с заданной обеспеченностью значений $Y_{\text{шт}}$ и при среднем значении $(E_0 - X)$, для года заданной обеспеченности параметра ξ при фактических значениях $Y_{\text{шт}}$, E_0 , X и т. д., показали существенные различия, в особенности для 75 %- и 95 %-ной обеспеченности — в 1,5—2 раза. Таким образом, выбор надежного метода определения обеспеченности орошения имеет важную роль.

Определение оросительной способности по заданной обеспеченности параметра ξ (при орошении на живом токе соответствующие элементы должны быть определены для критического периода) повышает надежность гидрологических расчетов при проектировании орошения. В табл. 10.7 показано, что фактические значения ξ соответствуют примерно 50 %-ной обеспеченности. Там же дано сопоставление параметров $\xi = F_{\text{пот}} / F_{\text{вал}}$ и $\alpha_{\text{ор}} = F_{\text{ор}} / F_{\text{вал}}$, где $F_{\text{ор}}$ — фактически политые площади. Очевидно, что $\alpha_{\text{ор}} / \xi = F_{\text{ор}} / F_{\text{пот}}$. В среднем значение $F_{\text{ор}}$ в два раза меньше значения $F_{\text{пот}}$. Только в маловодные 1971—1975 гг. ($E_0 - X = 889$ мм, $E_0 - X - Y_{\text{п.п}} = 499$ мм) параметр $F_{\text{ор}}$ составляет 75 % значения $F_{\text{пот}}$, что при существующей технике орошения близко к практическому пределу.

Таблица 10.7

Коэффициенты использования тепловых ресурсов ($\kappa = E/E_0$, $\kappa_1 = (E - X)/E$) и потенциальная оросительная способность

Период, годы	E_0 мм	$E_0 - X$	$\kappa = E/E_0$	$\kappa_1 = (E - X)/E_0$	$E - X - Y_{\text{пп}}$ мм	$\xi = Y_{\text{пп}}/(E_0 - X)$	$\alpha_{\text{ор}} = F_{\text{ор}}/F_{\text{вал}}$
1936—1940	1220	876	0,43	0,15	491	0,44	—
1941—1945	1137	761	0,47	0,13	345	0,54	0,24
1946—1950	1082	697	0,52	0,15	286	0,59	0,26
1951—1955	1112	727	0,48	0,13	305	0,58	0,27
1956—1960	1170	737	0,48	0,11	314	0,59	0,26
1961—1965	1162	760	0,49	0,14	377	0,50	0,31
1966—1970	1105	633	0,60	0,17	202	0,67	0,33
1971—1975	1238	889	0,46	0,17	499	0,44	0,34
1936—1960	1131	746	0,48	0,14	334	0,54	0,26
1961—1975	1168	760	0,51	0,16	360	0,53	0,33
1941—1975	1134	734	0,50	0,13	323	0,56	0,29
1946—1960	1099	698	0,51	0,13	278	0,60	0,26
1936—1975	1145	753	0,50	0,15	345	0,54	0,28

Представляют интерес полученные значения коэффициентов использования тепловых ресурсов региона κ и κ_1 (табл. 10.7). Как видно, в пятилетнем разрезе колебания упомянутых величин не слишком велики. За отдельные годы они гораздо больше. Так, коэффициент ξ меняется от 0,31 до 1,75, а коэффициент κ — от 0,35 до 0,73.

Сопоставление сумм положительных температур воздуха за теплый период с их суммами, необходимыми для выращивания основных сельскохозяйственных культур, показало возможность значительного повышения коэффициента использования тепловых ресурсов.

При рассмотрении условий сочетания маловодных лет по стоку, засушливых по осадкам и лет с высокой испаряемостью отмечено (табл. 10.8), что часто годы с высокой испаряемостью совпадают с маловодными и засушливыми годами (1938, 1939, 1944, 1948, 1957, 1961, 1974, 1975). В другие годы при высокой испаряемости наблюдаются пониженное количество осадков (1950, 1955, 1956, 1971) или маловодность по стоку (1940, 1963, 1965, 1968). Некоторым годам с высокой испаряемостью соответствовали годы с повышенными значениями осадков и стока рек (1941, частично 1973). В эти годы разность $E - X$ меньше нормы или близка к ней.

Все это подтверждает важность учета влияния асинхронности колебаний гидрометеорологических элементов при установлении водообеспеченности орошения, которая должна определяться не по водности источника орошения, а по соотношению стока к дефициту водопотребления.

Таблица 10.8

Характеристика асинхронности засушливых и влагообеспеченных лет

Модульные коэффициенты	Год								
	1938	1939	1940	1941	1944	1948	1950	1955	1956
$k_{E_0} = E_0/E_0 \text{ ср}$	1,21	1,09	1,07	1,05	1,08	1,07	1,02	1,09	1,07
$k_X = X/X_{\text{ср}}$	0,65	0,85	1,16	1,26	0,58	0,89	0,86	0,89	0,91
$k_{Y_{\text{пп}}} = Y_{\text{пп}}/Y_{\text{пп, ср}}$	0,87	0,93	0,90	1,06	0,94	0,98	1,04	1,03	1,11

Модульные коэффициенты	Год								
	1957	1961	1963	1965	1968	1971	1973	1974	1975
$k_{E_0} = E_0/E_0 \text{ ср}$	1,02	1,09	1,02	1,10	1,04	1,15	1,02	1,07	1,22
$k_X = X/X_{\text{ср}}$	0,85	0,90	1,13	1,00	1,03	0,79	0,99	0,82	0,77
$k_{Y_{\text{пп}}} = Y_{\text{пп}}/Y_{\text{пп, ср}}$	0,88	0,94	0,94	0,88	0,97	1,00	1,10	0,90	0,91

10.4. Корреляционные связи между элементами водного баланса

Здесь рассматривается часть результатов корреляционного анализа, выполненного с целью:

математической оценки взаимосвязи между элементами водного баланса и метеопараметрами, а также установления возможностей их использования для расчетов испарения как наиболее трудно определяемого элемента;

выбора репрезентативного пункта наблюдения и возможности использования значений метеозаписей по одной станции вместо средневзвешенных по нескольким станциям;

установления связи между притоком поверхностных вод и климатическими условиями зоны рассеивания, а также между годовым водозабором и безвозвратным водопотреблением.

В табл. 10.9 представлены только связи с коэффициентом корреляции больше 0,5.

Выполненные расчеты позволяют сделать следующие выводы. Среди элементов водного баланса наиболее тесная связь ($r > 0,8$) наблюдается между испарением и осадками. Это объясняется тем, что от 62,8 (за 1971—1975 гг.) до 75,2 % (за 1966—1970 гг.) испарение обеспечивается за счет осадков (табл. 10.3). Связь между притоком $Y_{\text{пп}}$ и оттоком $Y_{\text{п}}$ поверхностных вод также имеет коэффициент $r = 0,774$, однако по мере увеличения водозабора значение коэффициента корреляции уменьшается. За 1961—1975 гг. $r = 0,609$.

Таблица 10.9

Корреляционные связи между годовыми значениями элементов водного баланса и метеопараметров

Элемент	Расчетный период, годы	Коэффициент корреляции	Ошибки коэффициента корреляции	Уравнение регрессии
Между элементами водного баланса				
E и X мм	1936—1975	0,898	0,032	$E = 0,825X + 244,$
$Y_{пп}$ и $Y_{п}$ м ³ /с	1936—1960	0,880	0,046	$Y_{п} = 0,942Y_{пп} - 40,2,$
	1961—1975	0,609	0,168	$Y_{п} = 0,646Y_{пп} - 74,8,$
	1936—1975	0,774	0,064	$Y_{п} = 0,880Y_{пп} - 35,2,$
Между элементами водного баланса и метеозементами				
X и E_0	1936—1975	-0,514	0,111	—
$Y_{пп}$ и E_0	1936—1975	-0,503	0,120	—
$Y_{пп}$ и $E_0 - X$ мм	1936—1975	-0,547	0,112	$Y_{пп} = 497 - 0,132(E_0 - X),$
$Y_{пп}$ и Σd_{IV-IX}	1936—1975	-0,528	0,115	—
Между метеозементами				
Σt и $\Sigma t > 10^\circ C$	1936—1975	0,577	0,107	$\Sigma t = 1,03 \Sigma t_{>10^\circ C} - 284,$
Σt и $\Sigma t > 5^\circ C$	1936—1975	0,739	0,073	$\Sigma t = 1,20 \Sigma t_{>5^\circ C} - 1319,$
Σt_{IV-IX} и Σd_{IV-IX}	1936—1975	0,569	0,108	—
E_0 и Σd мм	1936—1968	0,981	0,007	$E_0 = 0,595 \Sigma d + 14,6,$
Между значениями метеозементов, средневзвешенных по материалам четырех метеостанций, с данными ГМС Беловодское (Б) и Фрунзе (Ф)				
E_0 и $E_{0Б}$ мм	1936—1975	0,889	0,033	$E_0 = 0,857E_{0Б} + 293,$ $E_{0Б} = 0,923E_0 + 7,$
Σt и $\Sigma t_{Б}$ $^\circ C$	1936—1975	0,805	0,056	$\Sigma t = 0,750 \Sigma t_{Б} + 867,$ $\Sigma t_{Б} = 0,865 \Sigma t + 435,$
Σd и $\Sigma d_{Б}$ гПа	1936—1975	0,930	0,022	$\Sigma d = 0,970 \Sigma d_{Б} + 292,$ $\Sigma d_{Б} = 0,886 \Sigma d + 59,$
X_4 и $X_{Б}$ мм	1936—1975	0,697	0,082	$X_4 = 0,790 X_{Б} + 123,3,$ $X_{Б} = 0,615 X + 125,5,$
X_4 и $X_{Ф}$ мм	1936—1975	0,910	0,028	$X_4 = 0,930 X_{Ф} + 22,5,$ $X_{Ф} = 0,890 X + 49,2,$

Коэффициенты корреляции между элементами $Y_{пп}$ и X , $Y_{п}$ и X получены равными соответственно 0,427 и 0,416 (за 1936—1975 гг.), т. е. связь между ними слабая. Коэффициент корреляции между разностью $Y_{пп} - Y_{п}$ и водозабором за 1941—1975 гг. равен 0,27. Это объясняется тем, что большая часть водозабора уходит на фильтрацию и сбросы, так как КПД оросительных систем низкий, а также тем, что в многоводные годы водозабор уменьшается, а в маловодные — возрастает.

Имеет место и обратная связь (коэффициент корреляции несколько больше 0,5 и отрицательный) между притоком поверхностных вод и осадками с испаряемостью. Такая же связь между притоком $Y_{пп}$ и суммой дефицитов влажности за вегетацию. Связь между элементами $Y_{пп}$ и E_0 показывает, что закономерности изменения энергетических ресурсов в зоне формирования поверхностного стока, в особенности высокогорной ее части, не соответствуют таковым в зоне его потерь.

Полученная тесная связь между испаряемостью (по Н. Н. Иванову) и дефицитом влажности воздуха ($r=0,981$, $\sigma_r=0,007$) вытекает из структуры формулы (10.4). Уравнение регрессии дает близкий результат с определением испаряемости по формуле С. М. Алпатьева (10.7).

Тесная связь получается и между значениями основных метеоэлементов, средневзвешенными по данным четырех метеостанций для равнинной части Чуйской долины, и ГМС Беловодское (для осадков лучшая корреляция получается по данным ГМС Фрунзе). Это позволяет считать эту метеостанцию достаточно репрезентативной для долины в целом (в принятых границах балансового региона).

Полученные результаты могут быть использованы для ряда практических задач, в частности, для определения годового испарения по измеренным осадкам, для обоснования схемы размещения ключевых воднобалансовых участков с оптимальным использованием существующих метеостанций и др.

10.5. Влияние развития орошения на структуру водного баланса

Вопросы изменения составляющих водных балансов зоны аэрации, грунтовых вод, руслового водного баланса под влиянием хозяйственной деятельности в Чуйской долине освещены в работах [16, 37, 39, 40, 43, 44, 63, 82, 96, 100].

Орошаемое земледелие наиболее существенно изменяет испарение и отток поверхностных вод, в определенной степени оно может привести к увеличению осадков.

Влияние орошения на изменение водного баланса можно получить, если рассмотреть уравнение

$$Y_{пп} - Y_{пп}^* = (E^* - X^*) - (E - X) = \Delta E^* - \Delta E, \quad (10.11)$$

где значения E^* , X^* относятся к периоду отсутствия орошения и принято, что приток поверхностных вод из зоны их формирования не меняется под влиянием орошения, т. е. $Y_{пп} = Y_{пп}^*$. Уравнение 10.11 можно представить в виде

$$Y_{пп} = Y_{пп}^* - (\Delta E - \Delta E^*) = Y_{пп}^* - \Delta E', \quad (10.12)$$

где ΔE и ΔE^* — безвозвратные изъятия стока соответственно после и до орошения. Очевидно, разность

$$Y_{пп}^* - Y_{пп} = \Delta E' \quad (10.13)$$

дает увеличение безвозвратного изъятия стока в результате водозабора на орошение и другие отрасли народного хозяйства и сопутствующих мер (дренаж и др.).

Как видно, $\Delta E' < \Delta E \simeq (E - X) \simeq Y_{\text{пп}} - Y_{\text{п}}$. Это объясняется тем, что элемент $Y_{\text{пп}}$ включает в себя фильтрационные потери в руслах рек в предгорной зоне и сбросы по границе ее, часть которых уходит на испарение в пределах региона.

По формуле (10.11), принимая $X = X^*$, было определено среднее многолетнее испарение E^* (при отсутствии орошения). Оно равно 128—140 м³/с, при этом $Y_{\text{п}}^* = 96,6 \dots 109,2$ м³/с. На основе анализа уравнений связи водного и руслового балансов принято расчетное значение $E^* = 139,0$ м³/с (482 мм) и, соответственно, $Y_{\text{п}}^* = 98,1$ м³/с (339 мм). Значение $\Delta E = E^* - X^* = Y_{\text{пп}}^* - Y_{\text{п}}^*$ получается равным около 21 м³/с (72 мм), что вполне соответствует испарению грунтовых вод влаголюбивой растительностью в поймах и с поверхности до развития орошения (на ретроспективу). Если взять средние за 1941—1975 и 1936—1975 гг., то при испарении $E^* = 139,0$ м³/с и подземном оттоке 2,0 м³/с получается отток поверхностных вод $Y_{\text{п}}$ равный соответственно 95,8 (332 мм) и 92,8 м³/с (322 мм), что расходится с измеренными не более чем на 5,4 %. Изменение расходных элементов баланса в процессе развития орошения дано в табл. 10.10.

Как видно, в процессе развития орошения при достижении к 1941—1945 гг. головного водозабора 196 мм и $\alpha_{\text{ор}} = 0,24$ произошло увеличение испарения на 52 мм, т. е. всего на 10 % и уменьшение оттока на 91 мм. Такое несоответствие может быть объяснено тем, что на данном этапе развития орошения вследствие отсутствия дренажа произошло накопление емкостных запасов грунтовых вод ΔU вследствие подъема уровня последних, что не учитывается принятой упрощенной формулой (10.11). Дальнейшее увеличение орошаемых площадей в 1946—1975 гг. на 36—43 % привело к увеличению испарения всего на 7—24 %, хотя головной водозабор увеличился на 60—70 %. Необходимо отметить, что за счет головного водозабора обеспечивалось не более 63,3 % безвозвратного изъятия стока на испарение.

Отток поверхностных вод через замыкающий створ уменьшился к концу расчетного периода всего на 25 %. При этом в отдельные пятилетки вплоть до 1966—1970 гг. не выявлялось тенденции к заметному сокращению оттока, а в период многоводного десятилетия (1951—1960 гг.) при увеличении орошаемых площадей на 8—12 % отток был даже на 6—12 % больше, чем в 1941—1945 гг. Это говорит, что увеличение испарения с орошаемых земель компенсировалось уменьшением его на осваиваемых заболоченных и заросших влаголюбивой растительностью землях. В то же время отток поверхностных вод поддерживался увеличением объема возвратных вод от водоподачи на орошение. Такой вывод подтверждается также работами [82, 96].

Таблица 10.10

Изменение элементов водного баланса при развитии орошаемого земледелия

Периоды, годы	$\alpha_{ор} = F_{оп} / F_{вал}$	$Q_{вз} \text{ мм}$	$Y_{п} \text{ мм}$	$Y_{пп} / Y_{пп. ср}$	$E \text{ мм}$	$\Delta E \approx E - X \text{ мм}$	$\Delta E' = Y_{пи}^* - Y_{п} \text{ мм}$	$\Delta E' / Q_{вз} \%$	$\Delta E' / \Delta E \%$
Отсутствие орошения	0,00	0,00 0,00	339 1,36	1,00	482 0,90	72 0,45	0,00	0,00	0,00
1941—1945	0,24 1,00	196 1,00	248 1,00	1,01	535 1,00	159 1,00	96 1,00	48,5	60,0
1946—1950	0,26 1,11	227 1,16	240 0,97	1,00	561 1,05	175 1,10	102 1,06	44,8	58,3
1951—1955	0,27 1,15	264 1,35	263 1,06	1,02	538 1,01	152 0,96	84 0,88	31,9	55,3
1956—1960	0,26 1,08	283 1,44	277 1,12	1,03	576 1,08	144 0,90	73 0,76	25,7	50,7
1961—1965	0,31 1,29	284 1,45	224 0,90	0,93	571 1,07	169 1,06	92 0,96	32,7	54,3
1966—1970	0,33 1,36	334 1,70	242 0,98	1,07	660 1,23	188 1,18	114 1,19	34,1	60,5
1971—1975	0,34 1,43	314 1,60	186 0,75	0,96	572 1,07	223 1,40	139 1,45	44,5	63,3
1941—1975	—	272 1,39	240 0,97	1,00	573 1,07	172 1,08	100 1,04	37,5	41,7

Примечания: 1. Учитывая, что $Y_{п}^* = 339$ мм справедливо для среднего многолетнего периода и наличие связи между элементами $Y_{п}$ и $Y_{пп}$, для пятилетних периодов принято $Y_{пи}^* = Y_{п}^* (Y_{пп} / Y_{п})$.

2. В числителе — абсолютные значения, в знаменателе — относительные ж 1941—1945 гг.

Таким образом, отток поверхностных вод является тем элементом, который претерпел наибольшую трансформацию в процессе увеличения водозабора как в количественном, так и в качественном отношении. Используя уравнения связи водного баланса с балансом грунтовых вод [40] можно получить

$$Y_{п} = Y_{пп} - Q_{вз. н} - E_{в} - (Z - I_0). \quad (10.14)$$

Для определения относительных значений оттока поверхностных вод $\alpha_0 = Y_{п} / Y_{пп}$ можно использовать зависимость

$$\alpha_0 = \alpha_0^* - \alpha_r [\eta + \phi (1 - \eta)]. \quad (10.15)$$

Здесь $\alpha_0^* = Y_{\text{пп}}^* / Y_{\text{пп}}$, $\alpha_T = Q_{\text{вз}} / Y_{\text{пп}}$, $\eta = Q_{\text{вз, н}} / Q_{\text{вз}}$ (КПД системы); $Q_{\text{вз, н}}$ — водоподача на поля нетто; ϕ — коэффициент рассеивания стока, приближенно определяется по зависимости

$$\phi = (K + E_{\text{в}}) / Z, \quad (10.16)$$

где Z — сумма фильтрационных потерь в системе и в руслах рек; K — поступление грунтовых вод в зону аэрации; $I_{\text{д}}$ — естественный и искусственный дренажный сток. В испарение $E_{\text{в}}$ здесь включено и значение $E_{\text{вдсн}}$.

Эти уравнения характеризуют изменение элемента $Y_{\text{п}}$ в зависимости от уровня водопотребления $Q_{\text{н}}$ и КПД систем.

Перейдем к оценке изменения испарения и осадков при орошении.

Сопоставление приращений испарения и осадков за пятилетия и оценки характера их отклонений от среднего (табл. 10.11) не позволили четко установить влияние развития орошения на увеличение осадков, хотя некоторые тенденции к этому намечаются.

Таблица 10.11

Сопоставление динамики испарения и осадков по Чуйской долине, мм

Величина	Годы								
	1936—1940	1941—1945	1946—1950	1951—1955	1956—1960	1961—1965	1966—1970	1971—1975	1936—1975
E (по водному балансу)	527	535	561	538	576	571	660	572	566
$\Delta E_1 = E_{i+1} - E_i$	8	26	—23	38	—5	+89	—88	—	
$\Delta E_2 = E_1 - E_{1936-1940} = \Sigma \Delta E_1$	0	8	34	11	49	44	133	45	
X	344	375	385	385	432	402	472	349	332
$\Delta X_1 = X_{i+1} - X_i$	31	10	0	47	—30	70	—123	—	
$\Delta X_2 = X_i - X_{1936-1940} = \Sigma \Delta X_1$	0	31	41	41	+88	58	128	5	
$E_k = 0,825 X + 244,2$ (по корреляционной связи)	528	554	561	561	600	576	634	532	568
E_k/E	1,00	1,04	1,00	1,04	1,04	1,01	0,961	0,933	1,00

Для решения вопроса о влиянии орошения на увеличение осадков требуется более глубокий анализ, в частности, с учетом климатических циклов. Для Чуйской долины вопрос осложняется тем, что и в настоящее время доля орошаемых площадей не превосходит 35 % ее общей площади. Принимая в формуле (10.2) для Чуйской впадины $E_{\text{ор}} = 0,79E_0$ (за год), а $E_{\text{неор}} \cong 12X = 0,4E_0$

(включая испарение с грунтовых вод, водных поверхностей и безвозвратные потери на водоснабжение), можно получить

$$\bar{E} = E/F_{\text{вал}} = [2,2\alpha_{\text{ор}} + 1,2\alpha_{\text{неор}}] \bar{X} = [0,79\alpha_{\text{ор}} + 0,45\alpha_{\text{неор}}] \bar{E}_0. \quad (10.17)$$

Отсюда при

$$\alpha_{\text{ор}} = 0 \quad \bar{E} = 1,2\bar{X} = 0,45\bar{E}_0,$$

$$\alpha_{\text{ор}} = 0,3 \quad \bar{E} = 1,5\bar{X} = 0,55\bar{E}_0,$$

$$\alpha_{\text{ор}} = 0,7 \quad \bar{E} = 1,9\bar{X} = 0,72\bar{E}_0.$$

Проследить при $\alpha_{\text{ор}} < 0,30$ влияние орошения на испарение, а тем более на осадки, в реальных условиях изменчивости климатических и гидрологических факторов практически невозможно. Как видно, закономерности увеличения испарения и уменьшения оттока по замыкающему створу носят сложный характер. В начальный период развития орошения ($\alpha_{\text{ор}} < 0,3$) рост водозабора и испарения с поливных земель до определенного момента компенсировался снижением испарения с участков, занятых влаголюбивой растительностью, и увеличением дренажного стока. Дальнейшее увеличение орошаемых площадей ($\alpha_{\text{ор}} > 0,3$) и головного водозабора привело к уменьшению оттока в створе у с. Ташуткуль. Естественно, что при этом сказалась и специфика колебаний гидроклиматических факторов.

10.6. Эффективность использования водных ресурсов на орошение

Эффективность использования оросительной воды и водных ресурсов в целом оценивается рядом показателей [34, 37, 38]:

КПД оросительных систем η_0 и их звеньев (межхозяйственной $\eta_{\text{мх}}$, внутрихозяйственной $\eta_{\text{вх}}$, техники полива $\eta_{\text{тп}}$, использования воды на транспирацию $\eta_{\text{тр}}$);

коэффициентами использования водных ресурсов (k_p ; k_p');

коэффициентами водопотребления и транспирации (суммарный расход воды на единицу урожая) и отдельно оросительной воды. КПД системы (сеть+поле) определяется по уравнению

$$\eta = Q_{\text{вз, н}}/Q_{\text{вз}} = Q_{\text{впт}}\alpha_{\text{м}}/Q_{\text{вз}} = \eta_{\text{мх}}\eta_{\text{вх}}\eta_{\text{тп}}. \quad (10.18)$$

Общий (полный) КПД системы (сеть+поле+растение)

$$\eta_0 = Q_{\text{тр}}/Q_{\text{вз}} = Q_{\text{тр}}\alpha_{\text{мт}}/Q_{\text{вз}} = \eta_{\text{тр}}\eta, \quad (10.19)$$

где $Q_{\text{вз, н}}$ — водоподача на поля нетто; $Q_{\text{вз}}$ — головной водозабор для целей орошения; $Q_{\text{впт}}$, $Q_{\text{тр}}$ — водопотребление и транспирация сельскохозяйственных культур за вегетацию; $Q_{\text{впт}} = Q_{\text{тр}} + E_{\text{п}}$, где $E_{\text{п}}$ — испарение почвой; $\alpha_{\text{м}}$, $\alpha_{\text{мт}}$ — доля их, обеспечиваемая оросительной водой. Предельное значение η при самой совершенной тех-

нике орошения не превосходит 0,85—0,90, а η_0 составляет 0,68—0,72.

При четкой эксплуатации оросительных систем и полном комплексе гидрологических, агрометеорологических и гидрогеологических наблюдений определение почти всех показателей не требует значительных дополнительных измерений. Исключение представляет коэффициент использования воды на транспирацию, определение которого требует специальных исследований. Однако, к сожалению, до настоящего времени органы эксплуатации оросительных систем на основании измерений определяют только КПД межхозяйственной сети как частное от деления водоподачи в точках выдела хозяйства на значение головного водозабора. При этом точность измерения водоподачи в хозяйства совершенно недостаточна. Значения КПД внутривоспользовательской сети, как правило, определяются расчетом в предположении, что водоподача на поля равна произведению плановых поливных норм брутто на фактически политую площадь. Таким образом, к ошибкам измерения водоподачи в хозяйства добавляется допущение, что фактические поливные нормы соответствуют плановым.

По работам [28, 98, 99], КПД техники полива находится в пределах от 0,31 до 0,80. Такие же значения дали расчеты, выполненные для отдельных хозяйств по методике, изложенной в работе [34]. Для Чуйской долины в целом осредненное значение $\eta_{\text{тп}}$ за отдельные периоды получилось порядка 0,5—0,6. Подсчет КПД системы на основе анализа материалов органов эксплуатации за 1946—1960 гг. дал (даже при $\eta_{\text{тп}}=0,80$) $\eta=0,34$, а за 1971—1975 гг. — $\eta=0,45 \dots 0,50$. По отчетам УОС за эти годы КПД межхозяйственной сети соответственно составляют 0,7—0,72 и 0,8—0,85.

Для определения осредненного по Чуйской долине КПД $\eta_{\text{усл}}$ систем использовано выражение

$$\eta_{\text{усл}} = \Delta E' / Q_{\text{вз}} = (Y_{\text{п}}^* - Y_{\text{п}}) / Q_{\text{вз}}. \quad (10.20)$$

Оценки, выполненные по формуле (10.20) (табл. 10.10), показали, что за 1941—1975 гг. значение $\eta_{\text{усл}}$ в среднем равно 0,375, за пятилетние периоды оно меняется от 0,257 до 0,485.

Отсутствие определенной закономерности в динамике КПД во времени, несмотря на очевидное повышение уровня техники орошения и агротехники на протяжении рассматриваемого периода, в определенной степени объясняется приближенностью исходных данных, положенных в основу расчета. Однако большое значение имеет то обстоятельство, что поливной режим фактически слабо дифференцируется по годам, а эксплуатационные потери, особенно во внутривоспользовательской сети и на полях, значительно превышают технические (проектные). Низкие значения КПД систем свойственны районам орошаемого земледелия Средней Азии. Например, по данным Э. А. Акрамова [4], в Узбекистане в первой половине 70-х годов КПД оросительных систем (сеть+поле) находились на уровне 0,24—0,32.

Это говорит об имеющихся больших резервах экономии оросительной воды за счет переустройства систем оросительных мелиораций и в первую очередь усовершенствования техники полива.

Коэффициент использования водных ресурсов k (КИВ) в сфере оросительных мелиораций определялся по формулам:

$$k_p = (Q_{\text{впт}} + M_{\text{пр}}) / (П_{\text{п}} + П_{\text{г}} + X) \quad (10.21)$$

и

$$k'_p = (Q_{\text{тр}} + M_{\text{пр}}) / (П_{\text{п}} + П_{\text{г}} - X). \quad (10.22)$$

В этих формулах в компонентах $Q_{\text{впт}}$ и $Q_{\text{тр}}$ учитывается водопотребление с орошаемых и богарных посевов, насаждений и пастбищ, $П_{\text{п}}$ и $П_{\text{г}}$ — поступление (в виде разности притока и оттока) соответственно поверхностных и грунтовых вод за период вегетации; $M_{\text{пр}}$ — водоподача на поля для осуществления промывки и промывного режима.

В отличие от КПД системы и ее звеньев, который характеризует эффективность использования оросительной воды в процессе ее транспортировки от источника орошения до растения, КИВ характеризует использование водных ресурсов в целом. Это очень важно, так как даже в ряде районов аридной зоны осадки могут играть определенную роль в обеспечении нормы водопотребления.

Строго говоря, в числителе формул (10.21) и (10.22) должны фигурировать не суммарное водопотребление (транспирация), а продуктивное (полезное) их значение, соответствующее фактически полученному урожаю. Как известно, проектное водопотребление оценивается исходя из условий оптимального водоснабжения $Q_{\text{оп}}$, обеспечивающего получение в данных агроклиматических условиях высоких и устойчивых урожаев $Y_{\text{оп}}$.

Приближенно можно принять, что в пределах изменения значений $Q_{\text{оп}}$ от 0,6 до 1,0 продуктивное водопотребление $Q_{\text{пр}}$, соответствующее фактическому урожаю Y , равно

$$Q_{\text{впт}} = Q_{\text{оп}} (Y/Y_{\text{оп}})^n \quad \text{при } n = 2 \dots 0,5. \quad (10.23)$$

При правильном сочетании режимов увлажнения, внесения удобрений и агротехники можно принимать $n=0,5$.

Продуктивную транспирацию можно принимать порядка 0,7—0,8 от значений $Q_{\text{пр}}$, считая, что при современном уровне агротехники испарение с почвы не должно превышать 20—30 % значений $Q_{\text{пр}}$ [37]. Вероятно, эти значения КИВ удобно называть коэффициентами использования водных ресурсов на водопотребление и транспирацию.

На основе обработки данных по годовым значениям испарения с орошаемых земель, заимствованным из работы [16], были определены значения КИВ за 1941—1975 гг. При этом принято, что для сахарной свеклы, люцерны, а также кормовых, картофеля, овощей, бахчевых, на которые приходится 63 % площади орошаемых земель (в среднем), вегетационный период длится с апреля по сентябрь и на него падает 81 % годовой суммы $E_{\text{ор}}$ (среднее по

четырем метеостанциям), для кукурузы (16,5 % площади) на май—сентябрь приходится 61 % суммы $E_{ор}$, для зерновых культур (20,5 % площади) на апрель—июль — 51 % суммы $E_{ор}$.

Среднее взвешенное значение $Q_{впт}$ оценено по формуле

$$Q_{впт} = 0,73 E_{ор} \alpha_{ор}. \quad (10.24)$$

Значения $E_{ор}$ помещены в табл. 10.5, а $\alpha_{ор}$ — в табл. 10.10.

Для сравнения подсчитаны средние взвешенные значения КИВ для указанного состава культур по нормам водопотребления, определенным в работе [41] (табл. 10.12).

Значения k_p и k'_p в табл. 10.12 занижены из-за неучета расходов на промывку и промывной режим орошения и водопотребления с богарных сельскохозяйственных угодий. В то же время прослеживается определенная тенденция к возрастанию коэффициента k_p . Расчеты показали, что при фактической урожайности в начале расчетного периода КИВ на продуктивное водопотребление k_p пр. были порядка 0,13—0,20 (на продуктивную транспирацию 0,10—0,15).

Таблица 10.12

Коэффициенты использования водных ресурсов на водопотребление k_p и транспирацию k'_p

Период, годы	$Q_{впт} = 0,73 E_{ор} \cdot \alpha_{ор}$ мм	$Q_{впт} = Q'_{впт} \cdot \alpha_{ор}$ при $Q_{впт} = 644$, мм	$\Pi_{п} + \Pi_{г} + X$ мм	k_p	k'_p
1941—1945	149	154	545	0,27	0,20
1946—1950	168	170	562	0,30	0,22
1951—1955	181	176	546	0,33	0,25
1956—1960	168	166	581	0,29	0,22
1961—1965	208	198	563	0,37	0,28
1966—1970	216	210	664	0,32	0,24
1971—1975	230	220	555	0,42	0,31
1941—1975	188	185	574	0,33	0,25

Значительный рост урожайности сельскохозяйственных культур и уровня агротехники обеспечил увеличение значений $k_{p. пр}$ до 0,18—0,27. Это далеко не предел, так как большие резервы в повышении урожайности кроются и в эффективном использовании тепловых ресурсов — повышении КПД фотосинтетически активной радиации.

Предельно возможные значения КИВ на продуктивное водопотребление и транспирацию при условии $\alpha_{ор} = 0,70 \dots 0,85$ и достижении проектной урожайности могут возрасти соответственно до 0,79 и 0,63.

Анализ динамики осредненных по региону КПД оросительных систем и КИВ показал, что техническое совершенствование систем

(в первую очередь техники полива) и повышение урожайности продолжает оставаться главным направлением в увеличении валового выхода продукции сельского хозяйства, улучшении использования водных, земельных и тепловых ресурсов и мелиоративного состояния орошаемых земель. Это относится ко всем районам орошаемого земледелия. Доведением доли продуктивного водопотребления до оптимальных пределов достигается рациональная структура водного баланса региона. В настоящее время при оценке эффективности использования водных ресурсов оперируют КПД оросительной сети, а не КПД оросительных систем (сеть+поле) в целом. Совершенно не учитывается также неполное использование воды на поле за счет несоответствия фактического урожая проектному, на который рассчитывается оросительная норма. Это дает искаженное представление о дефиците водных ресурсов.

11. ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫЙ БАЛАНС РЕК ЧУ И ТАЛАС

11.1. Гидрологическое обоснование водохозяйственных балансов

Для надежного обоснования оптимального использования водных ресурсов в настоящее время актуальность приобретают вопросы разработки научных основ составления водохозяйственных балансов (ВХБ), а особенно их гидрологической части [95]. Динамика составляющих ВХБ является необходимым материалом при анализе последствий, связанных с преобразованием отдельных компонентов природной среды или экологических систем в целом.

При расчете приходных и расходных статей водохозяйственного баланса особая роль отводится учету так называемых водных ресурсов вторичного образования, формирующихся как в результате хозяйственного использования водных ресурсов (возвратные воды при орошении, водоотведение промышленности, коммунального хозяйства и др.), так и вследствие специфических физико-географических условий местности (выхода источников «карасу», выклинивание грунтовых вод в русла рек и т. п.). С увеличением степени использования водных ресурсов важное практическое значение приобретает вопрос о возможностях и условиях повторного использования воды, возвращаемой объектами сельского хозяйства, промышленности, населенными пунктами.

Наиболее значительные объемы водных ресурсов вторичного образования поступают из зон орошаемого земледелия. Учет их осуществляется по методике, изложенной в разделе 8. В других областях хозяйства (промышленность, энергетика, водоснабжение) возврат воды учитывается либо гидрометрическим путем, либо по нормам удельного водоотведения. Величина сбросов воды зависит от ее качества и условий отведения. В случае затруднения очистки сточные воды промышленных объектов (а иногда и возвратные воды от орошения) направляются не в действующую гидрографическую сеть, а в местные понижения рельефа и тогда при составлении ВХБ для конкретного водохозяйственного района они включаются в статью безвозвратных потерь.

Оценка водных ресурсов вторичного образования в виде выклиниваний на поверхность грунтового потока осуществляется на основе гидрометрических измерений (данные фактических наблюдений, результаты расчетов руслового водного баланса) или по данным наблюдений за уровнем грунтовых вод с использованием гидрогеологических методов расчета.

Суммарный сток зоны формирования и вторичных водных ресурсов, составляющих приходную часть ВХБ, предлагается называть эксплуатационными водными ресурсами.

Расходная часть ВХБ включает в себя потребление воды в хозяйственных целях (орошение, промышленно-коммунальное водоснабжение, рыбное хозяйство) и потери на непродуктивное испарение с неорошаемых территорий при условии близкого залегания грунтовых вод (заболоченные пространства, участки с влаголюбивой растительностью).

Затраты воды на различные отрасли народного хозяйства обычно представляются в виде суммарного водозабора (валовое водопотребление). При составлении текущих или перспективных ВХБ для оценки количества оборотной воды или объемов повторно используемых вод суммарный водозабор рекомендуется разделить на безвозвратное водопотребление и возвратные воды.

В водохозяйственной практике при разработке региональных схем использования и охраны водных ресурсов в расходной части ВХБ нередко учитываются только безвозвратные потери, вследствие чего не находят решения вопросы оборотного и повторного использования стока рек. По этой же причине в дефицитных по водным ресурсам районах водохозяйственный баланс может показать вполне благополучную картину, однако, составленные таким способом схемы «не работают», т. е. их рекомендации неприменимы ввиду того, что ни одна отрасль народного хозяйства не будет нормально функционировать, если ее обеспечить водой строго в объеме безвозвратного водопотребления (КПД любой оросительной системы еще не достигло 1,0). Например, гидроэнергетика, сама почти «не потребляя воду», не может нормально функционировать без соответствующей подачи речного стока. Следовательно, планирование использования водных ресурсов должно базироваться на данных о суммарном водопотреблении, а в условиях дефицита особо тщательно должны рассматриваться вопросы оборотного водоснабжения.

К сожалению, в современных нормативных документах [90] нет четких рекомендаций по учету повторности использования водных ресурсов и, вообще, не уделено должного внимания методике составления ВХБ.

В текущих ВХБ суммарный водозабор из рек определяется по материалам фактических измерений, а в перспективе — путем оценки потребности в воде каждой отрасли народного хозяйства. Для этого необходимо иметь значения планируемых КПД, а также данные об удельном расходе воды на одного жителя, на единицу продукции, на единицу орошаемой площади и т. п. По ним определяется суммарное (по всем отраслям народного хозяйства) количество воды. Эти сведения могут быть представлены в виде следующих характеристик [50]:

водозабор на нужды всех отраслей народного хозяйства без учета потерь воды, связанных с ее подачей, и повторности использования;

водозабор из источника орошения с учетом дополнительных потерь, связанных с водоподготовкой и водоотведением, с учетом повторного использования вод и т. п.;

безвозвратные потери воды;

сброс использованной воды с разделением ее на чистую и загрязненную бытовыми или производственными примесями; возврат воды в гидрографическую систему бассейна.

Составление ВХБ является весьма сложной задачей и в каждом конкретном случае требует учета местных особенностей формирования и расходования водных ресурсов как естественного, так и вторичного образования. В связи с этим структура приходной и расходной частей ВХБ в отдельных случаях может меняться. Так в приходной части следует учитывать наличие или переброску стока возвратных вод через границы выделенных участков водосбора по оросительной и коллекторно-дренажной сети или в виде оттока грунтовых вод. Передача стока оросительных вод может появиться в расходной части ВХБ, если существует отток по магистральным каналам с одного участка водосбора на другой.

При структуре ВХБ, предусматривающий учет поступления атмосферных осадков на исследуемую территорию, безвозвратное водопотребление в расходной части должно быть заменено на испарение с сельскохозяйственных и естественных угодий.

Сопоставление фактической приходной и расходной частей ВХБ с требуемыми по нормам объемами водопотребления позволяет установить излишки или дефицитность водных ресурсов данного региона.

При обнаружении дефицита в настоящее время или на ближайшую перспективу требуется разработка мероприятий по экономии и регулированию речного стока вплоть до пересмотра намечаемых перспектив народнохозяйственного плана.

Расходная часть ВХБ может быть сокращена за счет экономии воды при введении оборотных систем водоснабжения в промышленности, путем изменения технологического процесса ряда производств с «мокрого» на «сухой», пересмотра состава возделываемых сельскохозяйственных культур при развитии орошения, установления и соблюдения в практике водопользования оптимальных оросительных норм, реконструкции оросительных систем и повышения их КПД.

Водохозяйственные балансы, составленные на разные стадии использования водных ресурсов, представляют весьма ценный материал для гидрологического и водохозяйственного анализов. Сравнивая структуру ВХБ различных периодов (например, за пятилетие) можно установить эффективность проведенных мероприятий по экономии воды, росту влияния комплекса антропогенных факторов, проследить динамику объемов возвратных вод и их вклад в формирование водных ресурсов вторичного образования. Последнее достигается путем включения в анализ дополнительных материалов по способам ведения водного хозяйства, по фактическим нормам водопотребления и т. п.

Так, в работе В. Н. Паршина [64] на основе частного решения ВХБ производится оценка возвратных вод Ферганской долины, т. е. на участке р. Сырдарьи выше Кайраккумского водохранилища. При этом установлено, что в последние десятилетия возвратные воды составляют 2,0—3,2 км³/год. Обнаружена закономерность увеличения возвратных вод с ростом забора воды на орошение, хотя отношение этих величин друг к другу остается примерно одинаковым (возвратные воды равны 30 % водозабора). Из соотношения значений баланса водозабора и возврата воды делается вывод, что наиболее оптимальный водозабор в период вегетации составляет порядка 7,5—8,0 км³. Увеличение его в многоводные годы до 9,0 км³, т. е. на 1 км³, ведет к такому же увеличению объема возвратных вод, что указывает на нерациональность повышения водозабора в пределах данного района и неэкономное использование водных ресурсов в многоводные периоды.

В современных условиях при разработке основ рационального и комплексного использования водных ресурсов в первую очередь встает задача оценки водных ресурсов вторичного образования как дополнительного источника водообеспечения народного хозяйства. Наибольшие объемы последних формируются в пределах районов с развитым орошаемым земледелием. Только при учете возвратных вод возможен расчет оборотного водоснабжения. Это же условие необходимо для разработки в каждом случае особенностей структуры водохозяйственного баланса.

11.2. Водохозяйственные балансы Чуйской и Таласской долин

В результате проведения комплексных воднобалансовых исследований на мелиорируемых землях Средней Азии и выполненных на этой основе теоретических разработок предлагается схема гидрологической части ВХБ.

В данной схеме приходная часть ВХБ определяется в виде эксплуатационных водных ресурсов, складывающихся как из естественных водных ресурсов (стока зоны формирования), так и водных ресурсов вторичного образования.

Расходная часть ВХБ состоит из водозаборов поверхностных и грунтовых вод на различные хозяйственные нужды, оттока вод через замыкающий створ реки, оттока оросительных вод по каналам за пределы рассматриваемого участка и безвозвратных их потерь на испарение с неорошаемых земель при близком залегании уровня грунтовых вод (перелogi, пойменные участки и т. п.).

В соответствии с изложенным на основе материалов экспедиции ГГИ, данных местных управлений по гидрометеорологии и республиканских органов ММиВХ для трех участков Чуйской долины произведена количественная оценка эксплуатационных водных ресурсов и остальных составляющих ВХБ в среднем за 1971—1975 гг. (табл. 11.1). Следует учесть, что период 1971—1975 гг. является маловодным.

Таблица 11.1

Водохозяйственный баланс Чуйской долины за 1971—1975 гг.

Характеристика	До створа у Чу- мышской плотины		До створа у с. Ташуткуль		До створа у с. Фурмановка	
	м³/с	км³/год	м³/с	км³/год	м³/с	км³/год

Приход

Естественные водные ресурсы

Приток поверхностных вод из зоны формирования						
сток р. Чу	46,7	1,47	46,7	1,47	46,7	1,47
у ст. Джилыарыкской						
сток боковых притоков (учтенных и неучтенных гидрометрическими постами)	23,4	0,74	55,3	1,74	69,9	2,20
Приток грунтовых вод с горного обрамления						
подрусловой сток р. Чу	(2,33)	(0,07)	(2,33)	(0,07)	2,33	(0,07)
у ст. Джилыарыкской						
подрусловой сток боковых притоков	(1,17)	(0,04)	(2,76)	(0,09)	(3,50)	(0,11)
Итого	73,6	2,32	107,1	3,37	122,4	3,85

Водные ресурсы вторичного образования

Выклинивание родниковых вод в долине (карасу)	26,9	0,85	26,9	0,85	26,9	0,85
Сток коллекторно-дренажной сети	2,63	0,08	14,7	0,46	17,8	0,56
Выклинивание грунтовых вод в русло р. Чу или потери стока	(—3,80)	(—0,12)	(12,8)	(0,40)	(21,3)	0,67
Энергетические сбросы	18,0	0,57	28,5	0,90	29,0	0,91
Эксплуатационный отбор скважинами из грунтовых вод	(5,0)	(0,16)	15,1	0,48	17,0	0,54
Итого	48,7	1,54	98,0	3,09	112,0	3,53

Расход

Водозаборы на нужды сельского хозяйства и промышленно-коммунального водоснабжения						
из поверхностных вод	53,8	1,69	119,0	3,75	153,4	4,83
из подземных вод	(5,00)	(0,16)	15,1	0,48	(17,0)	(0,54)
Безвозвратные потери с неорошаемых земель с близким залеганием уровня грунтовых вод	(2,10)	(0,07)	12,1	0,38	(15,1)	(0,48)

Характеристика	До створа у Чумышской плотины		До створа у с. Ташуткуль		До створа у с. Фурмановка	
	м³/с	км³/год	м³/с	км³/год	м³/с	км³/год
Отток за пределы участка						
по руслу р. Чу в замыкающем створе	11,2	0,35	51,7	1,63	48,5	1,53
отток грунтовых вод (подрусловой отток р. Чу в том же створе)	0,40	0,003	0,10	0,003	—	—
отток (переброска) по каналам на нижний участок долины	47,3	1,49	6,84	0,22	0	0
Итого	119,8	3,76	204,8	6,46	234,0	7,38
Невязка ВХБ	2,50	0,10	0,30	0,00	0,40	0,00

Согласно данным наблюдений и выполненным расчетам естественные водные ресурсы Чуйской долины за указанный период до створа у Чумышской плотины составили 2,32, до створа у с. Ташуткуль — 3,37, до с. Фурмановки (свх им. Амангельды) — 3,85 км³/год.

Общие эксплуатационные водные ресурсы оказались равными 7,4 км³/год, так как включают в себя, кроме стока зоны его формирования, водные ресурсы вторичного образования (сток источников «карасу», коллекторов, русловые выклинивания и т. п.). Превышение эксплуатационных водных ресурсов над естественными составило 3,53 км³/год.

При естественных водных ресурсах Чуйской долины за принятый в расчет период (3,85 км³/год) суммарный водозабор в ее пределах достиг 5,37 км³/год, что свидетельствует, во-первых, о наличии дефицита ресурсов при существующих КПД и о низком техническом уровне мелиоративных систем. Во-вторых, установлена степень неоднократности использования речного стока, что позволило обеспечить указанный выше водозабор. Превышение водозабора над водными ресурсами в 1,5 раза подтверждает ранее высказанные положения о роли и значимости водных ресурсов вторичного образования в деле водообеспечения различных отраслей народного хозяйства. Формирование последних в объеме 3,53 км³/год обусловлено влиянием антропогенных и естественных факторов. Возвратные воды (1,53 км³/год) и энергетические сбросы (0,91 км³/год) обусловлены развитием хозяйственной деятельности в Чуйской долине. Под ее воздействием формируется около 70 % водных ресурсов вторичных образований (2,46 км³/год), а остальные 30 % (свыше 1 км³/год) обязаны своим происхождением физико-географическим, геологическим и гидрогеологическим

особенностям территории, способствующим возникновению стока источников «карасу», выклиниванию естественного потока грунтовых вод в русла рек и т. п.

Надо заметить, что и в перспективе, несмотря на планируемые мероприятия по улучшению всей системы водопользования, в Чуйской долине сохранится дефицит водных ресурсов, равный примерно $1 \text{ км}^3/\text{год}$.

Учет составляющих ВХБ по предлагаемой схеме базируется в основном на гидрометрических данных. В рассмотренном примере по Чуйской долине лишь около 5 % эксплуатационных водных ресурсов получены расчетным путем (сток неизученных водотоков, выклинивание грунтовых вод, потери с неорошаемых земель). Соответствие приходной и расходной статей ВХБ говорит о корректности выполненных оценок.

Водохозяйственный баланс бассейна р. Талас составлен для двух участков — от истока и до с. Кировское, а затем — до с. Покровка. Его разработка осуществлена за 1971—1974 гг., т. е. за годы работы экспедиции ГГИ, когда удалось получить соответствующую информацию.

Естественные водные ресурсы бассейна р. Талас для принятых в расчет участков составили соответственно 1,21 и $1,24 \text{ км}^3/\text{год}$ (табл. 11.2), что примерно на 9—10 % ниже их среднего многолетнего значения.

В отличие от Чуйской долины в формировании эксплуатационных водных ресурсов бассейна р. Талас (в 1971—1974 гг. они не превышали $1,5 \text{ км}^3/\text{год}$) вклад ресурсов вторичного образования незначителен — всего 17 % (в Чуйской долине около 50 %). В настоящее время на рассматриваемой территории водные ресурсы вторичного образования своим происхождением почти целиком обязаны возвратным водам оросительных мелиораций (см. табл. 8.7). Доля естественных факторов в их образовании крайне мала.

Расходная часть ВХБ складывается из оттока за пределы участка и водозабора, которые находятся между собой примерно в равных соотношениях. Водозабор из источников орошения (самой р. Талас и ее притоков) пока не превышает 50 % естественных водных ресурсов, что свидетельствует об отсутствии дефицитности баланса по крайней мере в верхней части бассейна (в пределах Киргизской ССР).

В заключение следует отметить, что предложенная схема составления ВХБ позволяет установить как объем, так и неоднократность использования водных ресурсов. Ею предусматривается переход от разработки ВХБ по линейной схеме (по отношению к руслу основной реки) к составлению его по площадной схеме всего водосбора или части его.

Расчеты ВХБ вследствие высокой изменчивости антропогенных его составляющих рекомендуется выполнять не за многолетие, а за интервалы 5 и не более 10 лет, с анализом водности периода и установления тенденции изменения приходной и расходной частей

Таблица 11.2

Водохозяйственный баланс бассейна р. Талас за 1971—1974 гг.

Характеристика	До створа с. Кировское		До створа с. Покровка	
	м³/с	км³/год	м³/с	км³/год

Приход

Естественные водные ресурсы

Приток поверхностных вод из зоны формирования	38,4	1,21	39,5	1,24
Итого	38,4	1,21	39,5	1,24

Водные ресурсы вторичного образования

Выклинивание родниковых вод в долине (карасу)	1,4	0,04	3,9	0,12
Выклинивание грунтовых вод в русло р. Талас	6,6	0,21	4,1	0,13
Итого	8,0	0,25	8,0	0,25

Эксплуатационные водные ресурсы

	46,4	1,46	47,5	1,49

Расход

Водозабор на хозяйственные нужды	16,0	0,50	19,5	0,61
Отток за пределы участка	26,4	0,83	23,3	0,73
Переброска по каналам за пределы бассейна	(2,0)	0,01	(2,0)	0,01
Итого	44,4	1,34	44,8	1,35
Невязка	2,0	0,12	2,7	0,14

ВХБ. Подобный анализ необходим для перехода к расчету ВХБ на перспективу, так как эксплуатационные водные ресурсы не постоянны во времени. Они могут увеличиваться с повышением кратности использования стока, а могут и уменьшаться с ростом КПД и объемов безвозвратного водопотребления. Пределом использования водных ресурсов является равенство объема безвозвратных потерь естественным водным ресурсам.

Разработанная методика составления гидрологической части ВХБ может использоваться и в других районах для бассейнов с развитым орошаемым земледелием.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В связи с интенсивным развитием оросительных мелиораций в бассейнах рек Чу и Талас произошло заметное уменьшение стока этих рек в их среднем и нижнем течении, а также повышение минерализации речных вод, что существенно затруднило применение традиционных методов для гидрологического обоснования планируемого использования водных ресурсов и дальнейшего расширения водохозяйственного строительства. Положение осложнилось необходимостью осуществления современного и перспективного водodelения стока этих рек в целях эффективного развития сельскохозяйственного и промышленного производства двух республик — Киргизской и Казахской.

Основная задача исследований заключалась в разработке научно-методологического обоснования дальнейшего развития оросительных мелиораций. Она выполнялась путем проведения полевых воднобалансовых наблюдений и обобщения их результатов.

В процессе проведения научных работ использовалась гидро-мелиоративная информация, представленная Союзводпроектom, Минводхозами Казахской и Киргизской ССР, которые участвовали в обсуждении программы и основных итогов исследований.

Результаты научно-исследовательских разработок сводятся к следующему. Водные ресурсы зоны формирования стока за многолетний период в бассейне р. Чу составляют $4,3 \text{ км}^3/\text{год}$, а с учетом подруслового притока с горного обрамления — $4,4 \text{ км}^3/\text{год}$. По уточненным данным, водные ресурсы бассейна р. Талас равны $1,5 \text{ км}^3/\text{год}$. В пределах рассматриваемых водосборов колебание стока зоны формирования в зависимости от водности периода достигает $2,0 \text{ км}^3/\text{год}$.

Орошаемое земледелие в исследуемом регионе является основным потребителем водных ресурсов. Как показали результаты полевых исследований, фактические оросительные нормы не соответствуют оптимальным их значениям, необходимым для формирования наибольшей урожайности возделываемых сельскохозяйственных культур. Если орошение технических культур (сахарная свекла) осуществляется со значительным переполивом, то другие культуры поливаются заниженными, по сравнению с требуемыми нормами. Значительная часть оросительных вод, подаваемых на поля, расходуется на непродуктивные сбросы в коллекторно-дренажную сеть, на испарения с перелогов и в транзитной зоне.

Внедрение научно-обоснованных норм будет способствовать более рациональному использованию водных ресурсов. Выполненные тепловоднобалансовым методом расчеты поливных норм наиболее

полно учитывают составляющие водного баланса орошаемых массивов. Эмпирические параметры метода были проверены на основе многолетних комплексных исследований ГГИ в Поволжье и Северном Кавказе, Южном Казахстане и бассейнах рек Чу и Талас.

Осуществленные исследования позволили разработать технологию расчета безвозвратных потерь и возвратных вод, вскрыть генезис их формирования, определить поверхностную и подземную составляющие объемов водоотведения. Расчет указанных характеристик для орошаемых земель Чуйской и Таласской долин осуществлялся по данным режимных наблюдений на сети Госкомгидромета СССР и Мингео СССР и материалов измерений на экспериментальных массивах. При существующих режимах орошения безвозвратные потери для Чуйской долины составили 600—660 мм/год, для Таласской — 460—500 мм/год. Объемы возвратных вод в Чуйской долине в начале 40-х годов возросли от 15,5 до 46 м³/с (36 % водозабора) в настоящее время. Возвратные воды в бассейне р. Талас составили 8 м³/с, или 35 % водоподачи.

Развитие орошения и изменение инфильтрационного питания грунтовых вод оказывают существенное влияние на процессы водообмена русла с прилегающей территорией. Характер водообмена оценивался значениями выклинивания подземных вод в русло или потерями руслового стока на фильтрацию в дно и берега. В верхней части Чуйской долины (до г. Токмака) наблюдаются потери стока, которые особенно велики на конусе выноса р. Чу — до 23 м³/с (с год). В последние годы в связи с увеличением водозабора отмечается тенденция к снижению этих потерь. В средней и нижней частях долины р. Чу характерно интенсивное выклинивание вод в русло (в среднем около 21 м³/с), которые заменило ранее наблюдавшиеся здесь потери стока.

Результаты исследования РВБ р. Талас показали, что в верхней части бассейна (до с. Кировское) наблюдается выклинивание грунтовых вод в русло (около 7 м³/с). Ниже по течению характер водообмена с прилегающей территорией неоднороден: на одних участках наблюдается выклинивание грунтовых вод, на других — потери руслового стока. Выклинивание грунтовых вод в русла рек Чу и Талас обусловлены главным образом поступлением подземной составляющей возвратных вод от орошения.

Совместные исследования водного баланса рассматриваемых бассейнов и многолетних колебаний стока рек Чу и Талас показали, что водность последних под влиянием целого ряда компенсационных факторов на протяжении длительного времени не испытывала односторонних изменений. Однако к началу 70-х годов эти компенсационные возможности были исчерпаны, что повлекло за собой уменьшение стока рек. Последнее особенно отчетливо проявилось в Чуйской долине, где к середине 80-х годов средние годовые расходы воды понизились на 40—60 % по сравнению с предшествующим условно естественным периодом.

Под влиянием развития орошаемого земледелия минерализация вод р. Чу у клх им. Чапаева возросла по сравнению с пер-

выми десятилетиями XX в. в два раза и достигла примерно 700 мг/дм³.

Снижение годового стока р. Талас невелико — 12—17 %. Минерализация воды в реке не претерпела существенных изменений, только в ее нижнем течении прослеживается тенденция к увеличению минерализации и содержанию токсичных ионов.

В перспективе в связи с планируемым развитием народного хозяйства и в первую очередь орошаемого земледелия ожидается уменьшение стока р. Чу в ее низовьях до 10 м³/(с·год), а р. Талас (у с. Покровское) до 19 м³/(с·год). Столь ощутимое уменьшение водности рек может серьезно осложнить водохозяйственную обстановку в среднем и нижнем течении р. Талас и серьезно ухудшить экологические условия в низовьях р. Чу.

Одной из основных задач при составлении ВХБ является оценка водных ресурсов и объемов их потребления в современных и перспективных условиях. На основе выполненных исследований предлагается схема ВХБ, в которой его приходная часть определяется в виде так называемых эксплуатационных водных ресурсов, состоящих из стока зоны формирования и водных ресурсов вторичного образования.

Расходная часть ВХБ представлена водозаборами, оттоком за пределы рассматриваемых участков, затратами на непродуктивное испарение с неорошаемых земель с близким залеганием грунтовых вод. Исследования ВХБ, основанные главным образом на данных фактических гидрометрических наблюдений, показали, что в Чуйской долине суммарный водозабор превысил естественные водные ресурсы этой территории на 1,5 км³/год.

Обеспечение такого объема изъятий обязано формированию в бассейне водных ресурсов вторичного образования. Главная роль в формировании последних принадлежит возвратным водам орошения и других отраслей народного хозяйства. Неоднократность обращения речного стока в сфере водопользования свидетельствует о низкой эффективности работы мелиоративных систем, о безхозяйственном отношении к весьма ограниченным водным ресурсам засушливых районов. Эти выводы подтверждаются низким КПД оросительных систем, значительными объемами возвратных вод.

В бассейне р. Талас (в пределах Киргизской ССР) ВХБ дефицита пока не испытывает.

В связи с большой изменчивостью водных ресурсов вторичного образования расчеты ВХБ рекомендуется проводить не за многолетний период, а за интервалы в 5—10 лет с анализом водности периода и установлением тенденций изменения основных составляющих ВХБ — водозабора, русловых выклиниваний, сбросов и т. д.

Разработанная методика составления ВХБ может быть использована и в других бассейнах с интенсивным развитием орошаемого земледелия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абальян Т. С. Основные высотные зоны формирования стока рек Средней Азии в различные месяцы вегетационного периода.— Труды ЦИП, 1967, вып. 155, с. 3—15.
2. Аверьянов С. Ф. Фильтрация из каналов и ее влияние на режим грунтовых вод.— В кн.: Влияние оросительных систем на режим грунтовых вод. М. Изд-во АН СССР, 1965, с. 85—452.
3. Агроклиматические ресурсы районов республиканского подчинения, Иссык-Кульской и Нарынской областей Киргизской ССР.— Л.: Гидрометеиздат, 1973.— 240 с.
4. Акрамов Э. А. Об эффективности капиталовложений в мелиоративное строительство.— Гидротехника и мелиорация, 1974, № 10, с. 1—7.
5. Алпатов А. М. Влагооборот культурных растений.— Л.: Гидрометеиздат, 1954.— 248 с.
6. Ахмедсафин У. М., Шлыгина В. Ф. Формирование, прогноз, управление режимом подземных вод конусов выноса.— Алма-Ата: Наука, 1978.— 148 с.
7. Биндеман Н. Н. Оценка эксплуатационных запасов подземных вод.— М.: Госгеолтехиздат, 1963.— 197 с.
8. Большаков М. Н. Водные ресурсы рек советского Тянь-Шаня и методы их расчета.— Фрунзе: Илим, 1974.— 306 с.
9. Бочеввер Ф. М. Расчеты эксплуатационных запасов подземных вод.— М.: Недра, 1966.— 322 с.
10. Будыко М. И. Тепловой баланс земной поверхности.— Л.: Гидрометеиздат, 1956.— 256 с.
11. Васильев В. А. Семиреченская область как колония и роль в ней Чуйской долины.— Пг.: 1915.— 227 с.
12. Вершинин А. П. К вопросу об оценке точности определения суммарного испарения и испаряемости.— Труды ГГИ, 1976, вып. 230, с. 57—67.
13. Водный баланс и методика расчета режима затопления лиманов Западного Казахстана.— Л.: Гидрометеиздат, 1968.— 234 с.
14. Водно-солевой баланс орошаемых земель Южного Казахстана.— Л.: Гидрометеиздат, 1977.— 280 с.
15. Вонсовская О. Г. Уточнение некоторых расчетных параметров расчета суммарного испарения для районов Северной Киргизии.— Труды ГГИ, 1978, вып. 251, с. 124—132.
16. Вонсовская О. Г., Сумарокова В. В. Динамика возвратных вод с орошаемых земель Чуйской долины.— Труды ГГИ, 1978, вып. 251, с. 84—105.
17. Воскресенский К. П., Харченко С. И., Шикломанов И. А. Влияние человека на водные ресурсы и гидрологические процессы.— Генеральные доклады IV Всесоюзного гидрол. съезда. Л., Гидрометеиздат, 1973, с. 53—84.
18. Временное руководство по определению норм и сроков полива тепловоднобалансовым методом.— Л.: Изд. ГГИ, 1971.— 30 с.
19. Выходцев И. В. Вертикальная поясность растительности в Киргизии (Тянь-Шань и Алай).— М.: Изд-во АН СССР, 1956.— 84 с.

20. Гидрогеология СССР. Том 36 Южный Казахстан.— М.: Недра, 1970.— 472 с.
21. Гидрогеология СССР. Том 40. Киргизская ССР.— М.: Недра, 1971.— 487 с.
22. Григорьев А. А. Осадки в Чуйской долине.— Сб. работ Фрунзенской ГМО, 1964, вып. 1, с. 5—28.
23. Григорьев А. А. О некоторых особенностях режима увлажнения горного обрамления Таласской долины.— Сб. работ Фрунзенской ГМО, 1964, вып. 1, с. 29—34.
24. Данильченко Н. В., Понькин А. П. Методические указания по расчету режима орошения сельскохозяйственных культур в Казахстане.— Вестник научно-технической производственной информации.— Алма-Ата, Изд. Минводхоза КазССР, 1968.— 75 с.
25. Джорджио З. В. Опыт долгосрочных прогнозов стока рек Средней Азии.— Ташкент: Изд. САГУ, 1957.— 126 с.
26. Дингельштедт Н.— Опыт изучения ирригации Туркестанского края. I, II.— Спб.: 1895.— 447 с.
27. Дунин-Барковский Л. В. О водном балансе орошаемой территории.— Изв. АН СССР. Сер. геогр., 1956, № 6, с. 61—73.
28. Емец В. П. Водный баланс бассейна нижнего течения р. Талас.— Труды ГГИ, 1976, вып. 230, с. 114—130.
29. Журавская Г. Л. Экономическое обоснование элементов техники механизированного полива по бороздам.— Вопросы водного хозяйства. 1977, вып. 39, с. 132—146.
30. Зайков Б. Д. Средний сток и его распределение в году на территории СССР.— Л.: Гидрометеиздат, 1946.— 148 с.
31. Иванов Н. Н. Об определении величины испаряемости.— Изв. ВГО, 1954, т. 86, № 2, с. 189—196.
32. Ильясов А. Т. Сток и водный баланс речных бассейнов Киргизии.— Труды САНИГМИ, 1969, вып. 43(58).— 255 с.
33. Кабаков М. М. Потери воды в каналах.— Фрунзе: Кыргызстан, 1967.— 221 с.
34. Каплинский М. И. Балансовые исследования на оросительных системах. Техничко-экономические показатели.— В кн.: Производственные исследования на оросительных системах. Фрунзе, Изд. АН КиргССР, с. 205—235, с. 276—290.
35. Каплинский М. И. Изучение водного баланса орошаемых земель.— Труды САНИИРИ, 1971, вып. 132, с. 66—107.
36. Каплинский М. И. Комплексное использование поверхностных и подземных вод межгорных впадин (на примере Чуйской впадины Киргизской ССР).— В кн.: Некоторые вопросы развития мелиорации в СССР. М., Колос, 1975, с. 99—115.
37. Каплинский М. И. Некоторые результаты балансовых исследований в Чуйской впадине.— В кн.: Изучение элементов водного баланса, режима и техники орошения. Фрунзе, Изд. АН КиргССР, 1965, с. 7—25.
38. Каплинский М. И. Основные показатели к технико-экономическому обоснованию побассейновых схем комплексного использования и охраны водных ресурсов.— Вопросы водного хозяйства, Фрунзе, 1978, вып. 44, с. 12—26.
39. Каплинский М. И. Прогнозирование изменений дренажного стока под влиянием водохозяйственных мероприятий.— Фрунзе: Илим, 1977.— 92 с.
40. Каплинский М. И. Уравнение связи между общим и частными водными балансами и русловым балансом в условиях межгорных впадин.— Вопросы водного хозяйства, Фрунзе, 1976, вып. 36, с. 3—6.
41. Каплинский М. И., Карташов В. В. Дефицит водопотребления основных культур Чуйской долины и его изменчивость во времени и пространстве.— Вопросы водного хозяйства. Фрунзе, 1972, вып. 24, с. 100—111.
42. Каплинский М. И., Костюк В. И., Суюмбаев Д. А. Некоторые результаты изучения испарения в Чуйской долине.— Материалы межведомственного совещания по проблеме изучения и регулирования испарения с водной поверхности и почвы. Валдай, 1964, с. 332—342.

43. Каплинский М. И., Тарасова А. А. и др. Изменчивость климатических и гидрологических факторов по Чуйской впадине.— Вопросы водного хозяйства. Фрунзе, 1976, вып. 36, с. 7—31.
44. Каплинский М. И., Тарасова А. А. Динамика руслового баланса р.р. Чу и Красной под влиянием водохозяйственных мероприятий.— Вопросы водного хозяйства, Фрунзе, 1976, вып. 36, с. 32—38.
45. Карбышева А. Д. Агрогидрологические свойства почв Казахской ССР (справочник).— Алма-Ата: Изд. УГМС КазССР, 1964.— 391 с.
46. Кожевников В. П. Обоснование методики расчета суммарного испарения с зарослей тростника.— Труды ГГИ, 1974, вып. 221, с. 104—126.
47. Кожевников В. П. Потери воды на испарение в русле и пойме Амударьи.— Труды ГГИ, 1974, вып. 217, с. 93—115.
48. Козел Я. К. Современная ирригация Чуйской долины.— Вестник ирригаций, 1925, № 11, с. 3—18.
49. Крашин И. И., Пересунько Д. И. Оценка эксплуатационных запасов подземных вод методом моделирования.— М.: Недра, 1976.— 201 с.
50. Крицкий С. Н., Менкель М. Ф. Методические основы построения водохозяйственных балансов.— Труды Гидропроекта, 1964, вып. 12, с. 167—185.
51. Кузин П. С. Классификация рек и гидрологическое районирование СССР.— Л.: Гидрометеоиздат, 1960.— 455 с.
52. Лебедев Н. А. Почвы долины р. Чу. Часть I. Материалы к проекту орошения долины р. Чу в Семиреченской области. Вып. VI.— Пг.: ОЗУ, 1916.— 396 с.
53. Мамытов А. М. О почвенно-мелиоративной обстановке земель Чуйской впадины.— Гидротехника и мелиорация, 1978, № 10, с. 80—82.
54. Мамытов А. М. Почвенные ресурсы и вопросы земельного кадаста Киргизской ССР.— Фрунзе: Кыргызстан, 1974.— 166 с.
55. Мезенцев В. С. и др. Режим влагообеспеченности и условий гидромелиорации степного края.— М.: Колос, 199.— 239 с.
56. Методические указания управлениям Гидрометслужбы № 52.— Л.: Гидрометеоиздат, 1959.— 76 с.
57. Методические указания управлениям Гидрометслужбы № 84.— Л.: Гидрометеоиздат, 1973.— 160 с.
58. Методические указания управлениям Гидрометслужбы № 90.— Л.: Гидрометеоиздат, 1977.— 103 с.
59. Мичурин Б. Н. Доступность влаги для растений в зависимости от структуры и плотности сложения почв и грунтов.— В кн.: Вопросы агрономической физики. Л., Сельхозгиз, 1957, с. 50—57.
60. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. II. Агрометеорологические наблюдения на станциях и постах. Часть I.— Л.: Гидрометеоиздат, 1973.— 123 с.
61. Наставление по производству наблюдений по определению испарения с почвы и снежного покрова.— Л.: Гидрометеоиздат, 1957.— 63 с.
62. Научно-обоснованная система земледелия Таласской области Киргизской ССР.— Фрунзе: Кыргызстан, 1985.— 315 с.
63. Осколкова Н. Д. Оценка изменений режима грунтовых вод Чуйской впадины под влиянием природных и мелиоративно-хозяйственных факторов.— Сб. работ по гидрологии № 15, 1979, с. 36—47.
64. Паршин В. Н. Сток рек, водообеспеченность орошаемых полей и урожайность хлопка в Средней Азии.— Метеорология и гидрология, 1975, № 8, с. 76—81.
65. Почвы долины р. Чу, их природа и пути использования для сельского хозяйства.— Алма-Ата: Наука, 1971.— 375 с.
66. Почвы Киргизской ССР.— Фрунзе: Илим, 1974.— 419 с.
67. Процеров А. В. Справочник агрогидрологических свойств почвы СССР.— Л.: Гидрометеоиздат, 1953.— 189 с.
68. Работы по орошению долины р. Чу/Под редакцией В. А. Васильева.— Бюллетень ОЗУ Министерства земледелия. Пг., 1916, № 1.— 22 с.
69. Работы по орошению долины р. Чу/Под редакцией В. А. Васильева.— Бюллетень ОЗУ Министерства земледелия. Пг., 1916, № 2.— 17 с.

70. Расчет недостатков водопотребления сельскохозяйственных культур.— Л.: Гидрометеиздат, 1976.— 134 с.
71. Рекомендации по расчету испарения с суши.— Л.: Гидрометеиздат, 1976.— 96 с.
72. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 14. Вып. 2. Бассейны оз. Иссык-Куль, рек Чу, Талас и Тарим.— Л.: Гидрометеиздат, 1973.— 308 с.
73. Розанов А. Н. и др. Почвы Чуйской впадины (в пределах Киргизской ССР).— Фрунзе: Изд. АН Кирг. ССР, 1959.— 191 с.
74. Рубинова Ф. Э. Изменение стока р. Сырдарья под влиянием водохозяйственного строительства в ее бассейне.— Труды САРНИГМИ, 1979, вып. 58 (139).— 136 с.
75. Руководство по градиентным наблюдениям и расчету составляющих теплового баланса.— Л.: Гидрометеиздат, 1964.— 130 с.
76. Руководство по определению агрогидрологических свойств почвы.— М.: Гидрометеиздат, 1964.— 124 с.
77. Самарина В. С. Гидрохимическое опробование подземных вод.— Л.: Изд. ЛГУ, 1958.— 256 с.
78. Сапожников С. А., Шашко Д. И. Агрометеорологические ресурсы СССР.— В кн.: Вопросы размещения и специализации сельского хозяйства СССР. М., Экономика, 1962, с. 95—109.
79. Скорняков Е. Е. Семиреченская область и положение ирригационного дела в ней.— Ежегодник отдела земельных улучшений 1911.— СПб, 1913, с. 370—424.
80. Солопов А. В. Механизм влияния оросительных мелиораций на водные ресурсы и водный баланс.— Труды ГГИ, 1973, вып. 208, с. 48—59.
81. Справочник по климату СССР. Вып. 32. Часть 4.— Л.: Гидрометеиздат, 1969.— 307 с.
82. Сумарокова В. В. Изменение водообмена русла р. Чу с прилегающей территорией в связи с развитием орошаемого земледелия.— Труды ГГИ, 1976, вып. 230, с. 25—33.
83. Сумарокова В. В. Классификация рек Киргизии по условиям формирования половодий.— Вопросы водного хозяйства. Фрунзе, 1976, вып. 37, с. 23—32.
84. Сумарокова В. В., Бажанова Л. В. Анализ выдающихся половодий рек Северного и Центрального Тянь-Шаня.— Изв. Кирг. геогр. об-ва, 1973, № 10, с. 88—97.
85. Сумарокова В. В., Вонсовская О. Г. Методика расчета безвозвратных потерь и возвратных вод на орошаемых территориях.— В кн.: Водно-балансовые исследования на сельскохозяйственных полях. Л., Гидрометеиздат, 1978, с. 182—195.
86. Сумарокова В. В., Цыценко К. В. О снижении стока рек в бассейне Аральского моря.— Труды ГГИ, 1978, вып. 251, с. 73—83.
87. Сумарокова В. В., Цыценко К. В. Оценка возвратных вод и изменений стока в бассейне р. Талас.— Труды ГГИ, 1981, вып. 277, с. 71—81.
88. Стародубцев В. М. Влияние орошения на мелиоративные качества речного стока.— Алма-Ата: Наука, 1985.— 168 с.
89. Указания по расчету испарения с поверхности водоемов.— Л.: Гидрометеиздат, 1969.— 83 с.
90. Указания по составу и содержанию бассейновых и территориальных схем комплексного использования и охраны вод.— М.: Изд. Союзводпроект, 1979.— 34 с.
91. Умурзаков С. У. Очерки по истории географических исследований Киргизии.— Фрунзе: Киргосиздат, 1959.— 149 с.
92. Харченко С. И. Гидрология орошаемых земель.— Л.: Гидрометеиздат, 1975.— 372 с.
93. Харченко С. И. Исследование влияния орошения на водные ресурсы и водный баланс речных бассейнов, разработка методики определения возвратных вод и безвозвратных потерь.— Труды ГГИ, 1973, вып. 208.— с. 9—47.
94. Харченко С. И. Тепловоднобалансовый метод обоснования норм орошения.— Труды ГГИ, 1965, вып. 125, с. 3—33.

95. Харченко С. И., Вольфцун И. Б., Сумарокова В. В. и др. Гидрологическое обоснование водохозяйственного баланса рек Чу и Талас.— Труды ГГИ, 1981, вып. 269, с. 3—21.
96. Харченко С. И., Цыценко К. В. Оценка влияния ирригационных мероприятий на речной сток (на примере р. Чу).— Труды ГГИ, 1976, вып. 230, с. 6—24.
97. Шалов А. Ф. Современное состояние и перспективы развития сельского хозяйства Джамбульской области.— Автореф. дисс. на соискание уч. степени канд. с.-х. наук. Алма-Ата, 1971.— 24 с.
98. Шаров И. А. Эксплуатация оросительных систем.— М.: Колос, 1968.— 384 с.
99. Шейнкин Г. Ю. Техника и организация орошения в Таджикистане.— Душанбе: Ирфон, 1970.— 447 с.
100. Шикломанов И. А. Антропогенные изменения водности рек.— Л.: Гидрометеониздат, 1979.— 302 с.
101. Шикломанов И. А. Оценка влияния комплекса антропогенных факторов на водные ресурсы и водный режим крупных водосборов.— В кн.: Преобразование стока и водные ресурсы. М., 1973, с. 59—77.
102. Шиненко Л. И. Динамика уровня грунтовых вод в районе водохранилищ и каналов.— Гидротехника и мелиорация, 1950, № 8, с. 19—29.
103. Щеглова О. П. Питание рек Средней Азии.— Ташкент: Изд. САГУ, 1960.— 244 с.
104. Юнусов Г. Р. Динамика стока рек Аральского моря и оз. Балхаш в связи с развитием орошения.— Труды ГГИ, 174, вып. 281, с. 128—159.

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ I

Поливные и оросительные нормы на экспериментальных полях

Номер полива	Сроки поливов		Продолжительность поливов, сут	Водо-подача на поле	Сброс воды		Поливная и оросительная нормы		Вод-ность года $\frac{Q}{Q_{г}}$
	начало	окончание		м³/га	м³/га	% водо-пода-чи	м³/га	мм	

САХАРНАЯ СВЕКЛА

Оросительная система ЗБЧК

1971 г.

1	26/V	14/VI	20	1560	280	18	1280	128	
2	15/VI	10/VII	26	2430	670	28	1760	176	
3	12/VII	12/VIII	31	5690	1030	18	4660	466	
4	12/VIII	31/VIII	19	2330	360	15	1970	197	
5	31/VIII	9/IX	10	740	20	3	720	72	
Итого	26/V	9/IX	106	12750	2360	18	10390	1039	0,94

1972 г.

1	23/VI	6/VII	14	2960	600	20	2360	236	
2	7/VII	23/VII	17	2500	450	18	2050	205	
3	4/VIII	24/VIII	21	3640	620	17	3020	302	
4	31/VIII	4/IX	5	110	10	9	100	10	
Итого	23/VI	4/IX	57	9210	1680	18	7530	753	0,83

1973 г.

1	21/VI	27/VI	7	2010	530	26	1480	148	
2	9/VII	13/VII	5	1500	410	27	1090	109	
3	16/VII	25/VII	10	1100	280	25	820	82	
4	31/VII	3/VIII	4	970	130	13	840	84	
5	15/VIII	18/VIII	4	1630	320	20	1310	131	
Итого	21/VI	18/VIII	30	7210	1630	23	5540	554	1,03

Номер полива	Сроки поливов		Продолжительность поливов, сут	Водо- подача на поле		Сброс воды		Поливная и оросительная нормы		Вод- ность года $\frac{Q_r}{Q}$
	начало	окончание		м³/га	м³/га	% водо- пода- чи	м³/га	мм		

Ат-Башинская оросительная система

1971 г.

1	25/V	10/VI	17	1590	90	6	1500	150	
2	11/VI	30/VI	20	1610	230	14	1380	138	
3	2/VII	23/VII	22	1860	280	15	1580	158	
4	23/VII	11/VIII	20	1880	260	14	1620	162	
5	12/VIII	25/VIII	14	2340	180	8	2160	216	
6	27/VIII	12/IX	17	2410	230	10	2180	218	
7	16/IX	18/IX	3	480	60	12	420	42	
Итого	25/V	18/IX	113	12170	1330	11	10840	1084	0,94

1972 г.

1	29/V	7/VI	10	700	60	9	640	64	
2	15/VI	26/VI	12	820	300	37	520	52	
3	26/VI	7/VII	11	1100	450	41	650	65	
4	14/VII	22/VII	9	930	330	35	600	60	
5	1/VIII	6/VIII	6	1080	420	39	660	66	
6	18/VIII	30/VIII	13	1220	450	37	770	77	
7	30, 31/VIII, 15/IX	19/IX	7	190	0	0	190	19	
Итого	29/V	19/IX	68	6040	2010	33	4030	403	0,83

1974 г.

1	23/V	31/V	9	920	400	43	520	52	
2	10/VI	24/VI	15	820	230	28	590	59	
3	9/VII	18/VII	10	980	160	16	820	82	
4	28/VII	6/VIII	10	840	200	24	640	64	
5	15/VIII	23/VIII	9	780	170	22	610	61	
6	5/IX	13/IX	9	560	140	25	420	42	
Итого	23/V	13/IX	62	4900	1300	27	3600	360	0,85

Ташуткульская оросительная система

1972 г.

1	22/V	5/VI	15	1630	0	0	1630	163	
2	6/VI	12/VI	7	760	0	0	760	76	
3	19/VI	24/VI	6	940	0	0	940	94	
4	3/VII	10/VII	8	870	0	0	870	87	
5	18/VII	28/VII	11	800	0	0	800	80	
6	4/VIII	12/VIII	9	880	0	0	880	88	
7	21/VIII	29/VIII	9	800	0	0	800	80	
8	6/IX	13/IX	8	690	0	0	690	69	
Итого	22/V	13/IX	73	7370	0	0	7370	737	0,83

Номер полива	Сроки поливов		Продолжительность поливов, сут	Водо-подача на поле	Сброс воды		Поливная и оросительная нормы		Вод-ность года $\frac{Q_r}{Q}$
	начало	окончание		м³/га	м³/га	% водо-пода-чи	м²/га	мм	

1973 г.

1	22/V	2/VI	12	1190	10	1	1180	118	1,03
2	11/VI	18/VI	8	860	10	1	850	85	
3	28/VI	7/VII	10	1070	10	1	1060	106	
4	20/VII	28/VII	9	1050	10	1	1040	104	
5	7/VIII	15/VIII	9	1100	10	1	1090	109	
6	20/VIII	28/VIII	9	830	10	1	820	82	
Итого	22/V	28/VIII	57	6100	60	1	6040	604	

Георгиевская оросительная система (верхнее поле)

1971 г.

1	24/V	4/VI	12	2750	750	27	2000	200	0,94
2	10/VI	21/VI	12	1890	870	46	1020	102	
3	28/VI	8/VII	11	2050	700	34	1350	135	
4	16/VII	24/VII	9	1840	600	33	1240	124	
5	30/VII	13/VIII	15	2230	690	31	1540	154	
6	19/VIII	6/IX	19	3910	870	22	3040	304	
7	13/IX	22/IX	10	1640	360	22	1280	128	
Итого	24/V	22/IX	88	16310	4840	30	11470	1147	

1972 г.

1	7/VI	30/VI	24	3790	660	17	3130	313	0,83
2	1/VII	31/VII	31	5820	1560	27	4260	426	
3	1/VIII	31/VIII	31	5270	1360	26	3910	391	
4	1/IX	13/IX	13	1980	620	31	1360	136	
Итого	7/VI	13/IX	99	16860	4200	25	12660	1266	

1973 г.

1	22/V	31/V	10	320	40	12	280	28	1,03
2	1/VI	30/VI	30	5210	1270	24	3940	394	
3	1/VII	31/VII	31	4590	1230	27	3360	336	
4	1/VIII	31/VIII	31	2470	980	40	1490	149	
5	1/IX	23/IX	23	1170	370	32	800	80	
Итого	22/V	23/IX	125	13760	3890	28	9870	987	
6¹	16/XI	9/XII	24	4250	630	15	3620	362	

Номер полива	Сроки поливов		Продолжительность поливов, сут	Водо-подача на поле	Сброс воды		Поливная и оросительная нормы		Вод-ность года $\frac{Q_r}{Q}$
	начало	окончание		м³/га	м³/га	% водо-пода-чи	м³/га	мм	

Георгиевская оросительная система

Озимая пшеница

1972 г.

1	24/IV	4/V	11	2520	260	10	2260	226	
2	24/V	30/V	7	1700	20	1	1680	168	
Итого	24/IV	30/V	18	4220	280	7	3940	394	0,83

1973 г.

1	11/V	21/V	11	1960	10	1	1950	195	
2	2/VI	12/VI	11	1370	10	1	1360	136	
3	19/VI	23/VI	5	320	0	0	320	32	
Итого	11/V	23/VI	27	3650	20	1	3630	363	1,03

1974 г.

1	7/IV	28/IV	22	1920	170	9	1750	175	
2	8/V	25/V	18	2400	110	5	2290	229	
Итого	7/IV	25/V	40	4320	280	6	4040	404	0,85

Ячмень с подсевом люцерны (поле № 1)

1971 г.

1	8/V	23/V	16	1900	320	17	1580	158	
2	28/VII	21/VIII	25	3040	290	10	2750	275	
3	26/VIII	8/IX	14	1300	190	15	1110	111	
Итого	8/V	8/IX	55	6240	800	13	5440	544	0,94

1974 г.

1	13/VI	23/VI	11	2380	30	1	2350	235	
2	15/VII	24/VII	10	2910	10	0	2900	290	
Итого	13/VI	24/VII	21	5290	40	1	5250	525	0,89

Номер полива	Сроки поливов		Продолжительность поливов, сут	Водо-подача на поле	Сброс воды		Поливная и оросительная нормы		Вод-ность года $\frac{Q_T}{Q}$
	начало	окончание		м³/га	м³/га	% водо-пода-чи	м³/га	мм	

1975 г.

1	22/VI	24/VI	3	2620	150	6	2470	247	
2	19/VII	20/VII	2	1440	50	3	1390	139	
Итого	22/VI	20/VII	5	4060	200	5	3860	386	0,74

Ячмень с, подсевом люцерны (поле № 2), 1974 г.

1	18/V	31/V	14	3460	10	0	3450	345	
2	11/VI	22/VI	12	1010	0	0	1010	101	
3	16/VII	7/VIII	23	1950	20	1	1930	193	
4	13/VIII	2/IX	21	2170	0	0	2170	217	
Итого	18/V	2/IX	70	8590	30	0	8560	856	0,85
5	5/X	19/X	15	5430	0	0	5430	543	

Ташуткульская оросительная система. Озимая пшеница с люцерной, 1974 г.

1	17/IV	21/IV	5	1140	0	0	1140	114	
2	3, 4, 9/V	11/V	5	830	0	0	830	83	
3	5/VI	15/VI	11	650	0	0	650	65	
4	25/VII	2/VIII	9	380	0	0	380	38	
5	12/VIII	30/VIII	19	650	0	0	650	65	
Итого	17/IV	30/VIII	49	3650	0	0	3650	365	0,85

1975 г.

1—6	17/IV	24/VII	46	4230	0	0	4230	423	0,85

Оросительная система Урмарал-Кумыштаг. Озимая пшеница, 1972 г.

1	16/V	10/VI	26	3480	840	24	2640	264	
2	26/VI	7/VII	12	3920	1660	42	2260	226	
Итого	16/V	7/VII	38	7400	2500	34	4900	490	0,96
3¹	23/VIII	23/IX	32	8810	3110	35	5700	570	

Номер полива	Сроки поливов		Продолжительность поливов, сут	Водо-подача на поле	Сброс воды		Поливная и оросительная нормы		Вод-ность года $\frac{Q_r}{Q}$
	начало	окончание		м³/га	м³/га	% водо-пода-чи	м³/га	мм	

1973 г.

1	14/V	4/VI	21	4740	1220	26	3520	352	1,08
2	17/VI	23/VI	7	1680	200	12	1480	148	
Итого	14/V	23/VI	28	6420	1420	22	5000	500	
3'	15/VIII	2/IX	19	5740	1000	17	4740	474	

1974 г.

1	13/V	8/VI	27	4870	990	20	3880	388	0,89
2	17/VI	24/VI	8	1640	480	29	1160	116	
Итого	13/VI	24/VI	35	6510	1470	23	5040	504	
3'	13/VIII	30/VIII	8	7360	1050	14	6310	631	

1975 г.

1	12/V	30/V	19	3980	1560	39	2420	242	0,74
2	16/VI	24/VI	9	3790	560	15	3230	323	
Итого	12/V	24/VI	28	7770	2120	27	5650	565	

МНОГОЛЕТНИЕ ТРАВЫ

Оросительная система ЗБЧК

Люцерна 2-го года

1972 г.

1	13/VI	30/VI	18	1400	0	0	1400	140	0,83
2	16/VII	14/VIII	30	2030	0	0	2030	203	
Итого	13/VI	14/VIII	48	3430	0	0	3430	343	

Люцерна 3-го года

1973 г.

1	4/V	9/V	6	990	50	5	940	94	1,03
2	7/VI	9/VI	3	1390	0	0	1390	139	
3	13/VII	23/VII	11	1030	10	1	1020	102	
Итого	4/V	23/VII	20	3410	60	2	3350	335	
4	3/XII	12/XII	10	3040	0	0	3040	304	

Люцерна 4-го года

1974 г.

1	7/V	10/V	4	1200	0	0	1200	120	0,85
2	24/V	25/V	2	1040	0	0	1040	104	
Итого	7/V	25/V	6	2240	0	0	2240	224	

Номер полива	Сроки поливов		Продолжительность поливов, сут	Водо-подача на поле м³/га	Сброс воды		Поливная и оросительная нормы		Вод-ность года $\frac{Q_{\Gamma}}{Q}$
	начало	окончание			м³/га	% водо-пода-чи	м³/га	мм	

Люцерна 5-го года (поле № 2)

1975 г.

1	12/V	14/V	3	1050	0	0	1050	105	
2	27/VI	28/VI	2	1050	0	0	1050	105	
3	4/IX	5/IX	2	390	0	0	390	39	
Итого	12/V	5/IX	7	2490	0	0	2490	249	0,85

Люцерна 2-го года (поле № 1)

1975 г.

1	19/IV	21/IV	3	1580	0	0	1580	158	
2	8/VI	12/VI	5	1520	0	0	1520	152	
3	28/VII	29/VII	2	360	0	0	360	36	
Итого	19/IV	29/VII	10	3460	0	0	3460	346	0,85

Ташуткульская оросительная система

Люцерна

1972 г.

1	29/IV	4/V	6	1350	0	0	1350	135	
2 ¹	21/X	11/XI	18	1650	0	0	1650	165	0,83

Оросительная система Урмарал-Кумыштар

Эспарцет

1972 г.

1	25/IV	4/V	10	3080	50	2	3030	303	
2	7/VII	17/VII	11	4780	1600	33	3180	318	
3	26/VII	2/VIII	8	2290	680	30	1610	161	
Итого	25/IV	2/VIII	29	10150	2330	23	7820	782	0,96
4 ¹	30/X	6/XI	8	2480	740	30	1740	174	

1973 г.

1	11/V	16/V	6	2150	200	9	1950	195	
2	17/VI	23/VI	7	3320	270	8	3050	305	
3	9/VII	17/VII	9	2890	230	8	2660	266	
Итого	11/V	17/VII	22	8360	700	8	7660	766	1,08
4 ¹	11/X	18/X	8	2660	190	7	2470	247	

¹ Влагозарядковый полив.

Фильтрационные потери воды в магист

Канал	Год	Дата	Местоположение створа	
			верхний	нижний
Ат-Башинская ороси				
Ат-Башинский	1972	14/VIII	5 км выше вывода из распределителя Р-8	0,5 км выше вывода из распределителя Р-8
		7/IX	5 км выше распределителя Р-7	0,3 км выше распределителя Р-7
		19/X	5 км выше распределителя Р-8	0,5 км выше распределителя Р-8
	1972	29/VI	У головного сооружения	На 2,0 км ниже
	1972	24/VIII	То же	На 1,5 км ниже
Распределитель Р-810		28/IX	"	На 3,0 км ниже
Распределитель Р-808				
Оросительная си				
Уру	1972	5/IX	3 км выше головного сооружения	На 3,7 км ниже
	1973	23/V	У головного сооружения	На 2,0 км ниже
		27/VII	0,5 км выше головного сооружения	На 1,5 км ниже
	1974	1/X	То же	На 1,7 км ниже
		2/VIII	У головного сооружения	На 4,9 км ниже
Джантай	1973	11/IX	То же	На 1,8 км ниже
		22/VI	У с. Первомайское	На 8,0 км ниже
		27/VII	"	" "
	1974	1/X	"	" "
		12/VII	"	" "
Подпитывающий	1972	11/IX	"	" "
		7/IX	У выхода из водохранилища	На 7,0 км ниже
		13/IX	То же	" "
Георгиевская оро				
Георгиевский (левая ветка)	1971	22/VIII	"	На 7,0 км ниже
	1972	21/IX	"	" "
	1973	6/XII	Ниже распределителя Р-6	Ниже распределителя Р-10
		6/XII	То же	То же
	1974	6/XII	"	"
		24/VII	"	"
		24/VII	"	"
		24/VII	"	"
		10/X	"	"
		10/X	"	"
		10/X	"	"

ЖЕНИЕ II

ральных и хозяйственных каналах

Q_B м³/с	Q_H м³/с	$\Sigma Q_{заб}$ м³/с	$\Sigma Q_{сб}$ м³/с	S л/с	L км	$S_{уд}$ л(с·км)	σ_f %	Грунт	Год экс- плуа- тации
тельная система									
4,74	4,58	0,034	0	126	4,5	28	3	Песок	40
6,18	5,98	0,087	0	113	4,7	24	2	"	40
3,23	2,75	0	0	480	4,5	106	15	—	—
0,178	0,188	0	0	—10	2,0	—5	—	Суглинок, песок	—
0,150	0,118	0,017	0	15	1,5	10	10	Суглинок, песок	—
0,171	0,140	0	0	31	3,0	10	18	То же	—
стема р. Сухулук									
0,441	0,190	0,052	0	199	3,7	54	45	Галечник	—
0,170	0,097	0,037	0	36	1,9	19	21	"	—
0,273	0,260	0,005	0	8	1,5	5	3	"	—
0,110	0,120	0	0	—10	1,7	—6	—	"	—
0,440	0,191	0,070	0	179	4,9	37	41	"	—
0,124	0,128	0	0	—4	1,8	—2	0	"	—
1,93	1,26	0	0	670	8,0	84	35	"	—
2,66	2,57	0	0	90	8,0	11	3,4	"	—
0,88	0,67	0	0	210	8,0	26	24	"	—
3,52	2,52	0	0	1000	8,0	125	28	"	—
2,10	1,52	0	0	580	8,0	72	28	"	—
2,26	1,48	0	0	780	7,0	111	35	Галечник, глина	—
1,85	1,05	0	0	800	7,0	114	43	То же	—
сительная система									
5,57	5,07	0	0	500	10,5	48	9	Суглинок, гравий	39
4,94	3,98	0	0	960	10,5	91	19	То же	40
4,47	2,06	0,85	0	1560	10,5	149	35	"	41
4,45	2,08	0,85	0	1520	10,5	145	34	"	41
4,36	2,06	0,85	0	1450	10,5	138	33	"	41
9,25	4,93	2,71	0	1610	10,0	161	17	"	42
9,30	5,05	2,71	0	1540	10,0	154	17	"	42
9,32	4,92	2,71	0	1690	10,0	169	18	"	42
7,98	7,11	0,42	0	450	10,0	45	6	"	42
7,88	7,20	0,42	0	260	10,0	26	3	"	42
7,95	7,27	0,42	0	260	10,0	26	3	"	42

Канал	Год	Дата	Местоположение створа	
			верхний	нижний
Распределитель Р-10	1971	5/VIII	У головного сооружения	На 1,9 км ниже
	1972	31/VIII	То же	
		19/IX	"	На 3,0 км ниже
Распределитель Р-12	1971	13/X	"	На 2,0 км ниже
		11—	"	На 3,6 км ниже
		20/VIII	"	
		1—	"	" "
Распределитель Р-12-II		10/IX	"	
	1972	1/IX	"	На 1,4 км ниже
	1971	16/IV	В 0,1 км от вывода из Георгиевского канала	В 1,1 км от вывода
		22/IV	То же	В 2,0 км от вывода
		2/V	"	В 1,1 км от вывода
		2/V	"	В 2,1 км от вывода
Успеновский	1972	2/V	"	В 4,1 км от вывода
		8/IX	У головного сооружения	На 4,5 км ниже
		2/X	То же	На 2,5 км ниже

Тушуткульская оро

Далакайнарский	1972	17/VIII	"	На 8,6 км ниже
	1973	5/IX	"	" "
		19/VI	"	" "
		24/VII	"	" "
		29/VIII	"	" "
Берлик	1974	19/VI	"	" "
		15/VIII	"	" "
		4/IX	Напротив ул. Советской	0,1 км ниже железной дороги
		5/IX	То же	То же

Таласская оро

Джалпактиль	1972	26/V	0,1 км ниже головного сооружения	2,1 км ниже головы
		22/VII	То же	4,1 км ниже головы
		7/VIII	"	" "
		23/VIII	"	2,1 км ниже головы
		23/VIII	"	4,1 км ниже головы
		23/VIII	2,1 км ниже головного сооружения	"
		1/IX	0,1 км ниже головного сооружения	2,1 км ниже головы
		1/IX	То же	4,1 км ниже головы
		16/IX	"	2,2 км ниже головы

Q_B м³/с	Q_H м³/с	$\Sigma Q_{заб}$ м³/с	$\Sigma Q_{сб}$ м³/с	S л/с	L км	$S_{уд}$ л/(с·км)	σ_Φ %	Грунт	Год экс- плуа- тации
1,177	1,080	0	0	97	1,9	51	8	Суглинок	—
0,330	0,324	0	0	6	1,9	3	2	"	—
0,112	0,102	0	0	10	3,0	3	9	"	—
0,254	0,230	0	0	24	2,0	12	10	"	—
0,140	0,120	0	0	20	3,6	6	14	"	—
0,130	0,100	0	0	30	3,6	8	23	"	—
0,139	0,137	0	0	2	1,4	1	1	"	—
0,258	0,232	0	0	26	1,0	26	10	"	—
0,229	0,198	0	0	31	2,0	16	14	"	—
0,314	0,300	0	0	14	1,0	14	4	"	—
0,314	0,258	0	0	56	2,0	28	18	"	—
0,314	0,242	0	0	72	4,0	18	23	"	—
0,178	0,122	0	0	56	4,5	12	31	Песок, суглинок	—
0,480	0,430	0	0	50	2,5	20	10	"	—

сительная система

1,49	1,31	0	0	180	8,6	21	12	"	13
2,05	1,94	0,007	0	103	8,6	12	5	"	13
2,62	2,31	0,110	0	200	8,6	23	8	"	14
2,37	1,71	0	0	660	8,6	77	28	"	14
2,83	2,49	0,114	0	226	8,6	26	8	"	14
3,25	2,59	0	0	660	8,6	77	20	"	15
3,29	3,06	0	0	230	8,6	27	7	"	15
0,137	0,118	0	0	19	1,0	19	14	"	—
0,125	0,111	0	0	14	1,0	14	11	"	—

сительная система

0,465	0,311	0	0	154	2,0	77	33	Гравий	1
1,01	0,951	0	0	59	4,0	15	6	"	1
1,06	1,05	0	0	10	4,0	2,5	1	"	1
0,953	0,880	0	0	73	2,0	36	8	"	1
0,953	0,861	0	0	92	4,0	23	10	"	1
0,880	0,861	0	0	19	2,0	10	2	"	1
1,03	1,00	0	0	30	2,0	15	3	"	1
1,03	1,04	0	0	—10	4,0	(0)	(0)	"	1
1,30	1,25	0	0	50	2,1	24	4	"	1

Канал	Год	Дата	Местоположение створа	
			верхний	нижний
Джалпактиль	1972	16/IX	„	4,1 км ниже головы
		16/IX	2,1 км ниже головного сооружения	4,0 км ниже головы
		25/IX	0,1 км ниже головного сооружения	2,2 км ниже головы
		25/IX	То же	4,1 км ниже головы
		25/IX	2,1 км ниже головного сооружения	4,0 км ниже головы
	1973	8/V	0,1 км ниже головного сооружения	2,1 км ниже головы
		27/VII	То же	4,1 км ниже головы
		27/VII	„	„
		27/VII	2,1 км ниже головного сооружения	„
		13/IX	0,1 км ниже головного сооружения	2,1 км ниже головы
		13/IX	То же	4,1 км ниже головы
		13/IX	2,1 км ниже головного сооружения	„
		26/IX	0,1 км ниже головного сооружения	2,1 км ниже головы
	1974	26/IX	То же	4,3 км ниже головы
		26/IX	2,1 км ниже головного сооружения	„
		18/V	0,1 км ниже головного сооружения	4,2 км ниже головы
		10/IX	То же	„
		23/IX	„	„
	1975	10/VI	„	4,1 км ниже головы
		8/VII	„	„
Кайназар I (в 1969 г. проведена реконструкция канала)	1972	9/X	0,3 км ниже головного сооружения	На 5,0 км ниже
		23/X 6/XI	То же	На 3,5 км ниже
	1974	18/V	„	На 5,0 км ниже
		10/IX	„	„
	1975	10/VI 8/VII	„	На 4,0 км ниже На 5,6 км ниже
Большой	1972	31/VII	У вывода из Кумыштаг	На 5,3 км ниже
		10/VIII 1/IX	То же	На 2,0 км ниже На 6,5 км ниже
	1973	3/VIII	„	„
		4/IX	„	„

Q_B м³/с	Q_H м³/с	$\Sigma Q_{заб}$ м³/с	$\Sigma Q_{сб}$ м³/с	S л/с	L км	$S_{уд}$ л/(с·км)	σ_{Φ} %	Грунт	Год эксплуатации
1,30	1,19	0	0	110	4,0	28	8	Гравий	1
1,25	1,19	0	0	60	1,9	32	5	"	1
1,20	1,06	0	0	140	2,1	67	12	"	1
1,20	0,991	0	0	209	4,1	52	17	"	1
1,06	0,991	0	0	69	1,9	36	6	"	1
0,631	0,601	0	0	30	2,0	15	5	"	2
0,485	0,437	0	0	48	2,0	24	10	"	2
0,485	0,368	0	0	117	4,0	29	24	"	2
0,437	0,368	0	0	69	2,0	34	16	"	2
0,935	0,916	0	0	19	2,0	10	2	"	2
0,935	0,828	0	0	107	4,0	27	11	"	2
0,916	0,828	0	0	88	2,0	44	10	"	2
1,214	1,202	0	0	12	2,0	6	1	"	2
1,214	1,052	0	0	162	4,2	39	13	"	
1,202	1,052	0	0	150	2,2	68	12	"	
0,545	0,429	0	0	116	4,1	28	21	"	3
1,032	0,711	0	0	321	4,1	78	31	"	3
0,917	0,638	0	0	279	4,1	68	30	"	3
1,29	1,09	0	0	200	4,0	50	16	"	4
0,80	0,61	0	0	190	4,0	48	24	"	4
1,342	1,220	0	0	122	5,0	24	9	"	4
0,785	0,746	0	0	39	5,0	8	5	"	4
1,040	0,820	0	0	220	3,5	63	21	"	4
1,236	0,622	0,338	0	276	5,0	55	22	"	6
2,711	1,598	0,537	0	576	5,0	115	21	"	6
2,80	1,72	0,65	0,15	580	4,0	145	21	"	7
2,53	1,50	0,94	0,16	250	5,6	45	10	"	7
0,708	0,557	0	0	151	5,3	28	21	"	—
0,571	0,463	0	0	108	2,0	54	19	"	—
0,270	0,239	0	0	31	6,5	5	11	"	—
0,498	0,394	0	0	104	6,5	16	21	"	—
0,185	0,094	0	0	91	6,5	14	49	"	—

ПРИЛОЖЕНИЕ III

Водно-физические свойства почв экспериментальных полей на орошаемых массивах в Чуйской и Таласской долинах

№ разреза, культура, дата	Мощность слоя, см	Удельная масса, г/см³	Плотность, г/см³	Пористость, % объема	Запас влаги (мм), соответствующий			
					максимальной гигроскопич- ности	влажности завядания	наименьшей влагоемкости	полной вла- гоемкости
Орошаемый массив ЗБЧК, пос. Национальный								
Разрез 1, сахар- ная свекла, 4/X 1971 г.	0—30	2,69	1,33	51	27	37	101	152
	0—50	2,69	1,33	51	46	63	169	254
	0—100	2,70	1,36	49	94	128	337	494
	0—150	2,71	1,41	48	137	186	505	719
Разрез 2, сахар- ная свекла, 8/X 1971 г.	0—30	2,69	1,49	45	24	31	100	134
	0—50	2,70	1,47	45	41	60	167	227
	0—100	2,71	1,44	47	83	125	336	468
	0—150	2,72	1,49	45	123	195	502	679
Разрез 3, ячмень, 13/VIII 1971 г.	0—200	2,73	1,52	44	161	273	666	888
	0—30	2,71	1,28	53	23	31	101	158
	0—50	2,72	1,33	51	39	52	169	253
	0—100	2,72	1,36	50	84	111	338	499
Разрез 5, люцер- на, 24/XI 1971 г.	0—150	2,73	1,41	48	132	175	506	725
	0—30	2,73	1,53	44	25	38	99	132
	0—50	2,73	1,52	44	43	61	165	221
	0—100	2,73	1,51	46	81	112	330	446
Разрез 6, зерно- вые, стерня (верх- ний участок), 20/IX 1972 г.	0—150	2,73	1,52	45	116	160	495	661
	0—200	2,74	1,55	44	152	219	664	865
	0—250	2,73	1,58	42	199	285	824	1050
	0—30	2,71	1,36	49	23	28	—	148
Разрез 7, богар- ный участок (у коллектора К-17), 26/IX 1972 г.	0—50	2,71	1,35	50	39	46	—	251
	0—100	2,72	1,33	51	75	86	—	513
	0—30	2,72	1,30	52	19	24	—	157
	0—50	2,73	1,32	52	33	44	—	260
	0—100	2,74	1,40	49	74	115	—	490

Ат-Башинский орошаемый массив, свх Джанги-Джер

Разрез 1, сахарная свекла, 1/VII 1971 г.	0—30	2,71	1,51	44	17	21	91 *	133
	0—50	2,72	1,47	46	29	35	160 *	230
	0—100	2,72	1,40	48	56	66	320 *	485
	0—150	2,72	1,41	48	90	107	485 *	720
Разрез 2, почвен-но-испарительная площадка № 1 у озера в конце коллектора К-14, 16/V 1972 г.	0—30	2,74	1,21	56	19	19	—	168
	0—50	2,75	1,19	57	25	31	—	283
	0—100	2,76	1,20	57	51	69	—	569

№ разреза, культура, дата	Мощность ороя, см	Удельная масса, г/см³	Плотность, г/см³	Пористость, % объема	Запас влаги (мм), соответствующий			
					максимальной гигроскопич- ности	влажности завядания	наименьшей влажностности	полной вла- гостности
Разрез 3, почвен- но-испарительная площадка № 2, пойма р. Чу, 17/V 1972 г.	0—30	2,71	1,19	55	21	32	—	168
	0—50	2,71	1,18	56	35	55	—	283
	0—100	2,73	1,20	56	75	118	—	560

Георгиевский орошаемый массив, пос. Успеновка

Разрез 1, сахар- ная свекла (верх- ний участок, 18/IV 1972 г.	0—30	2,70	1,50		16	22	95 *	133
	0—50	2,70	1,44	44	24	33	147	233
	0—100	2,70	1,43	47	44	59	291	471
	0—150	2,71	1,45	47	70	94	455	698
Разрез 2, озимая пшеница верхний, богарный участок 20/IV 1972 г.	0—30	2,72	1,29	52	15	29	—	159
	0—50	2,72	1,31	52	27	45	—	262
	0—100	2,72	1,34	51	55	82	—	511
Разрез 3, уча- сток с дикорасту- щей растительно- стью (метеостан- ция), 13/IV 1972 г.	0—30	2,74	1,27	54	17	23	—	160
	0—50	2,74	1,31	52	27	37	—	260
	0—100	2,75	1,39	50	57	76	—	497

Ташуткульский орошаемый массив, пос. Ленинское

Разрез 1, сахар- ная свекла, 10/X 1971 г.	0—30	2,71	1,34	50	14	17	98	151
	0—50	2,71	1,39	49	25	32	164	244
	0—100	2,71	1,41	48	53	70	335	481
	0—150	2,71	1,44	47	77	104	534	701
	0—200	2,71	1,52	44	106	143	720	879
	0—250	2,71	1,54	43	121	163	—	1074
Разрез 2, люцер- на, 3/XI 1971 г.	0—30	2,72	1,44	47	27	36	—	141
	0—50	2,72	1,46	47	63	62	—	233
	0—100	2,73	1,50	45	98	134	—	450
	0—150	2,73	1,58	42	130	173	—	629
	0—200	2,73	1,66	39	153	211	—	780
	0—30	2,69	1,36	49	25	27	—	148
Разрез 3, пшени- ца, 22/XI 1971 г.	0—50	2,70	1,35	50	41	41	—	249
	0—100	2,70	1,37	49	90	97	—	494
	0—150	2,72	1,45	46	137	160	—	696
	0—200	2,71	1,56	43	172	195	—	853

Таласский орошаемый массив, пос. Ленинполь

Разрез 1, озимая пшеница, 5/VIII 1972 г.	0—30	2,72	1,37	49	15	22	80	148
	0—50	2,73	1,42	48	26	37	140	238
	0—100	2,74	1,43	48	57	76	283	477
Разрез 2, эспар- цет, 5/V 1971 г.	0—30	2,73	1,60	41	17	27	—	124
	0—50	2,73	1,58	43	32	52	—	213
	0—100	2,74	1,53	44	70	97	319	442
Разрез 3, дикора- стущее разнотра- вье, 30/V 1972 г.	0—30	2,74	1,08	61	19	22	—	182
	0—50	2,71	1,09	59	38	46	—	296
	0—100	2,77	1,21	56	108	123	—	565

ПРИЛОЖЕНИЕ IV

ЭЛЕМЕНТЫ ГОДОВЫХ РУСЛОВЫХ ВОДНЫХ БАЛАНСОВ ПО УЧАСТКАМ РЕК ЧУ И ТАЛАС

Таблица П.IV.1

Участок р. Чу от пгт Орто-Токой до с. Терек-Джон, м³/с

Год	Q_v	$Q_{пр}$	Q_n	$Q_{вз}$	$Q_{вс}$	Q_6
1959	31,0	(2,0)	29,5	(0,81)	0	-2,7
1960	(27,3)	(2,0)	28,0	(0,81)	0	-0,5
1961	29,5	(2,0)	30,1	(0,81)	0	-0,6
1962	21,1	(2,0)	24,1	(0,81)	0	1,8
1963	26,1	(2,0)	25,3	0,74	0	-2,1
1964	30,8	(2,0)	30,7	1,12	0	-0,4
1965	28,4	(2,0)	26,0	1,30	0	-3,1
1966	36,6	(2,0)	29,7	1,49	0	-7,4
1967	30,9	(2,0)	29,4	1,24	0	-2,3
1968	30,4	(2,0)	28,4	1,09	0	-2,9
1969	31,0	(2,0)	29,6	1,01	0	-2,4
1970	(31,5)	(2,0)	30,6	0,99	0	-1,9
1971	34,1	(2,0)	30,5	1,11	0	-4,5
1972	26,0	(2,0)	23,2	0,96	0	-3,8
1973	30,7	(2,0)	29,0	0,99	0	-2,7
1974	25,8	(2,0)	26,1	1,02	0	-0,7
1975	23,3	(2,0)	24,2	1,32	0	0,2
Среднее	29,1	(2,0)	27,9	1,04	0	-2,2

Таблица П.IV.2

Участок р. Чу от ст. Джиляркская до Бурулдайского моста, м³/с

Год	Q_v	$Q_{пр}$	Q_n	$Q_{вз}$	$Q_{вс}$	Q_o	$Q_v - Q_{вз}$
1950	53,8	0	53,1	1,26	0	0,6	52,5
1951	45,9	0	43,1	1,36	0	-1,4	44,5
1957	47,1	0	45,4	1,90	0	0,2	45,2
1958	56,2	0	55,3	1,47	0	0,6	54,7
1959	52,4	0	45,1	1,61	0	-5,7	50,8
1960	51,8	0	46,6	1,62	0	-3,6	50,2
1961	50,2	0	44,7	1,95	0	-3,6	48,2
1962	44,8	0	37,8	1,81	0	-5,2	43,0
1971	49,6	0	47,8	2,48	0	0,7	47,1
1972	40,2	0	37,2	1,10	0	-1,9	30,1
1973	52,1	0	48,8	2,42	0	-0,9	49,7
1974	46,0	0	40,7	2,66	0	-2,6	43,3
1975	44,8	0	(42,0)	1,87	0	-0,9	42,9
Среднее	48,0	0	45,2	1,81	0	-1,8	47,0

Таблица П.IV.3

Участок р. Чу от Бурулдайского моста до г. Токмак, м³/с

Год	Q_B	$Q_{пр}$	Q_H	$Q_{вз}$	$Q_{вс}$	Q_0	$Q_B + Q_{пр} + Q_{вс} - Q_{вз}$
1946	(53,7)	(1,0)	28,2	(3,30)	0	-23,2	(51,4)
1947	44,6	(1,0)	21,1	(4,33)	0	-20,2	41,3
1948	48,2	(1,0)	(23,7)	(3,62)	0	(-21,9)	45,6
1949	49,4	(1,0)	(25,5)	(3,04)	0	(-21,9)	47,4
1950	53,1	(1,0)	(28,8)	3,14	0	(-22,2)	51,0
1951	43,1	1,14	(21,0)	1,98	0	(-21,3)	42,3
1952	62,3	(1,0)	(39,0)	2,76	0	(-21,5)	60,5
1953	54,1	(1,0)	(30,5)	2,83	0	(-21,8)	52,3
1954	57,2	(1,0)	(33,7)	2,94	0	(-21,6)	55,3
1955	56,9	(1,0)	(32,7)	3,48	0	(-21,7)	54,4
1956	59,1	(0,8)	(35,0)	(3,28)	0	(-21,6)	56,6
1957	45,4	(0,8)	(20,6)	4,10	0	(-21,5)	42,6
1958	55,3	(0,8)	(30,2)	(3,99)	0	(-21,9)	52,1
1959	45,1	0,65	(18,0)	6,58	0	(-21,2)	39,2
1960	46,6	(0,5)	(14,9)	(11,9)	0	(-20,3)	35,2
1961	44,7	0,25	14,9	9,69	0	-20,4	35,3
1962	37,8	0,31	(8,60)	9,44	0	(-20,1)	28,7
1963	(53,3)	0,87	(18,2)	15,6	1,07	(-21,4)	(39,6)
1964	(54,2)	(0,5)	(16,5)	18,0	0,99	(-21,2)	(37,7)
1965	(40,2)	(0,3)	(6,00)	17,2	(0,80)	(-18,1)	(24,1)
1966	(59,8)	(0,3)	(19,4)	20,0	0,68	(-21,4)	(40,8)
1967	(51,5)	(0,3)	(13,7)	18,6	(1,19)	(-20,7)	(34,4)
1968	(42,0)	(0,3)	(5,80)	19,4	(1,13)	(-18,2)	(24,0)
1969	(55,7)	0	(16,2)	19,5	(1,00)	(-21,0)	(37,2)
1970	(51,8)	0	(12,1)	20,2	(1,00)	(-20,5)	(32,6)
1971	47,8	0	8,31	19,2	0,93	-21,2	29,5
1972	37,2	0	6,09	18,2	2,53	-15,4	21,5
1973	48,8	0	10,2	21,0	2,94	-20,5	30,7
1974	40,7	0	6,82	20,1	4,89	-18,7	25,5
1975	42,0	0	5,89	21,3	6,97	-21,8	27,7
Среднее за 1946—1955 гг.	52,3	(1,0)	28,4	3,14	0	-21,8	50,2
Среднее за 1956—1965 гг.	48,2	0,6	18,3	9,98	0,29	-20,8	39,1
Среднее за 1966—1975 гг.	47,7	0,1	10,5	19,8	2,32	-19,9	29,4
Среднее за 1946—1975 гг.	49,4	0,6	19,1	11,0	0,87	-20,8	39,9

Таблица П.IV.4

Участок р. Чу от г. Токмак до с. Миляфан, м³/с

Год	Q_v	$Q_{пр}$	Q_n	$Q_{вз}$	$Q_{вс}$	Q_o	$Q_v + Q_{пр}$
1946	28,2	11,3	38,9	11,7	0	11,1	39,5
1947	21,1	9,74	29,2	11,1	0	9,46	30,8
1961	14,9	6,95	20,5	(21,2)	0	19,8	21,8
1971	8,31	(8,65)	16,2	18,4	2,47	15,2	17,0
1972	6,09	7,07	14,1	15,8	1,73	15,0	13,2
1973	10,2	9,24	18,7	(18,2)	1,64	14,8	19,4
1974	6,82	7,13	12,9	16,1	1,06	14,0	14,0
1975	5,89	5,78	12,1	13,9	0,62	13,7	11,7

Таблица П.IV.5

Участок р. Чу от с. Миляфан до клх им. Чапаева (с. Ташуткуль), м³/с

Год	Q_v	$Q_{пр}$	$Q_{ос}$	Q_n	$Q_{ив}$	$Q_{вз}$	$Q_{вс}$	$Q_{рр}$	Q_o
1946	38,9	(15,7)	0	73,7	0	17,7	26,0	0	10,8
1947	29,2	(14,4)	0	61,6	0	18,9	24,5	0	12,4
1948	29,4	(13,5)	0	65,7	0	18,4	25,5	0	15,7
1949	30,6	(14,9)	0	75,2	0	17,9	32,5	0	15,1
1950	31,3	(13,6)	0	70,0	0	14,4	28,2	0	11,3
1951	21,2	(13,6)	0	61,1	0	26,1	22,0	0	30,4
1952	30,6	(17,8)	0	82,3	0	29,1	(27,9)	0	35,1
1953	28,0	(16,7)	0	82,3	0	30,0	(27,3)	0	40,3
1954	29,7	(15,8)	0	78,2	0	30,3	(28,0)	0	35,0
1955	28,4	(15,5)	0	76,1	0	35,9	(30,9)	0	37,2
1956	32,5	(15,3)	0	78,8	0	36,8	34,1	0	33,7
1957	22,0	(11,1)	0	59,6	0	34,2	36,4	0	24,3
1958	(37,8)	(19,0)	0	99,0	0	38,6	(36,0)	0	44,8
1959	28,7	(26,1)	0	83,0	0	35,7	(35,5)	0	28,4
1960	29,5	(19,5)	0	79,8	0	33,2	36,1	0	27,9
1961	20,5	(13,9)	0	(67,8)	0	31,8	(33,5)	0	31,7
1962	17,6	18,2	0	(57,0)	0	28,8	27,8	0	22,2
1963	22,6	18,7	0	65,8	0	30,5	(31,7)	0	23,3
1964	23,9	18,6	0	75,1	0	28,9	36,6	0	24,9
1965	17,4	18,1	0	57,4	0	26,6	31,3	0	17,2
1966	27,2	22,8	0	73,0	0	28,4	32,5	0	18,9
1967	21,6	18,9	0	76,1	0	28,4	34,4	0	29,6
1968	17,5	21,1	0	60,7	0	26,0	33,6	0	14,5
1969	28,9	28,9	0	(90,0)	0	29,4	35,8	0	25,8
1970	21,0	20,0	0	70,5	0	29,7	35,4	0	23,0
1971	16,2	(16,6)	0	63,5	0	26,5	31,2	0	26,0
1972	14,1	15,3	0	59,4	0	24,7	28,6	0	26,1
1973	18,7	15,8	0,22	63,2	0,46	29,5	(31,2)	1,99	29,2
1974	12,9	13,5	0,21	34,7	0,67	25,8	(29,7)	(4,34)	(9,20)
1975	(11,8)	(9,34)	(0,33)	(38,1)	(0,78)	(22,8)	(23,2)	(-5,97)	(11,0)

Год	Q_B	$Q_{пр}$	$Q_{ос}$	Q_H	$Q_{нв}$	$Q_{вз}$	$Q_{вс}$	$Q_{пр}$	Q_o
Среднее за 1946—1955 гг.	29,7	15,2	0	72,6	0	23,9	27,3	0	24,3
Среднее за 1956—1965 гг.	25,2	17,8	0	72,3	0	32,5	33,9	0	27,9
Среднее за 1966—1975 гг.	19,0	18,2	0,08	62,9	0,19	27,3	31,6	0,04	21,4
Среднее за 1946—1975 гг.	24,7	17,1	0,03	69,3	0,06	27,8	30,9	0,01	24,4

Таблица П.IV.6

Участок р. Чу от клх им. Чапаева (с. Ташуткуль) до свх им. Амангельды, м³/с

Год	Q_B	$Q_{пр}$	Q_H	$Q_{вз}$	$Q_{вс}$	Q_o	$Q_B + Q_{пр} +$ $+ Q_{вс} - Q_{вз}$
1946	73,7	(1,60)	(61,0)	8,14	(2,37)	—8,5	69,5
1947	61,6	(0,64)	(52,6)	8,98	0,61	—1,3	53,9
1948	65,7	(1,60)	59,2	(7,64)	(3,43)	—3,9	63,1
1949	75,2	(1,46)	64,6	7,61	(0,93)	—5,4	70,0
1950	70,0	(1,56)	(63,9)	8,80	(1,21)	—0,1	64,0
1951	61,1	(1,36)	(59,4)	8,30	(1,21)	4,0	55,4
1952	82,3	(1,85)	(76,1)	8,65	(3,42)	—2,8	78,9
1953	82,3	(2,56)	82,3	9,26	(2,17)	4,5	77,8
1954	78,2	(3,13)	(77,9)	10,6	4,17	3,0	74,9
1955	76,1	(3,76)	(79,6)	11,7	(4,36)	7,1	72,5
1956	78,8	(2,46)	72,8	13,5	(5,28)	—0,2	73,0
1957	59,6	(1,59)	54,4	11,7	(4,91)	0	54,4
1958	99,0	(4,53)	95,6	13,3	(5,20)	0,2	95,4
1959	83,0	(6,16)	84,5	14,3	(6,46)	3,2	81,3
1960	79,8	(5,93)	87,0	14,5	7,74	8,0	79,0
1961	(67,8)	(2,71)	(63,0)	15,5	(7,33)	0,7	62,3
1962	(57,0)	(2,02)	(47,8)	16,7	(5,60)	—0,1	47,9
1963	65,8	(3,14)	55,1	20,1	(7,41)	—1,2	56,2
1964	75,1	(5,42)	(74,8)	15,5	(3,81)	6,0	68,8
1965	59,4	(3,40)	58,1	15,5	(5,69)	7,1	51,0
1966	73,0	(5,13)	75,8	17,6	(4,04)	11,2	64,6
1967	76,1	(7,17)	82,9	13,6	(5,17)	8,1	74,8
1968	60,7	(4,78)	50,8	14,3	(2,79)	—3,2	54,0
1969	(90,0)	(5,54)	(80,5)	12,2	(5,08)	—7,9	88,4
1970	70,5	(6,66)	(64,7)	16,0	(2,62)	0,9	63,8
1971	63,5	(5,74)	58,3	15,1	2,91	1,2	57,0
1972	59,4	(4,33)	61,3	13,5	(5,70)	—5,4	55,9
1973	63,2	8,44	62,1	14,8	(3,75)	1,5	60,6
1974	34,7	1,87	35,7	15,8	(3,07)	11,9	23,8
1975	34,6	2,15	32,8	15,1	0,61	10,5	22,3
Среднее	69,2	3,62	65,8	12,9	3,96	1,9	63,9

Таблица П.IV.7

Участок р. Чу от свх им. Амангельды до 1-й фермы Муюнкумского совхоза, м³/с

Год	Q _в	Q _{пр}	Q _{ос}	Q _н	Q _{вз}	Q _{вс}	Q _{ив}	Q _{ис}	Q _а	Q _о
1967	82,9	0	6,23	38,5	1,45	0	5,56	11,7	-0,71	-32,6
1968	50,3	0	4,91	29,5	1,48	0	4,30	9,62	-0,16	-61,0
1968	(103)	0	7,23	68,8	1,00	0	11,8	13,4	0,42	-14,8
1970	64,7	0	3,13	40,2	2,03	0	6,47	10,1	-0,22	-9,2
1971	58,3	0	5,82	35,1	1,80	0	5,20	15,4	-0,96	-7,6
1972	61,3	0	7,26	30,8	2,02	0	3,96	10,8	1,24	-19,7
1973	62,1	0	3,78	31,4	1,70	0	3,96	10,2	-1,16	-19,8
Среднее	69,0	0	5,48	39,2	1,64	0	5,89	11,6	-0,22	-16,4

Таблица П.IV.8

Участок р. Чу между 1-й и 3-й фермами Муюнкумского совхоза, м³/с

Год	Q _в	Q _{пр}	Q _{ос}	Q _н	Q _{ив}	Q _{ис}	Q _а	Q _о
1967	38,5	0	0,42	37,1	0,82	0,65	0,16	-0,2
1968	29,5	0	0,39	29,5	0,74	1,11	-0,06	1,4
1969	68,8	0	0,33	66,2	1,25	0,72	0,02	-0,9
1970	40,2	0	0,20	38,0	0,92	0,74	-0,06	-0,8
1971	35,1	0	0,31	37,6	0,86	0,98	-0,02	4,0
1972	30,8	0	0,38	29,7	0,84	0,54	0,06	0
1973	31,4	0	0,25	36,2	0,68	0,93	-0,32	5,8
Среднее	39,2	0	0,33	39,2	0,87	0,81	-0,03	1,3

Таблица П.IV.9

Участок р. Чу от 3-й фермы Муюнкумского совхоза до свх «Тасты»
(с 1973 г. до пос. Жуантыбе), м³/с

Год	Q _в	Q _{пр}	Q _{ос}	Q _н	Q _{ив}	Q _{ис}	Q _а	Q _о
1967	37,1	0	11,9	6,90	18,6	17,8	5,55	-0,2
1968	29,5	0	8,95	5,53	16,7	21,5	-1,82	3,5
1969	66,2	0	10,2	13,5	33,5	15,6	2,35	-11,4
1970	38,0	0	6,39	17,1	25,1	16,6	-1,52	12,9
1971	37,6	0	6,24	9,61	22,9	15,6	-0,55	3,7
1972	29,7	0	7,95	3,35	19,0	18,0	4,64	7,3
1973	36,2	0	8,77	(10,0)	19,6	17,5	-5,24	-3,1
Среднее	39,2	0	8,63	9,43	22,2	17,5	0,49	1,8

Таблица П.IV.10

Участок р. Чу между свх «Тасты» и гидрологическим постом Нижний, м³/с

Год	Q_v	$Q_{пр}$	$Q_{ос}$	Q_n	$Q_{ив}$	$Q_{ис}$	Q_a	Q_o
1971	9,61	0	0,70	3,33	2,24	2,66	0,06	-2,0
1972	3,35	0	0,74	1,03	0,88	1,48	0,06	-0,6
1973	(10,0)	0	1,54	4,02	(2,18)	2,90	-0,25	-2,7
Среднее	7,65	0	0,99	2,79	1,77	2,27	-0,04	-1,8

Таблица П.IV.11

Участок р. Талас от с. Караой до с. Иваново-Алексеевка, м³/с

Год	Q_v	$Q_{пр}$	Q_n	$Q_{вз}$	$Q_{вс}$	Q_o	$Q_v + Q_{пр} - Q_{вз}$
1971	14,3	2,04	17,2	3,12	0	4,0	13,2
1972	16,4	2,68	17,3	3,59	0	1,8	15,5
1973	16,6	2,72	14,4	4,08	0	-0,8	15,2
1974	13,4	1,32	10,9	2,55	0	-1,3	12,2

Примечание. За 1974 г. элементы РВБ приведены в среднем за январь—август.

Таблица П.IV.12

Участок р. Талас от с. Иваново-Алексеевка до с. Ордовка, м³/с

Год	Q_v	$Q_{пр}$	Q_n	$Q_{вз}$	$Q_{вс}$	Q_o	$Q_v + Q_{пр} - Q_{вз}$
1971	17,2	1,62	17,6	(3,69)	0	2,5	15,1
1972	17,3	(1,90)	19,7	3,12	0	3,6	16,1
1973	14,4	1,95	18,8	2,89	0	5,3	13,5
1974	10,9	1,48	15,7	2,78	0	6,0	9,6
Среднее	15,0	1,74	18,0	3,12	0	4,4	13,6

Таблица П.IV.13

Участок р. Талас от с. Орловка до с. Кировское, м³/с

Год	Q_B	$Q_{пр}$	Q_H	$Q_{вз}$	$Q_{вс}$	Q_O
1961	19,3	(6,37)	26,6	(0,06)	0	(1,0)
1962	22,2	(7,60)	30,3	(0,06)	0	(0,6)
1963	24,7	(7,12)	32,2	(0,06)	0	(0,4)
1964	23,5	(7,09)	33,0	(0,06)	0	(2,5)
1965	16,6	(6,28)	24,9	0,07	0	(2,1)
1966	26,9	(8,00)	40,0	0,09	0	(5,2)
1967	23,4	(7,07)	33,4	0,09	0	(3,0)
1968	24,5	(8,63)	36,6	(0,06)	0	(3,7)
1969	30,8	(8,60)	44,0	0,10	0	(4,7)
1970	25,9	(7,39)	35,8	0,05	0	(2,6)
1971	17,6	7,79	27,4	0,05	0	(2,1)
1972	19,7	6,82	28,2	0,04	0	(1,7)
1973	18,8	7,04	27,7	0,01	0	(1,9)
1974	15,2	(5,90)	22,4	0	0	(1,3)
Среднее	22,1	(7,26)	31,6	(0,06)	0	(2,3)

Таблица П.IV.14

Участок р. Талас от с. Кировское до с. Гродеково, м³/с

Год	Q_B	$Q_{пр}$	Q_H	$Q_{вз}$	$Q_{вс}$	Q_O	$Q_B + Q_{пр} - Q_{вз}$
1946	30,4	(2,27)	28,5	6,54	0	2,4	26,1
1947	36,8	(2,54)	30,6	6,52	0	-1,2	31,8
1948	33,8	(2,44)	27,2	7,44	0	-1,6	28,8
1949	37,9	(2,65)	32,7	7,27	0	-0,6	33,3
1950	31,1	(2,31)	26,0	5,73	0	-1,7	27,7
1951	31,1	(2,31)	26,3	4,92	0	-2,2	28,5
1952	42,2	(2,87)	36,8	4,48	0	-3,4	40,2
1953	33,9	(2,45)	28,2	5,28	0	-2,9	31,1
1954	37,1	(2,61)	33,1	4,30	0	-2,3	35,4
1955	36,5	(2,58)	33,5	4,11	0	-1,5	35,0
1956	35,4	(2,53)	29,1	4,49	0	-4,3	33,4
1957	24,3	(1,97)	19,6	2,92	0	-3,8	23,4
1958	43,9	(2,94)	40,5	3,36	0	-3,0	43,5
1959	40,5	(2,78)	35,5	4,06	0	-3,7	39,2
1960	39,1	(2,71)	34,9	4,26	0	-2,6	37,6
1961	26,6	(2,09)	21,8	3,73	0	-3,2	25,0
1962	30,3	(2,27)	24,2	4,61	0	-3,8	28,0
1963	32,2	(2,36)	26,1	5,26	0	-3,2	29,3
1964	33,0	(2,40)	27,8	5,14	0	-2,5	30,3
1965	24,9	(2,00)	19,3	3,72	0	-3,9	23,2
1966	40,0	(2,76)	33,9	4,76	0	-4,1	38,0
1967	33,4	(2,42)	(28,3)	3,94	0	-3,6	31,9
1968	36,6	(2,59)	(31,7)	4,95	0	-2,5	34,2
1969	44,0	(2,95)	(39,5)	4,32	0	-3,1	42,6
Среднее	34,8	(2,49)	29,8	4,83	0	-2,7	32,5

Таблица П.IV.15

Участок р. Талас от с. Кировское до с. Покровка, м³/с

Год	Q_B	$Q_{пр}$	Q_H	$Q_{вз}$	$Q_{вс}$	Q_O	$Q_B + Q_{пр} - Q_{вз}$
1970	35,8	(2,55)	(30,8)	3,79	0	-3,8	34,6
1971	27,4	2,50	24,9	3,36	0	-1,6	26,5
1972	28,2	2,54	26,2	3,27	0	-1,3	27,5
1973	27,7	2,78	23,6	3,78	0	-3,1	26,7
1974	22,4	2,34	18,3	3,44	0	-3,0	21,3
Среднее	28,3	(2,54)	24,9	3,53	0	-2,5	27,3

Таблица П.IV.16

Участок р. Талас от с. Гродеково до г. Джамбула и от с. Покровка до г. Джамбула, м³/с

Год	Q_B	$Q_{пр}$	Q_H	$Q_{вз}$	$Q_{вс}$	Q_O	$Q_B + Q_{вс} - Q_{вз}$

г. Гродеково — г. Джамбул

1950	26,0	0	16,0	11,1	0	1,1	14,9
1951	26,3	0	17,8	8,41	0	-0,1	17,9
1952	36,8	0	27,5	9,27	0	0	27,5
1953	28,2	0	(18,5)	10,1	0	0,4	18,1
1954	33,1	0	18,1	9,20	0	-5,8	23,9
1955	33,5	0	21,6	11,0	0	-0,9	22,5
1956	29,1	0	20,1	11,6	0	2,6	17,5
1957	19,6	0	13,7	8,42	0,42	2,1	11,6
1958	40,5	0	(31,0)	11,6	0,66	1,4	29,6
1959	35,5	0	27,4	10,4	1,47	0,8	26,6
1960	34,9	0	(26,7)	10,2	1,54	0,5	26,2
1961	21,8	0	12,7	9,03	0,72	-0,8	13,5
1962	24,2	0	14,3	11,8	0,81	1,1	13,2
1963	26,1	0	14,2	12,4	1,04	-0,5	14,7
1964	27,8	0	19,0	10,0	1,23	0	19,0
1965	19,3	0	12,4	7,58	0,98	-0,3	12,7
1966	33,9	0	21,2	12,7	0,98	-1,0	22,2
1967	(28,3)	0	19,0	11,6	0,55	1,8	17,2
1968	(31,7)	0	19,8	12,8	1,40	-0,5	20,3
1969	(39,5)	0	37,2	11,1	2,06	6,7	30,5
Среднее	29,8	0	20,4	10,5	0,69	0,4	20,0

с. Покровка — г. Джамбул

1970	(30,8)	0	19,8	15,4	1,15	3,2	16,6
1971	24,9	0	13,9	12,4	1,49	-0,1	14,0
1972	26,2	0	17,0	13,7	1,97	2,5	14,5
1973	23,6	0	14,1	13,6	1,62	2,5	11,6
1974	18,3	0	12,5	8,26	1,11	1,4	11,2
1975	14,0	0	7,57	7,76	1,61	-0,3	7,45
Среднее	23,2	0	14,1	11,8	1,49	1,2	12,9

Таблица П.IV.17

Участок р. Талас от г. Джалбула до с. Шаповаловка, м³/с

Год	Q_v	$Q_{пр}$	Q_n	$Q_{вз}$	$Q_{вс}$	Q_o	$Q_v - Q_{вз}$
1950	16,0	0	9,52	3,22	0	-3,3	12,8
1951	17,8	0	15,6	2,94	0	0,7	14,9
1952	27,5	0	26,3	3,88	0	2,7	23,6
1953	(18,5)	0	16,3	3,54	0	1,3	15,0
1954	18,1	0	18,8	3,10	0	3,8	15,0
1955	21,6	0	20,6	3,81	0	2,8	17,8
1956	20,1	0	(17,4)	3,88	0	1,2	16,2
1957	13,7	0	12,4	2,25	0	1,0	11,4
1958	(31,0)	0	27,0	2,89	0	-1,1	28,1
1959	27,4	0	22,5	2,64	0	-2,3	24,8
1960	(26,7)	0	21,5	2,63	0	-2,6	24,1
1961	12,7	0	10,8	3,12	0	1,2	9,58
1962	14,3	0	10,4	3,93	0	0	10,4
1963	14,2	0	(12,1)	4,01	0	1,9	10,2
1964	19,0	0	16,8	3,94	0	1,7	15,1
1965	12,4	0	9,55	2,88	0	0	9,52
1966	21,2	0	16,1	4,58	0	-0,5	16,6
1967	19,0	0	18,9	3,71	0	3,6	15,3
1968	19,8	0	17,5	4,21	0	1,9	15,6
1969	37,2	0	35,1	3,04	0	0,9	34,2
1970	19,8	0	14,0	4,89	0	-0,9	14,9
1971	13,9	0	9,26	3,74	0	-0,9	10,2
1972	17,0	0	9,09	3,77	0	-4,1	13,2
1973	14,1	0	10,6	3,98	0	0,5	10,1
1974	12,5	0	8,31	3,90	0	-0,3	8,60
1975	7,57	0	5,42	2,88	0	0,7	4,69
Среднее	19,0	0	15,8	3,51	0	0,3	15,5

ПРИЛОЖЕНИЕ V
Режимы орошения поливных сельхозкультур

Станция	Район по рис. 7.9	γ мм	Оросительная норма, мм	Поливные нормы по фазам								Число поливов
				1	2	3	4	5	6	7	8	

ЯРОВАЯ ПШЕНИЦА

Обеспеченность 75 %

Киргизская ССР

Чонарык	II	188	216	72/0	66/0	66/0	124/0	124/0	124/0	124/1	124/0	1
Чуйская	II	188	339	72/0	66/0	66/0	124/0	124/1	124/0	124/1	124/0	2
Фрунзе	II	178	329	68/0	63/0	63/0	117/0	117/1	117/0	117/1	117/0	2
Токмак	II	188	319	72/0	66/0	66/0	124/0	124/0	124/1	124/1	124/0	2
Рыбачье	III	188	485	72/0	66/0	66/0	124/0	124/1	124/1	124/0	124/1	3

Казахская ССР

Луговая	I	188	367	72/0	66/0	66/0	124/0	124/0	124/1	124/1	124/1	3
Фурмановка	I	188	512	72/0	66/0	66/0	124/0	124/1	124/1	124/1	124/1	4
Уланбель	I	166	573	64/0	60/0	60/0	110/1	110/1	110/1	110/1	102/1	5

Обеспеченность 50 %

Киргизская ССР

Чонарык	II	188	262	72/0	66/0	66/0	124/0	124/0	124/0	124/1	124/1	2
Чуйская	II	189	415	72/0	66/0	66/0	124/0	124/1	124/1	124/1	124/0	3
Фрунзе	II	178	394	68/0	63/0	63/0	117/0	117/1	117/1	117/0	117/1	3
Токмак	II	188	384	72/0	66/0	66/0	124/0	124/1	124/0	124/1	124/1	3
Рыбачье	III	188	519	72/0	66/0	66/1	124/0	124/1	124/1	124/1	124/0	4

Казахская ССР

Луговая	I	188	426	72/0	66/0	66/0	124/0	124/1	124/0	124/1	124/1	3
Фурмановка	I	188	532	72/0	66/0	66/0	124/0	124/1	124/1	124/1	124/1	4
Уланбель	I	166	612	64/0	60/0	60/0	110/1	110/1	110/1	110/1	102/1	5

Станция	Район по рис. 7.9	γ мм	Оросительная норма, мм	Поливные нормы по фазам								Число поливов
				1	2	3	4	5	6	7	8	

Обеспеченность 25 %

Киргизская ССР

Чонарык	II	188	329	72/0	66/0	66/0	124/0	124/0	124/0	124/1	124/0	2
Чуйская	II	188	491	72/0	66/0	66/0	124/0	124/2	124/0	124/1	124/1	4
Фрунзе	II	178	465	68/0	63/0	63/0	117/0	117/2	117/0	117/1	117/0	3
Токмак	II	188	450	72/0	66/0	66/0	124/0	124/1	124/1	124/1	124/0	3
Рыбачье	III	188	567	72/0	66/0	66/1	124/0	124/2	124/0	124/1	124/0	4

Казахская ССР

Луговая	I	188	482	72/0	66/0	66/0	124/0	124/1	124/1	124/1	124/1	4
Фурмановка	I	188	548	72/0	66/0	66/0	124/0	124/2	124/0	124/1	124/1	4
Уланбель	I	166	653	64/0	60/0	60/0	110/1	110/2	110/1	110/1	102/1	6

ОЗИМАЯ ПШЕНИЦА

Обеспеченность 75 %

Киргизская ССР

Чонарык	II	188	61				124/0	124/0	124/0	124/0	124/0	0
Чуйская	II	188	100				124/0	124/0	124/0	124/0	124/0	0
Фрунзе	II	178	96				117/0	117/0	117/0	117/0	117/0	0
Токмак	II	188	61				124/0	124/0	124/0	124/0	124/0	0

Казахская ССР

Луговая	I	188	91				124/0	124/0	124/0	124/0	124/0	0
Фурмановка	I	188	210				124/0	124/0	124/0	124/0	124/1	1
Уланбель	I	166	286				110/0	110/0	110/0	110/1	102/1	2

Станция	Район по рис. 7.9	γ мм	Оросительная норма, мм	Поливные нормы по фазам								Число поливов
				1	2	3	4	5	6	7	8	

Обеспеченность 50 %

Киргизская ССР

Чонарык	II	188	91				124/0	124/0	124/0	124/0	124/0	0
Чуйская	II	188	156				124/0	124/0	124/0	124/0	124/1	1
Фрунзе	II	178	147				117/0	117/0	117/0	117/0	117/1	1
Токмак	II	188	109				124/0	124/0	124/0	124/0	124/0	0

Казахская ССР

Луговая	I	188	153				124/0	124/0	124/0	124/0	124/1	1
Фурмановка	I	188	261				126/0	124/0	124/0	124/1	124/1	2
Уланбель	I	166	310				110/0	110/0	110/0	110/1	102/1	2

Обеспеченность 25 %

Киргизская ССР

Чонарык	II	188	138				124/0	124/0	124/0	124/0	124/1	1
Чуйская	II	188	216				124/0	124/0	124/0	124/1	124/0	1
Фрунзе	II	178	203				117/0	117/0	117/0	117/1	117/0	1
Токмак	II	188	151				124/0	124/0	124/0	124/0	124/1	1

Казахская ССР

Луговая	I	188	209				124/0	124/0	124/0	124/0	124/1	1
Фурмановка	I	188	302				124/0	124/0	124/0	124/1	124/1	2
Уланбель	I	166	341				110/0	110/0	110/0	110/2	102/1	3

Станция	Район по рис. 7.9	γ мм	Оросительная норма, мм	Поливные нормы по фазам			Число поливов
				1	2	3	

САХАРНАЯ СВЕКЛЯ

Обеспеченность 75 %

Киргизская ССР

Чуйская	II	188	466	66/0	99/0	91/4—5	4—5
Фрунзе	II	178	503	63/0	94/0	86/5—6	5—6
Токмак	II	188	434	66/0	99/0	91/4	4

Казахская ССР

Луговая	I	188	626	66/0	99/0	91/7	7
Фурмановка	I	188	660	66/0	99/0	91/7	7
Уланбель	I	166	897	60/0	88/1	82/10	11

Обеспеченность 50 %

Киргизская ССР

Чуйская	II	188	525	66/0	99/0	91/5	5
Фрунзе	II	178	551	63/0	94/0	86/6	6
Токмак	II	188	482	66/0	99/0	91/5	5

Казахская ССР

Луговая	I	188	688	66/0	99/0	91/7	7
Фурмановка	I	188	683	66/0	99/0	91/7	7
Уланбель	I	166	925	60/0	88/1	82/10	11

Обеспеченность 25 %

Киргизская ССР

Чуйская	II	188	580	66/0	99/0	91/6	6
Фрунзе	II	178	599	63/0	94/0	86/7	7
Токмак	II	188	525	66/0	99/0	91/5	5

Казахская ССР

Луговая	I	188	747	66/0	99/0	91/8	8
Фурмановка	I	188	716	66/0	99/0	91/8	8
Уланбель	I	166	964	60/0	88/1	82/10	11

Станция	Район по рис. 7.7	γ мм	Оросительная норма, мм	Поливные нормы по укосам			Число поливов
				1	2	3	

ЛЮЦЕРНА

Обеспеченность 75 %

Киргизская ССР

Чонарык	II	188	141	133/0	133/1		1
Чуйская	II	188	463	133/0	133/0	133/3	3
Фрунзе	II	178	500	126/0	126/1	126/3	4
Токмак	II	188	429	133/0	133/0	133/3	3
Рыбачье	III	188	454	133/0	133/3		3

Казахская ССР

Луговая	I	188	606	133/0	133/1	133/3	4
Фурмановка	I	188	704	133/0	133/2	133/3	5
Уланбель	I	166	676	118/0	118/2	118/3	5

Обеспеченность 50 %

Киргизская ССР

Чонарык	II	188	200	133/0	133/1		1
Чуйская	II	188	539	133/0	133/1	133/3	4
Фрунзе	II	178	557	126/0	126/1	126/3	4
Токмак	II	188	498	133/0	133/1	133/2	3
Рыбачье	III	188	489	133/0	133/3		3

Казахская ССР

Луговая	I	188	662	133/0	133/2	133/3	5
Фурмановка	I	188	736	133/0	133/2	133/3	5
Уланбель	I	166	704	118/0	118/2	118/3—4	5—6

Обеспеченность 25 %

Киргизская ССР

Чонарык	II	188	266	133/0	133/2		2
Чуйская	II	188	620	133/0	133/1	133/3	4
Фрунзе	II	178	609	126/0	126/2	126/3	5
Токмак	II	188	564	133/0	133/1	133/3	4
Рыбачье	III	188	531	133/1	133/3		4

Казахская ССР

Луговая	I	188	712	133/1	133/2	133/2	5
Фурмановка	I	188	765	133/0	133/2	133/4	6
Уланбель	I	166	738	118/0	118/2	118/4	6

Примечание. Озимая пшеница поливается с весны, т. е. с четвертой фазы. В числителе — поливная норма в мм, в знаменателе — число поливов.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Принятые сокращения	6
1. Характеристика природных условий бассейнов рек Чу и Талас	7
1.1. Рельеф (Ю. В. Русс)	—
1.2. Климат (А. П. Вершинин)	10
1.3. Гидрологические условия (В. В. Сумарокова)	12
1.4. Гидрогеологические условия (Ю. В. Русс)	16
1.5. Почвы и растительность (И. А. Канн)	22
2. Оценка водных ресурсов и их использование	28
2.1. Водные ресурсы (И. Б. Вольфцун, Т. И. Владимирова)	—
2.2. Использование водных ресурсов в хозяйственных целях (В. В. Сумарокова, К. В. Цыценко)	34
3. Организация и проведение экспедиционных работ	40
3.1. Методика воднобалансовых исследований на орошаемых землях (С. И. Харченко, К. В. Цыценко)	—
3.2. Наблюдения за элементами руслового водного баланса (И. Б. Вольфцун, В. П. Смирнова)	44
4. Результаты метеорологических, теплбалансовых и лизиметрических исследований в зоне орошаемого и богарного земледелия (А. П. Вершинин)	49
5. Экспериментальное изучение стока с орошаемых земель, влажности почв и химического состава вод	70
5.1. Сток оросительных и коллекторно-дренажных вод с экспериментальных участков и полей (В. В. Сумарокова)	—
5.1.1. Гидрометрические балансы экспериментальных участков в пределах оросительных систем	—
5.1.2. Гидрометрические наблюдения на орошаемых полях	87
5.2. Определение фильтрационных потерь и выклинивания грунтовых вод в оросительной и коллекторно-дренажной сети (В. В. Сумарокова)	91
5.3. Водно-физические свойства и режим влажности почвогрунтов (И. А. Канн)	95
5.3.1. Характеристика водно-физических свойств почвы	96
5.3.2. Водный режим богарных почв	98
5.3.3. Водный режим почв в зоне орошения	99
5.4. Химический состав поверхностных и грунтовых вод. Солевой состав почв на экспериментальных полях	100
5.4.1. Минерализация и химический состав поверхностных вод (И. А. Канн, Г. Н. Морозова)	101
5.4.2. Минерализация и химический состав грунтовых вод (Г. Н. Морозова)	121

5.4.3. Элементы водно-солевого баланса почв на экспериментальных участках и сельскохозяйственных полях (И. А. Канн)	129
6. Исследования русловых водных балансов рек Чу и Талас	133
6.1. Методика расчета элементов русловых водных балансов	—
6.1.1. Основные расчетные уравнения (И. Б. Вольфцун)	—
6.1.2. Учет стока в гидрометрических створах (И. Б. Вольфцун)	136
6.1.3. Водозаборы и сбросы (В. П. Смирнова)	—
6.1.4. Русловое регулирование (Ю. В. Русс)	137
6.1.5. Определение площадей затопления поймы в низовьях р. Чу (В. С. Ясаков)	138
6.1.6. Осадки (В. П. Новикова)	139
6.1.7. Испарение с поверхности воды и участков, занятых полупогруженной растительностью (В. П. Новикова)	143
6.1.8. Испарение с участков поймы, освободившихся от воды (В. П. Смирнова)	145
6.1.9. Изменение запасов влаги в почвогрунтах (В. П. Смирнова)	146
6.1.10. Изменение запасов подземных вод (Ю. В. Русс)	147
6.2. Русловый водный баланс р. Чу (И. Б. Вольфцун, Ю. В. Русс, В. С. Ясаков)	148
6.2.1. Участок от с. Ортокой до с. Терек-Джон	149
6.2.2. Участок от ст. Джилярыкская до Бурулдайского моста	151
6.2.3. Участок от Бурулдайского моста до г. Токмака	152
6.2.4. Участок от г. Токмака до с. Миляфан	155
6.2.5. Участок от с. Миляфан до клх им. Чапаева (с. Ташуткуль)	157
6.2.6. Участок от клх им. Чапаева (с. Ташуткуль) до свх им. Амангельды	160
6.2.7. Участки в нижнем течении р. Чу	162
6.3. Русловый водный баланс р. Талас (В. П. Смирнова)	170
6.3.1. Участок от с. Караой до с. Иваново-Алексеевка	171
6.3.2. Участок от с. Иваново-Алексеевка до с. Орловка	172
6.3.3. Участок от с. Орловка до с. Кировское	—
6.3.4. Участки от с. Кировское до с. Гродеково и от с. Кировское до с. Покровка	174
6.3.5. Участок от с. Покровка до г. Джамбула и от с. Гродеково до г. Джамбула	177
6.3.6. Участок от г. Джамбула до с. Шаповаловка	178
7. Оросительные нормы и режимы орошения сельскохозяйственных культур (А. П. Вершинин)	180
7.1. Теоретическое обоснование методики расчета	—
7.2. Характеристика исходных данных	182
7.3. Технологическая схема расчета режимов орошения сельскохозяйственных культур	185
8. Безвозвратное водопотребление и возвратные воды с орошаемых земель (В. В. Сумарокова, О. Г. Вонсовская)	191
8.1. Оценка возвратных вод за многолетний период в Чуйской долине	—
8.2. Возвратные воды в Таласской долине	211
8.3. Оценка возвратных вод на перспективу	216
9. Современные и перспективные изменения гидрологических условий под влиянием водных мелиораций	220
9.1. Изменение стока рек (С. И. Харченко, К. В. Цыценко)	—
9.1.1. Состояние вопроса и методика исследований	—
9.1.2. Современные изменения стока рек Чу и Талас	226
9.1.3. Изменения стока рек на перспективу	236
9.2. Изменение минерализации речных вод под влиянием орошения (И. А. Канн)	238
9.3. Оценка взаимодействия поверхностных и подземных вод методом электроаналогового моделирования (Г. А. Шин)	241
	333

9.3.1. Задачи моделирования и исходные материалы	242
9.3.2. Схематизация природных условий	243
9.3.3. Построение и функционирование электроаналоговой модели	248
9.3.4. Прогноз изменения притока подземных вод под влиянием хозяйственной деятельности	255
10. Водный баланс Чуйской долины и показатели использования ее водных ресурсов (М. И. Каплинский)	261
10.1. Водный баланс Чуйской долины	—
10.2. Сопоставление методик оценки суммарного испарения	266
10.3. Изменчивость колебаний элементов водного баланса и основных климатических факторов	270
10.4. Корреляционные связи между элементами водного баланса	274
10.5. Влияние развития орошения на структуру водного баланса	276
10.6. Эффективность использования водных ресурсов на орошение	280
11. Водохозяйственный баланс рек Чу и Талас (В. В. Сумарокова)	285
11.1. Гидрологическое обоснование водохозяйственных балансов	—
11.2. Водохозяйственные балансы Чуйской и Таласской долин	288
Заключение	293
Список литературы	296
Приложения	301