ТС-51

М. Ф. Гуляй-Борковский

Физико-географические основы проектирования оросительных систем

ТС-51
626.81

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО
ХОЗЯЙСТВА СССР
ГИПРОВОДХОЗ

Л. В. ДУНИН-БАРКОВСКИЙ

ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

(РАЙОНИРОВАНИЕ И ВОДНЫЙ БАЛАНС ОРОШАЕМОЙ ТЕРРИТОРИИ)

Под редакцией доктора географических наук
С. Ю. Геллера

ИЗДАТЕЛЬСТВО
МИНИСТЕРСТВА СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА СССР
МОСКВА—1960

Лев Валерианович Дуник—Барковский

ФИЗИКО—ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Редактор Л. Т. Ермилов
Техн. редактор И. В. Печенкин

Т-12577 Подписано к печати 2/XII 1959 г.
Формат бумаги 84×108 1/32 Бум. л. 2,12
Печ. л. 5,25(8,5) Уч.-изд. л. 8,55+0,37 вкл.
Заказ 903 Тираж 2000 экз. Цена 6 руб.

Типография № 1 Издательства МСХ СССР
Москва, Цветной бульвар, 26.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Контрольные цифры развития народного хозяйства СССР на 1959—1965 годы, принятые XXI съездом КПСС, предусматривают продолжение работ по расширению орошаемых земель в хлопкосеющих районах, т. е. в пустынной зоне СССР.

Развитию орошения придается большое значение во многих странах мира, особенно в странах Азии и Африки. Так, если в Китайской Народной Республике к настоящему времени орошено 66,6 млн. га (59% всех пахотных земель), то развертывание массового ирригационного строительства позволит уже к 1962 г. увеличить площадь заливных и орошаемых земель до 80 млн. га, т. е. более 70% всей пахотной земли (Сидихменов, 1958). Ведутся большие работы по орошению во Вьетнаме, Корейской Народно-Демократической Реслублике. В европейских странах народной демократии также осуществляются мероприятия по дальнейшему развитию орошения.

Крупные ирригационные работы проводятся в Индии, ОАР и Ираке. Намечена широкая программа развития орошения в Бирме и Афганистане. Большое внимание уделяется вопросам ирригации в ряде других стран.

Недавно по инициативе индийских ирригаторов создана Международная комиссия по ирригации и дренажу, ведущая большую работу по обмену опытом между мелиораторами различных стран мира. Советский Союз также вступил в члены этой международной организации. Теоретические и практические работы в СССР будут координироваться Национальным комитетом.

В связи с намеченным значительным расширением орошаемых площадей перед научно-исследовательскими

и проектными организациями встают задачи обобщения передового опыта, внедрения новой техники и выявления резервов водных ресурсов для обеспечения водой земель с оросительной сетью и вновь орошаемых.

Одним из важнейших вопросов водохозяйственного строительства является методика проектирования оросительных систем, однако имеющиеся руководства, содержащие главным образом описания различных частей системы и нормативные данные по отдельным расчетным элементам и конструкциям, не дают определенных рекомендаций по схеме и составу сооружений для конкретных условий орошаемых территорий. Отсутствие методических руководств в значительной степени препятствует правильной организации подготовки кадров инженеров-проектировщиков. Окончившие высшие учебные заведения и работающие в проектных организациях нередко становятся узкими специалистами, занимающимися какими-нибудь отдельными элементами оросительной системы (сооружениями, сетью, насосными станциями, производством работ и т. д.).

Приводимые ниже материалы относятся главным образом к республикам Средней Азии не только потому, что эти районы лучше знакомы автору, но также в связи с тем, что именно здесь накоплен наиболее обширный опыт, который позволяет дать некоторые методические рекомендации общего характера по проектированию оросительных систем, основанные на достижениях в изучении природных условий и отдельных элементов систем.

ВВЕДЕНИЕ

Среди мелиораций, задачи которых «...сводятся к тому, чтобы определенному участку земли, земле в определенном ограниченном месте придать такие свойства, которыми другая почва, в другом месте, зачастую совсем близко, обладает от природы»[1], ведущее место занимает орошение.

Ведущая роль орошения в системе водохозяйственных мероприятий объясняется не столько тем, что значительная часть поверхности суши находится в аридной и семиаридной зонах[2], сколько, прежде всего, экономическим значением орошения — его влиянием на продуктивность сельскохозяйственных угодий.

Относительный рост продуктивности сельскохозяйственных угодий в результате орошения, при прочих равных условиях, для большинства районов мира значительно выше, чем от проведения других водохозяйственных мероприятий (осушение, обводнение, борьба с затоплением).

Именно поэтому, несмотря на сравнительно небольшой удельный вес в общем балансе земель, используемых для сельского хозяйства (13%), продукция орошаемых земель составляет в настоящее время не менее 50% от всей продукции растениеводства земного шара (Антипов-Каратаев, 1952).

Еще большее значение приобретет орошение в будущем при разрешении проблемы обеспечения растущего

---

[1] К. Маркс. Капитал, т. III, М., 1949, стр. 758–759.

[2] По различным подсчетам площади аридных и семиаридных земель занимают от 40 до 55% поверхности суши (Торн и Петерсон, 1952; сб. „Будущее аридных земель", 1958 и др.).

народонаселения продуктами питания и промышленности сырьем (Christiansen, 1953; Pawley, 1954).

Если до начала XX столетия орошение развивалось преимущественно в пустынных и полупустынных районах и в тропических странах, то за последние годы ирригационные мероприятия начали проводиться в районах умеренного климата с довольно значительным количеством осадков.

По данным Международной комиссии по ирригации и дренажу, орошаемые земли в настоящее время встречаются более чем в 60 странах, включая большинство стран умеренного климата (Англия, Франция, Нидерланды, Канада, Германия, Австрия, Исландия) (Gulhati, 1955).

В северном полушарии орошаемые земли размещаются у Северного Полярного круга (в Исландии), а в южном полушарии — во всех странах (Аргентина, Бразилия, Чили, Перу, Австралия, Южная Африка и др.).

Орошение применяется не только на равнинах, но и в горных районах: в Азии (Тибет, Памир) и Южной Америке (Чили, Перу) — на высоте до 4000 м (Аскоченский, 1957), в Европе — в горных районах Швейцарии, где орошаемая площадь достигает 20 тыс. га,—на высоте до 2000 м (Gulhati, 1955).

Таким образом, орошение, начавшее развиваться в пустынях и полупустынях, теперь уже охватило почти все районы земного шара, где распространено земледелие.

Строительство ирригационных систем — один из древнейших видов инженерного искусства. Задолго до нашей эры были воздвигнуты водохранилищные плотины в Китае, Индии и на Цейлоне (Christiansen, 1953; Malhotra, 1951; Saylor, 1952). Крупнейшие каналы Египта и Ассирии существовали еще в третьем тысячелетии, а оросительные каналы Средней Азии — в конце второго и начале первого тысячелетия до нашей эры (Толстов, 1948; Гафуров, 1949). Археологические раскопки древнейших очагов культуры земного шара показывают, что орошение было широко развито в ряде стран в доисторический период (ранее третьего тысячелетия до н. э.).

Развиваясь постепенно от использования случайных разливов рек, искусство ирригации совершенствовалось и в настоящее время достигло больших успехов как в

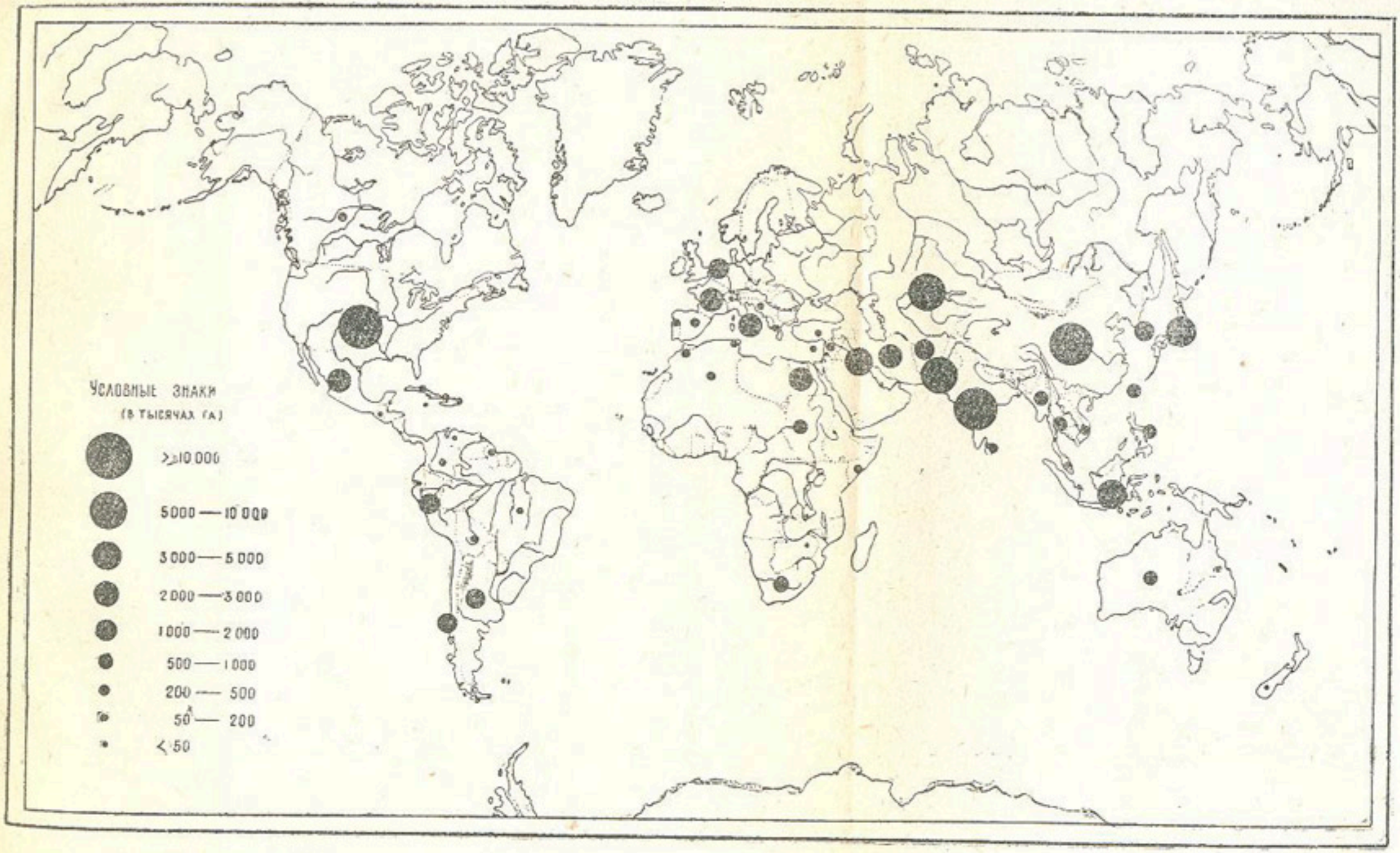


Рис. 1. Размещение орошаемых площадей в странах мира.

области захвата воды из источников и доставки к орошаемым землям, так и в области распределения воды по полям. В ряде стран воздвигаются крупнейшие плотины, строятся каналы, тоннели и насосные станции. Широко развивается сеть глубоких скважин, позволяющих использовать для орошения подземные воды. Строятся дренажные системы, предохраняющие орошаемые земли от засоления и заболачивания. Совершенствуется техника полива. Начало внедряться дождевание.

Применение новейшей техники позволило значительно увеличить темпы роста орошаемых площадей при одновременном повышении их продуктивности. Так, например, в США, где орошение применялось практически с 1847 г.[1], орошаемая площадь в течение первой половины XX столетия увеличилась более чем в три раза, в Индии и Пакистане — более чем в два раза, в Китае за годы народной власти — в 2 раза, в Египте — в два раза, в Мексике — в три раза (Pawley, 1954; Херст, 1954; Benassini, 1953). В СССР за период после Октябрьской революции площадь орошаемых земель возросла в два с лишним раза (Костяков, 1951).

Широкий размах ирригационных работ в некоторых районах потребовал включения в сферу орошения новых земель зачастую со сложными природными условиями. Это требовало применения специальных приемов, не всегда хорошо известных аборигенам районов древнего орошения и совершенно незнакомых населению тех территорий, где ирригация начала применяться впервые. В результате этого в ряде районов с развитием орошения продуктивность земель начала падать и площади стали выпадать из орошения вследствие засоления и заболачивания. Особенно грозные явления заболачивания и засоления в начале XX столетия наблюдались в некоторых районах США — в долинах рр. Сан-Хоакин, Солт-Ривер и др. (Walter, 1954), в России — на территории Кура-Араксинской низменности и Голодной степи (Ковда, 1946), в Египте — в дельте Нила (Херст, 1954). В связи с этим возникла необходимость широкого разворота исследовательских работ, что в свою очередь потребовало теоретического обобщения основных положе-

[1] Существовавшие до открытия Америки ирригационные системы были уничтожены в период испанского владычества (Clyde, 1949).

ний искусства орошения. В этот период в России появились капитальные научные труды по ирригации С. П. Максимова (1914), А. В. Бельского (1914), А. Н. Костякова (1919) и за рубежом (Ronna, 1912; Brown, 1912; Etchevery, 1915).

Оросительные системы рассматривались в них как «некий механизм для проведения воды из источника орошения на поля» (Костяков, 1927), хотя и связанный с местными условиями орошаемой территории, но не представляющий одного целого с ее природой.

Несмотря на такое изолированное рассмотрение элементов ирригационной системы, были разработаны ценные общие рекомендации по проектированию, строительству и эксплуатации оросительных систем, сыгравшие большую роль в подготовке специалистов по ирригации и в значительной степени способствовавшие популяризации орошения. Но практическое применение общих принципов проектирования, строительства и эксплуатации оросительных систем в конкретных условиях орошаемой территории, как правило, основывалось на интуиции или опыте того или иного специалиста. Вместе с тем широкое распространение получило представление о том, что на землях «туземного» орошения никогда не бывает и не может быть вторичного засоления в силу особых местных условий и наличия особого опыта у «туземного» населения (Вильямс, 1936).

Однако в практике ирригации очень скоро выявилось, что местные физико-географические условия, коренным образом влияя на состав и характер оросительных мероприятий, в свою очередь оказывают существенное влияние на географическую среду, изменяя ее (см. Дунин-Барковский, 1955).

Изучение местных условий и народного опыта показывает, что в различных районах имеются свои специфические особенности орошения, тесно связанные с природными условиями. Но различные элементы географической среды влияют на мелиоративные условия данной территории в неодинаковой степени. Одни из них играют решающую роль и определяют «основной фон» мелиоративных мероприятий, другие — оказывают незначительное влияние и придают лишь «оттенок» направлению мелиоративных мероприятий. Естественно поэтому, что опыт одного района может быть нередко с успехом

использован для решения ряда вопросов, возникающих в другом, сходном в природном отношении районе.

Географическая среда и отдельные ее элементы подвержены непрерывным изменениям. Некоторые элементы изменяются быстрее, другие медленнее. Поэтому при изучении природных условий следует всегда иметь в виду их динамичность и при проведении мелиоративных мероприятий учитывать не только влияние тех или иных элементов современной географической среды на мелиоративные условия, но и возможные изменения каждого из этих элементов на данной территории.

Орошаемые оазисы, находящиеся в различных природных условиях, существенно отличаются даже по внеш-

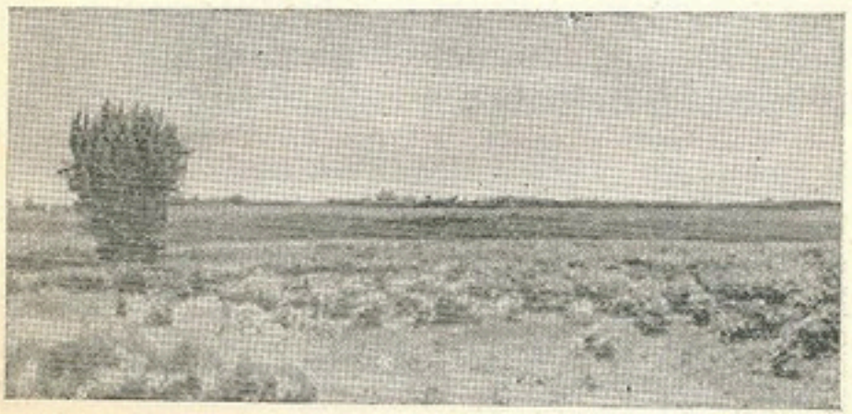


Рис. 2. Орошаемые земли в нижнем течении реки (Хорезм).

нему виду, причем это различие в одних случаях воспринимается более, а в других менее отчетливо. Так, например, при продвижении вдоль речных долин от устья к истокам можно наблюдать постепенное изменение внешнего вида оазисов.

Для оазисов, расположенных в дельте, характерны сравнительно редкое размещение населенных пунктов на орошаемых землях, преобладание лугово-болотной растительности на невозделанных полях, редкие древонасаждения, а также малая скорость воды в каналах, большая их ширина и заросшие камышом берега.

В оазисах, расположенных в среднем течении реки, болотная растительность сменяется луговой и солончаковой, посевы занимают большую часть площади, насе-

ленные пункты встречаются чаще, появляются более густые древонасаждения.

В верхнем течении внешний вид оазисов еще более изменяется: рельеф особенно резко выражен, преобладает культурная растительность и лишь на отдельных, резко ограниченных участках с высоким стоянием грунтовых вод имеется болотная растительность. Солончаковая растительность отсутствует. Вся площадь оазиса занята посевами и насаждениями. Каналы имеют вид горных ручьев. Населенные пункты следуют друг за другом. Доминирующую роль в пейзаже играют сады.

По мере удаления в горы, резко выделяясь на фоне окружающей местности, встречаются лишь небольшие оазисы вдоль узких ущелий, между горными массивами.

Вместе с тем при столь резком отличии внешнего вида оазисов, расположенных в пределах одного и того же речного бассейна, обращает на себя внимание сход-

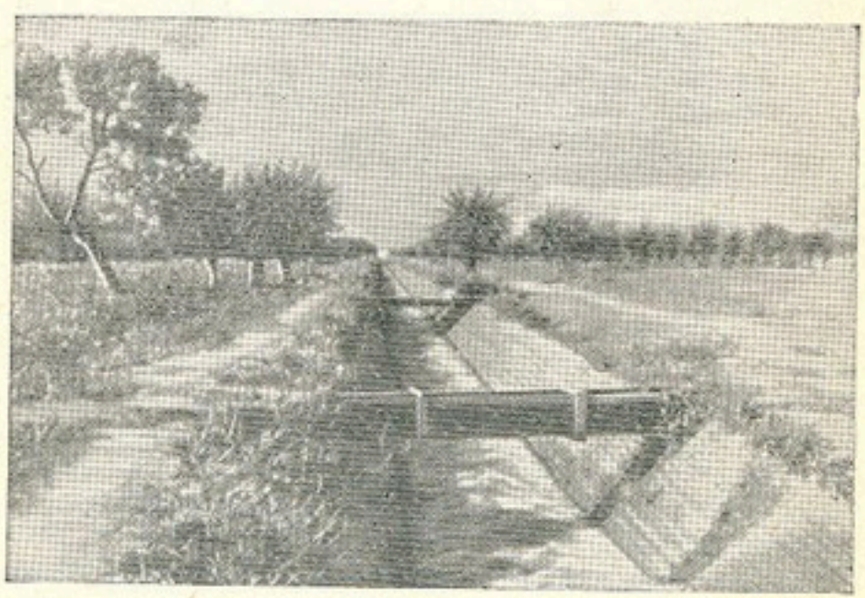


Рис. 3. Орошаемые земли в верхнем течении реки (Фергана)

ство оазисов в аналогичных по природным условиям частях различных бассейнов даже в том случае, когда последние удалены на многие тысячи километров.

Писатель В. В. Крестовский (Крестовский, 1889), посетивший Египет во второй половине прошлого столетия,

писал, что «если бы в Египте не было финиковых пальм, то египетские оазисы были точной копией Хорезма и Бухары».

В близко расположенных бассейнах сходство оазисов, находящихся в идентичных природных условиях, еще более разительно. Так, например, Китабо-Шахризябская котловина (в верховьях Кашка-Дарьи) почти с фотографической точностью воспроизводит Самаркандскую котловину (в верховьях Зеравшана), которая в свою очередь сходна с некоторыми частями Ферганской долины и Приташкентского оазиса.

Сходство и различие внешнего вида орошаемых оазисов не случайно. В их основе лежат глубокие корни различия или идентичности природной обстановки, оказывающей решающее влияние не только на внешний вид оазисов, но и на весь комплекс ирригационных условий.

Этот комплекс природных и хозяйственных особенностей и есть географический ландшафт. Именно поэтому одной из главных задач мелиоративной науки должно являться, прежде всего, изучение конкретных условий мелиорируемой территории. Однако, к сожалению, эту задачу часто сводят к изучению лишь средств и способов проведения воды и необходимых для этого сооружений, рассматривая орошение и оросительные системы в отрыве от природных условий орошаемых территорий. Поэтому мелиоративная наука до сих пор не уделяла достаточного влияния местным условиям, обобщению опыта населения и выявлению причин отсутствия засоления и заболачивания на «туземных» системах.

Мелиоративная наука занималась по преимуществу изучением отдельных элементов механизма оросительных систем и не рассматривала их как орудие коренного изменения неблагоприятных условий возделывания сельскохозяйственных культур в нужном для хозяйства направлении, т. е. как неразрывное целое с природными условиями орошаемых территорий.

Марксистская диалектика учит, что явления должны рассматриваться во всеобщей взаимосвязи и взаимообусловленности. Основоположники науки о природной среде в целом—физической географии — всегда указывали на необходимость изучения всеобщей взаимосвязи явлений природы. Еще В. В. Докучаев в 1882 г., формулируя основные положения физической географии, писал, что

«до сих пор изучались главным образом отдельные тела — минералы, горные породы, растения и животные— явления, отдельные стихии — огонь (вулканизма), вода, земля, воздух, в чем наука и достигла, можно сказать, удивительных результатов, но не их соотношения, не та генетическая вековечная и всегда закономерная связь, какая существует между силами, телами и явлениями, между мертвой и живой природой, между растительным и животным и минеральным царствами, с одной стороны, человеком, его бытом и даже духовным миром, с другой» (Докучаев, 1950).

Развивая положения В. В. Докучаева о единстве и зональности природы и разрабатывая учение о географических ландшафтах — одно из важнейших направлений современной физической географии—Л. С. Берг писал, что «географический ландшафт есть такая совокупность, или группировка, предметов и явлений, в которой особенности рельефа, климата, вод, почвенного и растительного покрова и животного мира, а также, до известной степени, деятельности человека сливаются в единое гармоническое целое, типически повторяющееся на протяжении данной зоны Земли» (1947). Подчеркивая, что изменение какой-нибудь части ландшафта влечет за собой изменение его в целом, Л. С. Берг считал, что познание ландшафтов имеет большое значение для сельского хозяйства. Особенно важно их изучение в связи с орошением.

Приемы ирригации, имевшие в глубокой древности свои специфические особенности в каждом районе, передавались народом из поколения в поколение. За последнее время проведена большая работа по изучению ирригационных систем, объектов нового орошения и переустройства систем. Однако в связи с тем, что результаты исследований весьма многосторонни и обширны, а «местные условия» орошаемых районов очень различны, пользоваться этими первичными материалами для практических целей невозможно. До сих пор, к сожалению, они соответствующим образом не обработаны, не обобщены и малодоступны широкому кругу специалистов.

Несмотря на многолетнее изучение отдельных вопросов, мелиоративная наука ограничивалась преимущественно решением частных задач, изучением отдельных элементов, упуская из виду то целое, с которым имеет

дело практика — «организм» оросительной системы. Поэтому, несмотря на то что отдельные вопросы подверглись глубокому анализу и получили достаточное освещение при решении принципиальных вопросов практики ирригации, связанных со всем комплексом знаний, возникали по существу непреодолимые трудности.

Известную роль в некотором отставании науки от запросов практики сыграло также и то, что научно-исследовательские учреждения по водному хозяйству расположены в крупных городах, зачастую удаленных на большие расстояния от районов орошения.

Примером известного разрыва между мелиоративной наукой и запросами практики водного хозяйства служит решение коренного вопроса проектирования оросительных систем — о неблагоприятных последствиях орошения и о потерях воды в оросительных системах.

Оба эти вопроса в течение многих лет были предметом тщательного изучения.

С тех пор как В. Р. Вильямсом было высказано мнение о том, что в условиях Заволжья при поверхностном орошении неизбежно засоление, а борьба с засолением при помощи дренажа объявлена бесплодным измышлением инженерного «гения» (Вильямс, 1936), научная и практическая работа в области борьбы с засолением и заболачиванием подменяется в ряде случаев рассуждениями о том, что в условиях социалистической экономики существуют факторы, позволяющие решить эту проблему путем проведения организационно-хозяйственных мероприятий и внедрения травопольной системы земледелия. Подобные идеи, имевшие, кстати сказать, хождение в начале XX столетия в капиталистических странах (см. Maierhofer, 1954), показали свою полную несостоятельность и были в свое время опровергнуты практикой.

В результате широкого разворота исследовательских работ в области борьбы с засолением при помощи дренажа «темная ночь, повисшая над дренажной проблемой, сменилась оптимизмом» в США еще в 1924 г. (Walter, 1954). В нашей стране, однако, еще не поставлены достаточно широкие опыты по борьбе с засолением при помощи вертикального и горизонтального закрытого дренажа, а эффективность проводящихся в сравнительно больших масштабах работ по устройству открытого горизонтального дренажа пока невелика.

Вопрос борьбы с потерями на оросительных системах также неясен. Увлечение изучением отдельных элементов этого вопроса привело к распространению взглядов о недостатке воды для орошения, о том, что земли больше, чем воды, что нужно всячески экономить воду, которая якобы безвозвратно теряется в оросительных системах, чем наносится непоправимый ущерб народному хозяйству (Шаумян, 1946).

Между тем изучение баланса водных ресурсов по некоторым речным бассейнам показало, что уменьшение стока рек в результате забора воды на орошение, в зависимости от природных условий бассейна, может либо вовсе не иметь места, либо составлять незначительную долю водозабора (Дунин-Барковский, 1956).

В определенных условиях увеличенные потери могут рассматриваться даже как положительный фактор, ибо за их счет пополняются запасы подземных вод, используемые на орошение (на конусах выноса).

Таким образом, борьба с потерями воды в оросительных системах превращается из широкой народнохозяйственной задачи в узкую технико-экономическую: сравнение вариантов оросительной системы с применением и без применения мероприятий по борьбе с потерями.

Примером разрыва между теорией и практикой орошения является также техника полива. Если изучать ее в отрыве от других элементов процесса сельскохозяйственного производства, то можно прийти к заключению, что наиболее скрупулезная техника полива соответствует наиболее высокому уровню развития хозяйства. Однако практически оказывается, что в этом случае на проведение поливов тратится значительно большее количество труда, чем на все остальные операции по выращиванию сельскохозяйственных культур. Очевидно, что при таком условии следует, как это практически и делается, применять менее скрупулезную технику полива, обеспечивающую, однако, более высокую производительность труда (влагозарядочное орошение, лиманное орошение, полив затоплением) или переходить на механизацию полива (дождевание, поливные трубопроводы).

В целях приближения мелиоративной науки к решению практических задач, по-видимому, следовало бы наряду с изолированным рассмотрением отдельных вопро-

сов ввести в практику также и более широкое комплексное изучение оросительных систем.

В частности, для решения вопросов методики проектирования следовало бы развернуть соответствующие исследования, в процессе которых прежде всего уделить внимание следующим вопросам:

а) систематическому описанию орошаемых территорий и районов возможного орошения в ближайшем будущем;

б) изучению элементов водного баланса орошаемых территорий.

В результате систематического описания орошаемых территорий будет обеспечена возможность широкого использования опыта, накопленного в процессе проектирования, строительства и эксплуатации ирригационных систем. Этот опыт может быть использован на других системах, находящихся в аналогичных условиях.

Систематическое описание орошаемых территорий позволит достаточно надежно обосновать их детальное районирование. В систематическое описание орошаемых районов следовало бы включить изученность территории, природные условия, современное состояние ирригационных систем и перспективы развития орошения. Такую работу желательно выполнить по всем районам поливного земледелия.

В ходе географических исследований географы изучают связь сельского хозяйства с местными природными условиями и разрабатывают принципиальную схему мероприятий по гидромелиорации земель, увеличению плодородия почвы, использованию естественной растительности (Крылов, 1955). Совместная работа географов и мелиораторов по исследованию природных условий и районированию орошаемых территорий несомненно будет способствовать правильному решению поставленных задач.

Выполнение этой работы сэкономит значительное количество непроизводительно расходуемого труда и средств для решения ряда практических вопросов, связанных с эксплуатацией существующих систем и дальнейшим их развитием.

Методика водохозяйственных расчетов при определении оросительной способности и установлении расчетного стока источников орошения нуждается в пересмотре.

Уже сейчас очевидно, что оросительная способность даже такой крупной реки, как Сыр-Дарья, резко занижалась. Фактические наблюдения за ее режимом в течение многолетнего периода показали, что забор воды на орошение значительных новых площадей не уменьшил стока реки, так как увеличение водопотребления на орошение одновременно сопровождалось уменьшением испарения на осушенных болотах Центральной Ферганы.

Исследования отдельных элементов водного баланса Сырдарьинского бассейна и изучение условий формирования так называемых дополнительных, или возвратных, вод показывают, что и в дальнейшем при весьма существенном расширении орошаемых площадей в бассейне Сыр-Дарьи сток реки не уменьшится. Этот вывод опирается на изучение потерь на испарение с поверхности орошаемых и неорошаемых полей, условий переноса воздушной влаги в предгорных районах и потерь на транспирацию и испарение в чашах проектируемых водохранилищ.

Настоящая работа посвящена упомянутым выше вопросам методики проектирования водохозяйственных мероприятий — районированию орошаемых территорий и учету изменений водного баланса.

I. РАЙОНИРОВАНИЕ ОРОШАЕМЫХ ТЕРРИТОРИЙ

1. Задачи и принципы районирования

Главной задачей орошения, как известно, является искусственное изменение неблагоприятных природных условий путем дополнительной подачи воды извне. Поэтому вполне естественно, что сама потребность в орошении и характер его влияния на ту или иную территорию непосредственно зависят от физико-географических условий. Конечно, не только потребность в воде на орошение тех или иных культур для получения определенного планового урожая зависит от природных условий. С ними тесно связана работа всех элементов ирригационных систем, начиная от источников орошения и кончая отводом избыточных вод. Именно поэтому при проектировании оросительных систем как на мелких участках (размещающихся целиком в пределах одного хозяйства), так и особенно на крупных земельных массивах большое внимание уделяется изучению природных условий районов будущего орошения.

Вполне естественно, что в пределах орошаемой территории имеются участки с более или менее одинаковыми природными условиями и в то же время в разных ее частях может наблюдаться более или менее резкое их различие.

На малых участках орошения разнообразие природных условий, как правило, незначительно и при проектировании они могут считаться однородными. При проектировании крупных объектов орошения, охватывающих десятки тысяч гектаров, природные условия изменяются

в пределах орошаемого массива более или менее значительно.

Поскольку непосредственно нельзя изучать тот или иной показатель работы оросительной системы в каждой отдельной точке, изучение природных условий при проектировании объектов орошения обычно проводится на базе их районирования. Методы районирования широко применяются в практике исследования природных условий орошаемой территории (геологическое строение, подземные воды, почвенный покров, топография и др.).

При проектировании ирригационных систем также применяются методы районирования режима орошения, мероприятий по борьбе с засолением и заболачиванием, мелкой оросительной сети на типовых участках и др.

Вопрос о районировании орошаемых территорий в связи с разработкой проектов орошения впервые был поставлен Г. К. Ризенкампфом (1925). Рассматривая один из коренных вопросов проектирования — установление схемы оросительной системы, — Г. К. Ризенкампф писал:

«Как ни странно, но приходится констатировать, что до сего времени не существует установленных методов для решения указанной задачи, каждому проектирующему предоставляется право самому, субъективно, без всяких «направляющих», подходить к решению вопроса. В результате составленная таким образом случайная схема вносится в высшие технические совещательные органы на обсуждение и утверждение. У лиц, рассматривающих проект, также нет никаких «опорных пунктов» для критики, поэтому большинство проектов (как осуществленных, так и предполагаемых к осуществлению) не только русских, но и иностранных имеют случайные схемы, весьма далекие от «экономического решения» и требующие вследствие этого, излишних затрат» (стр. 90).

Изучая вопросы методики выбора схемы ирригационной системы, Г. К. Ризенкампф пришел к выводу, что основой классификации должны служить условия рельефа. «...Несмотря на все кажущееся разнообразие рельефов земельных площадей (уже орошенных или предназначенных к орошению), мы полагаем, — писал он, — что попытка произвести классификацию и наметить основные характерные типы рельефов была бы не бесплод-

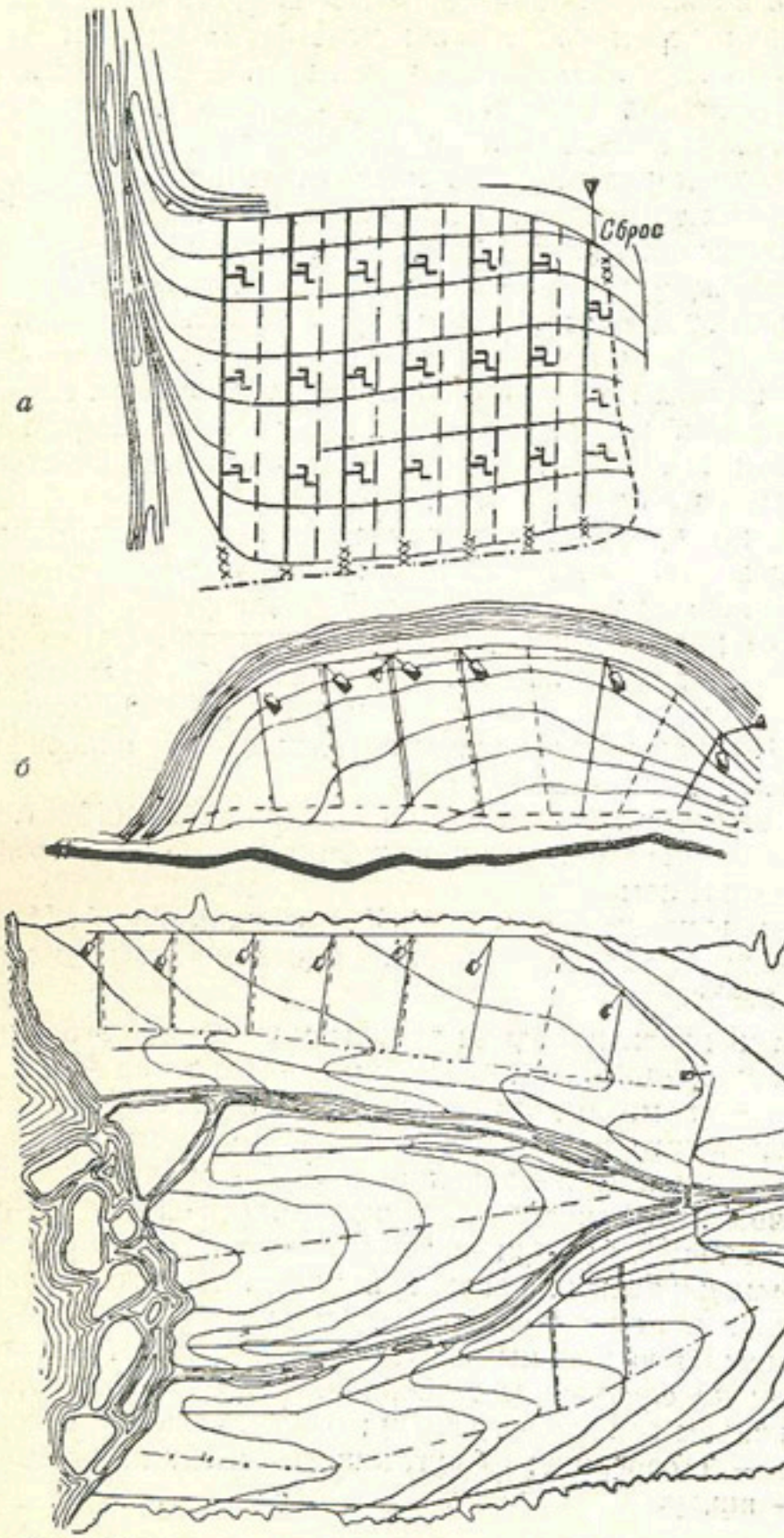


Рис. 4. Типы оросительных систем: а) предгорный; б) долинный; в) низовой (по Глебову)

ною, в небольшое количество основных типов возможно, по нашему мнению, уложить рельефы большинства районов орошения. Со многих точек зрения было бы важно выявить характерные рельефы и создать классификацию их. Прежде всего для определенного типа рельефа можно было бы раз навсегда выработать наиболее рациональную схему оросительной системы, т. е. «картину» расположения главных каналов и головных сооружений и даже схему распределительной сети, так, что проектирующий орошение какого-нибудь нового района, определив тип рельефа интересующей его местности, уже сразу мог бы получить общее представление «о характере» решения наиболее важных для него вопросов. Таким образом, интуиция могла бы быть до некоторой степени заменена методикой» (стр. 90—91).

По мнению Г. К. Ризенкампфа, при проектировании схемы ирригационных систем можно выделить следующие основные типы рельефа: 1) предгорный, 2) долинный, 3) низовьев и дельты, 4) смешанный.

Позже вопрос зависимости схемы оросительных каналов от рельефа был освещен С. П. Тромбачевым (1932), который в основном придерживался классификации Г. К. Ризенкампфа.

О влиянии рельефа писал П. Д. Глебов (1938), несколько расширивший классификацию, предложенную Г. К. Ризенкампфом.

В дальнейшем, следуя Г. К. Ризенкампфу, А. Н. Костяков также разделял оросительные системы по характеру рельефа.

«При проектировании трассы магистрального канала и основных его ветвей приходится, — отмечал А. Н. Костяков, — помимо других факторов, считаться с геоморфологическими условиями района». По его мнению, большинство площадей орошения в СССР можно отнести к следующим основным геоморфологическим типам: 1) предгорных равнин; 2) речных долин; 3) водораздельных (междуречных) равнин и плато. В свою очередь предгорные равнины и сухие дельты горных рек, образованные пролювиальными отложениями, могут быть разделены на следующие главнейшие части: а) галечниковые конусы выноса — вверху; б) лессовые предгорные степи — в середине; в) суглинистые и глинистые равнины — внизу.

На основании этой классификации А. Н. Костяков, ссылаясь на Л. П. Розова (1936), дает характеристику выделенных им геоморфологических элементов с точки зрения проектирования магистрального канала, не рассматривая влияния геоморфологических условий на другие составные части оросительных систем. Это, по-видимому, является результатом того, что ирригационная система все еще рассматривалась им лишь как «механизм» для подачи воды на поля.

Роль рельефа при классификации оросительных систем отмечал также И. А. Шаров (1952), но практических рекомендаций в этом отношении его работа не содержит. Рассматривая вопросы заболачивания, И. А. Шаров пришел, в частности, к неожиданному выводу, что основные причины здесь кроются не в самом орошении и не в естественных свойствах оросительных систем и их гидрогеологических особенностях, а в неправильности водопользования.

Попытка несколько развить классификацию ирригационных систем по условиям рельефа была сделана Д. А. Шапошниковым (1954). В предложенной им классификации также предусматривается деление ирригационных систем на дельтовые, равнинные, предгорные и горные и устанавливается зависимость от рельефа более широкого круга элементов (техника полива, солевой режим, отвод сбросных и грунтовых вод, водохозяйственные мероприятия и пр.). Недостатком этой классификации является чрезмерное обобщение типов рельефа. Совершенно произвольно дается балльная оценка отдельным элементам системы, по признанию самого автора, требующая более дробной классификации типов рельефа.

Основным недостатком классификации орошаемых территорий, предложенной Г. К. Ризенкампфом и принятой с некоторыми незначительными изменениями С. П. Тромбачевым, П. Д. Глебовым, И. А. Шаровым, А. Д Шапошниковым и др., является то, что в основу ее был положен только рельеф, а не комплекс природных условий, образующих неразрывное целое — ландшафт. Однако если даже в качестве основы для классификации орошаемых территорий принять только один элемент природной среды — рельеф, то при этом условии нельзя не отметить, что в упомянутых классификациях далеко

не полностью использованы достижения современной геоморфологии.

Формы рельефа в пределах определенных ландшафтных зон, поясов и областей могут рассматриваться в известной степени, как показатель определенного сочетания природных условий.

В годы, когда Г. К. Ризенкампф предложил свою классификацию, проектирование нового орошения на более или менее крупных массивах ограничивалось лишь некоторыми районами Средней Азии и Закавказья. Вопросы коренного переустройства существующих ирригационных систем еще не были поставлены в повестку дня. О развитии орошения в широких масштабах в полупустынной, степной и лесостепной зонах высказывались лишь очень осторожные предположения. Поэтому, а также в связи с состоянием геоморфологической изученности страны Г. К. Ризенкампф не мог в то время дать развернутой классификации оросительных систем по типам рельефа.

П. Д. Глебов, очевидно, по тем же причинам не мог использовать надлежащим образом успехов геоморфологии. В несколько большей степени (только для решения одной частной задачи — выбора трассы магистрального канала) достижения геоморфологии использовал А. Н. Костяков.

В зарубежной практике классификация оросительных систем по природным условиям отсутствует. В американских трудах по ирригации и мелиорации оросительные системы обычно разделяют на самотечные, машинные и на системы, использующие в качестве источника орошения подземные воды (Houk, 1951).

Аналогичные классификации приняты в индийской ирригации (Sharma, 1942).

Отсутствие достаточно обоснованной классификации и методики районирования оросительных систем в значительной степени затрудняет практическое выполнение проектных работ.

В связи с тем, что в настоящее время все шире применяется типовое проектирование (в широком смысле) и повторное использование полученных при составлении тех или иных проектов экономичных решений, назрела необходимость разработать такую классификацию и метод районирования ирригационных систем, которые позволили бы более широко типизировать решения не только по отдельным сооружениям, но и по целому комплексу их, включая оросительную сеть.

Основой классификации и районирования ирригационных систем, по-видимому, должны являться физико-географические условия. Поскольку, воздействуя на сток, мы тем самым воздействуем на весь комплекс природных условий, районирующим фактором не может служить лишь один из элементов (геологическое строение, рельеф, климат, почвы и т. д.). При районировании следует учитывать весь комплекс условий, иными словами, районирование должно проводиться на широкой физико-географической основе.

Связь между характером работы оросительных систем (даже их внешним видом) и природной обстановкой хорошо известна и давно уже обратила на себя внимание исследователей. Так, например, М. С. Вызго (1947) установил, что по условиям водозабора ирригационные системы могут быть подразделены на горные, предгорные и долинные. В. М. Легостаев и Б. С. Коньков (1953), а позже Б. В. Федоров (1953), рассматривая режим орошения и мелиоративные условия оросительных систем, разработали классификацию и принцип районирования этих условий на основе ландшафта. Аналогичную классификацию предложил В. А. Ковда (1946), изучавший условия засоления и заболачивания оросительных систем, и М. А. Шмидт (1939), занимавшийся вопросами гидрогеологического районирования.

Рассмотрев факторы, характеризующие работу ирригационных систем в различных природных условиях, мы пришли к заключению, что физико-географический принцип районирования в полной мере отвечает условиям проектирования, строительства и эксплуатации оросительных систем, и предложили классификацию, связанную с природными условиями (Дунин-Барковский, 1955).

Предложенная нами классификация относилась к районам поливного земледелия — к Средней Азии и Закавказью и соответственно включала лишь три высотных пояса: пустынные низменности, подгорные равнины и горы. Пояса в свою очередь по геоморфологическим признакам были подразделены на более мелкие ландшафтные единицы — фации. Для того чтобы унифицировать систему районирования орошаемых территорий,

представляется целесообразным соответственно расширить классификацию, опираясь по возможности на систему таксономических единиц, принятую при классификации физико-географических условий. В связи с этим следует отметить, что среди географов все еще продолжается дискуссия о системе классификации ландшафтов и нет еще установленной терминологии (см. Исаченко, 1955), а до недавнего времени даже отрицалось объективное существование географических ландшафтов и географических комплексов вообще, на что указывал акад. И. П. Герасимов (1955).

Нам представляется, что на данном этапе разработки вопросов районирования орошаемых территорий терминология не имеет принципиального значения, ибо названия таксономических единиц легко могут быть заменены. Наконец, если с точки зрения наиболее правильного отражения последних достижений ландшафтоведения будет признано необходимым объединить или дополнительно расчленить те или иные единицы районирования, то и это не изменит существа вопроса.

Деление на географические зоны и пояса нами принято по Л. С. Бергу (1947), без детализации на подзоны (Канонников, 1955), а дальнейшее деление таксономических единиц до урочища включительно — по А. Г. Исаченко (1955). При выделении типов местности мы руководствовались геолого-геоморфологическими признаками (Мильков, 1955).

При районировании орошаемых территорий представляется также целесообразным ввести в качестве районирующего фактора положение орошаемой территории в пределах речного бассейна. Деление орошаемых территорий по частям речного бассейна может иметь особенно большое значение при рассмотрении условий обеспечения водоподачи и отвода дренажных вод. Расчленение орошаемой территории на высотные пояса соответствует гипсометрическому расчленению речных бассейнов, поэтому дополнительным признаком расчленения может быть положение орошаемой территории в отношении реки: а) приречный участок; б) устьевой; в) периферийный.

С учетом указанных районирующих факторов классификация орошаемых территорий пустынной зоны представляется в следующем виде (табл. 1). Размещение выделенных районов пустынной зоны в географическом аспекте показано на схеме (рис. 27). Поскольку основные показатели, характеризующие работу ирригационной системы, тесно связаны с природными условиями территории, они, следовательно, также могут быть районированы. К числу таких показателей относятся: использование стока, характер водозабора, потери воды в оросительных каналах, заиление оросительных каналов, условия борьбы с заболачиванием и засолением, характер использования территорий, конфигурация оросительной сети, техника полива, условия использования гидравлической энергии и, наконец, интерзональные мелиорации (борьба с затоплением и оврагообразованием).

Таблица 1

Высотный пояс	Участки речного бассейна		
	приречные	устьевые	периферийные
Горный	Речные террасы пойменные Речные террасы высокие	Конусы выноса	Склоны
Подгорных равнин	Речные террасы низкие Речные террасы высокие	Конусы выноса: а) вершины б) зоны выклинивания в) периферия	Волнистые* равнины
Пустынной низменности	Речные террасы низкие Речные террасы высокие	Дельты сухие Дельты приморские	Современные аллювиальные равнины

* Волнистые равнины представляют чередование конусов выноса и межконусных пространств или лессовых плато. Здесь и в дальнейшем изложении под термином „волнистые равнины" разумеются межконусные пространства или лессовые плато.

Среди выделенных Л. С. Бергом ландшафтных зон орошение распространено главным образом в трех зонах — степях, полупустынях и пустынях умеренного климата, а в последнее время также в лесостепной и даже в лесной зоне умеренного климата. Однако орошаемые площади занимают сплошные массивы лишь в пустынной зоне, а в остальных зонах — лишь отдельные разобщенные участки. Для обоснованной классификации орошаемых территорий опыт орошения здесь пока еще недостаточен. Тем не менее в качестве первого приближения с целью иллюстрации предлагаемой методики районирования нами будут также кратко рассмотрены условия орошения и в степной зоне.

2. ОСОБЕННОСТИ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ В ПУСТЫННОЙ ЗОНЕ

Наибольшее распространение орошение получило в пустынной зоне—Средней Азии и Южном Казахстане. Здесь находятся самые древние и самые крупные оросительные системы нашей страны.

Граница пустынной зоны проходит по восточному берегу Каспия, плато Устюрт, берегу Аральского моря, долинам р. Чу и оз. Балхаш, на юге непосредственно примыкает к горным системам Тянь-Шаня, Памиро-Алая и Копет-Дага.

Территория пустынной зоны занимает 3000 тыс. кв. км. Орошаемая площадь в настоящее время составляет около 7 млн. га.

На орошаемых землях возделываются хлопчатник, рис, кормовые травы, зерновые, фрукты, виноград, огородные и некоторые другие культуры. Почти все население живет в орошаемых оазисах. Здесь же размещены и основные хозяйственные и культурные центры. Продукция сельского хозяйства орошаемой территории пустынной зоны играет существенную роль в экономике СССР. Здесь производится 90% хлопчатника, 90 — риса, более 75% продукции садов и виноградников.

Пустынная зона характеризуется ярко выраженной вертикальной зональностью. В высотном отношении пустынная зона может быть разделена на 3 основных пояса: пустынные низменности, подгорные равнины и горы. Каждый из этих поясов в свою очередь разделяется на

типы местности, или урочища, в основном по геоморфологическим признакам, учет которых особенно важен при устройстве оросительных систем. Так, например, конусы выноса предгорной равнины Копет-Дага, Ферганской долины, Киргизского хребта и Заилийского Алатау имеют различный растительный покров и более или менее отличительные для каждого конуса климатические условия. Однако именно сходство рельефа конусов выноса обусловливает в значительной степени одинаковый характер ирригационных мероприятий.

В пределах пустынной низменности выделяются следующие основные типы местности: дельты (приморские), сухие дельты, аллювиальные равнины и речные долины с высокими и низкими террасами. Подгорные равнины могут быть расчленены на волнистые равнины, на конусы выноса и речные долины с высокими и низкими террасами. Среди орошаемых территорий горного пояса выделяются речные долины (высокие и пойменные террасы), конусы выноса, склоны и широкие межгорные долины горных плато.

Ниже приводится краткая характеристика основных элементов, характеризующих оросительную систему в пределах выделенных таксономических единиц.

Оросительные системы горных районов

Орошение в горных районах получило широкое развитие с доисторических времен. По мнению С. И. Коржинского (1898), такая горная страна, как Памир, является одним из древнейших очагов земледелия. Климатические условия Памира исключают возможность возделывания сельскохозяйственных культур без орошения. Поэтому весьма вероятно, что орошение на Памире также существовало в далеком прошлом.

В горных районах СССР в настоящее время орошается 1,4 млн. га: в горном Таджикистане, Киргизии, в горных районах Узбекистана, Азербайджана, Армении, Грузии, а также на Северном Кавказе, Дагестане, Осетии, в Алтайском крае и горном Казахстане (Шапошников, 1954).

Широко развито орошение в горных районах Афганистана (Вавилов и Букинич, 1928), Индии (Пославский, 1956), Китайской Народной Республики (Воронин,

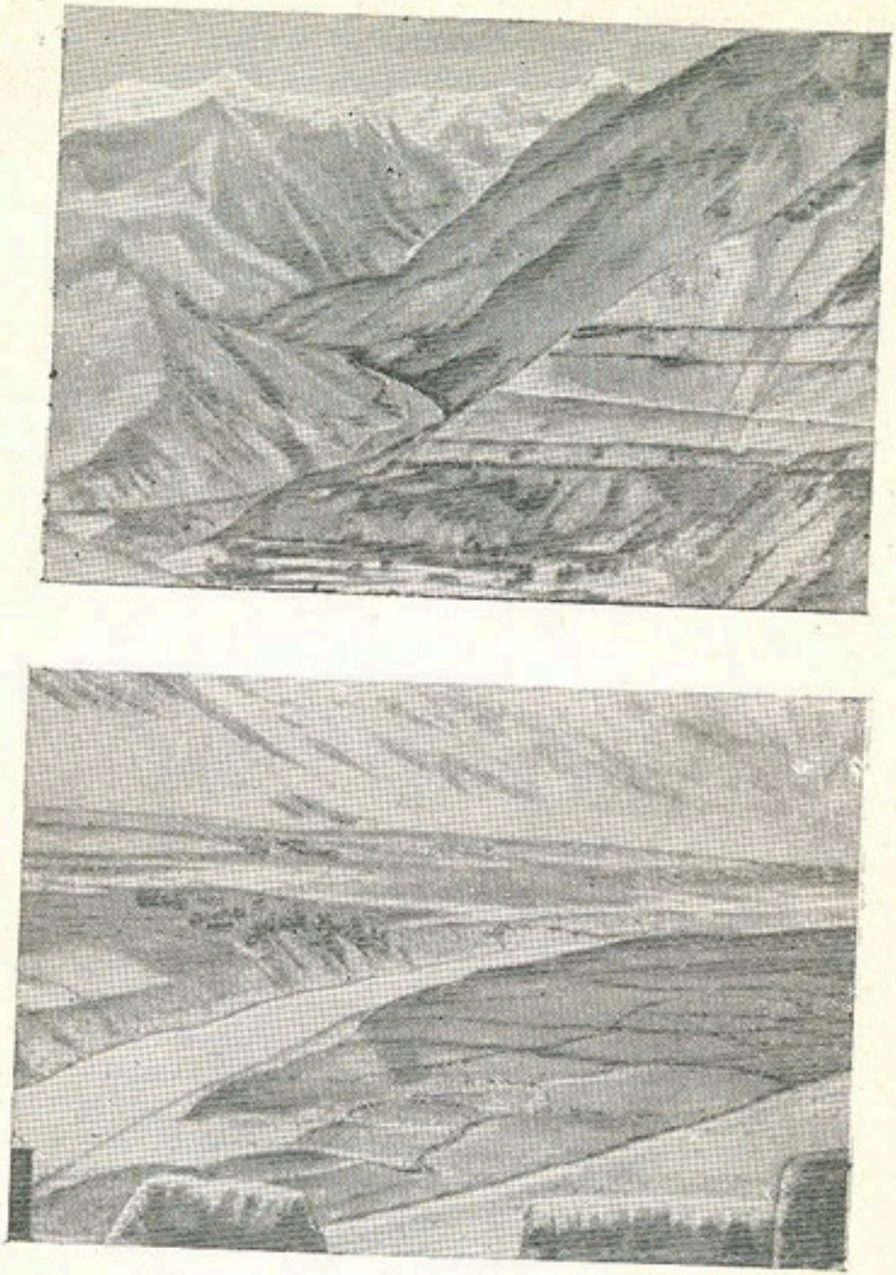


Рис. 5. Оросительные системы в горных районах

1955). В Тибете орошаемое земледелие является одной из основных отраслей экономики (Сяо Цзянь-чунь, 1956). Имеются данные о распространении орошения в горных районах Европы (Huber, 1954), Южной и Северной Америки (Gulhati, 1955), Алжира, Туниса, Марокко (Шубладзе, 1955).

В горных странах орошаемые территории приурочены к немногим типам рельефа. Поэтому здесь легко проследить непосредственную связь между геоморфологическими условиями и характером ирригационных систем. Орошаемые участки приурочены здесь к террасам речных долин, конусам выноса, горным склонам и широким межгорным долинам горных плато.

Террасы речных долин. Затопляемые паводками пойменные террасы обычно трудно использовать для орошения в силу сравнительно резких колебаний горизонтов воды в реках, малой ширины террас и распространенного здесь заболачивания и осаждения наносов во время паводков.

В наибольшей степени орошение развито на высоких террасах, где имеются сравнительно благоприятные условия для водозабора и борьбы с наносами, относительно малое протяжение холостых частей каналов и где отсутствуют заболачивание и засоление. Сравнительно мощный мелкоземистый покров и развитые почвы позволяют использовать речные террасы сплошь под орошаемые участки высокой продуктивности. На этих участках со сравнительно правильной конфигурацией оросительной сети, относительно малыми удельными потерями на фильтрацию в каналах возможно в той или иной степени применять механизацию процессов обработки сельскохозяйственных культур. В зависимости от высотного положения здесь обычно размещаются посевы риса (на высоте до 1500 м в умеренном поясе), зерновых культур, кормовых трав, табака; особенно широко распространены сады, виноградники и насаждения шелковицы.

Большинство населенных пунктов горных районов расположено в пределах речных террас.

Низкие террасы речных долин, используемые для орошения, требуют, как правило, устройства обвалования. Водозабор чрезвычайно благоприятен; рельеф пойменных террас характеризуется мелкой бугристостью. Часто земли здесь требуют проведения дренажа для борьбы с заболачиванием. В отдельных случаях в горных районах наблюдается засоление нижних пойменных террас, например, на Западном Памире (Иванов, 1948). Пойма используется преимущественно для посевов риса

(на высоте до 1500 м) и кормовых трав, а также как естественные орошаемые пастбища и сенокосы.

Потери воды на фильтрацию в оросительной сети ввиду высокого залегания грунтовых вод незначительны. Земли при освоении под орошаемое земледелие требуют планировки (в довольно значительных объемах). По условиям рельефа представляется возможным иметь участки правильной конфигурации, способствующей широкой механизации сельскохозяйственных работ.

Конусы выноса сложены рыхлыми отложениями с большим количеством крупнообломочных материалов (гальки и валунов) со сравнительно слаборазвитым почвенным покровом. На молодых конусах выноса почвенный покров нередко совершенно отсутствует. Орошение характеризуется сравнительно легкими условиями водозабора из образующих конус притоков, *веерообразным* направлением оросительной сети, менее правильными, чем на речных террасах, формами орошаемых участков, большими потерями воды на фильтрацию при прохождении каналов по конусу, значительным количеством наносов и тяжелыми условиями борьбы с ними, чересполосным освоением земель (вызванным необходимостью предварительной уборки крупных камней). Конусы выноса используются преимущественно для орошения посевов кормовых трав, зерновых культур, садовых насаждений, а также насаждений шелковицы. В горных районах в отличие от предгорных равнин обычно не наблюдается зон выклинивания по периферии конуса выноса, что объясняется наложением конусов на сложенные хорошо дренирующими материалами речные террасы.

При освоении конусов выноса под орошаемое земледелие трудно бороться с затоплением земель паводковыми водами, ибо по условиям рельефа вода из притоков может легко распространяться по всей поверхности конуса выноса. На конусах выноса маловодных притоков трудно обеспечить орошаемые земли водой, ибо подача воды из соседних источников должна производиться в чрезвычайно тяжелых условиях рельефа.

Горные склоны. Орошение горных склонов, сложенных преимущественно обвалами и осыпями, сопряжено с большими трудностями. Удаленные от источников орошения и расположенные на большой высоте орошаемые участки обычно требуют подачи воды на боль-

шие расстояния по каналам, проводимым либо в скалах, либо в осыпях. В обоих случаях наблюдаются весьма значительные потери на фильтрацию. В точках возможного забора на орошение притоки рек, протекающие вблизи горных склонов, имеют лишь периодический сток, и орошение здесь зачастую связано с регулированием стока, которое чрезвычайно затруднено тяжелыми топографическими условиями. Почвы представлены лишь отдельными пятнами. Поэтому орошаемые участки размещаются здесь мелкими клочками на маломощных почвах. В силу больших уклонов местности и разобщенности орошаемых участков механизация обработки сельскохозяйственных культур крайне затруднена. Орошаемые земли используются преимущественно для посева зерновых, бобовых культур, а в отдельных случаях при относительно меньшей крутизне склонов — под виноградники (при высоте до 2000 м).

Широкие межгорные долины горных плато. Наиболее характерным примером подобных орошаемых участков является Восточный Памир и сырты Центрального Тянь-Шаня. Почвенный покров здесь слабо развит, почвы сильно хрящеваты. Местами, особенно в пойме рек, а иногда и на склонах долин наблюдается заболачивание и засоление, связанное, по-видимому, с мерзлотными явлениями.

Орошаемые участки используются преимущественно в качестве естественных пастбищ или сенокосов для развитого здесь отгонного животноводства. В связи с тяжелыми условиями обеспечения водой (в период, когда орошение становится необходимым, реки почти не имеют живого тока) во многих случаях целесообразно использование подземных вод или регулирование стока.

Проведение каналов не представляет особых трудностей, так как долины обычно сложены рыхлыми материалами. Потери воды на фильтрацию, однако, довольно велики; правильная конфигурация орошаемых участков допускает механизацию уборки трав.

Некоторые из горных оросительных систем размещаются в пределах двух или трех типов местности. Тем не менее, как правило, в горных районах оросительные системы сравнительно невелики, в большинстве случаев орошение из одного источника охватывает лишь один или даже часть одного типа местности.

Оросительные системы подгорных равнин

В зоне пустынь подгорные равнины расположены обычно на высоте от 300 до 1000 м и характеризуются сравнительно небольшим количеством осадков (от 200 до 600 мм). В геоморфологическом отношении подгорные равнины представлены: 1) конусами выноса, сложенными преимущественно проаллювиально-аллювиальными продуктами эрозии горных склонов, 2) волнистыми равнинами, сложенными главным образом лессовидными породами и образовавшимися в результате эрозии лессовидных отложений временными потоками и 3) межгорными котловинами, представляющими известную комбинацию конусов выноса и волнистых равнин.

Особое положение в подгорных равнинах занимают речные долины, в пределах которых могут быть выделены высокие и низкие террасы. В зависимости от количества осадков, экспозиции склонов и других физико-географических факторов каждый из указанных типов местности может иметь несколько различные условия работы оросительных систем. Однако основные черты, присущие каждому из указанных типов, могут быть легко подмечены при рассмотрении конкретных орошаемых территорий.

Наиболее важными с точки зрения орошения в этой области являются конусы выноса, на которых в настоящее время сосредоточена значительная часть орошаемых площадей в Средней Азии и Южном Казахстане. Конусы выноса подгорных равнин могут быть подразделены на следующие микроэлементы (участки): 1) вершину конуса; 2) среднюю часть и 3) периферию; особенности каждого из них в значительной степени влияют на проектирование, строительство и эксплуатацию оросительных систем.

В зависимости от характера питания источников, формирующих конусы выноса, орошение этих территорий может потребовать регулирование стока. Как правило, конусы выноса формируются водотоками с резкими колебаниями стока. При снеговом питании источников задача регулирования сводится к задержанию стока весенних паводков и использованию их в критический период — во второй половине лета, а при ледниковом питании — к

увеличению водоносности в первой половине лета. Образование запасов воды достигается в подобных источниках преимущественно за счет аккумулирования зимнего стока, так как летний сток полностью может быть использован на орошение без регулирования.

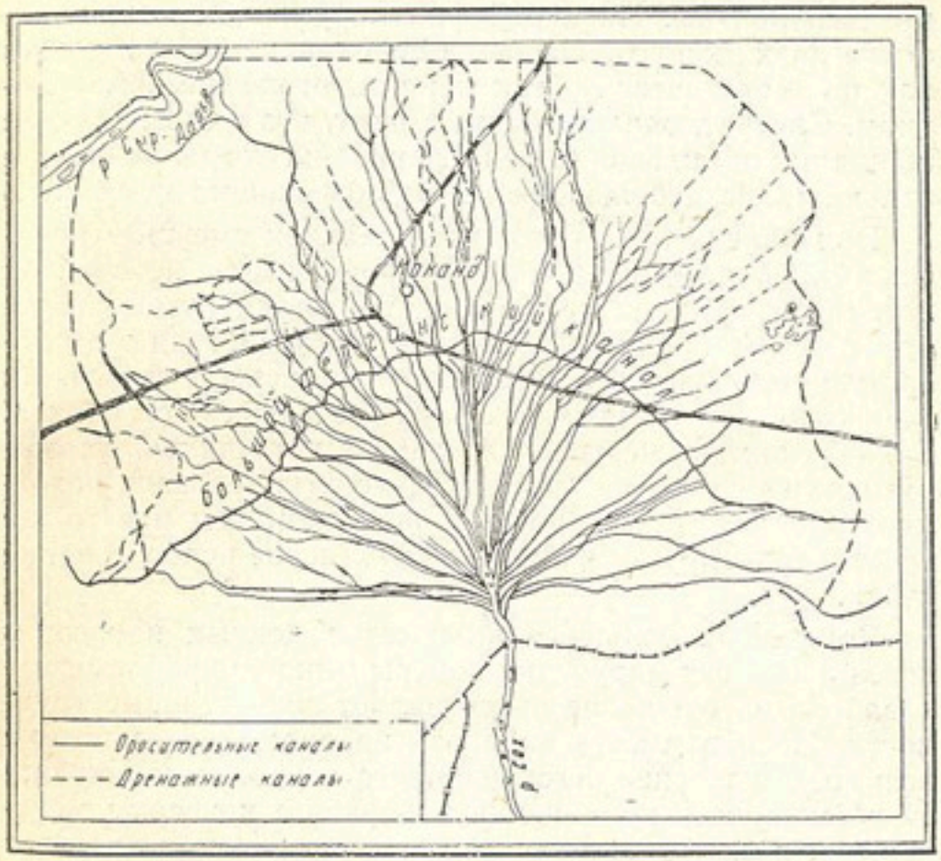


Рис. 6. Оросительная система на конусе выноса (Фергана)

В пределах конуса выноса обычно отсутствуют места, благоприятные для устройства водохранилищ, поэтому регулирование стока создается за пределами этого типа местности, вверх по течению реки.

Вершина конуса выноса, сложенная рыхлообломочными отложениями, характеризуется значительной водопроницаемостью пород и глубоким залеганием грунтовых вод. Поэтому даже при наличии благоприятных топографических условий создание водохранилищ в вершине конуса выноса неэффективно.

В средней части конуса, в зоне выклинивания, грунтовые воды залегают неглубоко, значительное участие в литологическом строении принимают связные малопроницаемые породы (глины, суглинки). Подобные геологические условия не исключают возможности создания водохранилищ, однако топографические условия здесь явно неблагоприятны. На периферии конуса и особенно на стыке двух конусов создание водохранилищ возможно как по геологическим, так и по топографическим условиям. Следует, однако, иметь в виду, что в этом случае площадь командования водохранилища ограничивается сравнительно небольшой частью поверхности конуса.

При наличии на подгорных равнинах смежных конусов выноса с различным характером питания источников весьма эффективно регулирование стока путем переброски воды из одного источника в другой. При этом зачастую оказывается целесообразным перебрасывать на некоторые конусы воду из двух соседних источников. Такая взаимная переброска воды из источников, формирующих конусы выноса, в определенных условиях позволяет обойтись без устройства водохранилищ и в то же время гарантирует наиболее эффективное использование стока.

Вследствие большого количества донных наносов в источниках, формирующих конусы выноса, проблема водозабора на орошение представляет значительные трудности. Необходимость забирать на орошение из потока всю воду в течение вегетационного периода ограничивает возможность применения в борьбе с наносами методов поперечной циркуляции и гидравлического промыва насосов. Тем не менее во многих случаях период прохождения паводков может быть с успехом использован для промыва наносов в водозаборных сооружениях[1].

Вопросы создания устойчивых горизонтов при водозаборе не имеют большого значения, ибо река, как правило, командует над поверхностью конуса выноса и вывод воды на ту или иную точку возможен без подпора. Однако на древних конусах при снизившемся базисе эрозии русло реки может оказаться врезанным в поверхность конуса на значительную глубину[1]. Тяжелые условия борьбы с наносами требуют применения специальных конструкций водозаборных узлов.

[1] Например, на ферганских реках, где водозабор обеспечивается гидротехническими узлами так называемого ферганского типа, основанного на борьбе с наносами при помощи поперечной циркуляции.

С точки зрения потерь воды на фильтрацию в оросительных каналах конусы выноса также должны быть разделены на три участка: верхнюю часть, сложенную рыхлыми отложениями крупных фракций, среднюю часть — зону выклинивания и периферию, сложенную связными породами.

В верхней части конуса потери воды на фильтрацию обычно достигают значительной величины. Однако при большой мутности воды в каналах, работающих в течение длительного времени, вследствие естественной кольматации происходит снижение потерь; для борьбы с потерями могут широко применяться бетонирование, мощение и другие методы облицовки. Искусственная кольматация и устройство экранов из естественных грунтов обычно экономически нецелесообразны, так как эти мероприятия требуют значительного уменьшения скоростей воды в канале и увеличения числа перепадов, а также подвозки грунта на большие расстояния.

При проведении мероприятий по борьбе с потерями на вершинах конуса выноса следует учитывать, что эти потери являются одним из основных источников пополнения грунтовых вод в зоне выклинивания. Поэтому в тех случаях, когда режим реки не соответствует режиму водопотребления сельскохозяйственных культур, такие потери могут рассматриваться как положительный фактор, увеличивающий использование водных ресурсов на оросительных системах. На древних оросительных системах Средней Азии и Закавказья вода, теряющаяся на фильтрацию в конусах выноса, использовалась на орошение нижележащей зоны. В этих случаях уменьшение фильтрации могло приносить значительный ущерб эффективному использованию воды.

В США за последнее время с развитием орошения из артезианских скважин и истощением ресурсов подземных вод (в результате интенсивного забора воды артезианскими скважинами) возникла проблема искусственного пополнения подземных вод (Schiff, 1954).

[1] Например, на р. Ходжабакырган (Таджикская ССР), где вывод воды из русла на поверхность конуса без устройства водоподъемной плотины оказался невозможным.

Для того чтобы искусственное пополнение грунтовых вод было наиболее эффективным, необходимо иметь соответствующие гидрогеологические условия. Как показали многочисленные исследования, проведенные в орошаемых районах США, наиболее благоприятная обстановка для пополнения запасов грунтовых вод и последующего использования этих запасов на орошение имеется на конусах выноса. Это объясняется тем, что вершина конусов выноса сложена обычно хорошо водопроницаемыми грунтами, а отток подземных вод за пределы конуса незначителен. Поэтому в американской практике уже довольно широко проводятся мероприятия по искусственному пополнению подземных вод путем распределения паводковых вод по поверхности конуса специальными сооружениями — бассейнами, образуемыми дамбами обвалования, колодцами и каналами (Brashears, 1953).

В зоне выклинивания грунтовые воды залегают близко от поверхности земли, и борьба с фильтрацией из каналов в этой зоне нецелесообразна, так как облицовка каналов подвергается разрушению напорными подземными водами.

На периферии конуса выноса, сложенной связными грунтами (суглинками), борьба с потерями воды на фильтрацию в оросительной сети не может дать особенно ощутимого эффекта. Однако это может оказаться необходимым для уменьшения питания грунтовых вод из оросительной сети в целях борьбы с заболачиванием и засолением. Поскольку на периферии конуса зачастую в отдельные периоды наблюдается высокое стояние уровня грунтовых вод, борьба с фильтрацией во избежание разрушения облицовки должна проводиться лишь на основе тщательного изучения гидрогеологических условий района. В дальнейшем, по-видимому, можно будет рекомендовать искусственное уплотнение грунтов и использование асфальтовых мембран[1].

[1] Следует, однако, иметь в виду, что глубокое уплотнение ложа ирригационных каналов пока еще не вышло из стадии опытов и широкое применение его на практике упирается в создание эффективных средств механизации.

Асфальтовые мембраны в настоящее время используются в США (Lauritzen, 1953) при облицовке каналов. По экономической эффективности и размеру требуемых затрат это мероприятие сходно с облицовкой каналов бетонной одеждой.

Использование орошаемой территории на конусе выноса имеет специфические особенности. Верхнюю часть с нередко слаборазвитым почвенным покровом осваивают преимущественно отдельными разобщенными участками. Эта зона располагает наилучшими условиями для выращивания садовых культур (особенно косточковых). Зона выклинивания, имеющая высокий уровень грунтовых вод и сплошной почвенный покров (представленный преимущественно болотными и лугово-болотными почвами), при условии дренажа может быть использована для всех сельскохозяйственных культур, особенно трав, технических культур и риса. Древесные же насаждения страдают здесь от высокого уровня грунтовых вод.

В зоне рассеивания поверхностного стока почвенный покров обычно представлен в той или иной степени засоленными сероземами, лугово-солончаковыми почвами и солончаками. Мощные мелкоземистые отложения благоприятствуют сплошному освоению земель под различные сельскохозяйственные культуры: кормовые, многолетние травы, технические культуры и пр. Однако на ранних этапах освоения, при отсутствии дренажно-коллекторной сети, наблюдается пониженный коэффициент земельного использования, что придает неосвоенным участкам функции «сухого дренажа» (Малыгин, 1934).

В верхней части конусов в каналах, как правило, содержится значительное количество донных и взвешенных наносов, но вследствие больших уклонов они с успехом транспортируются по каналам и очистка сети обычно проводится в ограниченных размерах. Крупные донные наносы удаляются на головных узлах.

Питание ирригационных систем в зонах выклинивания, а также частично в зонах рассеивания осуществляется за счет выклинивающихся подземных вод. Несмотря на значительное уменьшение уклонов по сравнению с предыдущей зоной, здесь также не наблюдается интенсивного заиления оросительной сети. Борьба с наносами может осуществляться внутрисистемными отстойниками и путем непосредственного извлечения наносов из оросительной сети.

Вопрос борьбы с засолением и заболачиванием наиболее актуален на периферии конуса выноса, где эти процессы развиваются главным образом в результате затрудненного подземного стока. Особенно эффективна

(при наличии источников энергии) борьба с засолением и заболачиванием путем устройства вертикального дренажа (Решеткина, 1956). В противном случае может применяться горизонтальный дренаж с глубиной дрен 2,5—3 м. Борьба с засолением требует в период первоначального освоения капитальных, а в последующее время — профилактических промывок засоленных земель, что усугубляет и без того напряженный водносолевой баланс и вызывает необходимость интенсивного дренирования территории.

Для зоны выклинивания характерно лишь интенсивное заболачивание (засоления здесь не отмечается), борьба с которым должна осуществляться путем устройства мелкой дренажной сети с выводом воды на поверхность и использованием ее на орошение.

Вследствие специфических гидрогеологических условий и значительной проницаемости грунтов в вершине конуса явления засоления и заболачивания не наблюдаются.

Следует отметить, что указанные особенности гидрогеологического режима конусов выноса встречаются в так называемых классических конусах. Когда же конусы выноса налегают на речные террасы, дренируемые рекой или древними водотоками, гидрогеологические условия могут быть несколько иными. В частности, в этом случае нет условий, затрудняющих подземный сток в зоне рассеивания, где заболачивание и засоление могут не иметь места, а зона выклинивания — вообще отсутствовать[1].

Конфигурация оросительной сети на различных участках конуса выноса существенно меняется. В верхней части в силу специфических условий рельефа, наличия большого количества промоин по образующей поверхности конуса наиболее целесообразно радиальное расположение оросительной сети. При этом основные каналы проводятся с большими уклонами, что обеспечивает максимальную транспортирующую способность и минимальные потери на фильтрацию. Однако такое расположение нередко требует для уменьшения скорости воды в каналах устройства значительного количества сооружений.

[1] Такое положение, в частности, встречается на конусах выноса правобережных притоков Сыр-Дарьи, в пределах Ферганской долины, от Паша-Аты до Гавасая.

В зоне выклинивания конфигурация оросительной сети определяется необходимостью обеспечить дренаж и использовать дренажные воды на орошение. Здесь встречаются сравнительно правильные, но ограниченные по размеру поливные участки. На периферии рельеф сглажен, в связи с чем представляется возможность проектировать оросительную сеть двухстороннего командования с правильной конфигурацией поливных участков.

На вершинах конуса выноса применяется, как правило, полив по бороздам малой струей или напуском по полосам[1], в зонах выклинивания — полив по глубоким бороздам инфильтрацией и полив затоплением многолетних трав и риса, в зонах рассеивания поверхностного стока — бороздковый полив пропашных культур и полив затоплением на посевах многолетних трав и для проведения промывок.

С техникой полива неразрывно связаны условия проведения и объем планировочных работ. В верхней части конуса с характерным для нее чрезвычайно пересеченным микрорельефом и маломощными почвами для получения равномерного урожая сельскохозяйственных культур требуется максимальный объем планировки. В зонах выклинивания и в зонах рассеивания поверхностного стока объем планировочных работ сравнительно невелик, а выполнение его благодаря мощному почвенному покрову не встречает особых затруднений.

Наиболее благоприятна по условиям использования гидравлической энергии верхняя часть конуса выноса, через которую проходят транзитные расходы воды для орошения нижележащих участков и где имеется возможность вследствие значительных уклонов получить сосредоточенное падение. Следует, однако, иметь в виду, что использование гидравлической энергии на оросительных системах, как правило, может быть рекомендовано лишь при отсутствии сколько-нибудь крупных генерирующих точек, ибо даже использование существующих перепадов не всегда может быть экономически оправдано. Затруднения же, которые создаются в эксплуатации при наличии энергетических установок на оросительных каналах, вызывают по существу непреодолимое препятствие для

[1] Маломощность почв и незначительная влагоемкость корнеобитаемого слоя исключают полив затоплением.

эффективной эксплуатации гидроэлектростанций как в вегетационный период, так и особенно в зимнее время (постоянный пропуск воды по каналам оросительной системы в этот период приводит к ухудшению мелиоративных условий).

Из числа интерзональных мелиораций в пределах конуса выноса должна проводиться борьба с затоплением культурных земель паводковыми водами. Оврагообразования, как правило, не наблюдается. Борьба с затоплением сосредоточивается преимущественно в вершине конуса выноса и осуществляется путем создания сбросных русел, отводящих воду за пределы конуса.

Межконусные пространства занимают волнистые равнины, сложенные лессовидными породами. Мощность этих пород, как и их свойства, изменяются в различных странах более или менее значительно. Но все районы, сложенные лессовидными породами, имеют общие черты, определяемые образованием этих пород в специфических условиях сухого климата (Берг, 1947; Герасимов, 1955).

В непосредственной связи со свойствами лессовидных пород находятся господствующие здесь формы рельефа. Основной формой рельефа в районах распространения лессовидных пород являются волнистые равнины предгорного шлейфа — тип рельефа, образованный преимущественно под влиянием водной эрозии лессовидных отложений. Характер их поверхности в значительной степени определяет и возможность использования этих районов под орошаемое земледелие. При строительстве, проектировании и эксплуатации оросительных систем большое внимание необходимо уделить следующим характерным чертам волнистых равнин: расчлененному рельсфу, высокому потенциальному плодородию почв, значительной пористости пород в естественном состоянии и просадочности их в результате промачивания (Мавлянов, 1949).

Расположенные в аридных районах волнистые подгорные равнины, сложенные мощными отложениями лессовидных пород, обычно находятся в некотором удалении от крупных водных источников, долины которых слагаются преимущественно аллювиальными отложениями, как правило, не характерными для волнистых равнин.

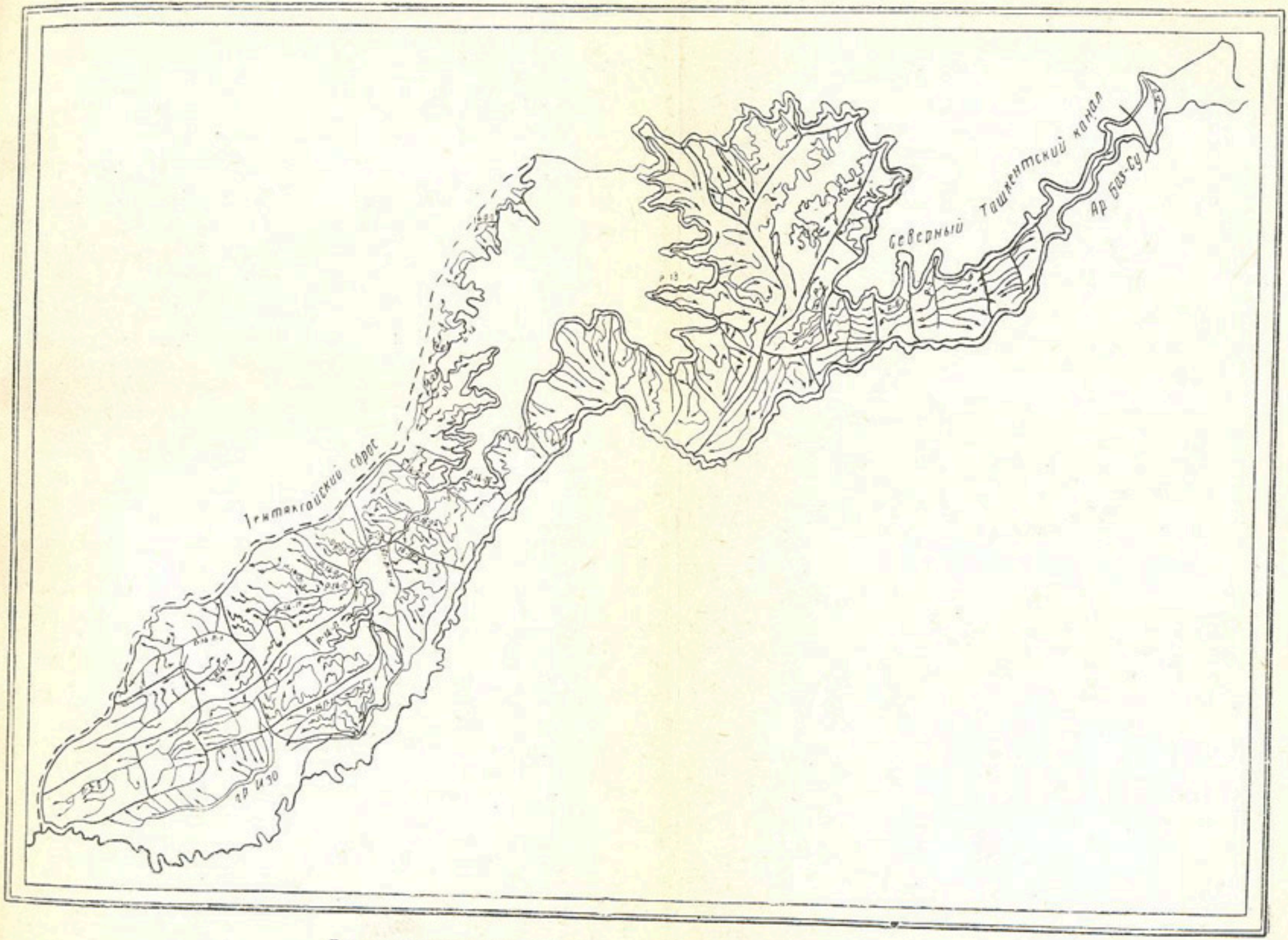


Рис. 7. Оросительная система волнистой равнины (Чирчик-Келес)

Генезис лессовидных пород изучался в течение длительного периода и, хотя по этому вопросу нет единодушного мнения, свойства их хорошо изучены; с точки зрения орошения они могут считаться независимо от их генезиса более или менее однообразными.

Рассматривая волнистые равнины в качестве одного из элементов в системе классификации орошаемых территорий, можно отметить следующие отличительные особенности оросительных систем на волнистых равнинах.

По характеру поверхностного стока волнистые равнины выделяются отсутствием постоянных водотоков. Сток наблюдается преимущественно весной, после таяния снегов или прохождения ливней. В связи с этим при использовании на орошение местных источников оказывается необходимым регулировать сток поверхностных водотоков. Вследствие незначительного общего размера стока и сравнительно неблагоприятных условий сооружения плотин в просадочных грунтах эти мероприятия требуют обычно крупных затрат. Поэтому при более или менее широком развитии орошения на волнистых равнинах часто приходится подавать воду из весьма отдаленных постоянных водотоков. В этом случае вопрос о регулировании стока решается в зависимости от условий питания используемых водотоков. Нередко оказывается необходимым регулировать сток во внерусловых водохранилищах; преимуществом которых является сравнительно длительный срок их службы (в связи с малым заилением) и отсутствие дорогостоящих сооружений по пропуску паводков. Однако внерусловые водохранилища имеют и крупные недостатки, к которым, прежде всего, относятся затруднения, связанные как с регулированием максимальных паводковых пиков реки (из-за ограниченности пропускной способности подводящих каналов), так и с устройством подводящих каналов в сложных условиях рельефа.

Если водозабор для орошения волнистых равнин осуществляется из постоянных водотоков, то он аналогичен описанному ниже водозабору в речной долине.

При регулировании стока водозабор осуществляется из водохранилищ и не вызывает никаких трудностей. Часто при орошении оказывается целесообразным забирать воду из водотоков при помощи насосных установок.

Выбор расположения насосных станций осложняется наличием тяжелых условий рельефа. Большие уклоны и

пересеченность местности исключают возможность определения зон подкачки на основе экономических расчетов по кривой характеристик рельефа. При строительстве магистральных каналов встречаются значительные затруднения вследствие пересеченности местности и просадочности грунтов.

Орошаемые земли размещаются обычно более или менее крупными сплошными массивами. Из орошения исключаются лишь участки сложного рельефа с большими уклонами. Оросительная сеть проводится с учетом наиболее полного использования естественных условий рельефа. Оросительные каналы, как правило, должны проводиться по водоразделам, сбросные — по тальвегам.

В силу расчлененности рельефа и глубокого залегания грунтовых вод отпадает необходимость проведения мероприятий по борьбе с заболачиванием и засолением. Исключение составляют пониженные участки тальвегов, которые легко могут быть дренированы водосборами.

В отношении потерь воды на фильтрацию из каналов волнистые равнины имеют свои особенности. В начальный период работы ирригационной сети фильтрация значительна, так как лессовидные породы отличаются большим количеством макропор. Однако поскольку после подачи воды по каналам происходят значительные просадки, осуществлять какие-либо мероприятия по борьбе с фильтрацией из каналов до надлежащей их замочки и длительного опробования нецелесообразно. В последующий период — после окончания замочки и стабилизации просадочных явлений — оросительная сеть будет иметь сравнительно небольшие потери на фильтрацию, которые все же целесообразно предотвратить путем проведения специальных мероприятий, в частности путем глубокого уплотнения ложа каналов. Однако поскольку этот метод пока еще находится в стадии изучения, более реально применение искусственных облицовок — бетонирование и асфальтовые мембраны [1].

Несмотря на изрезанный рельеф, волнистые равнины могут быть отнесены к районам, требующим сравнительно ограниченного объема планировки, так как в силу больших уклонов поливы здесь могут проводиться без

[1] Облицовка может быть рекомендована только после установления экономической эффективности мероприятия специальными расчетами.

каких-либо затруднений. Следует иметь в виду, что при наличии просадочных явлений планировка может производиться лишь после стабилизации просадок. Неорошавшиеся площади планировать нецелесообразно, так как после подачи воды микрорельеф их значительно изменяется.

Основной способ полива — полив по бороздам для пропашных культур и полив напуском по полосам для культур рядового и разбросного сева.

Обладая плодородными почвами, не подверженными засолению и заболачиванию, волнистые равнины являются лучшими районами для возделывания всех сельскохозяйственных культур, особенно технических культур, овощей, кормовых и пр. При посеве риса встретится затруднение с планировкой полей, поэтому их следует располагать преимущественно в тальвегах.

Речные долины в пределах подгорных равнин в зависимости от хода эрозионного процесса представлены несколькими речными террасами. Низкие террасы (пойменные и первые надпойменные) непосредственно прилегают к реке, а более высокие иногда значительно удалены от современного русла рек.

Для речных долин характерна сравнительно ограниченная ширина. Террасы обычно не прослеживаются вдоль всей долины, а представлены отдельными разобщенными участками. Низкие и высокие террасы по характеру их использования для орошения значительно отличаются друг от друга. Водозабор из рек может осуществляться как с регулированием, так и без регулирования горизонтов. Реки обычно имеют большие уклоны и транспортируют более или менее значительное количество наносов. В связи с этим проблема водозабора в известной степени связана с проблемой борьбы с наносами. Условия водозабора, как и условия борьбы с наносами, здесь несколько проще, чем в пределах конусов выноса.

Учитывая, однако, что реки в подгорных равнинах обычно имеют постоянный ток, а иногда и значительные паводковые расходы, устройство водозаборных сооружений также представляет известные трудности. Для орошения низких террас водозабор, как правило, может осуществляться без регулирования горизонтов — из бытового тока реки.

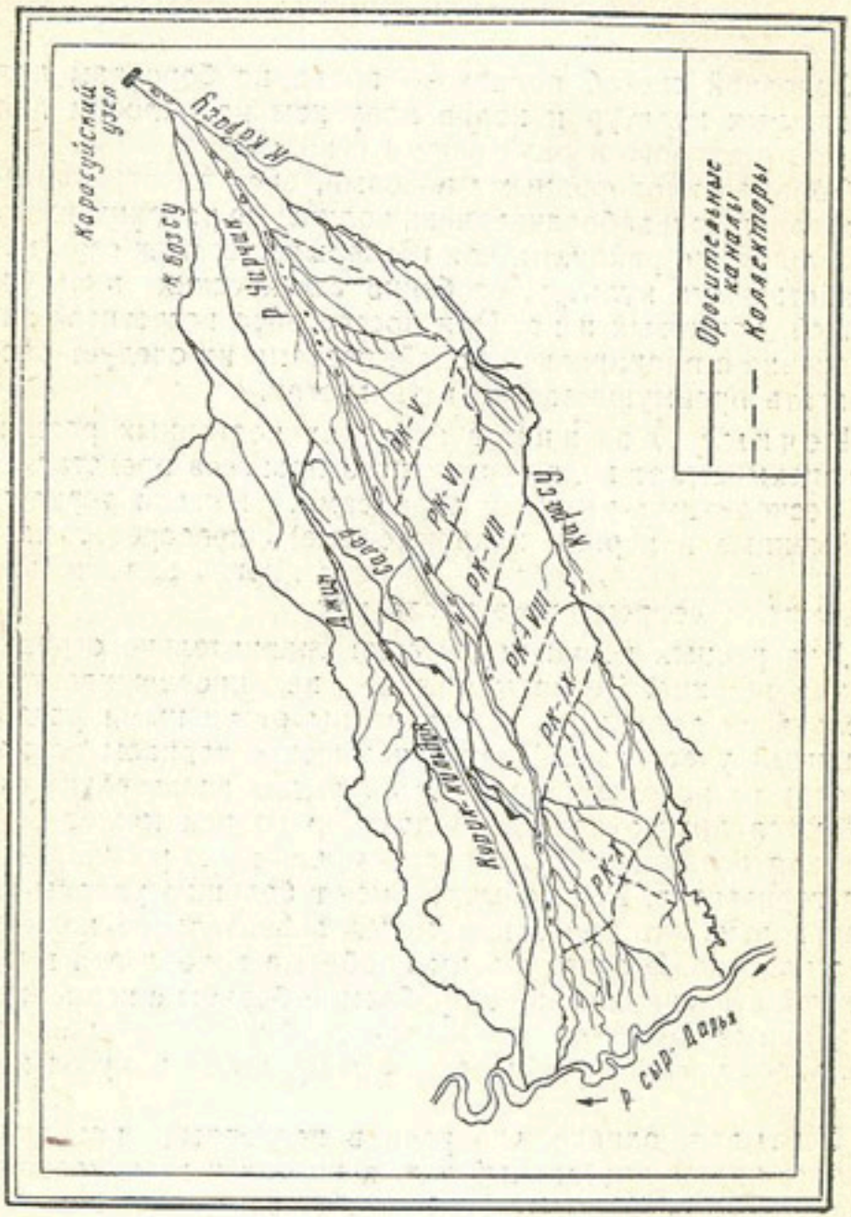


Рис. 8. Оросительная система на речных террасах (Чирчик)

При ограниченных уклонах реки и наличии электроэнергии водозабор для низких террас целесообразно производить при помощи насосных установок. Орошение этих террас, подверженных заболачиванию, связано с проведением предварительных мелиоративных мероприятий — преимущественно мелкого открытого дренажа. Хотя засоления в этих районах обычно не наблюдается, не исключено, однако, что при наличии засоленных коренных пород низкие террасы будут подвержены засолению (как например, в Кулябской долине и Пархарском районе Таджикской ССР) и потребуются проведение глубокой дренажной сети, тщательная планировка и промывка орошаемых территорий.

Высокие террасы, имеющие, как правило, глубокое залегание грунтовых вод, не подвержены засолению и заболачиванию. Водозабор для орошения высоких террас связан с бóльшими трудностями, чем для орошения низких террас. Регулирование горизонтов воды путем возведения водоподъемных плотин может оказаться целесообразным лишь при сравнительно небольших колебаниях расходов или же при наличии значительной площади орошения. При больших же расходах и ограниченной площади следует применять либо машинный водоподъем, либо водозабор без регулирования горизонтов реки, но со значительным протяжением холостой части магистрального (деривационного) канала.

Высокие террасы целесообразно использовать для выращивания всех сельскохозяйственных культур (не исключая садовых насаждений и рисовых посевов), низкие — прежде всего для хлопчатника, многолетних трав и посевов риса.

Схема оросительной сети на низких террасах привязывается к существующему рельефу с характерными для него промоинами, старицами и рукавами, а на высоких террасах может иметь относительно правильную конфигурацию и в большей степени зависеть от формы орошаемых участков, чем от рельефа.

По характеру заиления ирригационные системы речных террас находятся в прямой зависимости от твердого стока реки. Пойменные участки и участки первой надпойменной террасы обычно имеют оросительную сеть с уклонами, близкими к уклонам реки, обладающей значительной транспортирующей способностью. Поэтому борьба

с заилением не представляет больших затруднений. В тех же случаях, когда при орошении высоких террас магистральные каналы приходится проводить по склонам долин с малыми уклонами, заиление холостой части канала представляет серьезную угрозу.

Что касается планировочных работ, то на низких террасах (микрорельеф которых обычно усложнен) объем их, как правило, довольно велик. В сравнительно ограниченных размерах планировочные работы проводятся на высоких террасах, обладающих выровненным рельефом. Орошению низких террас в качестве интерзональных мелиораций, должно во многих случаях предшествовать обвалование в целях предохранения земель от затопления паводковыми водами реки.

Оросительные системы пустынных низменностей

При районировании орошаемых территорий в пределах пустынных низменностей могут быть выделены четыре основных типа местности: современные аллювиальные равнины, сухие дельты, приморские дельты и террасы транзитных рек.

К современным аллювиальным равнинам относятся обширные, удаленные от реки участки речных долин, сложенные мощной толщей аллювиальных отложений.

По условиям проектирования, строительства и эксплуатации ирригационных систем современные аллювиальные равнины могут быть охарактеризованы следующими основными данными.

Поскольку современные аллювиальные равнины расположены по преимуществу в среднем течении крупных транзитных рек, условия забора воды на орошение в начальный период обычно не связаны с регулированием стока. По мере развития орошения появляется необходимость в регулировании стока, осуществляемом по преимуществу русловыми водохранилищами. В пределах современных аллювиальных равнин встречаются естественные понижения, где могут быть созданы водохранилища, которые используются главным образом в целях компенсации изъятой воды на орошение современных аллювиальных равнин для обеспечения орошения на нижележащих участках речных бассейнов.

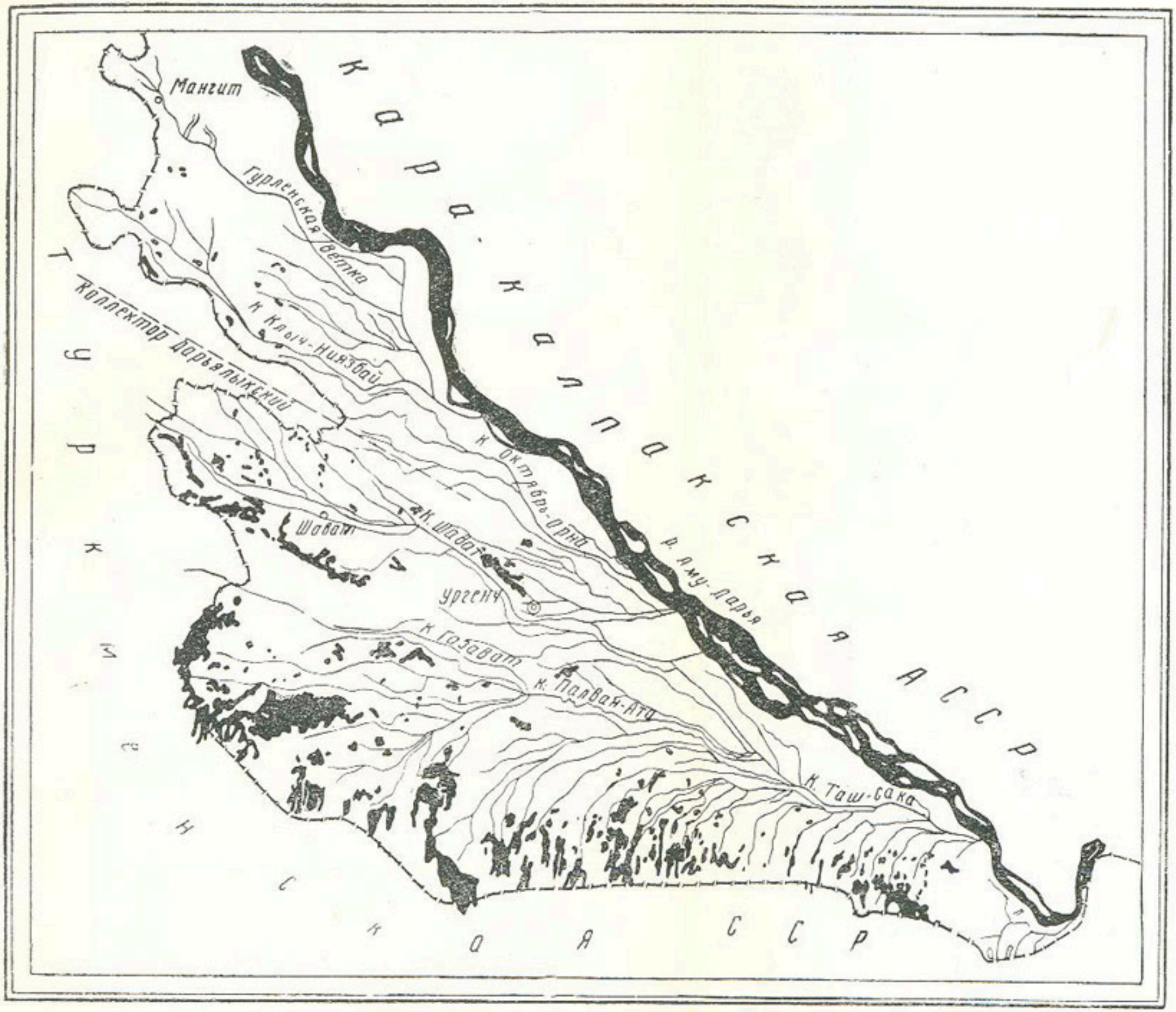


Рис. 9. Оросительные системы на аллювиальной равнине (Хорезм)

Водозабор на первых этапах может осуществляться без регулирования горизонтов воды в реке бесплотинными водозаборными сооружениями. При комплексном использовании водных ресурсов оказывается целесообразным строить водоподъемные плотины.

Современные аллювиальные равнины обычно подвергаются заилению взвешенными наносами. Борьба с заилением должна, как правило, сосредоточиваться на головном водозаборе. При отсутствии сооружений, регулирующих горизонты воды в реке, борьба с поступлением донных наносов в систему проводится методами поперечной циркуляции, т. е. путем выбора рационального расположения головного регулятора или устройства струенаправляющих систем. Наносы предпочтительно удалять при помощи отстойников, устроенных на холостой части магистрального канала, с гидравлическим промывом наносов или с механической очисткой и транспортированием пульпы в реку. При наличии сооружений по регулированию горизонтов воды в реке для предохранения каналов от попадания донных наносов устраиваются самопромывающиеся отстойники и донные галереи.

В силу специфических геологических и гидрогеологических условий и наличия достаточных водных ресурсов борьба с потерями воды на фильтрацию в оросительных каналах по существу должна рассматриваться как мероприятие по предохранению земель от заболачивания. Наиболее перспективным мероприятием является уплотнение ложа каналов, а также применение асфальтовых мембран. Бетонирование каналов здесь связано обычно с большими затратами.

Плоский рельеф аллювиальных равнин позволяет проектировать орошаемые участки правильной геометрической формы. В силу сравнительно малых уклонов и в целях создания запасов в командовании над орошаемой территорией значительная часть оросительных каналов проводится в насыпях. Небольшие уклоны вызывают необходимость широко использовать для обеспечения командования перегораживающие сооружения. В редких случаях применяются сооружения по сопряжению бьефов и сооружения, сзязанные с пересечением оросительной сети с оврагами и водотоками.

На ирригационных системах возможно широко применять бороздчатый полив и полив затоплением, особен-

но для многолетних трав и рисовых посевов. Объем планировочных работ обычно невелик.

С большими трудностями связана борьба с заболачиванием и засолением земель. Грунтовые воды в мощных суглинистых отложениях, подстилаемых песками или песчано-гравийными отложениями, залегают сравнительно глубоко. Однако после орошения в результате потерь воды на фильтрацию из оросительной сети и уничтожения естественной растительности уровень грунтовых вод, особенно при неудовлетворительной эксплуатации, повышается. При неблагоприятных условиях естественного оттока минерализация грунтовых вод сравнительно велика, в результате чего на ирригационных системах наблюдается засоление.

Для предотвращения засоления и заболачивания проводятся жесткое водопользование и противофильтрационные мероприятия. В тех же случаях, когда заболачивание уже произошло, применяется дренаж. Следует иметь в виду, что при наличии густого растительного покрова на транспирацию может расходоваться значительное количество грунтовых вод. Поэтому после уничтожения естественной растительности в результате освоения орошаемых земель баланс грунтовых вод нарушается и уровень их независимо от поступления фильтрационных вод из оросительных каналов начинает быстро подниматься. В этих условиях устройство дренажа может оказаться необходимым даже в том случае, если водопользование будет достаточно жестким и потери воды на фильтрацию в оросительной сети сведены к минимуму [1].

При наличии подстилающих песчано-галечниковых отложений для борьбы с заболачиванием и засолением может применяться вертикальный дренаж, а при их отсутствии — преимущественно горизонтальный дренаж. Основные коллекторы должны иметь глубину в 3—5 м и устраиваться в виде открытых каналов. Полевой дренаж может иметь глубину 2—2,5 м. Предпочтителен дренаж закрытого типа, так как открытый дренаж требует зна-

[1] Такое положение, в частности, имеет место на значительной части Голодной степи, где грунтовые воды пополняются за счет окружающих возвышенных территорий, а естественная растительность расходует на транспирацию почти столько же воды, сколько возделываемые на орошаемых землях культурные растения (Узгипроводхоз, 1955).

чительных затрат труда на эксплуатацию и особенно на очистку каналов от зарастания. Несколько увеличенные первоначальные капитальные затраты на устройство закрытого дренажа компенсируются уменьшенными эксплуатационными затратами в течение одного-двух лет.

Проведения каких-либо особых интерзональных мелиораций не требуется, так как ни затопления земель поверхностными водами, ни оврагообразования здесь обычно не наблюдается, а большие расстояния, отделяющие аллювиальные равнины от горных склонов, исключают возможность выхода из них селевых потоков.

Сухие дельты по характеру отложений обычно мало отличаются от аллювиальных равнин. Расположенные в низовьях сравнительно небольших рек в пустынных районах, они имеют все же и свои специфические особенности. Тот факт, что некоторые черты сближают их с дельтами и конусами выноса, заставлял некоторых авторов отождествлять эти существенно отличающиеся по морфогенезису и ряду других признаков геоморфологические элементы (Ковда, 1946).

В более или менее значительном количестве район сухих дельт получает воду из реки лишь в период прохождения паводков. Поэтому развитие орошения даже на самых ранних этапах, как правило, связано с регулированием стока. Поскольку плоский характер рельефа и большие размеры испарения с водной поверхности не позволяют устраивать в пределах этого типа местности водохранилищ, регулирование стока проводится на других, вышерасположенных участках речных долин.

Необходимость в течение большей части года забирать на орошение весь сток реки требует устройства поперечных преграждений — баражей, с относительно небольшими подпорами.

В связи с этим борьба с наносами оказывается возможной лишь путем непосредственного удаления наносов из оросительной сети или же из отстойников преимущественно механической очисткой [1].

В пределах сухих дельт обычно транспортируются лишь взвешенные илистые частицы и мелкий песок. Круп-

[1] В связи с отсутствием свободной воды для промыва наносов струенаправляющие системы, а также специальные конструкции водозаборных узлов, запроектированные с использованием методов поперечной циркуляции в пределах «сухих дельт», не применяются.

ные донные наносы до сухих дельт не доходят. В силу относительно малых уклонов каналов оросительной сети объем работ по их очистке достигает значительной величины.

Потери в оросительной сети характеризуются средними величинами, обусловленными довольно значительным

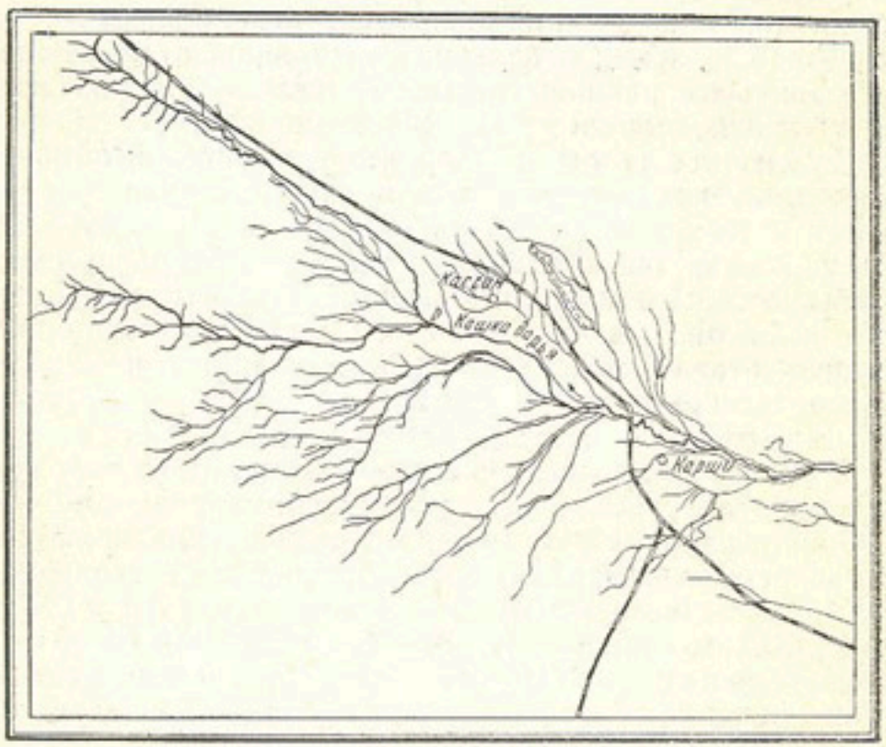


Рис. 10. Оросительная система сухой дельты (Кашкадарья)

распространением связных грунтов и наличием песчаных отложений. При проведении каналов по песчаным отложениям наиболее эффективным методом борьбы с фильтрацией является кольматация. В связных грунтах возможно применение уплотнения и асфальтовых мембран. Бетонирование затрудняется из-за отсутствия местных материалов.

Сухие дельты подвержены заболачиванию и засолению из-за слабого подземного стока и периодического поступления в низовья больших масс воды при катастрофических паводках. Для предотвращения заболачивания и засоления следует проводить борьбу с непроизводительными потерями воды (жесткое водопользование, противофильтрационные мероприятия). Вследствие отсутствия подстилающих водопроницаемых отложений основным методом дренирования является горизонтальный дренаж, условия строительства которого весьма сходны с имеющимися на аллювиальных равнинах.

Условия проектирования оросительной сети в сухих дельтах до некоторой степени сходны с условиями проектирования на конусах выноса. Наличие на поверхности сухой дельты староречий и создаваемое ими расчленение рельефа диктуют необходимость отдавать предпочтение радиальной схеме расположения сети. Тем не менее, поскольку уклоны малы, а орошаемые земли обычно занимают сплошные массивы, мелкая сеть и поливные участки могут иметь правильную конфигурацию.

Напоры на сооружениях невелики, обеспечение командования достигается устройством перегораживающих сооружений. Сооружения для сопряжения бьефов и сооружения, связанные с пересечением водотоков, отсутствуют.

Территории сухих дельт могут быть использованы для выращивания широкого ассортимента сельскохозяйственных культур. Однако в силу ограниченных водных ресурсов и тяжелых гидрогеологических условий возделывание риса лимитируется.

В связи с наличием на орошаемых участках промоин и староречий необходимо проводить капитальные планировочные работы, особенно при промывках засоленных земель.

Из числа интерзональных мелиораций наибольшее значение имеет борьба с затоплением поверхностными водами, так как в отдельные многоводные годы для рек характерны значительные паводки. Для борьбы с затоплением устраиваются специальные отводящие русла.

Приморские дельты имеют очень большое значение для ирригации. В дельтах рек сосредоточены основные площади орошаемых земель во многих странах (Нил в Египте, Ганг и Брахмапутра в Индии, Хуанхе и Янцзы в Китае, По в Италии, Тигр и Евфрат в Ираке, Аму-Дарья и Кура в СССР, Инд в Пакистане, Колорадо в США). Плотность населения оазисов, расположенных в дельтах рек Китая и Индии, составляет 10—17 тыс. человек на 1 км^2.

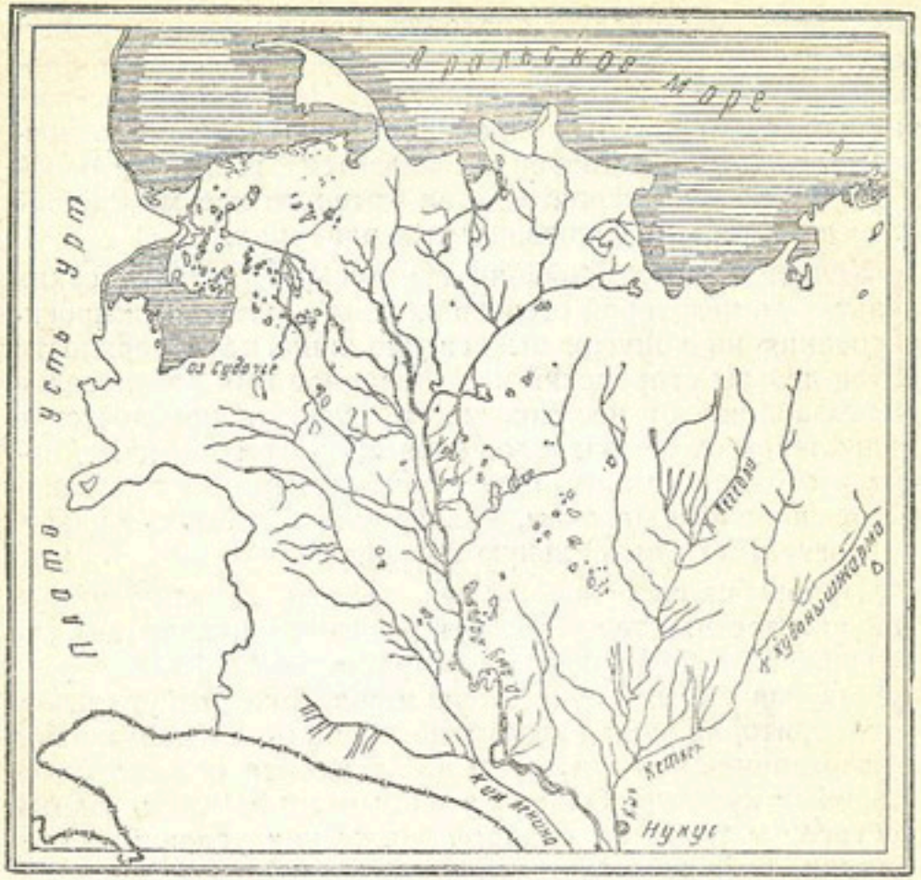


Рис. 11. Оросительная система приморской дельты (низовья Аму-Дарьи)

Современные дельты имеют колоссальную площадь — около 500—600 тыс. км² (Янцзы и Хуанхе), мощность дельтовых отложений достигает 250—300 м и более. Литологический состав их весьма разнообразен и колеблется от грубых, неясно или диагонально слоистых песчано-суглинистых отложений, до пластичных тонкослоистых глин (Егоров, 1955).

Величина зерен зависит от скорости движения воды. Поэтому дельты равнинных рек характеризуются тонкозернистыми песчано-глинистыми неслоистыми отложениями.

Дельты прорезаны большим количеством рукавов и покрыты озерами и болотами. Грунтовые воды залегают на небольшой глубине и имеют пеструю минерализацию:

от пресных — в районах, прилегающих к постоянно действующим протокам, до засоленных с минерализацией, превышающей минерализацию морской воды на периферии дельты.

Почвенный покров характеризуется четырьмя почвенными типами: 1) болотным, 2) луговым, 3) солончаковым и 4) пустынными сероземами, часто образующими комплексы лугово-болотных и лугово-солончаковых почв и засоленных сероземов. Почвы орошаемых земель, расположенных в дельтах, в большинстве случаев представлены культурно-поливными почвами, в той или иной степени засоленными.

Почвы дельты отличаются значительным содержанием органических остатков. Однако по мере осушения дельты луговой процесс почвообразования сменяется степным, характеризующимся увеличивающимся засолением, а впоследствии, особенно в результате регрессии моря, часто заканчивается отакыриванием сероземов.

В зависимости от возраста участка дельты изменяется растительный покров. При этом, однако, вследствие высокого залегания грунтовых вод даже на сравнительно поздних стадиях формирования дельт транспирация растительности продолжает играть существенную роль в водном балансе территории.

Условия орошения характеризуются следующим: режим стока реки таков, что обычно может обеспечить значительное развитие орошения без регулирования; благоприятное сочетание природных факторов обусловливает наиболее интенсивное развитие орошения (по сравнению с другими частями бассейна рек); регулирование стока оказывается необходимым лишь на сравнительно позднем этапе использования водных ресурсов. В связи с тем, что размещение водохранилищ непосредственно в дельте невозможно, регулирование стока производится в других частях речного бассейна.

Для дельты характерна непрерывная аккумуляция осадков, приносимых рекой; река здесь командует над окружающей местностью, вследствие чего на начальном этапе развития ирригации водозабор может осуществляться без регулирования горизонтов. В дальнейшем, по мере использования стока реки, появляется необходимость регулирования горизонтов, вызываемая трудностью

забора соответствующей доли расхода реки, а не недостатком командования. Отдельные возвышенные участки дельты требуют машинного подъема воды для орошения на сравнительно небольшую высоту.

В связи с распространением связных, плохо проницаемых пород и высоким стоянием грунтовых вод в ирригационных системах отмечаются относительно малые потери на фильтрацию. В то же время вследствие плоского рельефа и отсутствия депрессий повторное использование сбросных и выклинивающихся фильтрационных вод при орошении в дельтовых ирригационных системах, как правило, невозможно. Эти факторы обусловливают среднее значение коэффициента полезного действия ирригационных систем и в то же время ограниченные возможности повышения к. п. д. за счет мероприятий по их реконструкции.

В связи с тем, что в дельтах происходит непрерывная аккумуляция осадков, ирригационные системы обычно имеют сравнительно высокую степень заиляемости; преобладают взвешенные наносы. Для борьбы с заилением для начального периода использования стока (без регулирования расхода и горизонта) может применяться пропуск по каналам увеличенных против потребности на орошение транзитных расходов с целью увеличения транспортирующей способности каналов. В последующий период при водозаборе без регулирования стока, но с регулированием горизонтов — отстойники с гидравлической промывкой и, наконец, на конечном этапе, при регулировании стока и горизонтов — непосредственное удаление наносов из каналов или отстойников. Однако в этот период количество наносов обычно резко снижается, так как значительная часть их задерживается в водохранилищах.

В. А. Ковда (1946) относит дельты к оазисам по преимуществу недренированным (бессточным), подзерженным интенсивному заболачиванию. Под влиянием орошения грунтовые воды, залегающие в полосе, расположенной вдоль крупных ирригационных каналов, опресняются за счет местного перемещения солей и увеличения засоления в периферийных частях и понижениях на неорошаемых землях. Важнейшим мероприятием по борьбе с засолением и заболачиванием при экстенсивном использовании территории является понижение коэффициента земельного использования до 0,3—0,4. Повышение коэффициента должно сопровождаться мероприятиями по снижению уровня и отводу грунтовых вод. В условиях дельты самотечный отвод их, как правило, невозможен и в этом случае применяется механическая откачка.

Плодородие почв и широкие возможности развития ирригации обусловливают интенсивное использование дельт для орошаемого земледелия. Однако вследствие специфических условий заболачивания и засоления это использование оказывается более или менее простым лишь на первом этапе. В дальнейшем в связи с увеличением к. з. и. появляется необходимость в проведении дорогостоящих мероприятий по снижению уровня и отводу грунтовых вод, борьбе с затоплениями и др. Поэтому дельты в начальный период характеризуются смешанным земледельческо-скотоводческим характером использования территории и лишь впоследствии, по мере проведения мелиоративных мероприятий, создаются условия для сплошного освоения территории. Плодородие почв в сочетании с широкими возможностями орошения обусловливает специализацию орошаемого земледелия на высокоинтенсивные технические культуры, а при многоводности источника орошения — на рис. Садово-виноградные и зерновые культуры играют подчиненную роль.

Плоский рельеф дельт благоприятствует проведению прямолинейной ирригационной сети с достаточно крупными поливными участками. Однако при экстенсивном орошаемом хозяйстве, когда в качестве ирригационной сети используются существующие протоки, каналы криволинейны и орошаемые участки имеют неправильную форму. Дельта обычно отличается развитым микрорельефом, и освоение земель под орошаемое земледелие требует часто значительного объема планировочных работ. В условиях дельты применяется полив затоплением, а также полив по глубоким тупым бороздам.

Малые уклоны водотоков, как правило, не позволяют использовать гидравлическую энергию. Лишь в исключительных случаях оказывается возможным устройство гидростанций низкого напора при сооружениях, регулирующих горизонты в реке или канале для целей ирригации. Устройство гидростанций сильно удорожает строительство ирригационных узлов и усложняет их последующую эксплуатацию.

К числу интерзональных мелиораций (по А. Н. Костякову) относится борьба с затоплением, вызываемая командованием рек над окружающей территорией в трансгрессией моря, а также кольматаж на конечном этапе освоения дельты в целях увеличения территории за счет болот и озер.

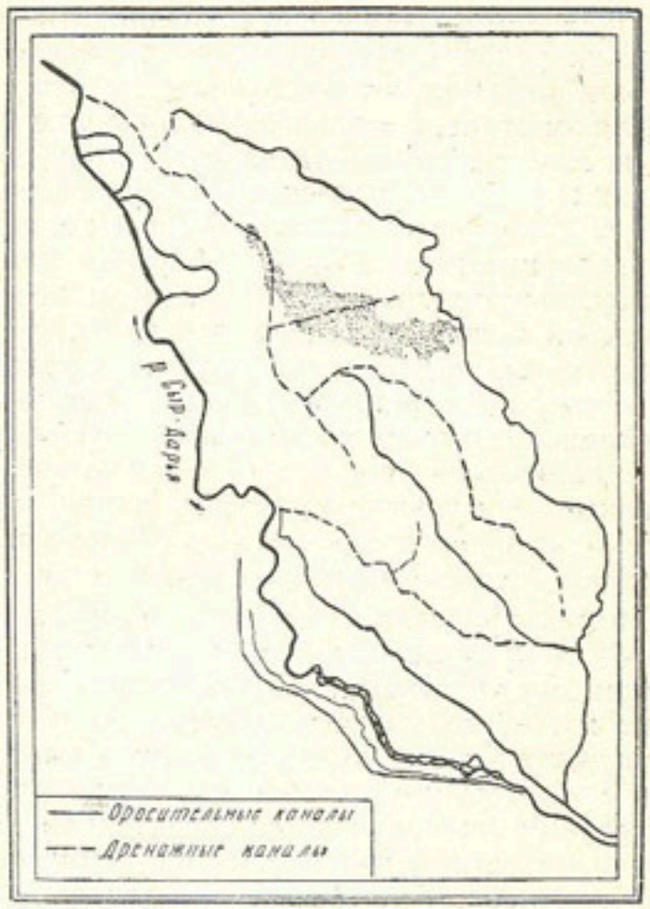


Рис. 12. Оросительная система на речных террасах (Дальверзин)

Террасы транзитных рек по характеру их использования для ирригационных систем несколько отличаются от речных террас в горных районах и предгорных равнинах. Вследствие малых уклонов реки на низких террасах заболачивание развито значительно больше,

а водоподача на высокие террасы требует часто сложных мероприятий. Освоение низких террас связано с предохранением от затопления речными водами путем обвалования и устройства дренажа. На высоких террасах грунтовые воды залегают обычно глубоко и под влиянием орошения не поднимаются до критической глубины; борьба с заболачиванием не проводится. Конфигурация оросительной сети диктуется формами участков на высоких террасах и наличием стариц на низких. Больших планировочных работ требуют лишь подверженные засолению и заболачиванию низкие террасы со сложным микрорельефом. В пределах речных террас борьба с фильтрацией из оросительных каналов практического значения не имеет, так как фильтрационная вода поступает в реку. Водозабор в ирригационные системы на речных террасах при малых уклонах реки во многих случаях целесообразно осуществлять при помощи машинного водоподъема.

3. ХАРАКТЕРНЫЕ ЧЕРТЫ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ СТЕПНОЙ И ПОЛУПУСТЫННОЙ ЗОН

Равнинные пространства юга европейской части СССР, юго-запада Сибири и Северного Казахстана, расположенные в полупустынной и степной зонах, вытянуты с запада на восток почти на 5 тыс. км. В меридиональном направлении протяженность варьирует от тысячи километров на западе до двух тысяч километров на востоке.

В некоторых районах этих обширных равнин орошение существовало с глубокой древности. Так, например, в степной части Крымского полуострова и в низовьях Днепра были обнаружены следы ирригационных систем, относящиеся к первым векам нашей эры (Глазенап, 1871). Земли древнего орошения встречаются в Северном Казахстане, на Южном Урале и Нижнем Поволжье.

По климатическим условиям рассматриваемая территория занимает промежуточное положение между пустынями с ничтожным количеством осадков (до 150—200 мм) и лесостепью (500—600 мм).

На этих огромных пространствах в древности кочевали народы, главным занятием которых было скотоводство.

Со второй половины XVIII столетия эти районы стали интенсивно заселяться и превращаться в основную базу земледелия России. В настоящее время здесь сосредоточено более 50% пахотных земель нашей страны, используемых преимущественно под посевы зерновых культур. Малое количество осадков и резкие колебания их по годам вызывают частые засухи, которые на северо-западе степной зоны представляют исключение, а на юго-востоке и в зоне полупустынь — являются правилом. Поэтому почти сразу же после заселения многих районов этой территории возник вопрос о возможности создания здесь устойчивого земледелия на базе орошения.

До Великой Октябрьской революции орошались лишь отдельные опытные участки, хотя вопрос о более или менее значительном развитии орошения в пределах рассматриваемой территории с повестки дня не снимался. Проведенные исследования, особенно работы Южнорусской экспедиции, организованной после катастрофической засухи 1880 г. по инициативе великого русского почвоведа В. В. Докучаева, показали, что единственно надежным средством создания здесь гарантийных урожаев может явиться лишь широкое развитие орошения. С начала XX столетия в этих районах Отделом земельных улучшений Министерства земледелия и государственных имуществ проводились крупные исследования.

Накануне Октябрьской революции был уже накоплен значительный материал, характеризующий условия развития орошения. После Октябрьской революции внимание к этому вопросу резко усилилось.

Начиная с 1929 г., после организации «Гипровода», а в дальнейшем «Нижневолгопроекта», под руководством акад. И. Г. Александрова в значительных масштабах проводились проектно-изыскательские работы. В результате этих работ, в основном завершенных к 1937 г., была намечена программа водохозяйственных мероприятий по орошению засушливых районов в зоне недостаточного и неустойчивого увлажнения на юге и юго-востоке нашей страны.

Однако необходимость крупных капиталовложений и слабая заселенность территории заставили ограничиться проведением сравнительно небольших работ преимущественно по использованию местного стока, т. е. стока небольших рек степной зоны.

Прерванные Великой Отечественной войной работы по орошению возобновились. В 1946 г. было начато строительство Волго-Донского канала, предусматривавшее также широкое развитие орошения донских степей. В 1950 г. правительство приняло ряд решений о дальнейшем развороте ирригационных работ на Волге, Днепре и Дону.

Первая очередь работ по орошению, связанная с Волго-Донским каналом и Цимлянским водохранилищем, была закончена в 1952 г., и в настоящее время уже функционирует оросительная система на площади около 100 тыс. га; закончены работы по орошению земель второй очереди Волго-Донского канала. Одновременно осуществляется строительство Ингулецких оросительных систем, Краснознаменского канала, оросительной системы Каменского пода на Украине, ведется строительство Кубань-Егорлыкского канала и сооружается обводнительно-оросительная система Терско-Кумского канала на Северном Кавказе. Кроме того, продолжаются работы по использованию местного стока в районах Поволжья (Аскоченский, 1956; Бударин, 1956).

Все это свидетельствует о том, что вопросы орошения в южной и юго-восточной частях засушливой степной и полупустынной зонах СССР весьма актуальны. Однако достаточного опыта строительства и эксплуатации оросительных систем на этой территории пока еще нет. Поэтому предлагаемая ниже система районирования орошаемых территорий степной зоны СССР может рассматриваться лишь как первое приближение.

В отличие от пустынной степная и полупустынная зоны на вертикальные пояса не делятся, поскольку относительные превышения здесь невелики. В качестве укрупненных таксономических единиц районирования следует принять ландшафтные области, которые в свою очередь по геоморфологическим признакам должны подразделяться на типы местности.

Степная зона СССР согласно Ф. Н. Милькову (1955) разделяется на следующие ландшафтные области (провинции по Милькову): 1. Причерноморскую. 2. Нижне-Донскую. 3. Низменного Заволжья. 4. Высокого Заволжья, в пределах которых по геоморфологическим признакам могут быть выделены следующие типы местности: пойменный тип, повсеместно распространенный по

долинам крупных и малых рек, хорошо выраженный на низменных равнинах (где поймы имеют значительную ширину), вследствие периодического затопления паводковыми водами характеризуется высокой степенью увлажнения. Основной вид хозяйственного использования — луга, важнейшая естественная кормовая база степной зоны. На орошаемых плодородных пойменных землях получают рекордные урожаи кукурузы, картофеля и различных овощных культур.

Орошение пойменных земель обычно связано с подъемом вод насосными установками. При наличии гидротехнических узлов, воздвигаемых для судоходства и гидроэнергетики, орошение может быть самотечным. В тех случаях, когда паводок приурочен к ранневесеннему периоду, оказывается возможным использовать пойменные участки для орошаемого земледелия без предварительного обвалования. В тех же случаях, когда паводок приходит поздней весной или в летнее время, орошение требует обвалования.

Пойменные участки с высоким стоянием грунтовых вод обычно характеризуются той или иной степенью засоленности, борьба с которой должна вестись путем промывок при режиме орошения, обеспечивающем нисходящий ток воды в почве. При естественном затоплении поймы, как известно, осуществляется промывка паводковыми водами. Рельеф поймы сильно усложнен наличием большого количества стариц, грив и староречий, в связи с чем ирригационная сеть имеет здесь неправильную конфигурацию. При обваловании целесообразно совмещать основные оросительные каналы с дамбами обвалования. Коллекторно-дренажная сеть приурочивается в основном к староречьям и старицам, размещенным в пониженных местах. Требуется большой объем планировочных работ. Количество наносов в реках степной зоны относительно невелико и проблема борьбы с заилением не имеет существенного значения. В качестве главного вида интерзональных мелиораций для предохранения земель от затопления должно применяться обвалование.

Надпойменно-террасовый тип образован серией надпойменных террас, ширина которых по левобережью крупных рек измеряется десятками километров. Нижние террасы сложены преимущественно песка-

ми, верхние—лессом и лессовидными суглинками. Местность, как правило, значительно выше уровня рек, и вывод воды из них самотеком, без большого подпора, невозможен. В связи с этим главным видом водозабора для орошения территорий, расположенных на речных террасах, является машинный водоподъем.

Лишь как исключение при строительстве крупных гидротехнических узлов, предназначенных для гидроэнергетического использования рек, оказывается возможным орошать отдельные участки самотеком. Спокойный рельеф, хорошая проницаемость почв и сравнительно небольшие уклоны позволяют проектировать оросительную сеть с правильной конфигурацией. Уклоны каналов обычно невелики. Вопросы заболачивания и засоления не имеют сколько-нибудь существенного значения, поскольку грунтовые воды в естественном состоянии залегают глубоко, а песчаные отложения под высокими террасами обеспечивают хороший естественный дренаж.

Плакорный тип, соответствующий плоскоравнинным водоразделам, изрезанным балками, в настоящее время может быть использован для орошения главным образом при регулировании стока местных небольших источников с временным весенним стоком. За редким исключением, может развиваться лишь оазисное орошение, при котором опасность заболачивания и засоления не очень велика. Конфигурация оросительной сети должна быть увязана с изрезанным рельефом.

4. ВЛИЯНИЕ ХОЗЯЙСТВЕННЫХ УСЛОВИЙ НА ОРОСИТЕЛЬНУЮ СИСТЕМУ

В процессе длительного воздействия орошения на природные ландшафты древние орошаемые земли в значительной степени изменили свой первоначальный облик. Возник особый вид «культурного» ландшафта, формирование которого происходило не только в определенной физико-географической обстановке, но и в результате воздействия антропогенных факторов.

Природный ландшафт рассматривается современной физической географией постоянно изменяющимся. Эти изменения, однако, происходят значительно медленнее, чем изменения культурного ландшафта. На орошаемых же землях они особенно интенсивны, причем глубокое

влияние оросительной системы сказывается на всей природной обстановке (климате, рельефе, гидрогеологических условиях, почвах, растительности и т. д.).

Вместе с тем изменения природных ландшафтов, создаваемые орошением, приобретают известную стабильность. Даже заброшенные много веков назад оазисы, как правило, существенно отличаются от первичных природных ландшафтов в силу тех необратимых изменений, которые произошли в природной обстановке под влиянием

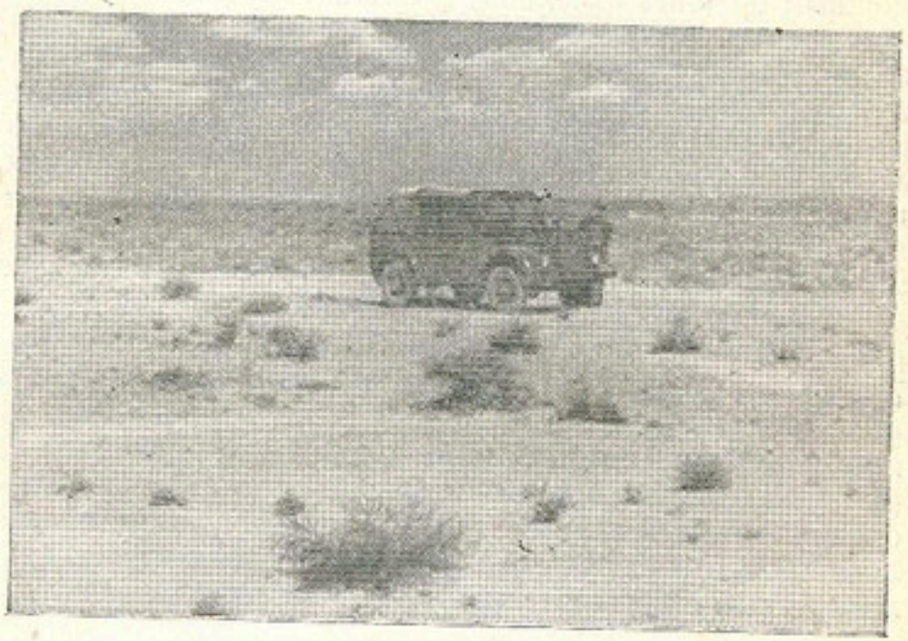


Рис. 13. Земли древнего орошения (низовья р. Зеравшан)

деятельности человека. Так, например, земли древнего орошения в районе Турткуля (Толстов, 1946), в низовьях Зеравшана (Шишкин, 1947) и Атрека (Массон, 1953), заброшенные в XV—XVI веках, сохранив следы ирригационных систем в рельефе, в почвенном профиле, в характере растительности, существенно отличаются от природных ландшафтов аллювиальных равнин, в пределах которых они были сформированы.

Изменения природных ландшафтов под влиянием орошения, на первый взгляд, кажутся настолько сходными, что некоторые географы при укрупненном физико-географическом районировании объединяют иногда орошаемые оазисы в одну ландшафтную единицу. Однако более внимательное рассмотрение хода физико - географических процессов показывает, что в различных природных условиях под влиянием орошения могут произойти изменения совершенно различного характера. Так, например, в одних условиях происходит накопление избытка воды в почве, подъем грунтовых вод и обогащение верхних слоев почвы вредными солями, в других — усиливается рассоление почв (Ковда, 1946).



Рис. 14. Засоленные земли Шуруузякского массива

Изменение ирригационных условий в известной степени является необратимым. Оазисы, возникшие и развивавшиеся при различном уровне техники, значительно отличаются друг от друга. Этим, в частности, может быть объяснено, что на фоне идентичных природных условий формируются иногда оазисы, значительно отличающиеся по своему внешнему виду. Так, в оазисах, где естественный дренаж отсутствует, примитивная техника земледелия и орошения и хищническое водопользование неизбежно вызывали засоление и заболачивание[1]. В то же время в условиях высокой техники при плановом социалистическом хозяйстве на таких же оазисах засоления и заболачивания не наблюдается (например, на полях совхоза «Пахта-Арал» и передовых колхозов Голодной степи).

[1] Примером может служить ряд массивов земель древнего и сравнительно недавнего орошения, засоленных и заброшенных после сравнительно недолгого использования под орошаемое земледелие.

Однако из этого нельзя сделать вывод, что одни только социально-экономические изменения и введение передовой техники земледелия и орошения во всех случаях могут улучшить мелиоративные условия. Ухудшение последних часто являлось следствием длительного периода исторического развития оазиса, в результате которого произошли существенные и в известной степени необратимые изменения в природной обстановке.

Ирригационные условия древних и новых оазисов, даже сформированных в одинаковой природной обстановке, в той или иной степени различны, что обусловлено, конечно, историей их развития. Достаточно вспомнить, что в таких древних оазисах, как Хорезмский, Бухарский, Мургабский и др., не только почвы, но и подстилающие породы мощностью в несколько метров представляют собой так называемые культурные ирригационные наносы [1]. В других оазисах, возникших в недавнее время, культурный слой полностью отсутствует. Поэтому находящиеся в идентичной обстановке вновь орошаемые территории Зеравшанской долины (например, совхоз Нарпай, массив Джильван) имеют несколько отличные ирригационные условия по сравнению с прилегающими землями старого орошения Бухарского оазиса.

Так как каждой исторической эпохе соответствует определенный уровень развития производительных сил и характер производственных отношений, то орошаемые оазисы, возникшие и развивавшиеся в различные исторические эпохи, имеют несколько отличный характер оросительных систем. Изучение истории развития оазисов поэтому не менее важно для ирригации, чем изучение природных условий.

Первая капитальная работа по истории ирригации в Средней Азии — работа В. В. Бартольда (1914) была основана преимущественно на письменных источниках, и поэтому по большинству орошаемых оазисов в ней, естественно, отсутствуют данные о времени их возникновения.

Более поздние исследования, особенно советских археологов, по основным орошаемым землям Средней Азии показали, что эти оазисы существуют уже в течение многих тысячелетий. Для ряда районов, в которых археологические исследования в нужном объеме не проводились, таких данных пока еще нет. В связи с этим не представляется возможным проследить развитие ирригационной техники в историческом аспекте. Этим, в частности, объясняется, что некоторые авторы (Шаров, 1952), предлагая классифицировать ирригационные системы по историческим признакам, ограничивались подразделением на инженерные, полуинженерные и неинженерные системы.

Изучение археологии для ирригационной практики многих районов имеет значение не только с точки зрения истории техники ирригации, но и особенно для выяснения влияния социально-экономических условий на ирригацию.

Следует отметить, что, помимо непосредственного влияния техники и организации хозяйства внутри оазисов на ирригационные условия, большое значение имеет также влияние на орошаемые земли окружающих неорошаемых территорий и та экономическая и политическая роль, которую данный оазис играл в ту или иную историческую эпоху.

Для орошаемых оазисов, насчитывающих несколько тысяч лет существования, иногда характерно весьма интенсивное использование земельного фонда. Примитивная техника при отсутствии севооборотов и при непрерывном использовании земель под одни и те же культуры, казалось бы, должна была привести к понижению плодородия почв. Однако практически во многих случаях такого снижения не только не наблюдается, а наоборот, отмечается непрерывный рост урожайности, свидетельствующий о повышении плодородия. Это кажущееся противоречие может быть объяснено, по-видимому, отчасти тем, что баланс органических веществ орошаемых оазисов складывается не только за счет участия в нем хозяйства, ведущегося на поливных землях. В большинстве случаев к орошаемым оазисам примыкают огромные территории богарных земель и пустынных пастбищ, на которых также ведется то или иное хозяйство.

Поскольку жизненные центры страны обычно размещаются в пределах орошаемых территорий, то, следовательно, почти вся продукция сельского хозяйства не только орошаемых оазисов, но и окружающих земель, используемых либо под культуру богарного земледелия,

[1] Мощность культурного слоя в отдельных частях Зеравшанской долины достигает огромной величины — 11 м (Опрышко, 1947).

либо под отгонное животноводство, потребляется в пределах оазисов. Все отбросы, образовавшиеся в результате потребления человеком сельскохозяйственной продукции, так же как и отходы сельскохозяйственного производства, остаются на орошаемых землях и идут на восстановление плодородия почв.

Таким образом, в орошаемых оазисах может не только поддерживаться устойчивость плодородия, но, при известных условиях, также могут накопляться питательные вещества за счет окружающих неорошаемых территорий. Именно этим, видимо, и объясняется, что в орошаемых районах часто практикуется монокультура растений, которая здесь не приводит к такому истощению плодородия почв, как это имеет место в неорошаемых районах, где производство и потребление сельскохозяйственных продуктов распределяются на всей территории более или менее равномерно.

Большое значение для поддержания плодородия на орошаемых землях имеет расположение в их пределах крупных административных и экономических центров. В связи с непрерывно увеличивающимся потреблением сельскохозяйственных продуктов в окрестностях больших городов появляется необходимость предельно интенсивного использования земель. Вместе с тем, ввиду того что потребности крупных городов не могут быть удовлетворены только за счет окружающих земель, часть продуктов сельского хозяйства доставляется в эти города из более отдаленных районов, причем отбросы остаются в окрестностях города и используются в качестве удобрений.

При рассмотрении вопроса об использовании земельного фонда в окрестностях крупных городов, расположенных в орошаемых оазисах, следует иметь в виду отмеченные условия потребления продукции сельского хозяйства, позволяющие поддерживать равновесие плодородия почв.

Классическим примером влияния крупных административных и экономических центров на орошаемые земли является ряд оазисов Средней Азии. В результате роста крупных административных и экономических центров в их окрестностях интенсивно развивалось сельское хозяйство, которое в свою очередь в силу интенсивного использования земель вызвало более или менее резкие

изменения физико-географических условий, определяющих характер ирригационных мероприятий и работы ирригационных систем. Так, например, город Бухара, расположенный в низовьях Зеравшана, на протяжении многих столетий играл роль крупнейшего политического, экономического и культурного центра Средней Азии. По мере роста города сельское хозяйство Бухарского оазиса становилось все более интенсивным, использование земельного фонда увеличивалось, роль пустующих земель, как сухого дренажа, уменьшалась, что вызывало в свою очередь подъем уровня грунтовых вод. Однако, несмотря на это, в результате более широкого применения удобрений и более высокой агротехники урожайность сельскохозяйственных культур увеличивалась, а соответственно увеличивалась и транспирация. Увеличение же транспирации ограничивало подъем грунтовых вод, а засоление в связи с этим не прогрессировало и не требовалось устройства коллекторно-дренажной сети. Дренажные мероприятия ограничивались откачкой воды из неглубоких канав (зауров) с использованием ее на орошение при помощи простейших приспособлений таких, как нова и чигирь.

Интенсивное использование земельного фонда привело к исключительному малоземелью, которое, в свою очередь, создало специфическую схему ирригационной сети: многоголовье и параллелизм каналов, мелкие делянки, обычно не свойственные орошаемым оазисам такого ландшафта. Таким образом, хозяйственные условия наложили резкий отпечаток на оросительную сеть Бухарского оазиса. После того как эти условия изменились и Бухара постепенно утратила значение политического и экономического центра, население города стало уменьшаться, интенсивность сельского хозяйства ослабевать, земли выбывать из сельскохозяйственного оборота. Появилась переложная система земледелия, перешедшая, по-видимому, даже в систему кочевого или бродячего землепользования. Засоление стало резко увеличиваться. Борьба с ним потребовала проведения промывок, вызывавших усиление заболачивания и устройство коллекторно-дренажной сети. Заиление каналов, представлявшее ранее положительное явление (поскольку массы наносов разносились по полям), стало бедствием, борьба с которым превратилась в труднейшую задачу. В

результате урожайность стала еще сильнее падать, экономика района все более ослаблялась. После того как Бухара вошла в состав Узбекской ССР, была проведена земельная реформа, мелкие крестьянские хозяйства объединены в колхозы, мелиоративное состояние земель стало опять изменяться. Несмотря на то, что вместо высевавшихся ранее менее требовательных к воде зерновых культур, основной культурой стал хлопчатник, и количество воды, подаваемой в оазис, резко возросло благодаря принятым мерам по переустройству систем, отводу избыточных вод за пределы оазиса и регулированию стока, заболачивание и засоление земель стало прекращаться (Дунин-Барковский, 1957).

Таким образом, в условиях одного и того же природного ландшафта при изменении экономико-географических условий резко изменялся характер работы ирригационных систем и состав ирригационных мероприятий.

Аналогичные явления имели место в ряде стран Ближнего Востока (Египет, Ирак, Пакистан), где в результате изменения специализации сельского хозяйства, более интенсивного использования земель и изменения техники орошения (переход от бассейнового к регулярному орошению) за последнее время стало развиваться почти не наблюдавшееся ранее заболачивание и засоление (Дунин-Барковский, 1956).

Некоторые исследователи склонны считать, что социально-экономическим факторам принадлежит решающая роль при выборе состава и характера мероприятий, связанных с орошением, природные же условия, по их мнению, играют лишь подчиненную роль (Шаров, 1952; Шаумян, 1946). Конечно, нельзя отрицать влияния социально-экономических условий на состав и характер работы оросительных систем, однако, как мы видели выше, влияние природной среды не только при одинаковом, но и при различном уровне техники проявляется достаточно определенно. Это влияние становится еще более отчетливым при внедрении передовой техники. Так, например, при проектировании оросительной системы в совхозе № 4 в Голодной степи (Средазгипроводхлопок, 1958) было установлено, что применение самых совершенных мер по борьбе с фильтрацией из каналов в условиях периферии конуса выноса не обеспечивает надлежащих мелиоративных условий без дренажа, в то время как в условиях аллювиальной равнины на территории, подобной совхозу «Пахта-Арал», те же мероприятия совершенно исключают необходимость применения дренажа.

Таким образом, районирование орошаемых территорий по физико-географическим признакам сохраняет свое значение как при современном, так и при новом уровне техники, на которую ирригационные системы нашей страны, по-видимому, будут переводиться в ближайшее время. Следует, однако, иметь в виду, что ирригационные системы районов старого орошения, видимо, надолго сохранят специфические особенности, определяемые историческими условиями их формирования как культурного ландшафта.

Выводы

1. До сих пор является господствующим представление, согласно которому ирригационная система рассматривается лишь как механизм для подачи воды на поля. В соответствии с этим существующие классификации ирригационных систем основываются главным образом на технических характеристиках отдельных элементов (водозабор, оборудованность и пр.).

2. При районировании орошаемых территорий в целях изучения вопросов, связанных с проектированием и эксплуатацией оросительных систем, как правило, учитываются лишь отдельные составляющие ландшафта (рельеф, климат, почвы, подземные воды), но не весь ландшафт в целом.

3. В результате такого подхода к вопросам классификации и районирования орошаемой территории упускается из виду, что характеризующие их элементы обусловлены всей природной обстановкой в целом и что состав и характер работы оросительных систем зависят от физико-географических условий. Недоучитывается также и то, что под влиянием орошения изменяется природный ландшафт.

4. Несмотря на существенные достижения в изучении отдельных элементов ирригационных систем, в настоящее время ощущается известное отставание ирригационной науки от практики, так как ирригационные системы не рассматриваются в неразрывной связи с геогра-

фической средой как важнейший элемент созданного на их основе культурного ландшафта.

5. Поскольку ирригационные системы являются средством искусственного изменения ландшафта и характер работы отдельных элементов систем непосредственно связан с элементами ландшафта, проектирование оросительных систем должно быть основано на всестороннем изучении природного ландшафта орошаемых территорий.

6. В основу классификации и районирования орошаемых территорий должны быть положены физико-географические условия — ландшафт. Классификация и схема районирования орошаемых территорий, основанные на ландшафтных признаках, позволяют типизировать ирригационные системы, что имеет большое практическое значение для проектирования и изысканий. В частности, подобная классификация и схема районирования позволяют широко использовать опыт проектирования, изысканий и исследований, выполняемых в аналогичных условиях при проектировании и изысканиях в новых районах орошения.

II. ВОДНЫЙ БАЛАНС ОРОШАЕМОЙ ТЕРРИТОРИИ

1. ВОДНЫЙ БАЛАНС ОРОШАЕМОЙ ТЕРРИТОРИИ И ЕГО ЭЛЕМЕНТЫ

Изменения, происходящие в результате орошения, прежде всего отражаются на водном балансе. Водный баланс той или иной территории за определенный промежуток времени (T) выражается следующим уравнением:

$$\int_{t=0}^{t=T} f(x, y, z)dt = 0 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

где x — приход влаги, включающий осадки, выпадающие на данной территории, конденсацию влаги из воздуха и поступление влаги извне, в виде поверхностного или подземного притока; y — расход воды на испарение с почвы и транспирация растительного покрова; z — отток влаги за счет поверхностного и подземного стока.

Составляющие уравнения водного баланса определяются комплексом физико-географических условий (климатом, рельефом, геологическим строением, растительным покровом и др.).

При орошении той или иной территории вносятся существенные изменения в соотношение между отдельными элементами водного баланса.

Основной задачей орошения является искусственное пополнение влаги путем подачи оросительной воды извне в целях возмещения недостатка естественной влаги для выращивания сельскохозяйственных культур.

Таким образом, при орошении обязательно должны возрасти два члена уравнения водного баланса (1): x — приход влаги, за счет увеличения поверхностного притока оросительной воды и y — расход влаги на испарение с поверхности почвы и транспирацию. Поскольку в течение определенного времени (годового или мно-

голетнего цикла) поддерживалось равновесие водного баланса, сумма прихода влаги, расхода и оттока за это время до орошения равнялась нулю. В отдельные моменты в пределах того или иного периода имело место превышение отдельных элементов баланса над другими и равновесие поддерживалось за счет аккумулирования избыточной влаги в почвенно-грунтовой массе. Аккумулирующая способность этой массы имела вполне определенную конечную величину, равную полной влагоемкости.

В результате создаваемого орошением искусственного изменения в соотношении приходных и расходных элементов водного баланса аккумулирующая способность почвенно-грунтовой массы нередко оказывается недостаточной для поддержания равновесия водного баланса. В отдельные моменты появляется избыточная влага, что вызывает необходимость принять дополнительные меры искусственного воздействия на водный баланс территории — предотвращение попадания на орошаемую площадь поверхностного и подземного притока извне и увеличение оттока влаги путем устройства дренажа для обеспечения более интенсивного поверхностного и подземного оттока.

Изучение водного баланса показывает, что для сравнительно небольших участков соотношение между отдельными элементами баланса (осадками, подземным и поверхностным притоком, испарением — транспирацией и оттоком) может меняться в значительных пределах, в то время как для больших территорий — бассейнов рек, ландшафтных областей, материков соотношение изменяется в сравнительно узких пределах (особенно для аридных и семиаридных районов, где больше всего распространено орошение). В этих районах для более или менее крупных участков единственным источником пополнения влаги являются осадки и почти единственным расходным фактором (составляющим от 85 до 95% всей расходной части баланса) — испарение — транспирация.

Забор воды на орошение производится за счет сравнительно небольшой составляющей водного баланса территории — подземного и поверхностного стока (5—15%) и соответственно изменяется величина основной расходной составляющей водного баланса — испарения — транспирации.

В определенных условиях на протяжении более или менее продолжительного времени (годового или многолетнего цикла) это изменение может произойти как в сторону увеличения абсолютных размеров испарения — транспирации (в тех случаях, когда орошаемая территория будет расходовать на испарение — транспирацию воды больше, чем расходовалось до орошения), так и в сторону уменьшения (если неорошаемые земли расходовали на испарение — транспирацию воды больше, чем будут расходовать орошаемые земли).

Не исключена также возможность изменения прихода влаги за счет выпадения дополнительного количества осадков вследствие изменения условий конденсации влаги в горных массивах.

В настоящее время в связи с широким развитием орошения на больших площадях во многих районах могут быть прослежены изменения, происшедшие в водном балансе территории.

Учет этих изменений имеет чрезвычайно большое практическое значение для планирования водохозяйственных мероприятий, проектирования гидротехнических сооружений и оросительных систем.

Учет изменений водного баланса имеет особенно большое значение для определения оросительной способности источников орошения, установления размеров потерь из водохранилища, прогноза изменения мелиоративных условий орошаемых земель и установления запасов подземных вод. Решение этих задач без учета водного баланса носит условный характер и нередко приводит к неправильным выводам, в значительной степени осложняя проектирование оросительных систем.

Определение отдельных элементов водного баланса имеет свои особенности. Некоторые из этих элементов, как, например, количество осадков, приток и отток воды, могут быть получены непосредственными измерениями без особых затруднений.

Одним из наиболее существенных факторов расходной части водного баланса является испарение — транспирация. Несмотря на то что наблюдения над водопотреблением большинства орошаемых сельскохозяйственных культур ведутся опытными учреждениями уже в течение длительного времени, результаты их, однако, не могут быть непосредственно использованы для расчета,

так как во многих случаях отсутствуют необходимые данные о физико-географических условиях, в которых производились наблюдения.

Для применения метода расчета изменения водного баланса к решению задач, связанных с проектированием водохозяйственных мероприятий, прежде всего следует получить данные о водопотреблении естественной растительностью, варьирующие в широких пределах в зависимости от видов растений, густоты стояния, глубины залегания и даже минерализации грунтовых вод. При изучении водопотребления естественной растительности не всегда учитывалась возможность использования материалов исследований для расчетов по водному балансу и поэтому наблюдения либо велись над отдельными выращиваемыми в сосудах растениями, либо не содержали необходимых данных о густоте растительного покрова и грунтовых водах.

Однако некоторую ориентировку эти материалы все же дают (см. табл. 2, 3).

В следующей таблице приводятся данные о водопотреблении различных культурных растений (табл. 4).

Сходные результаты в пересчете на гектар получены также в Кура-Араксинской низменности (табл. 5).

При сопоставлении данных различных исследований по водопотреблению естественной растительностью следует иметь в виду, что определения велись различными методами, дающими в одних и тех же условиях различные результаты.

За последнее время в зарубежной, главным образом американской литературе, приводятся формулы для определения размеров испарения — транспирации различных видов культурной и естественной растительности (Blaney, 1954).

Наиболее проста формула Блейни и Криддла:

$$И = \Sigma K \cdot F \text{ дм}, \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad (2),$$

где И — испарение — транспирация за период,

К — эмпирический коэффициент,

$$F = \frac{t \cdot p}{100} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad (3),$$

где t — среднемесячная температура по Фаренгейту,

p — % дневных часов в течение данного месяца по отношению к годовой сумме, принимаемой за 100%.

Таблица 2

Годовое испарение и транспирация естественной растительности по показаниям лизиметров в западных штатах США

Районы	Тип растительности	Осадки (мм)	Год	Годовое испарение и транспирация (мм)	Исследователи
Равнина (невысокий уровень грунтовых вод)					
Сан-Бернардино (Калифорния) .	Травы	273	1928—1929	254	Блейни-Тейлор
Онтарио (Калифорния)	»	359	1927—1928	355	То же
Анайгейм (Калифорния) . . .	»	320	1927—1928	322	»
Кукамонга (Калифорния) . . .	»	344	1928—1929	343	»
То же . . .	»	437	1929—1930	381	»
Эль-[illegible]но (Калифорния) . . .	»	420	1931—1932	384	Блейни
Сан-Бернардино (Калифорния) .	Кустарник	532	1929—1930	486	Блейни-Тейлор
Маской (Калифорния) . .	»	462	1928—1929	447	То же
Клиармант (Калифорния)	»	415	1929—1930	414	»
Равнина (высокий уровень грунтовых вод)					
Санта-Анна(Калифорния)	Травы, растущие на солончаках	312	1931—1932	1082	Блейни-Юнг
То же	То же	312	1931—1932	897	То же
»	»	312	1931—1932	341	»

Продолжение табл. 2

Районы	Тип растительности	Осадки (мм)	Год	Годовое испарение и транспирация (мм)	Исследователи
Лос-Григос (Нью-Мексико) . . .	Травы, растущие на солончаках	178	1927—1928	577	Элдер
Долина Месилла (Нью-Мексико)	То же	—	1936—1937	1005	Блейни
Карлсбад (Нью-Мексико) . . .	Тростник	313	1940	1135	Блейни-Морин
То же . . .	Солончаковый кедр	313	1940	1450	То же
Саффорд (Аризона)	То же	152	1944	2190	Гейтвуд-Робинсон
То же	Амер. тополь	152	1944	72,0 1825	То же
Сан-Луис Рей (Калифорния)	То же	356	1941—1943	62,5 1585	Макел-Блейни
Викторвилл (Калифорния) .	»	229	1931—1932	1990	Блейни-Тейлор
Горные водоразделы (отсутствие грунтовых вод)					
Съерра Анча (Аризона) . . .	Травы	300	1938—1939	282	Рич
То же . . .	То же	897	1940—1941	667	»
» . . .	То же	668	1936	617	»
Сан-Димас (Калифорния)	Колючий кустарник	1142	1942—1943	518	Роу-Колман

Продолжение табл. 2

Районы	Тип растительности	Осадки (мм)	Год	Годовое испарение и транспирация (мм)	Исследователи
Сан-Димас (Калифорния)	Чумиза	1142	1942—1943	574	То же
Сев. Форк (Калифорния)	Колючий кустарник	650	1938—1939	412	»
То же	То же	1035	1938—1939	452	»

Размер коэффициента К для различных видов растительности приведен в таблице 6, а процент дневных часов в таблице 7.

Пользование формулой (2) при наличии данных о растительном покрове и температурах позволяет получить ориентировочный размер испарения — транспирации.

Следует, однако, иметь в виду, что, по данным Б. А. Келлера (1929), размеры испарения—транспирации некоторых видов естественной растительности, как, например, камыша, тростника, рогоза, тамарикса, солодки, а также некоторых видов солянок, при наличии пресных вод могут в условиях наших орошаемых районов характеризоваться значительно большими величинами, чем получаемыми по формуле (2).

Для более точного расчета водного баланса следует предварительно провести полевые исследования водопотребления и вывести соответствующие дифференцированные коэффициенты для естественной и культурной растительности при различной густоте стояния, глубине залегания грунтовых вод, метеорологической обстановке и соответствующей агротехнике. Вместе с тем необходимо иметь уточненные данные по географическому распространению растительного покрова, осадкам, залеганию грунтовых вод и другим элементам, характеризующим природные условия территории данного бассейна.

Таблица 3

Величина испарения грунтовой воды и транспирации при различной глубине залегания грунтовых вод
(по Легостаеву)

Почвы	Глубина грунтовых вод (м)	Всего испаряется воды (м³/га)			В % за год
		за год	за вегетационный период с апреля по сентябрь	за невегетационный период с октября по апрель	
Почвы залежные, сильнозасоленные, без растительного покрова	0,5	2538	2210	328	100
То же	1,0	1020	855	165	40,2
»	1,5	385	325	60	15,2
Почвы залежные, среднезасоленные, без растительного покрова	0,5	3542	3157	385	100
То же	1,0	1330	1085	245	37,5
»	1,5	495	425	70	14,0
Почвы залежные, слабозасоленные с естественным покровом	0,5	20265	18885	1380	100
То же	1,0	12942	12267	675	63,9
Почвы культурные, слабозасоленные, покров—люцерна	1,0	20450	19110	1340	100
То же	1,5	16990	16010	980	83,1
Почвы культурные, слабозасоленные, покров—хлопчатник	1,0	6155	5725	430	100
То же	1,5	3665	3265	400	59,5

Таблица 4

Сезонное потребление воды различными орошаемыми культурами, по данным полевых опытов, в некоторых западных штатах США

Районы и культура	Год	Сезон или период произрастания	Водопотребление (мм)	Исследователи
Люцерна				
Боннерс-Ферри (Айдахо)	1940—1947	5/V—25/IX	610	Марр и Криддл
Карлсбад (Нью-Мексико)	1940	18/IV—10/XI	975	Блейни
Логан (Юта)	1902—1929	7/V—11/XI	635	Питтлан и Стюарт
Сан-Фернандо (Калифорния)	1940	1/IV—3/X	950	Блейни и Стоквелл
Хлопчатник				
Бакерефильд (Калифорния)	1927—1930	1/IV—31/X	742	Бекетт и Даншоу
Форт-Стоктон (Техас)	1940	13/IV—11/XI	735	Блейни и Бладгуд
Лос-Банос (Калифорния)	1932	1/V—31/X	650	Адамс и Вейхмейер
Меза (Аризона)	1935	1/IV—31/X	785	Гаррис и Хокинс
Мелкосеменные культуры				
Боннерс-Ферри (Айдахо)	1930—1947	5/V—5/VIII	445	Марр и Криддл
Долина Сан-Луис (Колорадо)	1936	1/VI—31/VIII	357	Блейни
Скотсблафф (Небраска)	1932—1935	20/IV—25/VII	374	Боуен

Продолжение таблицы 4

Районы и культура	Год	Сезон или период произрастания	Водопотребление (мм)	Исследователи
Апельсины				
Азуза (Калифорния)	1929	1/IV—31/X	555	Блейни и Тейлор
Меза (Аризона) .	1931—1934	1/III—31/X	822	Гаррис и Киннисон
Лиственные фрукты				
Альбукерк (Нью-Мексико) . . .	1936	1/V—30/IX	496	Блейни
Венатчи (Вашингтон)	1908	15/IV—22/X	585	Фортье
Антарио (Калифорния)	1948	1/IV—30/IX	722	Блейни и Тейлор
Картофель				
Боннерс-Ферри (Айдахо)	1947	7/V—27/IV	583	Марр и Криддл
Онтарио (Орегон)	1941—1942	20/IV—31/VIII	455	Санфорд Криддл
Долина Сан-Луис (Колорадо) .	1930	1/VI—30/IX	505	Блейни
Сахарная свекла				
Логан (Юта) . .	1902—1929	15/IV—15/X	635	Питтман и Стюарт
Скотсблафф (Небраска) . . .	1932—1936	20/IV—15/X	610	Боуен
Огородные культуры				
Стоктон (Калифорния) . . .	1925—1928	1/V—30/IX	544	Стаут
То же	1925—1928	1/IV—31/X	625	"

Таблица 5

Расход воды на транспирацию разными видами растений (в пределах Кура-Араксинской низменности в 1946 г.)
(по Бейдеман)

Наименование растения	Весь расход (м³/га)	Группа растений
Петросимония	500	О
Полынь Мейера	580	О
Солянка жирная	980	О
Элуропус	1680	Т
Шведка высокая	2200	Т
Собачий зуб	2290	Т
Солерос	2380	Т
Карган	3330	Р
Лебеда	4120	Т
Галостахис	4420	Р
Верблюжья колючка	5150	Р
Елгун	7500	Р
Тростник	11940	Н
Солодка	15880	Р

О — растения, использующие влагу дождей, Т — капиллярную влагу почвы, Р — грунтовую воду, Н — поверхностные воды.

2. УЧЕТ ИЗМЕНЕНИЙ ВОДНОГО БАЛАНСА ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ОРОСИТЕЛЬНОЙ СПОСОБНОСТИ ИСТОЧНИКОВ ОРОШЕНИЯ И ПОТЕРЬ ИЗ ВОДОХРАНИЛИЩ

Определение оросительной способности источников обычно основывается на русловом или водоземельном балансе, включающем в себя приходные и расходные элементы. Приходные элементы — сток реки по опорным гидрометрическим постам (расположенным обычно при выходе рек из горного пояса) и дополнительные или возвратные воды, выклинивающиеся в русле реки и оросительных каналах, ниже опорных гидрометрических постов. Расходные элементы — водопотребление сельскохозяйственных культур на орошаемых землях и потери воды в водохранилищах и оросительных системах.

Приходная часть баланса устанавливается по непосредственным наблюдениям стока на опорных и балансовых гидрометрических постах за более или менее дли-

Таблица 6

Средние значения коэффициента К в условиях запада США

Культура	Продолжительность сезона, или периода произрастания	Коэффициент водопотребления (К)[а]
На орошаемой площади		
Люцерна	Безморозный . . .	0,80—0,85
Бобовые	3 месяца	0,60—0,70
Хлебные злаки	4 »	0,75—0,85
Хлопок	7 месяцев	0,60—0,65
Цитрусовые	7 »	0,50—0,65
Лиственные фрукты	Безморозный . . .	0,60—0,70
Лен	7—8 месяцев	0,80
Пастбища, трава	Безморозный	0,75
Картофель	3,5 месяца	0,65—0,75
Мелкосеменные культуры	3 месяца	0,75—0,85
Сорго	4—5 месяцев	0,70
Сахарная свекла	5,5 месяца	0,65—0,75
Естественная растительность[б]		
Очень густая	Безморозный . . .	1,30
Густая	»	1,20
Средняя	»	1,00
Редкая	»	0,80

[а] Низкие значения К для прибрежных районов, высокие — для областей с засушливым климатом.

[б] Достаточное количество влаги от грунтовых вод.

тельный период, предшествовавший составлению водоземельного баланса. Для установления проектных размеров приходной части производится статистическая обработка наблюдений и вводятся поправки на возможное увеличение водозабора на участках, расположенных выше опорных гидрометрических постов, а также на допол-

Таблица 7

Процент дневных часов в году (Р)

Месяц	Северная широта (в градусах)																									
	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50
Январь	7,58	7,49	7,40	7,30	7,20	7,10	6,99	6,87	6,76	6,62	6,49	6,33	6,17	5,98	7,58	7,49	7,40	7,30	7,20	7,10	6,99	6,87	6,76	6,62	6,49	6,33	6,17	5,98
Февраль . . .	7,17	7,12	7,07	7,03	6,97	6,91	6,86	6,79	6,73	6,65	6,58	6,50	6,42	6,32	7,17	7,12	7,07	7,03	6,97	6,91	6,86	6,79	6,73	6,65	6,58	6,50	6,42	6,32
Март	8,40	8,40	8,39	8,38	8,37	8,36	8,35	8,34	8,33	8,31	8,30	8,29	8,27	8,25	8,40	8,40	8,39	8,38	8,37	8,36	8,35	8,34	8,33	8,31	8,30	8,29	8,27	8,25
Апрель . . .	8,60	8,64	8,68	8,72	8,75	8,80	8,85	8,90	8,95	9,00	9,05	9,12	9,18	9,25	8,60	8,64	8,68	8,72	8,75	8,80	8,85	8,90	8,95	9,00	9,05	9,12	9,18	9,25
Май	9,30	9,38	9,46	9,53	9,63	9,72	9,81	9,92	10,02	10,14	10,26	10,39	10,53	10,69	9,30	9,38	9,46	9,53	9,63	9,72	9,81	9,92	10,02	10,14	10,26	10,39	10,53	10,69
Июнь	9,20	9,30	9,38	9,49	9,60	9,70	9,83	9,95	10,08	10,21	10,38	10,54	10,71	10,93	9,20	9,30	9,38	9,49	9,60	9,70	9,83	9,95	10,08	10,21	10,38	10,54	10,71	10,93
Июль	9,41	9,49	9,58	9,67	9,77	9,88	9,99	10,10	10,22	10,35	10,49	10,64	10,80	10,99	9,41	9,49	9,58	9,67	9,77	9,88	9,99	10,10	10,22	10,35	10,49	10,64	10,80	10,99
Август	9,05	9,10	9,16	9,22	9,28	9,33	9,40	9,47	9,54	9,62	9,70	9,79	9,89	10,00	9,05	9,10	9,16	9,22	9,28	9,33	9,40	9,47	9,54	9,62	9,70	9,79	9,89	10,00
Сентябрь . .	8,31	8,31	8,32	8,34	8,34	8,36	8,36	8,38	8,38	8,40	8,41	8,42	8,44	8,44	8,31	8,31	8,32	8,34	8,34	8,36	8,36	8,38	8,38	8,40	8,41	8,42	8,44	8,44
Октябрь . . .	8,09	8,06	8,02	7,99	7,93	7,90	7,85	7,80	7,75	7,70	7,63	7,58	7,51	7,43	8,09	8,06	8,02	7,99	7,93	7,90	7,85	7,80	7,75	7,70	7,63	7,58	7,51	7,43
Ноябрь . . .	7,43	7,36	7,27	7,19	7,11	7,02	6,92	6,82	6,72	6,62	6,49	6,36	6,22	6,07	7,43	7,36	7,27	7,19	7,11	7,02	6,92	6,82	6,72	6,62	6,49	6,36	6,22	6,07
Декабрь . . .	7,46	7,35	7,27	7,14	7,05	6,92	6,79	6,66	6,52	6,38	6,22	6,04	5,86	5,65	7,46	7,35	7,27	7,14	7,05	6,92	6,79	6,66	6,52	6,38	6,22	6,04	5,86	5,65
Год . .	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

нительное увеличение возвратных вод за счет сброса дренажных вод с вновь орошаемых земель (в размере от 10 до 30% от водопотребления).

Расходная часть определяется режимом орошения сельскохозяйственных культур, устанавливаемым в соответствии с заданной урожайностью, агротехникой, почвенными, гидрогеологическими и климатическими условиями, потерями на фильтрацию и испарение с открытой водной поверхности водохранилищ, а также потерями на фильтрацию из каналов.

Размеры потерь на фильтрацию из водохранилищ определяются в соответствии с инженерно-геологическими условиями чаши и створа плотины, а размеры потерь на испарение — как разность между испарением с открытой водной поверхности (установленным непосредственными измерениями) и осадками, выпадающими на поверхность водохранилища. Потери на фильтрацию в оросительных каналах учитываются путем введения в расчет коэффициента полезного действия оросительных систем, величина которого устанавливается в зависимости от гидрогеологических условий, проектируемых мероприятий по борьбе с потерями, оборудованности систем сооружениями, протяженности каналов и организации водораспределения (обычно в пределах 0,40—0,70).

Оросительная способность источника орошения определяется подбором при различных вариантах размещения орошаемых земель и регулирования стока в водохранилищах. В общем виде для данного варианта расчета оросительная способность является частным от деления приходной части баланса по расчетному году на удельное водопотребление с учетом потерь.

Метод водоземельного баланса нашел отражение в методических указаниях по водохозяйственному кадастру СССР, разработанных Секцией водохозяйственных проблем Академии наук СССР (Близняк, 1956).

Согласно Инструкции по составлению ирригационного кадастра СССР, одобренной Ученым советом секции, потенциальная оросительная способность водоисточника (в тыс. га) определяется по формуле:

$$\omega = \frac{VK}{M_0} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (4),$$

где V—средний многолетний объем стока, в млн. м³, M_0 средневзвешенная для данного учетного района оросительная норма, в м³/га; K — поправочный коэффициент (меньше единицы), учитывающий неполное использование стока в течение вегетационного периода.

Такая методика определения оросительной способности применяется водохозяйственными организациями начиная с XIX столетия, когда Отделом земельных улучшений Министерства земледелия и государственных имуществ начали разрабатываться проекты развития орошения в более или менее крупных масштабах.

Во второй половине XIX столетия, вскоре после того как Туркестан был присоединен к России, возник вопрос о возможности дальнейшего развития орошения на оросительных системах Средней Азии.

Уже в 1875 г. были начаты работы по строительству Кауфманского канала для орошения значительной площади Голодной степи. Однако эти работы, выполнявшиеся без предварительно разработанного технически грамотного проекта, вскоре были приостановлены. Несколько позже — в 90 годах — началось строительство оросительных систем в Мургабском оазисе, где на вновь орошаемых землях создавалось так называемое Мургабское государево имение.

Одновременно в ряде районов от отдельных предпринимателей и акционерных обществ поступали заявки на строительство ирригационных систем в целях освоения значительных площадей, главным образом под хлопчатник [1].

После Андижанского восстания в 1898 г. царское правительство было озабочено тем, чтобы переселить в Среднюю Азию колонистов из европейской части страны. В связи с этим Переселенческим управлением и Отделом земельных улучшений в ряде среднеазиатских районов были начаты изыскательские, а с 1908 г.— строительные работы по сооружению оросительных систем в Голодной степи.

---

[1] Такие заявки поступили эмиру бухарскому от некоего Рехтзамера на производство работ по орошению Зеравшанской долины и Каршинской степи. На юге современного Узбекистана Ширабадским акционерным обществом проводились подготовительные мероприятия по орошению земель в долине Сурхан-Дарьи. В 1886 г. были начаты работы по строительству Бухар-Арыка, а в 1896 г. Хива-Арыка для орошения земель в Голодной степи. Аналогичные шаги предпринимались и в других районах.

Однако из-за неудовлетворительной эксплуатации оросительных систем в большинстве районов Средней Азии в отдельные критические периоды наблюдалось острое маловодье. В связи с этим одной из главных задач исследований, проводившихся Отделом земельных улучшений, явилось изучение водного режима источников орошения и их оросительной способности.

Отсутствие гидрометрических материалов не позволило дать сколько-нибудь определенных рекомендаций в отношении проведения необходимых ирригационных мероприятий. По мере накопления данных многолетних наблюдений за стоком рек на гидрометрических постах оказалось возможным приступить к разработке водохозяйственных схем, основным элементом которых являлся водоземельный баланс. Из числа первых работ по водоземельному балансу бассейнов рек Средней Азии следует отметить: схему использования водных ресурсов бассейна р. Чу (В. А. Васильев), схему орошения приташкентского района (И. Г. Александров), схему развития орошения Ферганской долины (И. Г. Александров), схему использования земельных и водных ресурсов Зеравшанской долины (А. В. Чаплыгин) и, наконец, схему использования водных ресурсов Аму-Дарьи (Б. А. Гржгоржевский).

По представлениям того времени, водоземельный баланс по бассейнам складывался, с одной стороны, из стока рек по основным опорным постам, установленным при выходе рек из гор и русловых вод, выклинивающихся на протяжении бассейна, а с другой стороны, из водопотребления орошаемыми культурами и потерь воды в оросительной сети. В результате балансовых расчетов по многим источникам орошения было установлено, что поскольку современная орошаемая площадь превосходит оросительную способность рек в критические периоды расчетных лет ниже средней водообеспеченности, дальнейшее развитие орошения почти во всех бассейнах может производиться лишь при условии регулирования стока и значительного повышения коэффициента полезного действия ирригационных систем.

Практически сток был зарегулирован только у р. Мургаб (1903 г.), а мероприятия по переустройству оросительных систем, заключавшиеся главным образом в устройстве инженерных головных узлов, начали проводиться в Самаркандской, Ферганской и Сыр-Дарьинской областях.

Экспертные органы, рассмотревшие ряд бассейновых схем, пришли к заключению, что материалы по гидрометрии и режиму орошения далеко недостаточны для того, чтобы получить правильное суждение об элементах водоземельного баланса и оросительной способности источников орошения.

Таково было положение с разработкой схем использования водоземельных ресурсов по основным бассейнам рек Средней Азии накануне Великой Октябрьской революции.

В первые годы Советской власти (с 1917 по 1924 год) ирригационные мероприятия практически не проводились и вследствие неудовлетворительной эксплуатации, засоления и заболачивания земли выпадали из орошения (Тромбачев, 1922).

После окончания гражданской войны восстановление ранее орошавшихся площадей на большинстве ирригационных систем создало хозяйственные предпосылки для дальнейшего развития орошения. К этому времени вновь была начата разработка схем использования водных ресурсов по всем речным бассейнам Средней Азии. В результате в 20-х годах были составлены схемы использования водных ресурсов по бассейнам Сыр-Дарьи (Г. К. Ризенкампф и И. П. Попов), Аму-Дарьи (Ф. П. Моргуненков и В. В. Пославский), Чирчика—Ангрена—Келеса (Ф. П. Моргуненков), Зеравшана (Б. Д. Коржавин), Кашкадарьи (Г. Н. Виноградов), Чу (С. П. Петров), Сурхандарьи (Н. В. Вязгичев), Мургабу (Н. К. Фенин). Эти схемы были построены на значительно более достоверных исследовательских материалах, в частности, по многим районам были уточнены данные о режиме орошения сельскохозяйственных культур (Н. А. Янишевский и Г. П. Гельцер), проведены гидрометрические наблюдения и мелкомасштабные почвенные обследования (Н. А. Димо, М. А. Орлов, А. Н. Розанов и другие). Много внимания было уделено вопросам гидрогеологии (О. К. Ланге, Н. Ф. Безобразова, Г. И. Архангельский, М. М. Решеткин и др.).

Поскольку методика составления водоземельных балансов в этих схемах мало отличалась от методики, применявшейся Отделом земельных улучшений, естественно,

вновь получили подтверждение первоначальные выводы об исчерпании оросительной способности многих источников орошения при незарегулированном стоке. Для повышения коэффициента полезного действия оросительных систем считалось необходимым их коренное переустройство и регулирование стока в водохранилищах (преимущественно сезонного действия). Ввиду того, что эти мероприятия требовали значительных капиталовложений, дальнейшее развитие орошения практически пошло не столько по линии осуществления крупных ирригационных проектов, сколько по линии мелкого водохозяйственного строительства, нередко проводившегося местными органами водного хозяйства без увязки с бассейновыми, водохозяйственными схемами. Тем не менее в результате осуществления мелкого ирригационного строительства прирост орошаемых земель оказался весьма значительным. Но, вопреки предположениям, получение этого прироста без проведения работ по переустройству оросительных систем и регулированию стока существенно не сказалось на водообеспеченности орошаемых земель. Однако разработка схем несколько задержала развитие ирригационных систем и рост орошаемых площадей вплоть до 1939 г., когда по инициативе ферганских колхозников (построивших за короткий срок Большой Ферганский канал) начались массовые работы по орошению новых земель.

Одновременно с разработкой схем продолжались научно-методические исследования по определению оросительной способности источников орошения.

В начале 30-х годов Среднеазиатский научно-исследовательский институт ирригации (САНИИРИ) под руководством Н. А. Янишевского (1933) выполнил работу по определению оросительной способности рек Средней Азии, узаконив метод водохозяйственных расчетов, по существу также мало отличавшийся от метода, применявшегося при составлении схем Отделом земельных улучшений и разработке бассейновых схем проектными организациями Средазводхоза в 20-х годах.

Как уже указывалось, сущность этого метода сводилась к учету наличных водных ресурсов, определяемых стоком рек по опорным гидрометрическим постам, установленным по выходе рек из горной области, и русловых возвратных вод (выклинивающихся в пределах орошаемых районов), учитываемых по данным балансовой гидрометрии. Кроме того, в водохозяйственных расчетах учитывался приток внутрисистемных карасу по данным эпизодических замеров, а при их отсутствии—по фактически орошавшейся из этих источников площади. Расходная часть баланса слагалась из потребления воды сельскохозяйственными культурами (гидромодуль) и потерь воды в ирригационных системах, определяемых ориентировочно по среднему коэффициенту полезного действия систем.

Сток дополнительных вод на будущее время устанавливался исходя из фактических наблюдений с введением соответствующих поправок на уменьшение стока в результате проведения мероприятий по упорядочению водопользования и переустройству ирригационных систем. Размер стока рек в горной области в перспективе также корректировался за счет возможного развития орошения в горных районах выше опорных гидрометрических постов.

Результаты расчетов в основном совпали с прежними выводами о том, что лимитирующим фактором является ограниченность водных ресурсов и что земельные ресурсы Средней Азии значительно превышают оросительную способность источников орошения.

После того как правительство приняло ряд постановлений о дальнейшем широком развитии орошения в ряде районов Средней Азии (в 1939—1940 гг.), Средазгипроводхлопку было поручено вновь составить схемы использования водных ресурсов по некоторым речным бассейнам, в частности по бассейну Сыр-Дарьи (Средазгипроводхлопок 1940). В связи с тем, что методика, принятая в этой схеме, мало отличалась от применявшейся ранее, результаты расчетов, естественно, оказались идентичными, причем оросительная способность бассейна Сыр-Дарьи при условии полного многолетнего регулирования стока реки определилась в размере 3,2 млн. га. На основании водохозяйственных расчетов авторы схемы пришли к выводу о необходимости безотлагательного проведения мероприятий по регулированию стока и горизонтов реки. В частности, было выдвинуто предложение о строительстве в первую очередь крупного водохранилища на Сыр-Дарье в створе Кайракума и двух водоподъемных плотин — Фархадской и Кзыл-Ординской. Строительство Кзыл-Ординской плотины было начато в 1940 г.,

Фархадской (для удовлетворения запросов энергетики) — в 1942 г., а к строительству Кайракумского водохранилища приступили в 1951 г.[1].

Схема использования водных ресурсов бассейна Сыр-Дарьи была представлена экспертной комиссии Госплана СССР в 1941 г., однако в связи с войной окончательного решения по этой схеме не было принято.

После окончания войны Средазгипроводхлопок вновь начал разрабатывать схемы использования водных ресурсов по основным бассейнам рек Средней Азии: Аму-Дарьинскому, Сыр-Дарьинскому, бассейнам рр. Чу, Зеравшан и Кашкадарьи (см. схемы 1951, 1952, 1953, 1954 гг.). Методика составления этих схем оставалась прежней, в соответствии с чем и результаты водохозяйственных расчетов оказались близкими к полученным ранее.

Одновременно с проектными организациями схемы использования водных ресурсов разрабатывали и научно-исследовательские учреждения. Особо следует отметить работы Совета по изучению производительных сил (СОПС АН СССР, 1954), в которых анализируется оросительная способность источников орошения Средней Азии. Несмотря на то что методика балансовых расчетов, принятая СОПСом, во многом сходна с методикой, принятой проектными организациями, результаты этих расчетов тем не менее оказались различными. Главную причину расхождения следует искать в том, что в расчетах СОПСа приняты во внимание возможности использования подземных вод путем широкого развития артезианских скважин, резкого сокращения потерь воды на фильтрацию путем применения специальных мероприятий, сокращения размера водопотребления на основе более совершенной техники полива.

При определении оросительной способности рек европейской части Союза и Закавказья проектные организации также пришли к заключению, что забор воды на орошение соответственно уменьшает сток.

Переходя к зарубежным методам водобалансовых расчетов, отметим, что для них характерно такое же определение оросительной способности источников орошения, что и описанное выше. Так, например, в докладе Бернса (Barnes, 1952), представленном Комиссии президента по водным ресурсам (США), сообщается о том, что в результате забора воды на орошение и снабжение промышленности в США к 1975 г. будет наблюдаться острый дефицит водных ресурсов, для покрытия которого потребуется проведение крупных работ по регулированию стока, использованию подземных и очистке промышленных вод.

По официальным данным, расширение орошаемой площади Индии лимитируется водными ресурсами, причем в результате забора воды на орошение к 1975 г. оросительная способность многих источников будет полностью исчерпана (Grindrod, 1954).

При разработке схемы использования водных ресурсов Нила получены данные, указывающие на то, что в ближайшем будущем водные ресурсы реки могут быть исчерпаны и что дальнейшее развитие орошения в этой долине будет лимитироваться вековым регулированием стока в озерах Центральной Африки (Херст, 1954).

По долинам рек Тигр и Евфрат (Мусли, 1955) также имеются данные, свидетельствующие о том, что развитие орошения в этих районах лимитируется стоком рек, в то время как обширные земельные ресурсы позволяют развивать здесь орошение в более широких масштабах.

При разработке схемы использования водных ресурсов бассейна Хуанхе установлено, что оросительная способность реки составляет 100 млн. му и что дальнейшее развитие орошения в этом бассейне лимитируется водными ресурсами. Из этого делается вывод, что для полного освоения богатых земельных ресурсов бассейна Хуанхе в дальнейшем, после осуществления программы полного регулирования и использования местных водных ресурсов, окажется необходимым проводить мероприятия по подаче воды в бассейн Хуанхе из других источников, главным образом из р. Янцзы, которая имеет громадный сток и протекает в более влажных районах страны со сравнительно ограниченной потребностью воды на орошение (Ден Дзи-хуэй, 1955).

Аналогичные подсчеты сделаны в ряде других стран. Так, например, в Мексике, по данным Министерства водных ресурсов (Benassini, 1953), сток рек составляет 133 млрд. м^3, а оросительная способность поверхностных

[1] В настоящее время Фархадская плотина и Кайракумское водохранилище уже эксплуатируются, а строительство Кзыл-Ординской плотины заканчивается.

вод — 6,9 млн. га, подземных — 1,9 млн. га. Общая площадь засушливых и полузасушливых земель составляет 160 млн. га. В настоящее время орошается около 2 млн. га. Таким образом, несмотря на значительные резервы, общая площадь земель возможного орошения занимает лишь ничтожную часть территории засушливых и полузасушливых районов. Подобные данные приводятся по Австралии (East, 1953), Израилю (Ram, 1953) и ряду других стран.

В статье Паули (Pawley, 1954) дается обзор орошаемых площадей по всем районам земного шара и отмечается, что в большинстве засушливых и полузасушливых (аридных и семиаридных) районов развитие орошения лимитируется водными ресурсами и что площади возможного орошения в них по существу не ограничены.

Таким образом, применяемый за рубежом метод водохозяйственных расчетов исходит из того, что забор воды на орошение соответственно уменьшает сток. За последние годы уточнялись преимущественно методы учета отдельных, главным образом расходных, элементов водоземельного баланса и совершенно не затрагивалось построение баланса в целом.

Следует, однако, подчеркнуть, что основанное на описанных выше расчетах перспективное планирование поливных площадей и водохозяйственных мероприятий, необходимых для улучшения водообеспеченности и расширения орошаемых земель, страдает существенными недостатками. Наблюдения за стоком рек после проведения водохозяйственных мероприятий в большинстве случаев не подтверждают прогноза изменения водного баланса, устанавливаемого расчетами.

Так, например, в 1940 г. было сделано заключение, что намеченное на ближайшие годы в бассейне р. Сыр-Дарьи развитие орошения приведет к резкому снижению водообеспеченности орошаемых площадей и к дефициту воды в июле — августе в размере 60—75% (Дунин-Барковский, 1946). Однако анализ многолетних наблюдений стока р. Сыр-Дарьи, в бассейне которой за последние 15—20 лет произошло весьма значительное относительное увеличение орошаемых площадей, показал, что в связи с увеличением водозабора сток реки не только не уменьшился, но даже в отдельные маловодные годы существенно увеличился (табл. 8).

Таблица 8

Годы	Наименование гидропостов											
	Уч-Курган-Кампыр-Рават		Беговат				Чарлара					
	среднегодовой расход ($м^3$/сек)	годовой сток ($км^3$)	среднегодовой расход ($м^3$/сек)	забор воды на орошение ($м^3$/сек)	годовой сток ($км^3$)	разность стока ($км^3$)	среднегодовой расход ($м^3$/сек)	среднегодовой забор воды на орошение ($м^3$/сек)	годовой сток ($км^3$)	разность стока ($км^3$)		
1938	397	12,6	376	100	11,9	—0,7	455	152	14,4	+2,5		
1939	397	12,6	378	105	11,9	—0,7	476	158	15,1	+3,2		
1940	400	12,7	386	165	12,2	—0,5	486	227	15,4	+3,2		
1944	425	13,5	423	216	13,6	+0,1	539	277	17,1	+3,5		
1947	362	11,5	443	194	12,5	+1,0	535	253	16,9	+4,4		
Среднемноголетний (1926—1956)	512	16,2	580	—	18,4	+2,2	697	—	22,0	+3,6		

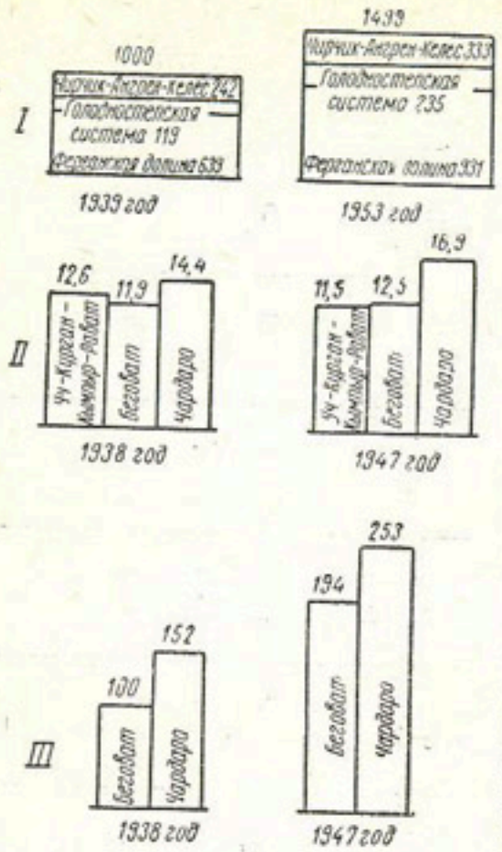


Рис. 15. Изменение орошаемых площадей и стока в бассейне р. Сыр-Дарьи

I—орошаемые площади (тыс. га)
II—сток (кб. км))
III—забор воды на орошение (м3/сек.)

Особенно резко увеличился водозабор из Сыр-Дарьи в связи с увеличением орошаемых площадей начиная с 1940 г., когда были построены Большой, Северный и Южный Ферганские каналы и расширен канал имени Ахунбабаева в Ферганской долине; расширен канал имени Кирова в Голодной степи и построены Ташкентский и Северный Ташкентский каналы в долинах Чирчика и Ангрена. В течение этого же периода были сооружены Сарысуйские коллекторы в Центральной Фергане и коллекторы в междуречье Чирчика и Ангрена, которые осушили значительные площади заболоченных земель.

В результате постройки и реконструкции указанных каналов орошаемая площадь в бассейне изменилась следующим образом (табл. 9).

Увеличение орошаемой площади в бассейне Сыр-Дарьи к 1953 г. почти достигло уровня, предусмотренного схемой использования водных ресурсов, разработанной Средазгипроводхлопком в 1940 г. Поэтому представляет значительный интерес сравнение фактического изменения стока реки с данными схемы (табл. 10).

Данные таблицы показывают, что расхождение между расчетными и фактическими величинами стока р. Сыр-Дарьи в створе Чардары достигает 52%, что далеко выходит за пределы допустимой точности расчетов.

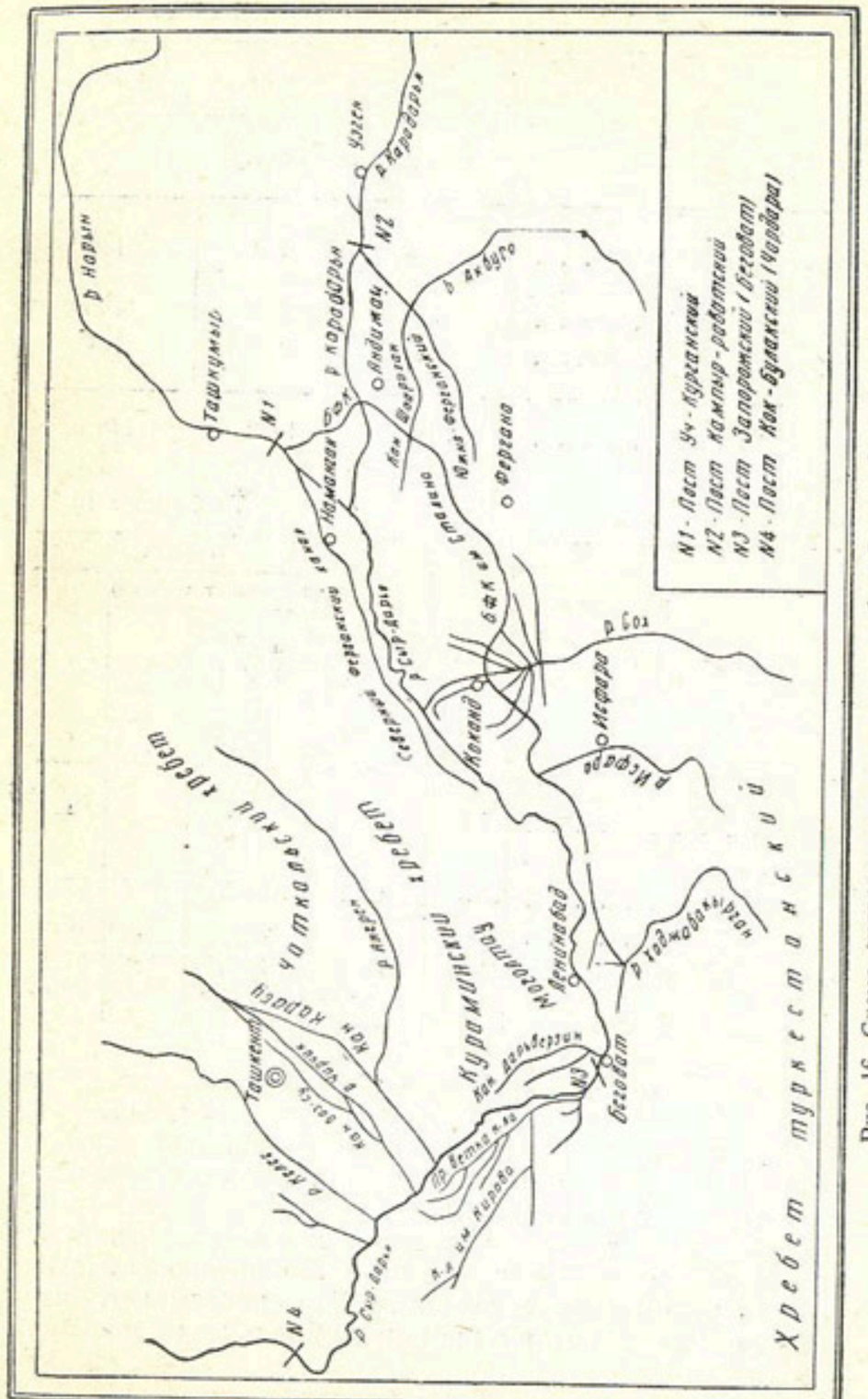


Рис. 16. Схема гидрометрических постов в бассейне р. Сыр-Дарьи

Таблица 9

	Орошаемая площадь (тыс. га)		
	1939 г.	1953 г.	%
Ферганская долина . . .	639	931	146
Голодная и Дальверзинская степи	119	235	198
Чирчик, Ангрен, Келес .	242	333	138
Всего	1000	1489	148,9

Таблица 10

Материалы	Год	Орошаемая площадь (тыс. га)	Показатели: годовой сток ($м^3$/сек)		%
			Учкурган + Кампырравпат + Чирчик + Ангрен	Чардара	
Схема	1938	—	—	—	—
Расчет. обесп.					
» 75%	—	1561	21,5	12,45	57,6
» 50%	—	—	26,2	19,64	75,0
Фактические данные . . .	1947	1489	19,35	17,0	87,8
	1953	—	30,36	27,9	89,3

Еще более резкое расхождение наблюдается по стоку за критический период маловодных лет (табл. 11).

Из таблицы 11 видно, что, несмотря на значительное увеличение забора на орошение, фактические расходы в августе 1947 г. по гидропостам, расположенным ниже водозабора, не только не уменьшились по сравнению с наблюденными в 1938 г., но, вопреки предположениям схемы, даже несколько возросли. Это показывает, что расчетный расход реки в критический период маловодного года при составлении схемы определен с ошибкой почти в двенадцать раз.

Таблица 11

	Август (декады)			В среднем за месяц
	I	II	III	
Расходы воды по верховым постам ($м^3$/сек):				
по схеме в 1938 г. . .	709	747,5	605,2	687,6
фактически в 1947 г. .	869,2	763,7	681,8	771,6
%	120,3	102,0	112,0	112,0
Расход в створе Чардары ($м^3$/сек):				
по схеме в 1938 г. . .	—44,9	+92,6	+68,6	+29
Фактически в 1947 г. . . .	382	340	275	330
%	—	367	404	1139
Водозабор по схеме ($м^3$/сек):	548,4	474,2	411	478,5
Фактически	—	—	—	548,5
%	—	—	—	115

Следует подчеркнуть, что поскольку увеличение орошаемой площади на 49% (как это видно из таблицы 9) сопровождалось одновременным увеличением удельного водопотребления на 14% нет оснований считать, что неизменность стока явилась следствием улучшения водопользования и изменения состава культур.

Значительные расхождения выявились также по бассейнам Зеравшана и Ангрена, где в результате вытеснения посевов риса произошло резкое сокращение стока возвратных вод. По долине р. Зеравшан в связи с перераспределением орошаемых площадей между верхней (Самарканд) и нижней (Бухара) частями долины и вытеснением посевов риса сокращение размера возвратных

вод составило 15—20% от стока с горной области (5 км³). Так, по наблюдениям балансовой гидрометрии в 1915—1916 гг., количество «добавочных вод» составляло 1600 млн. м³, в период 1927—1939 гг. оно сократилось до 1200 млн. м³, а к 1950—1953 гг. уменьшилось до 800 млн. м³, т. е. в два раза (Чаплыгин, 1925).

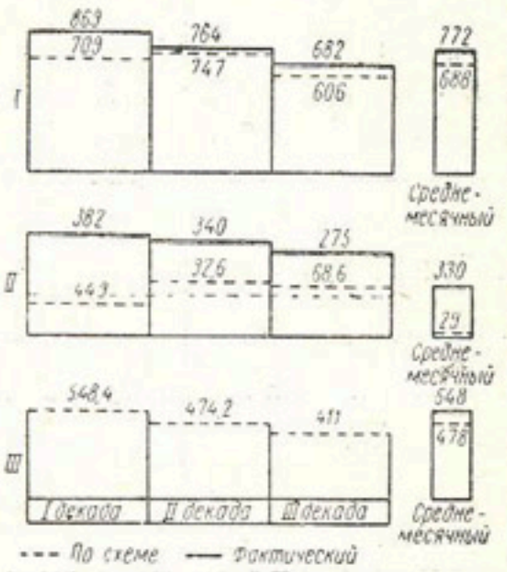


Рис. 17. Расчетные и фактические расходы р. Сыр-Дарьи

I—расход воды по верховым постам (м3/сек).
II—расход воды в створе Чардары (м3/сек.)
III—водозабор (м3/сек.)

Не менее существенное изменение стока дополнительных вод произошло в бассейне одного из притоков р. Сыр-Дарьи — р. Ангрен, где в дореволюционное время орошалось не менее 20 тыс. га рисовых посевов и около 50 тыс. га суходольных культур (Александров, 1924). По приблизительным подсчетам, для орошения такого количества земель необходимо было иметь расход во второй половине вегетационного периода не менее 40—50 м³/сек. Наблюдения за стоком р. Ангрен с горной области показывают, что к концу вегетационного периода водоносность реки не превышает 10—20 м³/сек. Поэтому

следует считать, что расход дополнительных вод в бассейне р. Ангрен составлял не менее 20—40 м³/сек.

В настоящее время для улучшения водообеспеченности в долину р. Ангрен из соседнего бассейна р. Чирчик перебрасывается во второй половине вегетационного периода около 20 м³/сек по каналу имени Моргуненкова и около 25 м³/сек по Ташкентскому каналу. При этом вся орошаемая площадь в долине Ангрена составляет около 70 тыс. га (в том числе риса 2,5—3 тыс. га), количество дополнительных вод сократилось до 6—8 м³/сек.

Таким образом, приведенные данные показывают, что изменение стока источников орошения в результате изменения условий водозабора коренным образом отличаются от изменений, которые следовало бы ожидать на основании водоземельных балансов, разработанных по общепринятой методике.

Причину столь резкого расхождения между расчетными величинами и фактическим положением, по-видимому, следует искать в том, что при существующей методике построения водоземельного баланса не учитываются изменения, происходящие в водном балансе территории под влиянием орошения. В частности, утверждается, что забор воды на орошение соответственно уменьшает сток независимо от конкретных физико-географических условий речного бассейна. В действительности же в зависимости от природных условий увеличение орошаемых площадей и забора воды на орошение далеко не всегда уменьшает сток. пропорционально увеличению водозабора, а в определенных условиях может даже и увеличивать сток.

Забор воды на орошение в бассейнах притоков р. Колумбия в большинстве случаев лишь незначительно отражался на изменении стока этих притоков (менее 1%) и лишь в горной части бассейна р. Снейк сток уменьшился на 53% (Blaney, 1954), что, по-видимому, объясняется следующими основными причинами: 1) вода, теряющаяся на фильтрацию в оросительных каналах, а также просочившаяся ниже корнеобитаемого слоя часть воды, в определенных физико-географических условиях может возвращаться в источник орошения; 2) часть воды, расходовавшаяся до орошения на испарение с поверхности почвы и транспирацию естественного растительного покрова, в условиях орошаемого земледелия может ока-

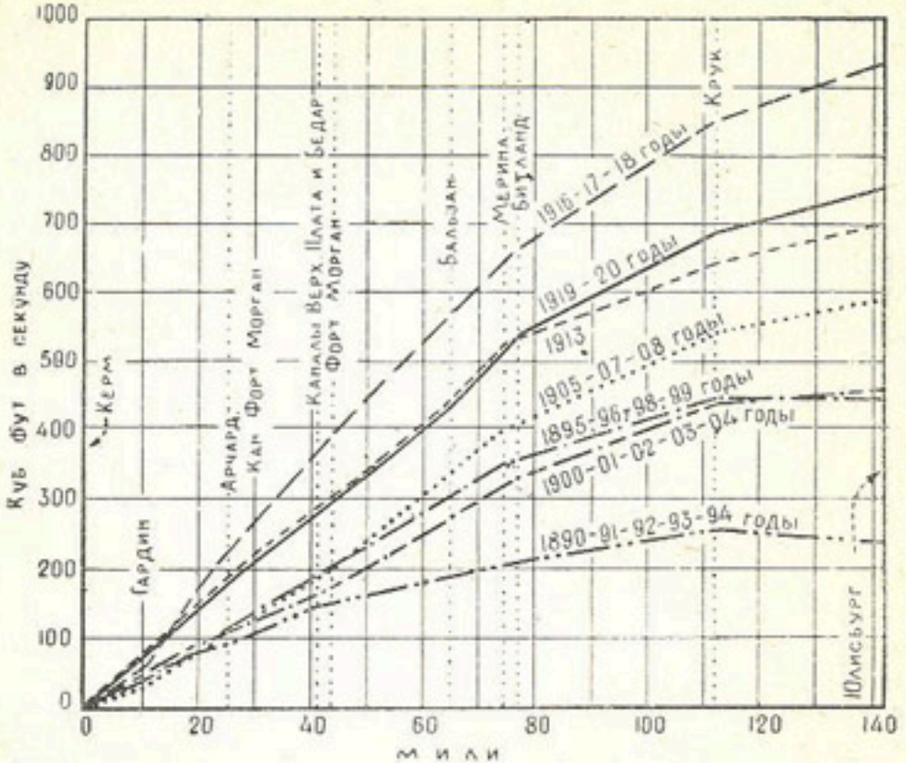


Рис. 18. Выклинивание возвратных вод на р. Ю. Плата (США)

заться неиспользованной и стекать в реки; 3) в результате увеличения испарения — транспирации на орошаемых землях по сравнению с неорошаемыми происходит увеличение конденсации влаги на окружающих горных массивах и соответствующее увеличение осадков.

Рассмотрим возможное влияние каждой из указанных причин на изменение стока.

Вода, потерявшаяся в оросительной сети, так же как и избыточная вода, поданная на поля и просачивающаяся ниже корнеобитаемой зоны, в замкнутых речных бассейнах (не имеющих подземного стока за их пределы) может полностью возвращаться в реку.

По данным многолетних наблюдений за возвратными водами на западе США в первые годы орошения, воды, просочившиеся из каналов и полей орошения под почву, поднимали уровень грунтовых вод. Через несколько лет этот уровень становился настолько высоким, что

начиналось выклинивание возвратных вод в дренирующие естественные русла (Houk, 1954).

Последующий подъем уровня грунтовых вод увеличивал сток возвратных вод и образовывал заболоченные участки, где большое количество воды уходило на испарение — транспирацию непродуктивными растениями.

После сооружения дренажных систем процесс заболачивания прекращался, сток возвратных вод увеличивался и наступало стабильное положение, при котором размер стока возвратных вод составлял от 35 до 75% забора воды на орошение.

Возвратные воды обнаруживались на некоторых системах на второй или третий год после начала орошения. На крупных новых системах в пустынных районах стабилизация стока возвратных вод может произойти через 20—30 лет после начала орошения.

В течение вегетационного периода сток возвратных вод на системах без посевов риса составляет от 50 до 65% годового, а на тех системах, где главной культурой является рис, они почти полностью выклиниваются за тот же период.

Потери на фильтрацию в ирригационных каналах в соответствии с принимаемыми при разработке водоземельных балансов коэффициентами полезного действия изменяются в пределах 30—60%.

Сток возвратных вод может превышать эти величины на ту часть поливной нормы, которая не используется на испарение — транспирацию и просачивается ниже корневой зоны. Для большинства сельскохозяйственных культур (кроме риса) при отсутствии засоления оросительные нормы устанавливаются равными водопотреблению (испарению — транспирации).

На пополнение возвратных вод, таким образом, могут идти промывные поливы на засоленных землях и значительная часть оросительной нормы риса, обеспечивающая проточность. Общий же сток возвратных вод не может превышать размера водозабора и даже не может быть равен ему.

Поскольку нередко в результате увеличения орошаемых площадей и забора воды на орошение сток рек не только не уменьшается, но даже увеличивается, на водный баланс должны влиять и другие причины, не находящиеся в такой тесной зависимости от размера водоза-

бора, как потери в ирригационных каналах и избыточные оросительные нормы.

Такими причинами может являться неиспользуемая влага, расходовавшаяся до орошения на испарение и транспирацию естественной растительности, и увеличение осадков в результате конденсации влаги, испаряющейся с вновь орошаемых полей.

Предположение, что в результате развития орошения в предгорных районах Средней Азии сток рек в Аральское море будет увеличиваться, было высказано Л. А. Молчановым (1933). При этом он исходил из того, что основные массы влаги приносятся в горные районы Средней Азии воздушными течениями с Атлантического и Индийского океанов, а влага, испаряющаяся с поверхности Аральского моря, уносится в Западную Сибирь. В случае увеличения расхода воды на орошение земель в предгорных районах Средней Азии (в результате их освоения) часть воды, ранее безвозвратно уходившая в Западную Сибирь, будет оставаться на месте и таким образом непрерывно пополнять запасы влаги в Средней Азии.

Несмотря на некоторую вероятность этого предположения, фактические наблюдения за стоком рек с горной области не дают основания для его подтверждения, ибо средний многолетний сток Нарына и Карадарьи (так же как и сток других рек Ферганской долины), несмотря на увеличение орошаемой площади за последние 15—20 лет почти в два раза, увеличился всего лишь на 8—10%.

Таким образом, второй причиной, обусловившей восстановление стока р. Сыр-Дарьи после забора воды на орошение, должно являться сокращение водопотребления непродуктивными растениями. В самом деле, в результате постройки Сарысуйских коллекторов в центральной части Ферганской долины были осушены болота и резко сократилась площадь, покрытая зарослями тростника, камыша и других влаголюбивых растений с глубокой корневой системой (phreatophytes) [1].

Если учесть, что поливные посевы, занявшие место зарослей, расходуют на испарение — транспирацию в среднем в 2—3 раза меньше, чем влаголюбивые непродуктивные растения, то сокращение водопотребления на площади 292 тыс. га, освобожденной от этих растений, составит весьма внушительную величину — 1,8—3,5 км³ в год.

[1] По данным геоботанической карты 1949—1950 гг., площадь занятая указанными видами растительности, в настоящее время составляет 189 тыс. га.

По данным В. Л. Шульца (1954), в настоящее время в Ферганской долине непродуктивное испарение составляет в среднем в год 259 м³/сек, т. е. в 1,8 раза превышает потребление воды орошаемыми землями. Эти данные



Рис. 19. Изменение годового стока и транспирация

I—сток (кб. км)
II—транспирация (тыс. м3/сек.)

позволяют считать, что увеличение орошаемых площадей в верхнем течении Сыр-Дарьи не будет отражаться на стоке реки [1].

[1] Аналогичные выводы в отношении влияния развития орошения на сток р. Сыр-Дарьи получены Государственным гидрологическим институтом (ГГИ, 1954).

Уменьшение стока возвратных вод в долинах Зеравшана и Ангрена, возможно, произошло также в результате того, что земли, освобожденные от посевов риса, были заброшены и покрылись зарослями влаголюбивых диких растений или были заняты посевами таких культур, как хлопчатник и люцерна.

Приведенные данные об изменении стока рек под влиянием забора воды на орошение показывают, что принятая методика определения оросительной способности источников орошения, основанная на водоземельном балансе, по-видимому, нуждается в существенном пересмотре. В основу правильной методики должны быть положены расчеты, учитывающие изменение водного баланса территории в результате орошения.

Учет изменения водного баланса имеет также большое значение для определения потерь из водохранилищ — одного из важнейших элементов проектирования водохозяйственных мероприятий в пустынных и полупустынных районах. Во многих случаях выбор варианта регулирования и его эффективность зависят от размера потерь на испарение в водохранилищах.

За последнее время методике определения потерь из водохранилищ уделяется большое внимание. В связи с энергетическим регулированием разработаны методы уточненного определения различных видов потерь, включая потери на льдообразование (Ляпичев, 1955).

Натурными наблюдениями установлено, что действительные размеры потерь на испарение ниже вычисленных по приборам-испарителям. Ввиду того, что главной причиной расхождений считается искажение показаний примитивных приборов, какими являются испарители, в последнее время проводятся большие работы по усовершенствованию приборов для определения размеров испарения с водной поверхности.

В последние годы вошли в употребление приборы, основанные на радиационном и тепловом балансе (Blomgren, 1955) [1]. Эти приборы, более надежные в работе, чем испарители, дали сниженную величину потерь на 25—30%. Однако расхождения между расчетными и фактическими потерями на испарение часто значительно превышают эту величину. При этом в некоторых случаях оказывается, что потери на испарение вообще как бы исчезают и вместо потерь отмечается увеличение стока из водохранилищ по сравнению со стоком входных створов.

[1] Имеются даже сведения о том, что для определения размеров испарения с водной поверхности применяются приборы, основанные на радиолокации.

Такое положение, в частности, наблюдается в пустынных районах, где, казалось бы, размеры испарения с поверхности водохранилищ должны быть наибольшими. Так, например, многолетние наблюдения за притоком и оттоком из Кассансайского водохранилища (Ферганская долина) показывают, что сток реки ниже водохранилища через несколько лет после его создания стал превышать сток, поступающий в водохранилище, на 20—50 млн. м³, т. е. на 20—50% емкости.

Аналогичное положение имеет место в Ташкепринском водохранилище на р. Мургаб (юго-восточные Кара-Кумы), где фактические потери оказались в несколько раз меньше расчетных.

Подобная картина наблюдалась в первые годы наполнения Тудакульской впадины избыточными водами Зеравшана (окраина Бухарского оазиса), где фактические потери составили 500 мм в год, в то время как расчетная величина составляла 1200—1600 мм.

В озерах-водоприемниках системы коллекторов Хорезмского оазиса фактические потери на испарение также едва достигают половины расчетных, вследствие чего они не выполняют своих функций и не обеспечивают приема воды из коллекторов.

Эти явления обусловливаются изменением водного баланса территории. До использования того или иного участка речной долины в качестве ложа водохранилища водный баланс складывался из соответствующих приходных и расходных элементов, в числе которых весьма важную роль играло испарение — транспирация с пойменных земель и низких речных террас. После образования водохранилища этот расходный элемент водного баланса полностью исключается.

Во многих случаях размер транспирации растительного покрова на пойменных и низких террасах речных долин достигает 2—3 м в год, т. е. значительно превышает испарение с открытой водной поверхности в наиболее жарких пустынных районах (1,4 — 1,8 м). Ввиду того,

что большую часть поверхности участка речной долины, используемого в качестве водохранилища, занимают поймы и низкие террасы с густыми зарослями влаголюбивой растительности (туги), потери на испарение с поверхности водохранилища могут оказаться меньше испарения — транспирации с пойменных и низких речных террас. Такое явление, по-видимому, и наблюдается в ряде случаев, упомянутых выше. Однако учет изменений водного баланса в связи с расчетом потерь на испарение из водохранилищ далеко не всегда «идет в запас».

После заиления водохранилищ и сокращения их зеркала потери на испарение иногда не только остаются такими же, какими они были при полном эффективном использовании водохранилища, но нередко даже увеличиваются. Это происходит за счет увеличения расхода влаги с зарастающей части заиленного водохранилища по сравнению со свободной водной поверхностью, например на низовых водохранилищах Мургабского оазиса, где они фактически перестали существовать как регулирующие емкости, но продолжают терять значительные количества воды на транспирацию густой естественной растительности [1].

3. УЧЕТ ИЗМЕНЕНИЙ ВОДНОГО БАЛАНСА ДЛЯ ПРОГНОЗА МЕЛИОРАТИВНЫХ УСЛОВИЙ И УСТАНОВЛЕНИЯ ЗАПАСОВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

В связи с тем, что равновесие приходной и расходной частей водного баланса поддерживается за счет аккумулирования воды в почво-грунте, изменение запаса воды в нем может быть с успехом определено на основании анализа изменений водного баланса.

Особенно большое значение имеет учет нарушений водного баланса для прогноза изменения мелиоративных условий орошаемой территории. Общеизвестно, что по

[1] В практике США наблюдались случаи, когда уничтожение естественной растительности в пойме рек и мелководье водохранилищ существенно увеличивало водные ресурсы. Такие меры были приняты по р. Джайле у гор. Феникс штат Аризона, в районе водохранилища Элефант Бьютт, на р. Рио-Гранде и в районе водохранилища Мак-миллан на р. Пекос (Fletcher, Elnehdorf, 1955 г.).

истечении нескольких лет после проведения оросительных мероприятий на значительных площадях уровень грунтовых вод повышается.

В некоторых районах, при неглубоком залегании грунтовых вод, подъем уровня происходит с катастрофической быстротой, и в течение одного-двух лет земли заболачиваются, засоляются и выбывают из орошения (например, на Шурузяукском массиве Голодной степи в 1915—1916 гг.). При глубоком залегании грунтовых вод этот процесс длится в течение более продолжительного периода (после нескольких лет орошения) [1].

Обычно причиной этих явлений считаются неурегулированное водопользование и потери воды на фильтрацию в оросительных каналах. Однако существуют и другие факторы, также играющие существенную роль в ухудшении мелиоративного состояния орошаемых земель. В самом деле, оросительные нормы «брутто», включающие водопотребление сельскохозяйственных культур, потери воды в оросительной сети, просачивание избыточно поданной на поля воды и поверхностный сток, для вновь орошаемых земель измеряются обычно величиной порядка 12—15 тыс. м³/га.

Учитывая, что полевая влагоемкость метрового слоя большинства целинных земель в пустынных районах составляет 2,5—3,6 тыс. м³, а водопотребление хлопчатника 6—8 тыс. м³/га (включая транспирацию и испарение с поверхности почвы), размер возможного пополнения уровня грунтовых вод за счет подачи оросительной воды составит 3—4 тыс. м³/га орошаемой площади. Если же учесть, что коэффициент земельного использования орошаемых земель, особенно в первые годы освоения, редко превышает 0,5, то осредненное количество воды, которое может пойти на пополнение уровня грунтовых вод, вряд ли превысит 1,7 тыс. м³/га, или 170 мм.

Имея в виду, что активная порозность лессовидных суглинков в зоне капиллярного поднятия составляет 15—20%, возможный подъем уровня грунтовых вод будет равен 0,85—1 м. Эта величина в полтора-два раза мень-

[1] Хорошо известен подъема уровня грунтовых вод в северо-западной части Голодной степи (Пахта-Арал), где до орошения грунтовые воды стояли на глубине до 20 м и поднялись в течение 5—6 лет до 3—4 м от поверхности.

ше фактически наблюденной скорости повышения уровня грунтовых вод.

Следовательно, помимо неурегулированного водопользования и потерь на фильтрацию, в оросительной сети должны существовать еще и другие факторы, обусловливающие повышение уровня грунтовых вод при орошении. Одним из таких факторов, по-видимому, является изменение условий испарения — транспирации. Так, подсчет водного баланса, проведенный Узгипроводхозом, показывает, что на испарение — транспирацию влаголюбивой естественной растительности в пойме р. Сыр-Дарьи, занимающей всего 15—20% общей площади узбекской части Голодной степи, расходуется значительное количество воды, по объему эквивалентное средней оросительной норме 2000 м³ для всей территории [1].

В связи с уничтожением естественной растительности при освоении орошаемых земель резко нарушается водный баланс, так как исключается один из существенных расходных элементов. Поэтому независимо от поступления избыточных вод за счет неурегулированного водопользования и фильтрации из каналов уровень грунтовых вод может подниматься.

Размер водопотребления естественной растительностью — многими пустынными видами, такими как тамарикс, верблюжья колючка, некоторыми видами полыни — составляет от 5 до 9 тыс. м³/га и почти равен водопотреблению таких сельскохозяйственных культур, как хлопчатник (6—7 тыс. м³/га)[2]. Поэтому скорость подъема уровня грунтовых вод только за счет исключения из водного баланса испарения — транспирации в результате уничтожения естественного растительного покрова может достигать 4—7 м в год.

Это обстоятельство имеет чрезвычайно большое значение для прогноза изменения мелиоративных условий орошаемой территории и проектирования мелиоративных мероприятий. В самом деле, если подъем уровня грунтовых вод на орошаемых землях может происходить независимо от избыточных оросительных норм и фильтрации воды из каналов, то одних мероприятий по упорядочению водопользования и устранению фильтрации из каналов в ряде случаев недостаточно для предотвращения заболачивания и засоления орошаемых земель. Поэтому противопоставлять мероприятия профилактического характера (упорядочение водопользования, борьба с потерями из каналов и проч.) мероприятиям по борьбе с последствиями подъема уровня грунтовых вод (дренаж), как это делают некоторые авторы (Шаумян, 1946), нельзя. Правильный прогноз изменения мелиоративных условий может быть сделан только на основе учета изменений водного баланса, и только на его основе может быть решен вопрос о роли профилактических мероприятий и дренажа.

Анализ изменений водного баланса может быть использован также для определения динамических запасов подземных вод, используемых на орошение за последние годы во все более увеличивающихся размерах.

В связи с этим при проектировании ирригационных систем все чаще встречается необходимость установления запасов подземных вод, которые могут быть использованы на орошение без ущерба для существующего водного хозяйства данной территории.

Поскольку решение этой задачи на основе непосредственного изучения подземного потока требует весьма трудоемких и дорогостоящих геологических и гидрогеологических исследований (проведение длительных наблюдений за режимом грунтовых вод), естественно, исключается возможность получения надежных результатов для проектирования мероприятий по использованию подземных вод на орошение в практически приемлемые сроки [1].

В тех случаях, когда усиленная откачка подземных вод приводит к истощению запасов, принимаются меры к их искусственному пополнению. Такой прием, по-видимому, является правильным, ибо он позволяет сократить

---

[1] Наблюдения в некоторых пустынных районах США (Fletcher, Elhendorf, 1955) показывают, что в зависимости от суточного изменения водопотребления естественной растительностью с хорошо развитой корневой системой (phreatophytes) колебания уровня грунтовых вод могут достигать 0,5—1,5 м.

[2] Высокие размеры водопотребления пустынной растительности (ксерофитами) по сравнению с растениями, растущими в условиях умеренной влажности (мезофитами), отмечал Н. А. Максимов (1944).

[1] В зарубежных странах (США, Индия, Алжир) зачастую не проводят всего объема исследований, необходимого для уточнения запаса подземных вод, и устанавливают рациональный масштаб их использования лишь на основании эксплуатационных данных.

сроки исследований, а иногда и значительно усилить темп развития орошения за счет подземных вод. Однако нередко это приводит к тяжелым последствиям—истощению естественных водотоков, вторжению соленых морских вод, непроизводительным затратам на оборудование скважин и пр. Поэтому, приступая к широкому использованию подземных вод на орошение, нужно произвести хотя бы предварительную оценку их запасов.

Изучение условий использования подземных вод на орошение по некоторым ирригационным системам Средней Азии показывает, что динамические запасы определяются с учетом водного баланса при значительном сокращении объема и сроков геологических и гидрогеологических исследований. При этом расходные факторы водного баланса — испарение — транспирация, отток грунтовых и поверхностных вод, учитываемые непосредственными наблюдениями, определяют динамические запасы с достаточной степенью точности. Так, например, расчеты баланса грунтовых вод Ферганской долины (Решеткина, 1951) дали примерно следующие соотношения отдельных элементов:

Приход: а) приток подземных вод из горной области —2 км³ (18%), б) образование грунтовых вод внутри долины за счет инфильтрации речных и ирригационных вод — 9,2 км³ (82%); всего — 11,2 км³.

Расход: а) родниковое выклинивание — 2,1 км³ (19%), б) подземный сток в р. Сыр-Дарью — 4,7 км³ (43%), в) сток в реку по коллекторам — 1,8 км³ (15%), г) испарение и транспирация—2,6 км³ (23%); всего — 11,2 км³.

4. РАЙОНИРОВАНИЕ И ВОДНЫЙ БАЛАНС ОРОШАЕМОЙ ТЕРРИТОРИИ

Исследования теплового и водного баланса различных географических зон подтвердили положение акад. А. А. Григорьева о том, что особенности строения и динамики географической среды, как и размещение различных географических зон, зависят прежде всего от соотношения величин радиационного баланса, осадков и испаряемости (Будыко, 1956).

Анализ элементов теплового баланса различных районов земного шара показал, что приходная часть баланса почти целиком определяется солнечной радиацией. Расходная же часть при достаточном увлажнении почти полностью состоит из расхода тепла на испарение влаги и лишь незначительная часть тепла расходуется на фотосинтез растений, непосредственную передачу тепла воздушным массам и пр.

В условиях сухого климата, при ограниченном количестве влаги, почти вся расходная часть теплового баланса состоит из турбулентного обмена и лишь незначительная ее часть расходуется на испарение, фотосинтез и пр.

На этом основании М. И. Будыко (1956) вывел следующие уравнения связи теплового и водного баланса:

$$f = r - \sqrt{\frac{Rr}{L} \operatorname{th} \frac{Lr}{R} \left(1 - \operatorname{ch} \frac{R}{Lr} + \operatorname{sh} \frac{R}{Lr}\right)} \quad \ldots (5),$$

$$\frac{f}{r} = 1 - \sqrt{\frac{R}{Lr} \operatorname{th} \frac{Lr}{R} \left(1 - \operatorname{ch} \frac{R}{Lr} + \operatorname{sh} \frac{R}{Lr}\right)} \quad \ldots (6),$$

где: f — сток, r — осадки, R — радиационный баланс, L — скрытая теплота испарения, sh, ch, th — гиперболические функции синуса, косинуса и тангенса.

Показав, что соотношение показателей уравнений связи теплового и водного баланса $\frac{R}{Lr}$ и R может служить критерием для установления границ почвенно-климатических зон и распространения растительного покрова, М. И. Будыко подчеркнул связь интенсивности экзогенного геоморфологического процесса с этими показателями.

Таким образом, водный и тепловой баланс, будучи взаимосвязаны, являются факторами, обусловливающими формирование ландшафта. Следовательно, районирование орошаемых территорий по ландшафтным признакам (см. гл. 1) будет также отвечать задачам районирования условий формирования водного баланса орошаемых территорий.

Районирование территории по признакам водного баланса произведено А. Н. Костяковым (1927). Им была разработана схема укрупненного районирования по зонам естественного увлажнения, в которой территория земного шара разделялась на три основных области: недостаточного, избыточного и неустойчивого увлажнения.

Орошение в основном сосредоточено в области недостаточного увлажнения, к которой А. Н. Костяков отно-



Рис. 20. Зоны увлажнения по А. Н. Костякову

сит территории, имеющие коэффициент водного баланса меньше единицы:

$$K = \frac{M \rho}{E} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (7),$$

где: $M = 1 - \alpha$; α — коэффициент стока; ρ — приход влаги; E — расход влаги.

Пустынная зона в рассматриваемых нами границах также относится к области недостаточного увлажнения.

Вряд ли здесь следует особенно подробно останавливаться на значении коэффициента водного баланса для

районирования территорий по степени увлажнения (см. Дунин-Барковский, 1955; Шаумян, 1946).

С точки зрения структуры водного баланса коэффициент К в формуле (7) не имеет физического смысла, так как по условию баланса Р—Е=О, а следовательно, и коэффициент водного баланса для суши в течение годового или многолетнего цикла не может быть больше единицы.

Одно время интерес к районированию орошаемых территорий, основанному на водном балансе, стал возрастать. Некоторые авторы производят районирование орошаемых территорий по степени обеспеченности подземным оттоком (Крылов, 1946, 1950). Сущность этого метода заключается в том, что за основу районирования принимаются показатели баланса грунтовых вод, которые могут быть получены в результате детальных исследований, т. е. тогда, когда по существу всякое районирование как средство для изучения и использования аналогов становится ненужным.

Идея гидрогеологического районирования, базирующаяся на методе водного баланса, подверглась критике со стороны Н. В. Роговской (1956). В настоящее время в ряде работ вновь получили подтверждение и дальнейшее развитие ландшафтно-геоморфологические принципы гидрогеолого-мелиоративного районирования в работах М. А. Шмидта (1948), Каца (1957) и Кенисарина (1958).

Безусловный интерес представляют принципы почвенно-климатического районирования, развитые акад. И. П. Герасимовым (1933), который предложил подразделять Среднюю Азию на следующие высотные пояса: а) аридный, занимающий равнины; б) субаридный — среднюю часть горных склонов; в) гумидный — высокогорную область. В основном эти пояса совпадают с поясами принятой нами схемы районирования. Таким образом подтверждается приемлемость этой схемы для учета таких важнейших показателей водного баланса, как климатические условия и почвообразовательный процесс. Почвенно-климатические признаки как ведущие признаки ландшафтного районирования приняты и в Китайской Народной Республике (Ло Кай-фу, 1956).

В качестве таксономических единиц орогидрографического районирования могут быть приняты бассейны рек и их важнейших притоков. При этом следует иметь в

виду, что бассейн, являющийся орогидрографической единицей, далеко не всегда может служить единицей районирования территории. Так, с точки зрения водного баланса бассейны Волги, Дона, Днепра и других рек, расположенные в нескольких ландшафтных зонах, не представляют единого целого, так как часть территории этих бассейнов находится в условиях избыточного увлажнения — в зоне хвойных лесов и тундр, часть — в условиях неустойчивого и даже недостаточного увлажнения, захватывая зоны степей и полупустыни. Вследствие резкого различия природных условий попытка районирования Китая по границам речных бассейнов также оказалась неудачной (Ло Кай-фу, 1956).

Однако при районировании орошаемых площадей пустынной зоны, речные бассейны которой, как правило, не выходят за ее пределы, территории речных бассейнов могут быть приняты в качестве таксономических единиц.

В настоящее время в Средней Азии выделяют четыре укрупненных бассейна: 1) Каспийского моря, 2) бессточных рек Туркмении, 3) Аральского моря и 4) озера Балхаш с дальнейшим расчленением их на речные бассейны: а) бассейн р. Атрек (бассейн Каспийского моря); б) бассейн бессточных рек Туркмении (Мургаб и Теджен); в) бассейн р. Аму-Дарьи; г) бассейн р. Сыр-Дарьи; д) бассейн р. Чу, Таласса и озера Иссык-Куль и е) бассейн оз. Балхаш (Шульц, 1949).

С точки зрения районирования орошаемых территорий такое разделение Средней Азии на речные бассейны вряд ли целесообразно.

Если исходить из современного положения, то казалось бы рациональным выделить в отдельные единицы все изолированные бассейны. Тогда потребовалось бы дополнительно выделить бассейн рек Зеравшана, Кашкадарьи, Санзара, разделить бассейн бессточных рек Туркмении на бассейн р. Мургаба и бассейн р. Теджена, расчленить на элементы бассейны Чу, Таласса и оз. Иссык-Куль, а также бассейн оз. Балхаш.

С другой стороны, учитывая перспективы развития орошения и намечаемые мероприятия по совместному использованию водных и земельных ресурсов, представляется целесообразным по признакам водного баланса разделить территорию Средней Азии на три укрупненных бассейна: 1) бассейн р. Аму-Дарьи; 2) бассейн р. Сыр-Дарьи; 3) Чу-Илийский бассейн, а внутри их выделить бассейны крупных притоков, пока еще не связанных с основными источниками: рек Атрек, Мургаб, Теджен, Зеравшан, Кашкадарья, Таласс, Чу, Каратал и Аксу.

Кроме того, при современных условиях использования водных ресурсов в самостоятельные единицы районирования могут быть выделены мелкие реки склона Копет-Дага в бассейне р. Аму-Дарьи, хребтов Нуратинского и Туркестанского в бассейне р. Сыр-Дарьи, а также реки хребтов Каратау и Киргизского в Чу-Илийском бассейне.

При освещении вопросов методики районирования мы ограничимся рассмотрением двух основных бассейнов Средней Азии: бассейна р. Аму-Дарьи, бассейна р. Сыр-Дарьи и одного из основных притоков — р. Зеравшан с замкнутым бассейном.

С учетом изложенных замечаний схема районирования указанных бассейнов может быть представлена в следующем виде.

Бассейн р. Аму-Дарьи

Бассейн р. Аму-Дарьи четко разграничивается на три высотно-ландшафтных пояса: горный, подгорных равнин и пустынной низменности.

Горный пояс. Его нижняя граница проходит на отметке 800—1000 м над уровнем моря и пересекает притоки Аму-Дарьи в следующих точках: по р. Пяндж у сел. Чубек, по Кызылсу у сел. Кызыл-Мазар, по р. Яхсу у створа гидропоста Курбастанак, по р. Вахш у гидропоста Сагбанд, по р. Кафирниган и ее притокам Иляк, Варзоб и Ханака при выходе их в Гиссарскую долину; по притокам р. Сурхандарьи — Каратагу, Дашнабаду, Ширкенту, Туполангу, Сангардаку и Ходжаипаку при выходе их в долину р. Сурхандарьи; по Ширабаду при выходе ее из ущелья Нон-Дагона.

Нижняя граница пояса подгорных равнин проходит на отметках 250—300 м и пересекает реку примерно в районе Келифа.

Таким образом, к горному поясу отнесены оросительные системы и массивы возможного орошения Восточного и Западного Памира — в верховьях р. Пяндж и ее

притоков Ванч, Язгулем, Бартанг, Мургаб и Кудара, Гунт и Шахдара, Памир; оросительные системы Дарваза — в долине Пянджа между Ванчем и Чубеком, в долине Обихингоу, верховьях Яхсу и Кызылсу, в долине рек Вахш и Сурхоб, участки орошения в Алайской долине, орошаемые участки в горных долинах Гиссарского хребта, Бабатага и орошаемые участки Байсунского района, в верховьях рек Ширабад и Ходжаипак.

В границах горного пояса отдельные орошаемые участки размещаются в пределах: а) речных долин; б) конусов выноса; в) склонов и г) горных пустынь. Распределение орошаемых участков по указанным типам местности не представляет особых затруднений, так как в горных районах элементы рельефа выражены достаточно четко. Однако для решения этой задачи нужно располагать более подробными картографическими материалами, которые по горным районам отсутствуют.

Учитывая, что развитие орошения в горном поясе имеет скромные перспективы, а проведение водохозяйственных мероприятий сопряжено с огромными трудностями, в настоящее время, по-видимому, нет необходимости в детальном районировании всей этой территории. Для иллюстрации применения метода районирования ограничимся схемой районирования объектов, намеченных для освоения в Горно-Бадахшанской автономной области (Гипроводхоз, 1955)—таблица 12.

В настоящее время на Памире орошается 12,7 тыс. га. Возможный прирост орошаемых земель составляет 8,6 тыс. га, или 67,8%, в том числе за счет орошения под сельскохозяйственные культуры 27,6%[1]. Имея в виду, что по условиям рельефа и почв механизация сельского хозяйства сильно затруднена, вряд ли можно ожидать здесь более или менее значительного расширения орошаемых площадей.

С точки зрения водного баланса орошаемые площади горных районов имеют свои отличительные особенности, в частности, для них характерно более высокое водопотребление. Так, например, оросительная норма пшеницы на Западном Памире составляет 6—7 тыс. м³/га, а число поливов достигает 8—9 против 2—3 тыс. м³/га при

[1] По другим районам горного пояса данные о возможном развитии орошения отсутствуют.

Таблица 12

	Площади орошения (га)			
	всего	сельскохозяйственных культур	пастбищ	Местоположение
1	2	3	4	5
Горные пустыни				
Дашт Рошорв . . .	1500	500	1000	Рушанский р-н по р. Бартанг
Джаушангоз . . .	1500	—	1500	Рошткалинский р-н по р. Шахдара
Булункуль	1000	—	1000	Мургабский р-н у оз. Яшиль-Куль
Итого: .	4000	500	3500	
Речные долины низкие террасы				
Барзудские острова	600	600	—	Рушанский р-н по р. Пяндж
Вамарская пойма .	500	500	—	То же
Лянгар-Иссор . . .	300	300	—	Ишкашимский р-н по рр. Памир и Пяндж
Пойма р. Аличур .	1000	—	1000	Мургабский р-н по р. Аличур
Пойма р Мургаб .	500	—	500	Мургабский р-н по р. Мургаб
Карасу	100	—	100	Мургабский р-н по р. Карасу
высокие террасы				
Дашт Хумроги . . .	250	220	—	Ванчский р-н, слияние р. Пяндж и Ванч
Дашт Язгулем . . .	300	300	—	Ванчский р-н, слияние рр. Пяндж и Язгулем
Шошхорог	50	50	—	Шугнанский р-н по р. Гунт
Селекционный дашт	250	250		Ишкашимский р-н по р. Пяндж
Итого . .	3850	2250	1600	

Продолжение таб. 12

	Площади орошения (га)			Местоположение
	всего	сельскохозяйственных культур	пастбищ	
1	2	3	4	5
Конусы выноса				
Дашт Бавуд	100	100	—	Ванчский р-н по р. Дарои-бунай
Козыде	50	50	—	Ишкашимский р-н по р. Богушка
Итого . .	150	150	—	
Склоны				
Ханив	50	50	—	Шугнанский р-н у слияния рр. Гунт и Шахдары
Геджак	100	100	—	Шугнанский р-н по р. Гунт
Хабос	150	150	—	Шугнанский р-н по р. Пяндж
Туссион	300	300	—	Рошткалинский р-н по р. Шахдара
Итого . .	600	600	—	
Всего .	8600	3500	5100	

2—3 поливах в поясе подгорных равнин (Гаража, 1956). На Восточном Памире, несмотря на более короткий вегетационный период и более низкие температуры, оросительные нормы еще выше — до 10—12 тыс. м³/га при 10—15 поливах (Станкевич, 1955).

Повышенные размеры оросительных норм объясняются не только сильной водопроницаемостью скелетных почв, но и более интенсивной транспирацией, являющейся следствием высокой солнечной радиации, низкого давления и крайней сухости воздуха. В связи с этим неверны предлагаемые некоторыми авторами формулы, в которых уменьшение оросительных норм зависит от увеличения высоты местности (Шапошников, 1954).

Другая характерная особенность — повышенные размеры потерь на фильтрацию и просачивание оросительной воды ниже корневой зоны, в результате чего общий размер водозабора в оросительные системы увеличивается. Вместе с тем вследствие благоприятного сочетания топографических и гидрогеологических условий вся просочившаяся вода возвращается в источники орошения и потери не отражаются на водном балансе бассейна. Следовательно, задача борьбы с потерями в ирригационной сети и установление экономных оросительных норм должны решаться с позиций эффективности этих мероприятий лишь для данного конкретного объекта.

Общая площадь орошаемых земель горного пояса в бассейне по данным статистического учета следующая:

Таблица 13

Районы	Площадь земель с оросительной сетью (тыс. га)	Фактически орошается (тыс. га)
Памир	12,8	11,9
Верховья Вахша	23,6	20,8
Горные участки бассейна Кафирниган	1,6	1,4
Горные участки рр. Яхсу и Кызылсу	1,8	0,9
Горные участки бассейна рр. Сурхан и Ширабад	5,0	5,0
Итого	44,8	40,0

Пояс подгорных равнин. Наибольшее развитие получило орошение в поясе подгорных равнин бассейна р. Аму-Дарьи. Здесь расположены крупнейшие

ирригационные системы и ведется интенсивное сельское хозяйство, основной специализацией которого является возделывание хлопчатника преимущественно тонковолокнистых сортов.

Орошаемые территории и массивы, пригодные для орошения, могут быть распределены по трем основным типам местности, выделенным по геоформологическим признакам: а) речные долины; б) волнистые равнины и в) конусы выноса.

На территории крупных оросительных систем — Вахшской, Гиссарского канала и Хазарбаха — можно выделить по два и более типа местности; мелкие системы обычно расположены в пределах одного типа местности.

К речным долинам могут быть отнесены следующие массивы: а) Пархарский на правом берегу р. Пяндж, при впадении в него р. Кызылсу (кроме возвышенности Урта-Боз, расположенной в пределах волнистой равнины); б) долины рр. Яхсу и Кызылсу в Кулябском районе; в) правобережье долины р. Вахш в Куйбышевском районе; г) левобережье р. Вахш (кроме массивов Кафыр, Кумсангир и Урта-Боз, расположенных в пределах волнистой равнины); д) прибрежные земли р. Кафирниган в Гиссарской долине, Кабадианском и Шаартузском районах; е) участок долины р. Сурхан в пределах Денау-Юрчинских болот, нижней зоны Кум-Курганской оросительной системы в Шурчинском районе, нижнего течения Сурхандарьи (Джар-Курган, Термез); ж) участок долины Аму-Дарьи между Термезом и Келифом.

К волнистым равнинам, кроме упомянутых выше участков Пархарского массива и левобережья Вахшской долины, могут быть отнесены: а) Яванский, Обикинский, Кзыл-Калинский и Гараутинский массивы нового орошения на правом берегу р. Вахш; б) Бешкентская долина; в) склоны Гиссарской долины между Янги-Базаром и перевальным участком Большого Гиссарского канала по правому и левому берегам р. Кафирниган (кроме конусов выноса рр. Дюшамбе и Ханака); г) левый и правый берега р. Каратаг от перевального участка Большого Гиссарского канала до конуса выноса Ширкент; д) участок долины Сурхандарьи от Денау до урочища Кзыл-Джар, включая земли, расположенные ниже конуса выноса рр. Сангардак и Ходжаипак; е) Казарик-Дарьинская степь и Талимаранский массив.

Конусы выноса распространены преимущественно на южном склоне Гиссарского хребта и Кугитангтау; почти все реки, стекающие с них, образуют конусы выноса (Дюшамбе, Ханака, Каратаг, Ширкент, Туполанг, Сангардак, Ходжаипак, Ширабад). К конусам выноса также могут быть отнесены верхние части долин Яхсу и Кызылсу. Различные типы местности имеют отличительные особенности формирования элементов водного баланса.

Речные долины представлены высокими и низкими террасами.

Для низких террас характерно неглубокое залегание грунтовых вод. Сравнительно небольшая толща связных грунтов подстилается галечниками. Существенным элементом водного баланса низких террас является подземный приток с окружающих территорий.

В отличие от других районов низкие террасы речных долин (Пархарский массив, нижняя часть долины Яхсу и Кызылсу, Вахшская долина и долина Нижнего Кафирнигана) выделяются высоким засолением, в значительной степени обусловленным здесь минерализацией грунтовых вод в результате контакта с соленосными породами (Институт земной коры, 1953; Средазгипроводхлопок, 1952; Гипроводхоз, 1956).

Неосвоенные участки низких террас покрыты густыми зарослями камыша и тугайной растительности, расходующей на транспирацию огромные массы воды. Поэтому, несмотря на то, что водопотребление сельскохозяйственными культурами достигает здесь также необычной величины (хлопчатник 10—11 тыс. м³/га, люцерна 15—17 тыс. м³/га (Николаев и др., 1948), после освоения низких террас при орошении и уничтожении естественной растительности, приток дополнительных вод может значительно увеличиться. Таким образом, дополнительный водозабор на орошение новых земель может не вызвать уменьшения стока рек.

Борьба с потерями в оросительных каналах на участках низких террас не имеет практического значения, так как фильтрующаяся вода будет полностью возвращаться в источник орошения.

Несколько иное положение наблюдается на высоких террасах, где грунтовые воды залегают глубоко под мощной толщей связных грунтов. До орошения растительность питается здесь водой исключительно за счет выпа-

дающих осадков. Поэтому после орошения водопотребление значительно увеличится. Но так как площадь, занятая высокими террасами, сравнительно невелика, увеличение водопотребления не окажет существенного влияния на изменение стока рек. Потери на фильтрацию в каналах, расположенных на высоких террасах, сложенных связными грунтами, сравнительно малы и поэтому противофильтрационные мероприятия здесь неэффективны.

По геологическому строению и гидрогеологическим условиям волнистые равнины имеют много общего с высокими речными террасами. Однако в отличие от последних они сложены лессовидными породами, обладающими, как правило, высокой порозностью и просадочными



Рис. 21. Просадка на оросительных системах волнистых равнин (р. Вахш)

свойствами. Поэтому в первый период орошения размеры водопотребления и потери воды на фильтрацию в каналах могут быть весьма значительными. Впрочем, до стабилизации просадочных явлений мероприятия по борьбе с фильтрацией нецелесообразны. В первый период орошения потери на фильтрацию и избыточные оросительные нормы могут заметно отражаться на водном балансе. Однако со временем влияние этих факторов будет затухать. Естественный растительный покров не оказывает существенного влияния на водный баланс, так как волнистые равнины в настоящее время, как правило, освоены под богарные посевы.

Конусы выноса в области подгорных равнин в большинстве случаев «несовершенны» и дренируются реками. Поэтому на многих конусах выноса отсутствуют зоны выклинивания. Тем не менее эти элементы рельефа следует учитывать при составлении водного баланса.

При глубоком залегании грунтовых вод и очень редком растительном покрове верхняя часть конусов выноса, сложенная мощной толщей рыхлых песчано-галечниковых отложений, характеризуется повышенными размерами поливных норм и потерь на фильтрацию в оросительной сети. Поэтому на маловодных источниках противофильтрационные мероприятия весьма эффективны, особенно когда для лучшего использования стока намечается устройство водохранилищ. Следует, однако, иметь



Рис. 22. Родники зоны выклинивания

в виду, что избыточные оросительные нормы и увеличенные потери на фильтрацию в ирригационных каналах будут способствовать увеличению водоносности источников в нижележащей зоне. В некоторых случаях увеличение потерь воды в период паводка позволит зарегулировать сток и увеличить водоносность в критический период (например, по рекам Яхсу, Туполангу и Ханака).

Нижняя часть конуса выноса в отношении водного баланса имеет общие черты с низкими террасами речных долин, с которыми в условиях рассматриваемого пояса они часто сливаются. Высокий уровень грунтовых вод (как следствие притока воды с верхней части конуса), мощные толщи связных грунтов, слабое дренирование подстилающими их низкими речными террасами, сложенными слабопроницаемыми грунтами, создают заболачивание. Неосвоенные участки покрыты густыми зарослями камыша и тугайной растительности. Орошение земель должно сопровождаться устройством дренажа. После орошения наблюдается значительный сток возвратных вод, как правило, в несколько раз превышающий подачу воды на орошение (Кулябская долина, Денау-Юрчинские болота), в результате чего увеличение орошаемой площади вызовет увеличение стока. Потери воды на фильтрацию из каналов незначительны. Мероприятия по борьбе с фильтрацией неэффективны.

Орошаемые площади и возможный прирост нового орошения в области подгорных равнин характеризуются следующими цифрами:

Таблица 14

Массивы и системы	Площадь с оросительной сетью (тыс. га)	Фактически орошалось (тыс. га)	Возможный прирост нового орошения (тыс. га)	Общая площадь возможного орошения (тыс. га)
Долина Яхсу и Кызылсу	18,0	15,4***	8,9	26,9
Пархарский массив	22,2	8,0*	17,2	39,4
Правобережье р. Вахш	17,6	8,6****	59,9	77,5
Левобережье р. Вахш	74,2	51,0*	24,2	98,4
Гиссарская долина	61,7	58,9**	6,6	68,3
Нижний Кафирниган	23,4	17,5***	23,9	47,3
Долина Сурхандарьи	158,6	132,1****	89,4	248,0
Всего	375,7	291,5	230,1	605,8

* 1950 г.; ** 1952 г.; *** 1954 г.; **** 1955 г.;

Пустынная низменность. В поясе пустынной низменности в настоящее время размещено 62% орошаемых земель. Здесь также сосредоточена большая часть земель, пригодных для орошения. Поэтому с точки зрения орошения эта область бассейна играет главную роль. Пояс пустынной низменности может быть разделен на три характерных типа местности: а) речную долину (высокие и низкие террасы); б) аллювиальную равнину и в) дельту.

К речной долине относятся оазисы Чаршангинский, Кзыл-Аякский, Керкинский, Ходжамбасский, Чарджоуский, Фарабский и Дарган-Атинский, а также прибрежные участки аллювиальной равнины Южного Хорезма: Питняк, Кипчак-Бозсу, Шурханский оазис и Назархан.

К аллювиальной равнине могут быть отнесены как расширенные участки речной долины, так и участки древней Сарыкамышской дельты. В зависимости от условий формирования аллювиальные равнины имеют различное литологическое строение и различные гидрогеологические условия.

С точки зрения условий формирования элементов водного баланса речные долины имеют свои специфические особенности. Низкие террасы образованы мощными аллювиальными отложениями песков и супесей с неглубоким (до 2—3 м) залеганием грунтовых вод, минерализация которых увеличивается в поперечном от реки направлении. Режим колебания уровня грунтовых вод зависит от колебаний горизонта в реке. Грунтовый поток имеет уклон от реки к прилегающим пустынным районам, что обусловливает значительные потери воды на фильтрацию из русла реки. В силу гидрогеологических особенностей района уничтожение густых зарослей тугайной растительности при освоении низких террас может вызвать значительное повышение уровня грунтовых вод, не увеличивая притока возвратных вод. Потери в оросительной сети и избыточные оросительные нормы вызовут усиление процесса заболачивания и засоления. При проведении ирригационных мероприятий необходимо устройство дренажа. Использование дренажной воды на орошение возможно лишь при условии механической откачки воды. Эффективной мерой борьбы с фильтрацией из каналов является естественный кольматаж русел

аму-дарьинской водой, содержащей большое количество наносов.

К высокой террасе речной долины Аму-Дарьи могут быть отнесены не орошающийся в настоящее время Келифский массив (на правом берегу у подножья г. Кугитангтау) и прибрежный участок аллювиальной равнины Южного Хорезма в районе Тюя-Муюна (Питняк). Неорошаемые участки имеют чрезвычайно бедный растительный покров. Грунтовые воды залегают глубоко. В этих условиях фильтрация из каналов и избыточные оросительные нормы — безвозвратная убыль.

Аллювиальные равнины Южного Хорезма, Куня-дарьи и массив земель современного и древнего орошения Турткуль — Шаббаза — характерный ирригационный район, выделяющийся по многим признакам, в том числе и по условиям формирования элементов водного баланса.

Аллювиальные равнины нижнего течения Аму-Дарьи многие авторы относят к древней (Сарыкамышской) дельте (Толстов, 1948; Егоров, 1955; Кесь, 1956). По-видимому, к древней дельте следует относить лишь Куня-дарьинский массив. Остальная же территория, возможно, была сформирована в континентальных условиях, что подтверждается определенным чередованием отложений, совершенно не характерным для дельты.

Значительная часть Южного Хорезма и Турткуль Шаббазского массива сложена с поверхности супесями ограниченной мощности (до 3 м), подстилаемыми почти повсеместно мощными аллювиальными песками. Уровень грунтовых вод на прибрежных участках и вдоль крупных оросительных каналов находится близко от поверхности. По мере удаления от реки и крупных каналов зеркало грунтовых вод понижается и на периферии аллювиальных равнин уходит на глубину нескольких десятков метров.

Лишь на юго-западной окраине Южного Хорезма, на стыке с песчаными пространствами Заунгузских Кара-Кумов и по северной оконечности Турткуль-Шаббазского массива, грунтовые воды подперты; на периферии оазисов находятся озера, питаемые сбросами поверхностных вод и грунтовым потоком.

Растительный покров неосвоенных участков изменяется от почти голых такырных и солончаковых поверхностей до густых зарослей янтака, солодки и даже камыша. Весь район характеризуется чрезвычайно скудным количеством осадков.

Транспирация растительного покрова неосвоенных земель, перемежающихся с орошаемыми полями, безусловно, играет большую роль в водном балансе, создавая условия «сухого дренажа» (Малыгин, 1934). При сплошном освоении земель в зоне развития естественной растительности необходимо устройство искусственного дренажа.

Возвратные воды, появлявшиеся в результате уменьшения транспирации, фильтрации из каналов и избыточных оросительных норм, ранее использовались для орошения с помощью примитивных водоподъемных установок (чигирей). В настоящее время эти воды отводятся дренажем и могут быть использованы лишь путем машинной откачки. Как показали опыты, проведенные Советом по изучению производительных сил АН СССР, мероприятия по борьбе с фильтрацией из каналов не дают здесь ощутимого эффекта (Миркин, 1952).

При проектировании сети коллекторов в Южном Хорезме в 1941—1944 гг. в качестве водоприемников намечалось использовать озера, расположенные на периферии оазиса (Янишевский, 1946). Расчетной предпосылкой для этого являлись значительные размеры испарения с водной поверхности. Однако с увеличением притока воды бóльшая часть растительности на периферии озер погибла и испарение резко уменьшилось. Поэтому использование озер в качестве водоприемников оказалось малоэффективным.

Современная дельта Аму-Дарьи начинается ниже мыса Тахиа-Таш — последнего по течению пункта, где оба берега реки закреплены коренными породами. В недалеком прошлом река разделялась здесь на рукава (Цинзерлинг, 1927). В настоящее время, после переустройства головного питания ирригационных систем дельты, рукава превращены в оросительные каналы, подача воды в которые регулируется двумя головными сооружениями на правом и левом берегах. Русло реки ниже этих сооружений обваловано, и вершина дельты переместилась вниз по течению до протока Чартамбай у г. Крантау, от которой и начинается собственно дельта.

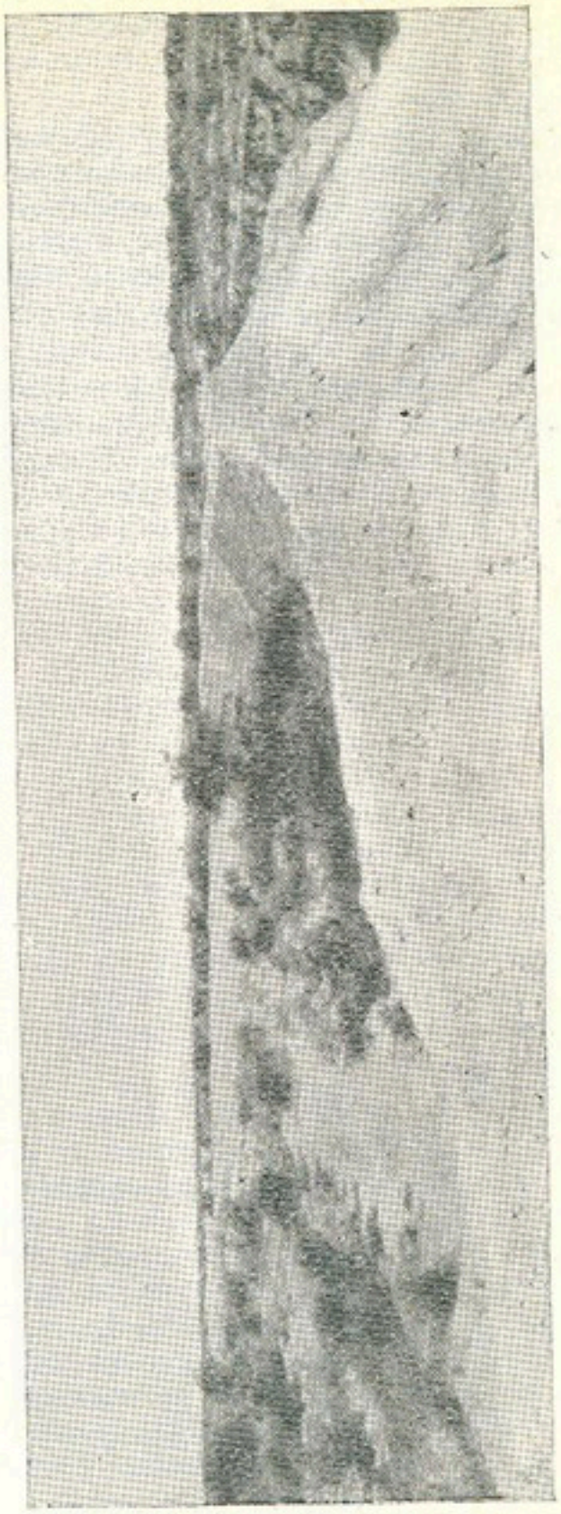


Рис. 23. Дамба обвалования в дельте Аму-Дарьи

Специфические особенности дельты создают определенные предпосылки для формирования элементов водного баланса. Повсеместное неглубокое залегание грунтовых вод и периодические затопления больших площадей паводковыми водами реки обусловливают широкое распространение различных видов влаголюбивой растительности на неосвоенных участках и перелогах. Эта растительность расходует на транспирацию огромные массы воды, в несколько раз превышающие объем атмосферных осадков. Количество воды, расходующееся на испарение и транспирацию только в разливах дельты, исключая освоенную ее часть, достигает 11 км³ в год (Б. Д. Зайков, 1951). Этот элемент играет решающую роль в водном балансе.

По мере освоения земель и уничтожения естественной растительности происходят серьезные изменения в структуре водного баланса. Кроме того, вследствие малых уклонов и опасности заиления, в определенные периоды времени для создания соответствующих скоростей и командных горизонтов, по оросительным каналам подаются расходы воды, превышающие потребность на орошение. Значительная часть этой воды сбрасывается на пустующие земли и идет на пополнение грунтовых вод.

Если же учесть, что для поддержания благоприятного солевого режима на орошаемых землях необходимо обеспечить нисходящий ток воды в почве (за счет промывок и избыточных по отношению к нормальному водопотреблению культурными растениями оросительных норм), то станет очевидным, что освоение сколько-нибудь крупных массивов земель в дельте связано с устройством дренажа. По топографическим условиям дренаж не может быть обеспечен без машинной откачки, поэтому целесообразно использовать дренажную воду на орошение и, таким образом, сократить подачу воды из реки. Надеяться на улучшение дренажных условий в дельте р. Аму-Дарьи в результате понижения уровня в Аральском море в связи с увеличением водозабора на вышележащих участках рек, как это предполагалось во многих проектах (Средазгипроводхлопок, 1952, 1954), нет никаких оснований.

Земельный фонд пустынной низменности бассейна р. Аму-Дарьи характеризуется следующими данными (тыс. га):

Таблица 15

Земельные массивы	Площадь земель с оросительной сетью (тыс. га)	Фактически орошалось (тыс. га)	Возможный прирост новых земель (тыс. га)	Всего земель, возможных к орошению (тыс. га)
Долина реки от Келифа до Дарганата	138,0	98,3	52	190
Южный Хорезм	254,8	227,2	139,3	394,1
Кунядарья	103	42,5	300	403
Турткудь-Шаббаз	45	35,6	68,7	113,7
Дельта правобережная	125,3	95,0	286,6	411,9
Дельта левобережная	76	44,4	122,2	198,2
Всего	742,1	543,0	968,8	1710,9

Сводные данные об орошаемых и возможных к орошению площадях приведены в таблице 16.

Таблица 16

Ландшафтные области	Площади земель с оросительной сетью		Фактически орошается		Возможный прирост новых земель		Всего земель, пригодных для орошения	
	тыс. га	%	тыс. га	%	тыс. га	%	тыс. га	%
Горная	44,8	3,9	40,0	4,6	13,7*	1,1	58,5	2,5
Подгорных равнин	375,7	32,3	291,5	33,4	230,1	19,0	605,8	25,6
Пустынной низменности	742,1	63,8	543	62,0	968,8	79,9	1710,9	71,9
Итого	1162,6	100	874,5	100	1212,6	100	2375,2	100

* Ориентировочно по аналогии с материалами обследования Памира.

Из таблицы 16 видно, что удельный вес орошаемых площадей увеличивается по мере продвижения от горного пояса к пустынной низменности.

Увеличение водозабора на земли нового орошения в различных высотных поясах и типах местности окажет различное влияние на сток реки. Наименьшее (по-видимому, совершенно ничтожное) влияние будет наблюдаться при увеличении водозабора в горном поясе, несколько большее — в подгорных равнинах и наибольшее — в пустынной низменности.

Учитывая, что в пустынной низменности размещается основная масса пригодных для орошения новых земель, оросительная способность р. Аму-Дарьи может быть определена на основании водоземельного баланса по современному среднемноголетнему стоку в створе Келифа (62, 1 км³) в размере примерно 7,4 млн. га (при к. п. д. систем 0,65—0,74 и средневзвешенной оросительной норме брутто 8,5 тыс. м³/га).

Величина оросительной способности р. Аму-Дарьи значительно превышает возможный к орошению фонд земель (см. табл. 16). Это обстоятельство и является предпосылкой к использованию вод р. Аму-Дарьи для развития орошения в соседних, прилегающих бассейнах бессточных рек в первую очередь Мургаба, Теджена, Зеравшана, Кашка-Дарьи, а также в предгорьях Копет-Дага и в бассейне Атрека, где имеется значительное количество пригодных для орошения земель и отсутствуют свободные водные ресурсы.

Учет изменений водного баланса в бассейне р. Аму-Дарьи имеет большое значение для проектирования мероприятий по регулированию стока. Проработка схемы использования водных ресурсов (Средазгипроводхлопок, 1954) показала, что наиболее эффективными с точки зрения ирригации являются долинные водохранилища (Чубекское, Верхне-Аму-дарьинское, Келифское, Тюя-Муюнское), чаша которых образуется затоплением пойменных земель и низких террас, частично освоенных под орошаемое земледелие и в большей своей части покрытых густыми зарослями тугайной растительности.

Существенной расходной частью водного баланса чаш проектируемых водохранилищ в современных условиях является испарение — транспирация, достигающая двухтрехметрового слоя воды. После образования водохранилищ испарение с открытой водной поверхности будет значительно меньше. Следовательно, в водохранилищах

вовсе не будет потерь на испарение. Не исключена также и возможность увеличения стока в результате регулирования.

Бассейн р. Сыр-Дарьи

Орошаемые территории бассейна р. Сыр-Дарьи, так же как и бассейна р. Аму-Дарьи, размещаются в трех высотных поясах: горном, подгорных равнин и пустынной низменности.

Границей между горным поясом и поясом подгорных равнин служит линия, на которой основные притоки реки выходят из стокоформирующей области,—створы следующих гидропостов: Уч-Курганского (р. Нарын), Кампыр-Раватского (р. Карадарья), Газалкентского (р. Чирчик), Туркского (р. Ангрен), Танги-Варухского (р. Исфара), Сохского (р. Сох), Пульганского (р. Шахимардан), Уч-Курганского (р. Исфайрам), Иски-Наукатского (р. Араван), Папанского (р. Акбура), Багдшайского (р. Гавасай), Аучи-Калачинского (р. Ходжабакырган), Ленинского (р. Келес) и Бадамского (р. Арысь). По северному склону Туркестанского хребта граница проходит в створе г. Ура-Тюбе и сел. Шахристан. Высотное положение границы поясов примерно соответствует отметке 1000—1200 м.

Граница между пустынной низменностью и подгорными равнинами проходит примерно на отметке 300 м над уровнем моря по южной окраине Голодной степи, р. Сыр-Дарье (от Беговата до Бектулена) и далее примерно по линии железной дороги Арыс—Туркестан—Тюмень—Арык у подножья хребта Каратау. Дальверзинская степь, расположенная на границе этих поясов, также частично может быть отнесена к пустынной низменности.

Верхняя граница распространения орошаемых участков горного пояса лишь на отдельных участках Центрального Тянь-Шаня достигает 2000 м и находится на более низких отметках, чем в бассейне р. Аму-Дарьи, где орошение встречается на высоте до 4000 м.

Обычно же в бассейне р. Сыр-Дарьи на высотах 1500—1700 м выпадает количество осадков, достаточное для большинства сельскохозяйственных культур, кото-

рые могут выращиваться в этих условиях без орошения (зерновые, травы, кормовые, картофель).

Несмотря на указанные особенности, в горном поясе орошаются значительные площади (табл. 17). Однако наибольшее развитие орошение получило в подгорных равнинах — Ферганской долине, долине Чирчик-Ангрена-Келеса, в верхнем течении р. Арысь и по подножию хребта Каратау. В поясе пустынной низменности орошаются аллювиальные равнины Голодной и Дальверзинской степей. Площадь орошаемых земель на речных террасах и в дельте Сыр-Дарьи довольно ограничена.

Возможности дальнейшего развития орошения почти полностью использованы в горном поясе и в значительной степени в подгорных равнинах, в пустынной же низменности сосредоточены значительные массивы целинных земель, пригодных для орошения.

Земельный фонд Сыр-Дарьинского бассейна по высотным поясам приведен в таблице 17.

Из таблицы 17 следует, что 57% площадей существующего орошения сосредоточено в горном поясе и подгорных равнинах, а 61,5% всего земельного фонда — в пустынной низменности.

Рассмотрим схему расчленения высотных поясов Сыр-Дарьинского бассейна на районы по геоморфологическим признакам и влияние природных условий отдельных районов на структуру водного баланса.

Горный пояс Сыр-Дарьинского бассейна может быть расчленен аналогично горному поясу Аму-Дарьинского бассейна. Орошаемые участки здесь также размещаются в пределах высоких и низких террас речных долин, конусов выноса и горных склонов. Плоские возвышенные плато в бассейне р. Сыр-Дарьи, подобные Ангренскому плато, урочищу Ольгин Луг и сыртам Тянь-Шаня, расположены на высоте свыше 2000 м и, имея достаточное количество осадков, как правило, в орошении не нуждаются. Лишь в некоторых районах Тянь-Шаньской области Киргизской ССР за последнее время стало развиваться орошение пастбищ на возвышенных сыртах.

Для горного пояса Сыр-Дарьинского бассейна характерно широкое распространение межгорных котловин, представляющих своеобразный комплекс геоморфологических элементов. С точки зрения условий форми-

Таблица 17

Наименование поясов	Площади орошения (тыс. га)		
	фактическая, 1949 г.	возможный прирост	всего пригодно для орошения
Горный	122	53	175
Подгорных равнин . . .	1212	826	2038
Пустынной низменности .	276	3514	3790
Всего . . .	1610	4393	6003

рования составляющих водного баланса эти котловины заслуживают выделения в самостоятельную единицу.

К такого рода межгорным котловинам относятся находящиеся в пределах горного пояса участки верхнего течения большинства рек, выходящих в Ферганскую долину: по р. Нарын—Кетмень-Тюбинская котловина и Тогуз-Торау; по р. Карадарье — Узгенская котловина, расположенная у слияния составляющих р. Карадарьи-Яссы, Куршаба и Яркентдарьи. Типичную межгорную котловину представляет Иски-Наукатская долина в верхнем течении р. Араван. К этому же типу относятся верхние части долины рек Исфайрам (выше Уч-Кургана) и Шахимардана (Шахимардан-Охна) и Сохский район на р. Сох. По рекам Исфаре и Ходжабакыргану также в верхнем течении имеются межгорные котловины, хотя и меньшего размера и не столь ясно выраженные.

Реки, изливающиеся в Ферганскую долину с севера (с Чаткальского и Кураминского хребтов) также иногда образуют межгорные котловины (Урта-Токай, на р. Кассансай), но в общем этот тип рельефа здесь, так же как и на Ангрене, Чирчике и Келесе, не характерен.

По строению рельефа межгорные котловины представляют сочетание конусов выноса с террасами речных долин. Обычно конусы выноса налегают на отложения речных террас и сравнительно хорошо дренированы. Поэтому, несмотря на наличие активных зон выклинивания в средней части конусов, на их периферии засоления и заболачивания не наблюдается.

С точки зрения формирования водного баланса межгорные котловины обладают специфическими особенностями. Верхние части конусов выноса обычно сложены хорошо проницаемыми рыхлообломочными породами, имеют глубокое залегание уровня грунтовых вод, маломощные сильно каменистые почвы, бедные органическими веществами; растительность скудная (преимущественно кустарник).

Нижняя часть конусов выноса и речные террасы, сложенные в значительной степени мелкоземистыми отложениями, имеют меньшую водопроницаемость, высокое стояние грунтовых вод и мощный, богатый органическими веществами почвенный слой. В большинстве случаев пониженные элементы рельефа межгорных котловин покрыты густой естественной растительностью (сплошные заросли тростника, кустарников и тугайного леса).

На отметках до 1200—1300 м на пониженных элементах рельефа межгорных котловин широко практикуется рисосеяние. На повышенных элементах обычно размещаются насаждения (сады, виноградники, тутовые деревья), огороды, посевы трав и зерновых (просо, рожь, пшеница). Во многих случаях зерновые выращиваются и без орошения, но все остальные культуры дают удовлетворительные урожаи только при условии орошения. Ввиду крайне ограниченного количества пригодных для сельскохозяйственной обработки земель межгорные котловины (кроме периодически затопляемых участков заболоченных пойм и галечных конусов) обычно полностью освоены.

Весь поверхностный и подземный сток межгорных котловин концентрируется в замыкающих их ущельях. Поэтому вода, теряющаяся на фильтрацию в ирригационных каналах и на орошаемых полях, полностью возвращается в реку. Вследствие меньшей величины испарения с культурных полей (по сравнению с естественными зарослями) при освоении заболоченных участков происходит увеличение стока возвратных вод. Поэтому при определении оросительной способности бассейна увеличение водозабора в результате увеличения орошаемых площадей в межгорных котловинах, как правило, может не учитываться.

В случаях использования межгорных котловин в качестве водохранилищ размер потерь из водохранилищ следует, по-видимому, уменьшать на величину испаре-

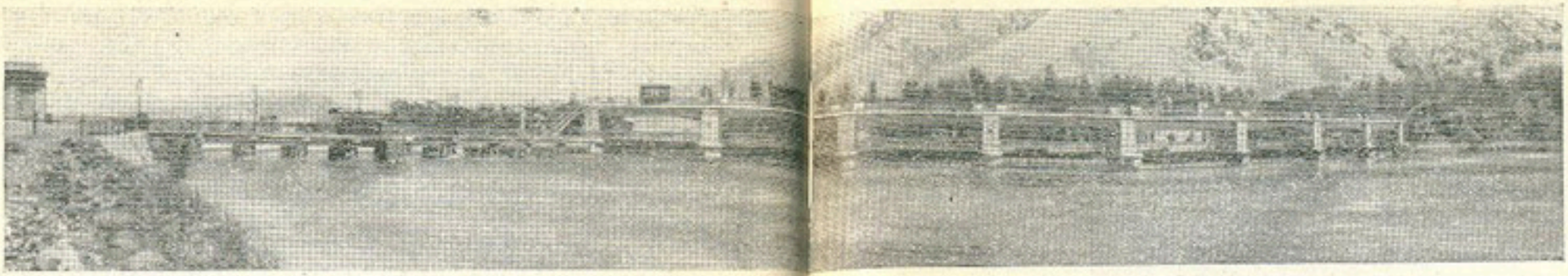


Рис. 24. Кампыр-Роватский мост на р. Карадарье

ния — транспирации растительности с поверхности чаши до образования водохранилища.

Как уже отмечалось, подгорные равнины в бассейне р. Сыр-Дарьи наиболее широко используются для орошения (особенно на конусах выноса). Значительная часть орошаемой площади размещена на речных террасах.

Волнистые равнины в бассейне р. Сыр-Дарьи встречаются преимущественно в районе Чирчика, Ангрена и Келеса и пока используются преимущественно под богарные посевы.

Каждый из упомянутых элементов рельефа имеет характерные особенности формирования водного баланса.

Конусы выноса занимают всю периферийную часть Ферганской долины, начиная от склонов Ферганского хребта на востоке и кончая мелкими саями Кураминского хребта и р. Аксу на западе.

Кроме того, они встречаются в среднем течении Ангрена, верхнем течении Арыси, на юго-западном склоне хребта Каратау, в районе г. Туркестана и на северном склоне Гуркестанского хребта (Каттасай, Шахристансай, Зааминсу и Санзар).

Наиболее характерны конусы выноса южных склонов Ферганской долины. Эта часть долины сложена серией взаимно перекрывающихся конусов выноса. Наиболее типичны конусы рек Сох и Исфара. Они занимают крайне западное положение в долине с резко выраженными зонами поглощения, выклинивания и рассеивания подземного стока и, по-видимому, не подвержены дренирующему действию р. Сыр-Дарьи.

Зона поглощения, сложенная с поверхности песчано-галечниковыми отложениями, имеет глубокое залегание

грунтовых вод, характеризуется высокими размерами потерь воды на фильтрацию в каналах и большими оросительными нормами, что вызывает необходимость практиковать частые поливы. В ряде случаев, когда конусы выноса образуются периодически действующими саями, их отложения содержат большее количество пылеватых и глинистых частиц. В этих условиях потери воды на фильтрацию в ирригационных каналах и размеры оросительных норм могут быть относительно невелики (Долгов и др., 1956). Вследствие глубокого залегания грунтовых вод и скудной растительности, представленной редкой порослью кустарников, испарение — транспирация здесь незначительна.

Периодические затопления значительных участков конусов выноса при прохождении паводков и селевых потоков, так же как и потери воды на фильтрацию в оросительной сети и на поливных участках, служат источником образования мощных грунтовых потоков. Они выходят на дневную поверхность в виде родников зоны выклинивания конуса выноса, как правило, занимающего сравнительно неширокую полосу в средней части конуса.

Поверхность зоны выклинивания обычно покрыта плащом глинистых и суглинистых отложений (2—3 м), подстилаемых мощной песчано-галечниковой толщей. Грунтовые воды залегают близко к поверхности и интенсивно расходуются на испарение — транспирацию густой растительностью. Потери воды на фильтрацию в ирригационной сети практически отсутствуют, и оросительные нормы имеют минимальную величину, так как растения получают дополнительное питание за счет грунтового потока.

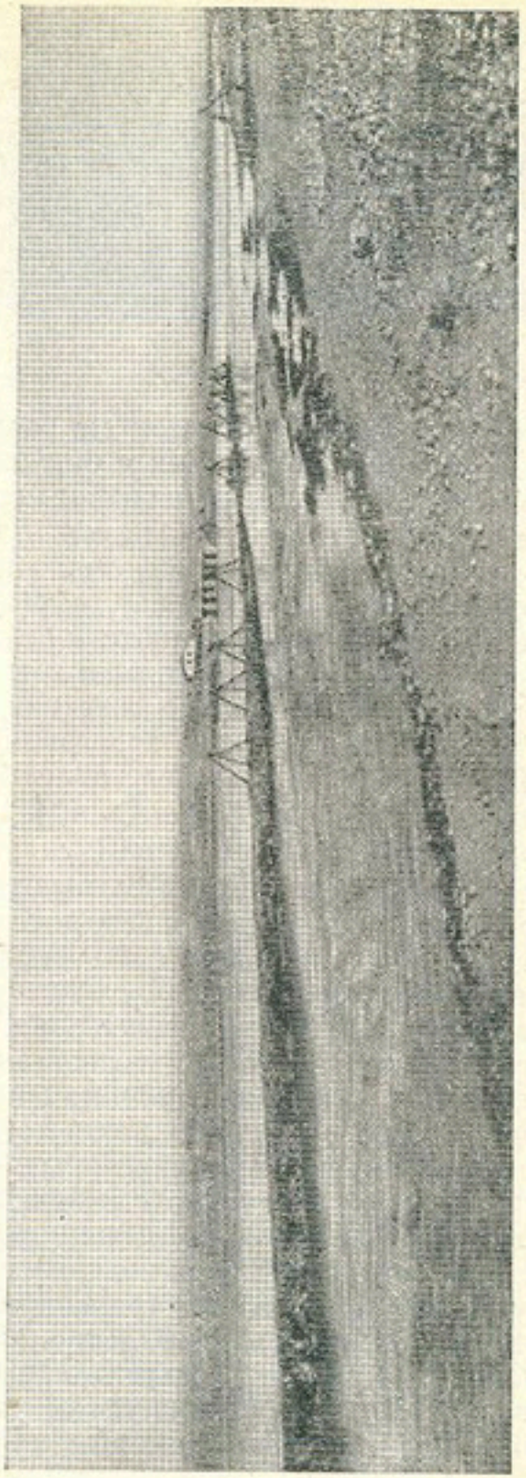


Рис. 25. Водозаборное сооружение канала на р. Нарын

Следующая зона, получившая название зоны рассеивания стока, представляет периферию конуса, сложенную мощной толщей суглинков и супесей. Здесь грунтовой поток связан с вышележащими зонами и испытывает подпор слабопроницаемых отложений, подстилающих конус. Грунтовые воды залегают неглубоко и характеризуются высокой степенью минерализации (в результате замедленного оттока и усиленного испарения). Потери на фильтрацию имеют среднее значение, оросительные нормы, устанавливаемые с учетом обеспечения нисходящего тока воды в почве, обычно значительно выше, чем водопотребление сельскохозяйственных культур.

Зона рассеивания имеет довольно густой растительный покров, испаряющий большое количество воды. При освоении земель под орошаемые культуры часто наблюдается повышение уровня грунтовых вод и увеличение засоления. Для предотвращения засоления и заболачивания широко практикуется дренаж. По условиям рельефа и вследствие сильной минерализации возможность использования дренажных вод на орошение ограничена.

Все зоны конуса выноса, связанные единым грунтовым потоком, представляют с точки зрения водного баланса одно целое: увеличение потерь в зоне поглощения вызывает увеличение дебита родников в зоне выклинивания и повышение уровня грунтовых вод на периферии конуса.

Это обстоятельство имеет большое практическое значение: С древнейших времен население Ферганской долины, распределяя паводковую воду по поверхности конуса, искусственно повышало потери на просачивание паводковых вод в зоне поглощения, увеличивая дебит родников зоны выклинивания в период маловодья[1].

Таким образом, требующая больших затрат борьба с потерями воды на фильтрацию в ирригационных каналах, проходящих по зоне поглощения конуса выноса, не всегда может оказаться эффективной.

Сокращение потерь может привести к соответствующему уменьшению дебита родников в зоне выклинивания или скважин на периферии конуса. Также, видимо, нель-

[1] В настоящее время система искусственного обогащения подземных вод путем распределения воды по конусу выноса широко применяется для усиления дебита артезианских скважин на периферии конуса выноса в США (Schiff, 1954)).

зя считать высокоэффективными мероприятия по регулированию рек в пределах зон поглощения с целью сосредоточения всего паводкового расхода в одном русле, как это запроектировано, например, на р. Сох (Средазгипроводхлопок, 1955), ибо такое регулирование, безусловно, приведет к уменьшению питания грунтового потока[1].

Наряду с «совершенными» конусами выноса, какими являются конуса Соха, Исфары, Исфайрама, Шахимардана и других рек левобережья Сыр-Дарьи, в Ферганской долине, особенно на правом берегу Сыр-Дарьи, широко распространены также «несовершенные» конусы. Последние располагаются на отложениях речных террас и дренируются рекой. В этом случае характерная для конуса выноса зона выклинивания исчезает, а зона поглощения либо покрывает всю поверхность конуса, либо постепенно переходит в зону рассеивания. «Несовершенный» конус встречается также при смыве рекой отложений на периферии «совершенного» конуса в результате понижения базиса эрозии.

Для некоторых рек Ферганской долины характерно также формирование нескольких конусов выноса, расположенных ярусами, в результате пересечения водотоком гряд сравнительно невысоких холмов (адыров), сложенных третичными конгломератами или более древними породами.

Гряды адыров оказывают заметное влияние и на движение грунтового потока, зачастую существенно изменяя присущий ему здесь характер. В большинстве случаев речные террасы в поясе подгорных равнин Сыр-Дарьинского бассейна тесно переплетаются с отложениями конусов выноса, но в отношении формирования элементов водного баланса имеют свои отличительные особенности.

Низкие террасы р. Сыр-Дарьи и ее основных притоков Чирчика, Ангрена и Келеса характеризуются неглубоким залеганием грунтовых вод. Пойменная и две надпойменных террасы покрыты тугайными лесами и густыми зарослями камыша, тростника, солодки, елгуна и других влаголюбивых растений. Как пойменные террасы, периодически затопляемые паводковыми водами, так и первые надпойменные, получающие дополнительное питание грунтовых вод с окружающих территорий, не испытывают недостатка влаги для произрастания естественной растительности и расходуют на испарение — транспирацию огромные массы воды, исчисляемые десятками тысяч кубометров на гектар. Неудивительно поэтому, что при освоении низких речных террас, несмотря на принимаемые меры против затопления поверхностными водами, наблюдается интенсивное заболачивание, борьба с которым возможна лишь путем устройства дренажа.

[1] На конусе выноса р. Сан-Хаокин (Калифорния) успешно применяются специальные сооружения для распределения паводка на возможно большую территорию с целью пополнения грунтовых вод (Ноик, 1954).

Орошение же земель на этих террасах не только не приводит к уменьшению стока, но обычно сопровождается появлением возвратных вод в количествах, значительно превышающих забор воды на орошение (например, в долинах Чирчика и Ангрена на протяжении последних 10—15 лет).

Вместе с тем с точки зрения водного баланса большое значение имеет то обстоятельство, что размер испарения — транспирации на низких речных террасах значительно выше размера испарения с открытой водной поверхности. Поэтому при устройстве русловых водохранилищ потери на испарение с их поверхности в большинстве случаев полностью компенсируются прекращением испарения — транспирации растительного покрова и водохранилища как бы оказываются источником дополнительных вод.

Высокие речные террасы, за редким исключением (урочище Бус), непосредственно переходят в волнистые равнины, а по характеру поверхности и геологическому строению мало отличаются от последних.

Соответственно и условия формирования элементов водного баланса высоких террас во многом напоминают условия, характерные для волнистых равнин. Как специфическая форма рельефа волнистые равнины широко распространены в районах, имеющих мощный покров лессовидных отложений.

В поясе подгорных равнин Сыр-Дарьинского бассейна мощные отложения лессовидных пород покрывают склоны Чаткальского и Кураминского хребтов в долинах Чирчика, Ангрена и Келеса, но встречаются также у подножия Туркестанского хребта на южной окраине Голодной

степи, в районе Чимкента в бассейне р. Арысь, у подножия Каратау в районе г. Туркестана.

Районы волнистых равнин отличаются резко выраженным рельефом, значительными поверхностными уклонами, глубоким залеганием грунтовых вод и сравнительно хорошо развитым в естественных условиях растительным покровом (преимущественно эфемеровые злаки и ксерофиты).

В бассейне Сыр-Дарьи волнистые равнины, характеризующиеся сравнительно большим количеством атмосферных осадков (400—600 мм), интенсивно используются для богарного земледелия и в качестве пастбищ, а во влажные годы и как сенокосы. Вследствие сравнительно слабой водопроницаемости лессовых пород (после промачивания и стабилизации просадок) потери на фильтрацию в ирригационной сети сравнительно невелики, а оросительные нормы имеют средние величины.

Благодаря хорошей дренированности подстилающими водопроницаемыми породами грунтовые воды после орошения, как правило, не поднимаются. За счет поверхностного сброса и выклинивания грунтовых вод по тальвегам образуется поверхностный сток возвратных вод, нередко достигающий 35—50% количества воды, подаваемого на орошение.

Кроме поверхностного стока, по-видимому, имеет место также и усиленный отток грунтовых вод на прилегающие речные террасы, в результате чего забор воды на орошение волнистых равнин приводит лишь к незначительному уменьшению стока в масштабе бассейна. Естественная растительность волнистых равнин лишь изредка имеет корневую систему, достигающую грунтовых вод. В большинстве же случаев она питается водой только за счет выпадающих осадков. При уничтожении естественной растительности осадки, выпадающие в невегетационный период, в силу больших уклонов усиливают поверхностный сток. При проектировании водохранилищ в тальвегах подгорных равнин необходимо снижать расчетный размер потерь на испарение, учитывая замену транспирации растительного покрова со дна тальвегов испарением с открытой водной поверхности.

Пояс пустынной низменности по условиям формирования водного баланса может быть разделен на

аллювиальные равнины, речные террасы и приморскую дельту.

К аллювиальным равнинам может быть отнесена Голодная степь, занимающая площадь около 8000 км², а также Чардаринская степь и Арысь-Туркестанский массив на правом берегу Сыр-Дарьи; к речным террасам — значительная часть Дальверзинской степи и Чилийский массив; к древней и современной дельте — Кзыл-Ординский массив и район Казалинска.

Аллювиальные равнины, сложенные мощной толщей суглинков и глин с линзообразным залеганием песков, имеют плоский слаборасчлененный рельеф. Грунтовые воды залегают на различной глубине от 2—3 м в прибрежных районах и до 20 м и более в наиболее удаленных от реки точках. При неглубоком залегании минерализованных грунтовых вод растительный покров обычно представлен различными видами солянок, при более глубоком — различными видами полыни. Преимущественное распространение имеют растения с глубокими корнями (phreatophytes), питающиеся грунтовыми водами с глубины 10 м и более.

Потери воды в ирригационной сети относительно невелики, но ввиду затрудненного подземного оттока они могут существенно влиять на подъем уровня грунтовых вод. На засоленных участках оросительные нормы, устанавливаемые с рассчетом обеспечить нисходящий ток воды в почве, могут способствовать повышению уровня грунтовых вод. Кроме того, при орошении в результате уничтожения естественной растительности вода, расходовавшаяся на транспирацию, останется в почве и также пойдет на пополнение грунтовых вод. По этим причинам освоение земель при засоленных почвах и залегании грунтовых вод на глубине до 3—5 м должно, как правило, сопровождаться устройством дренажа. На участках с глубоким залеганием грунтовых вод оросительные нормы могут быть установлены в соответствии с водопотреблением сельскохозяйственными культурами, а потери воды в ирригационной системе резко уменьшены за счет проведения специальных мероприятий (облицовка, уплотнение). Поэтому на участках с глубоким залеганием грунтовых вод при отсутствии растительного покрова из phreatophytes и питания их извне орошение может не вы-

зывать подъема грунтовых вод и в этом случае исключается необходимость устройства дренажа.

Ввиду малых уклонов и незначительных скоростей грунтового потока орошение новых земель обуславливает выклинивание возвратных вод через длительный промежуток времени (10—20 лет), за исключением участков с неглубоким залеганием грунтовых вод, где сбросы из дренажа появляются в первые годы освоения.

Речные долины, представленные преимущественно низкими террасами, в отношении формирования элементов водного баланса имеют примерно те же условия, что и речные террасы на подгорных равнинах. Дельта р. Сыр-Дарьи очень слабо освоена (из общей площади 360 тыс. га орошается всего 30 тыс. га) и подвержена почти ежегодно затоплению во время летних паводков и зимних заторов. Территория дельты покрыта густыми зарослями тростника, осоки, рогоза и других влаголюбивых растений. Значительная часть поверхности почти круглый год залита водой. В таких условиях дельта расходует на испарение — транспирацию огромные массы воды (около 8 км³ в год). Регулирование паводков, обвалование берегов и последующее освоение земель даже и под культуру риса, безусловно, приведет к уменьшению потерь воды и увеличению стока в Аральское море.

Оценивая физико-географические условия бассейна р. Сыр-Дарьи с точки зрения водного баланса, следует признать, что наличие значительных резервов водных ресурсов позволит с успехом использовать их для развития орошения во всех частях бассейна.

Бассейн р. Зеравшан

Бассейн р. Зеравшан, занимающий территорию во много раз меньшую, чем бассейны рек Аму-Дарьи и Сыр-Дарьи (65,6 тыс. км²), также охватывает три высотных пояса — горный, подгорных равнин и пустынной низменности.

Границей между горным поясом и поясом подгорных равнин служит урочище Рават-Ходжа, расположенное примерно на высоте 900 м над уровнем моря. Граница подгорных равнин и пустынной низменности проходит через район сел. Хазара примерно на высоте 300 м над

уровнем моря, где река выходит на территорию Бухарского оазиса.

В горном поясе орошаемая площадь в настоящее время составляет около 5 тыс. га. Орошаемые земли в большинстве случаев размещены отдельными разрозненными участками на мелких притоках. Лишь в районе г. Пенджикента имеется массив, расположенный на речных террасах (около 2 тыс. га), орошаемый водами р. Зеравшан и ее притока Магиандарьи. Верхняя граница орошаемых земель достигает 2500 м над уровнем моря в районе Анзобского перевала и озера Искандер-Куль. Основные орошаемые культуры и насаждения — зерновые, травы, картофель, сады, а в районе Пенджикента — рис.

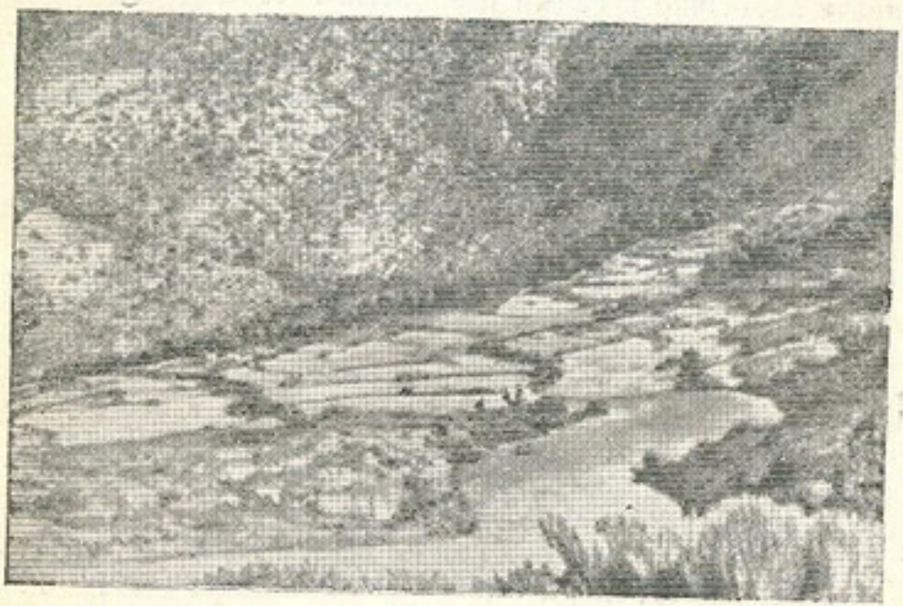


Рис. 26. Орошаемые участки в горной части бассейна р. Зеравшан

По характеру рельефа орошаемые участки относятся преимущественно к террасам речной долины и конусам выноса притоков. Сколько-нибудь значительных свободных площадей для развития орошения здесь нет, за исключением Маргидарской степи (около 2 тыс. га) в районе Пенджикента. Забор на орошение горных участков не влияет на баланс водных ресурсов реки, так как большая часть участков расположена выше опорных гидро-

метрических постов, а также в связи с тем, что по условиям рельефа потери воды в ирригационных каналах и не используемая на полях часть оросительных норм образует возвратные воды, выклинивающиеся в русло реки.

Водохранилища, создание которых намечается в горной части долины Зеравшана (Дупулинское, Пенджикентское, Раватходжинское), в ряде случаев будут затапливать заросшие тугаями и занятые посевами риса пойменные земли. При проектировании водохранилищ необходимо учитывать уменьшение потерь на испарение в результате затопления площадей, покрытых растительностью.

Наибольшее распространение в бассейне р. Зеравшан орошение получило в поясе подгорных равнин, где орошается около 270 тыс. га. Однако и здесь главным образом из-за недостатка воды не используются значительные площади пригодных для орошения земель (около 700 тыс. га). Пояс подгорных равнин представлен в основном речными террасами и волнистыми лессовыми равнинами. Река Зеравшан после впадения в нее р. Магиан, несколько выше Пенджикента, не имеет притоков. Несколько мелких саев, стекающих в долину р. Зеравшан со склонов Нуратинского и Зеравшанского хребтов, как правило, не доносят своих вод до реки и теряются, разливаясь по подгорной равнине. Каждый из саев формирует конус выноса, налегающий на отложениях речных террас. Орошаемые саями земли общей площадью около 20 тыс. га размещены частично в горной части саев, но в основном на конусах выноса и представляют преимущественно обособленные участки, не связанные с основными ирригационными системами Зеравшанской долины. Тем не менее саи, несущие во время снеговых и ливневых паводков значительные расходы, по-видимому, играют известную роль в питании грунтового потока долины.

Низкие речные террасы, занимающие большую часть Зеравшанской долины, характеризуются неглубоким залеганием грунтовых вод. В результате длительного использования речных террас под посевы риса произошло выщелачивание верхних горизонтов почв и на некоторой глубине образовался уплотненный водонепроницаемый горизонт (местное название «арзык»). Высокое стояние грунтовых вод и наличие арзыка обуславливают заболачивание. Потери воды в ирригационных каналах ничтожны и оросительные нормы невелики.

На низких террасах значительные площади переложных земель покрыты, как правило, густыми зарослями влаголюбивой растительности (камыш, тростник, елгун, аджирик, лох, ива и др.), расходующей на испарение — транспирацию большое количество воды, превышающее потребление влаги культурными растениями в несколько раз. Подсчет баланса одного сравнительно небольшого участка долины правобережья р. Зеравшан в Джамбайском и Булунгурском районах и части острова Миankаль показал, что в результате освоения перелогов площадью 19 тыс. га может быть обеспечено водой дополнительно около 14 тыс. га в других районах Зеравшанской долины (Калачев, 1958). Это дает основание ожидать, что вопреки представлениям об исчерпании оросительной способности р. Зеравшан в бассейне имеются еще внутренние резервы, использование которых позволит расширить орошаемую площадь.

Высокие террасы и волнистые равнины характеризуются глубоким залеганием грунтовых вод и в большинстве случаев хорошо проницаемыми грунтами. Эти районы отличаются сравнительно высокими потерями в ирригационной сети и большими оросительными нормами. Однако и здесь при дальнейшем увеличении орошаемых площадей будет несколько увеличиваться количество возвратных вод.

По топографическим и гидрогеологическим условиям весь сток возвратных вод при орошении высоких террас и волнистых равнин должен поступать в реку выше створа сел. Хазара и может быть использован на орошение в нижнем течении реки. Таким образом, освоение заболоченных перелогов и периферийных земель в подгорных равнинах будет способствовать некоторому ослаблению напряженного в маловодные годы баланса бассейна.

Однако в связи с тем, что режим выклинивания возвратных вод в долине р. Зеравшан не соответствует режиму водопотребления, дальнейшее развитие орошения на базе возвратных вод может потребовать увеличения емкости водохранилищ. Имеющиеся водохранилища (общей емкостью около 1,5 км³) расположены таким образом, что только одно из них — Катта-Курганское (в сред-

нем течении реки) командует над небольшой частью орошаемых земель в рассматриваемом поясе, а остальные водохранилища — Куюмазарское и Тудакульское (в нижнем течении) командуют только над сухой дельтой реки.

Поэтому дальнейшее развитие орошения в верхней части долины (где живой ток реки в критический период уже при современных орошаемых площадях разбирается полностью) вызовет необходимость регулирования стока в водохранилищах, расположенных в горном поясе. Как уже отмечалось, при устройстве здесь русловых водохранилищ потери на испарение с водной поверхности будут меньшими, чем испарение — транспирация растительного покрова чаши водохранилища. В результате этого получится некоторая экономия в воде. Кроме того, в результате задержания паводка в водохранилищах будет исключено затопление поймы реки и уменьшены русловые потери. По ориентировочному подсчету, все эти мероприятия дадут возможность дополнительно использовать на орошение не менее 1 км³ воды и увеличить орошаемую площадь в бассейне на 100—150 тыс. га.

Пояс пустынной низменности представлен речной долиной в пределах Бухарского оазиса аллювиальной равниной, простирающейся на северо-запад от Бухарского оазиса, и сухой дельтой Каракульского оазиса. Здесь сосредоточено около 200 тыс. га орошаемых земель и значительные площади неосвоенных земель, пригодных для орошения.

По Б. В. Федорову (см. Дунин-Барковский, 1946) земельный фонд Зеравшанской долины характеризуется следующими данными:

Таблица 18

Высотные пояса	Площадь (тыс. га)		
	не требующая мелиорации	требующая мелиорации	всего
Подгорная равнина . . .	510	476	986
Пустынная низменность .	31	1775	1806
Всего . . .	541	2251	2792

Из таблицы видно, что долина обладает огромным земельным фондом, превышающим фактически орошаемую площадь (490 тыс. га) более чем в пять раз.

Развитие орошения в бассейне р. Зеравшан лимитируется водными ресурсами и мелиоративным состоянием земель.

Выше отмечалось, что для подгорных равнин с точки зрения условия формирования водного баланса характерно наличие значительных резервов водных ресурсов, использование которых позволит расширить орошаемую площадь. В пустынной низменности также имеются некоторые резервы — болота и заболоченные земли, занимающие несколько десятков тысяч гектаров. С постройкой системы коллекторов и отводом избыточных вод в Куюмазарское и Тудакульское водохранилища эта площадь будет практически сведена к нулю, а дренажные воды системы коллекторов (если их минерализация не окажет вредного влияния на сельскохозяйственные культуры) смогут быть полностью использованы для орошения.

Совершенно не тронутым резервом являются глубинные подземные воды, которые можно использовать путем механической откачки.

Некоторое более или менее значительное количество воды в настоящее время, по-видимому, расходуется на испарение — транспирацию растительным покровом перележных земель со сравнительно неглубоким залеганием сильно минерализованных грунтовых вод. Это количество воды после понижения уровня подземных вод откачкой из скважин может быть полностью использовано для орошения.

Вместе с тем понижение грунтовых вод откачкой из скважин предотвратит реставрацию засоления и позволит сэкономить значительное количество воды за счет прекращения промывных поливов, на которые в настоящее время расходуется от 350 до 600 млн. м³ воды.

На террасах речной долины, аллювиальной равнине и сухой дельте условия формирования элементов водного баланса различны. Речная долина и аллювиальная равнина наряду с чертами, свойственными аналогичным районам пустынной низменности бассейнов рек Аму-Дарьи и Сыр-Дарьи, имеют и свои отличительные особенности. Так, например, аллювиальная равнина на северной окраине Бухарского оазиса имеет выходящие на

поверхность песчано-галечниковые отложения, не встречающиеся в пределах аллювиальных равнин пояса пустынной низменности указанных бассейнов. Вследствие того, что в течение некоторых довольно продолжительных отрезков времени (на протяжении года) вода по руслу р. Зеравшан ниже Дуабинской плотины не пропускается и река дренирует прибрежные отложения, пойменная терраса на этом участке иногда сильно осушается и местами покрывается сыпучими песками.

Кроме того, южная часть Бухарского оазиса наклонена в сторону окаймляющего оазис с юга древнего русла р. Кашка-Дарьи и дренируется этим руслом. В силу отмеченных особенностей формирование элементов водного баланса здесь также имеет свои характерные черты.

Для неорошаемой аллювиальной равнины к северу от Бухарского оазиса характерны глубокое залегание грунтовых вод и чрезвычайно скудная растительность, питающаяся водой исключительно за счет выпадающих здесь в ничтожном количестве осадков (около 100 мм). На этой сложенной рыхлопесчаными и галечниковыми отложениями территории нет оснований ожидать подъема грунтовых вод после орошения, что подтверждается опытом освоения Джильванского массива на окраине Бухарского оазиса. Пойма р. Зеравшан ниже Дуабинской плотины (русло Каракуль) покрыта довольно скудной растительностью, и река на этом участке не только не имеет потерь, но даже получает некоторое количество выклинивающихся вод за счет дренирования окружающих орошаемых земель (около 50 млн. м^3).

Своеобразной чертой этого района также является удовлетворительная степень дренирования некоторых участков южной окраины Бухарского оазиса, прилегающих к древнему руслу Кашкадарьи. Сухая дельта Зеравшана — Каракульский оазис — сложена аллювиальными песками, супесями и суглинками, налегающими на третичную глинистую толщу. Мощность аллювиальных отложений изменяется от нескольких десятков метров в вершине дельты до нуля на периферии. Зеркало грунтовых вод находится на глубине от 1 до 3 м. Основной источник пополнения грунтовых вод в прошлом — избыточные паводковые и зимние воды р. Зеравшан. В настоящее время после отвода избыточных вод в Куюмазарскую и Тудакульскую впадины грунтовые воды пополняются

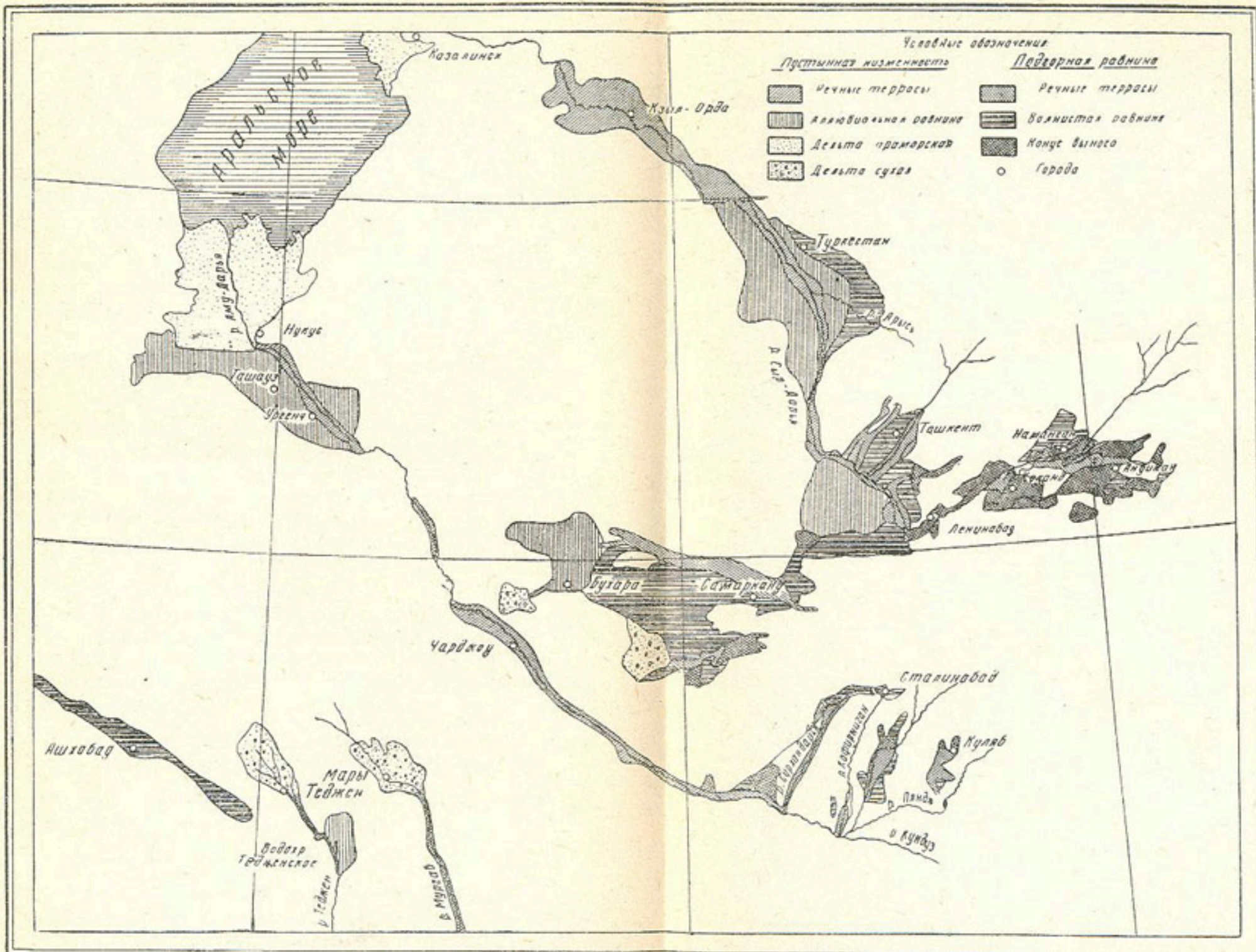


Рис. 27. Схема ландшафтного районирования Средней Азии

исключительно за счет фильтрации из оросительной сети и промывных поливов.

В связи с этим мелиоративное состояние земель Каракульского оазиса стало улучшаться. Можно предполагать, что по мере понижения уровня грунтовых вод и рассоления земель надобность в промывках будет уменьшаться. Строительство дренажной системы затрудняется наличием сильноопливающих илистых грунтов и отсутствием водоприемников. В условиях Каракульского оазиса улучшение мелиоративного состояния за счет уменьшения подачи воды на поля и сокращения потерь в оросительной сети, по-видимому, вполне возможно. После окончания строительства Куюмазарского и Тудакульского водохранилищ водой будут обеспечены все земли оазиса, включая не используемые ныне переложные участки.

Приведенные выше соображения о районировании бассейнов рек Аму-Дарьи, Сыр-Дарьи и Зеравшана с точки зрения условий формирования водного баланса показывают, что каждый бассейн имеет свои специфические особенности. Но в то же время аналогичным ландшафтным единицам различных бассейнов присущи очень сходные условия формирования элементов водного баланса. Указанные обстоятельства подтверждают важность районирования орошаемых территорий по ландшафтным признакам в целях правильного решения следующих вопросов проектирования водохозяйственных мероприятий, связанных с водным балансом:

1) определения оросительной способности; 2) размещения водохранилищ и определения потерь из них; 3) прогноза изменения мелиоративного состояния земель в результате орошения; 4) использования подземных вод на орошение.

5. МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОСТАВЛЯЮЩИХ ВОДНОГО БАЛАНСА

Уравнение водного баланса (стр. 71) может быть также представлено в следующем виде:

ные условия формирования элементов водного баланса. Указанные обстоятельства подтверждают важность районирования орошаемых территорий по ландшафтным признакам в целях правильного решения следующих вопросов проектирования водохозяйственных мероприятий, связанных с водным балансом:

1) определения оросительной способности; 2) размещения водохранилищ и определения потерь из них; 3) прогноза изменения мелиоративного состояния земель

Некоторые составляющие уравнения (8), как например, количество выпадающих осадков, поверхностный приток и отток, а также запас влаги в почве, могут быть получены с известной степенью точности на основании режимных наблюдений на существующих метеорологических, гидрометрических и гидрогеологических станциях. Другие же элементы, как например, испарение — транспирация, подземный приток и отток, требуют проведения специальных полевых измерений и режимных наблюдений.

Известные трудности определения первой группы элементов водного баланса возникают, главным образом, в связи с неполнотой наблюдений, а нередко также из-за резких расхождений соответствующих показаний по различным пунктам, затрудняющих статистическую обработку материалов и заставляющих сомневаться в достоверности части наблюдений. Тем не менее все эти трудности вполне преодолимы, и в конечном счете составляющие водного баланса первой группы могут быть определены с достаточной для практических целей точностью.

Из числа составляющих водного баланса второй группы наибольшие трудности представляет определение размеров испарения — транспирации. При наличии соответствующих данных по геологии и гидрогеологии того или иного района приток и отток грунтовых вод в большинстве случаев могут быть ориентировочно подсчитаны. Однако точность определения весьма ограничена и во многих случаях для более или менее надежного определения размеров этих элементов пользуются косвенным методом — подсчетом водного баланса. Для определения водного баланса измерение испарения — транспирации обязательно еще и потому, что этот элемент на орошаемых территориях обычно составляет 85—95% всех расходных элементов.

Методика определения количества выпадающих осадков элементарна и не требует специальных пояснений. Тем не менее, если рассматриваемая территория сравнительно велика, а количество наблюдательных пунктов недостаточно, определение притока влаги за счет атмосферных осадков может в известной степени носить условный характер и точность этого определения может оказаться невысокой.

Аналогично обстоит дело с притоком и оттоком поверхностных вод. При наличии гидрометрических створов с длительным сроком наблюдений размер поверхностного притока и оттока определяется непосредственно по гидрометрическим данным. При отсутствии гидрометрических створов или длительных наблюдений по этим створам приходится пользоваться косвенными методами, основанными на наблюдениях за атмосферными осадками и вычислении коэффициента стока по аналогии с другими районами, или же по эмпирическим формулам. В этом случае точность определения поверхностного притока и оттока будет значительно ниже из-за ошибок при определении количества осадков и коэффициента стока.

Существенное уточнение при определении стока может быть достигнуто при наличии данных о размере испарения — транспирации водосборной площади. Для установления размеров подземного притока и оттока могут быть использованы геологические профили (составленные на основании горных выработок или геофизических исследований) и данные о скорости движения грунтового потока (полученные на основании непосредственных измерений с применением окрашивания, химических растворов или электрозондирования), а также материалы об уклоне грунтового потока и коэффициенте фильтрации. Точность измерений с применением всех указанных методов невысока[1].

Таким образом, определение всех перечисленных элементов водного баланса обычно является в значительной степени условным и страдает большими погрешностями. Поэтому для получения более или менее достоверной картины водного баланса нельзя ограничиться вычислением какой-либо составляющей путем подстановки в уравнение баланса измеренных величин других составляющих. Среди расходных элементов водного баланса орошаемой территории наибольший удельный вес имеет испарение — транспирация, поэтому эта величина должна быть установлена по возможности с наибольшей точностью.

Исследования по определению размеров испарения —

[1] За последнее время для измерения подземного притока и оттока стали применяться радиоактивные изотопы. Применение изотопов, безусловно, повысит точность измерений. Однако пока этот способ не получил широкого распространения и техника его недостаточно разработана.

транспирации для выявления потребности растений в воде велись в различных районах с различным растительным покровом.

С этой целью применялись разные способы: срезка и последующее высушивание зеленой массы, измерение влажности воздуха в специальных резервуарах, а также определение потерь воды на транспирацию растениями, помещенными в сосуды. При проведении этих экспериментов создавались искусственные условия, благодаря которым обобщение результатов не давало надежных данных для определения истинных размеров испарения—транспирации и нередко, как указывают Торнтвейт и Мазер, приводило к абсурду (Thorntwait and Mather, 1955)[1].

Более правилен метод, основанный на определении вертикального потока влаги. Хотя непосредственно наблюдать испарение невозможно, степень его все же можно определить по разности влажности воздуха в приземном слое и на известной высоте над земной поверхностью. Этот способ требует точных физических измерений, практически пока еще мало освоенных.

Несмотря на все эти трудности, метод, основанный на измерении переноса влаги, является сравнительно более совершенным и позволяет ближе подойти к определению размеров испарения — транспирации в естественных условиях, нежели описанные ранее приемы.

Применение метода переноса влаги с использованием метеорологических данных для определения размера испарения — транспирации показало, что этот метод дает достаточно точные результаты для сравнительно больших площадей и приводит к значительным ошибкам при меньших площадях (Benton, 1956). Это объясняется, возможно, тем, что на больших территориях скорость ветра существенно не влияет на процесс переноса влаги и может определяться со значительной степенью приближения. На меньших пространствах скорость ветра играет большую роль и поэтому должна определяться с возможно большей точностью. Дальнейшее усовершенствование этого метода, по-видимому, будет иметь особенно большое практическое значение, только когда будут накоплены материалы метеорологических наблюдений.

[1] Так, например, исследования, проведенные в Германии, показали, что размер транспирации дубовых рощ превышает количество выпадающих осадков в восемь раз.

Для элементарных площадок испарение — транспирация может определяться по наблюдениям на лизиметрах. Более или менее удовлетворительные результаты получатся только при условии применения лизиметров значительного размера (с площадью, измеряемой десятками квадратных метров). Ясно, что лизиметры такого размера применимы лишь при стационарных исследованиях в отдельных пунктах. Такие измерения представляют большой интерес для корректирования полученных другими путями данных по испарению — транспирации и для определения расчетных зависимостей.

В США начиная с 1946 г. стало широко проводиться измерение водопотребления растениями в полевых лизиметрах площадью 4 м² и глубиной 70 см. При производстве этих опытов непосредственно измеряется приток и отток воды, а испарение — транспирация вычисляется из уравнения водного баланса. Благодаря широкому развитию подобных наблюдений, несмотря на несовершенство такого метода, можно иметь представление о размерах испарения — транспирации в различных условиях и о влияющих на него факторах. В результате проведенных наблюдений было установлено, что испарение — транспирация зависит от следующих пяти элементов: 1) климата, 2) влажности почвы, 3) растительного покрова, 4) структуры и типа почвы, 5) обработки земель.

При оптимальной влажности почв растительный покров, структура почв и агротехника оказывают незначительное влияние на интенсивность испарения — транспирации. Наблюдения показывают также, что при обеспечении надлежащей влажности корневой зоны количество влаги, потребляемой растительностью, в большей степени зависит от количества солнечной энергии, получаемой поверхностью, и степени ее нагрева, нежели от вида растительного покрова.

Потери воды — испаряемость при оптимальных условиях почвенной влажности в основном определяются климатическими условиями.

Испарение — транспирация зависит от солнечной радиации, поступления тепла из воздуха и тепла, содержащегося в испаряющей среде. Скрытая теплота испарения составляет:

$L = 597 - 0{,}6\ T$, где T — температура в градусах Цельсия (Будыко, 1956).

Если источником тепла, необходимого для испарения, является сама вода, то ее поверхность охлаждается ниже точки росы и испарение прекращается. Поэтому испарение может происходить лишь при условии постоянного получения энергии извне.

Солнце, как известно, является единственным источником энергии для испарения — транспирации. Однако на испарение — транспирацию расходуется не вся солнечная энергия, а только ее поглощенная часть. Растительный покров может отражать до 25% солнечной энергии.

В зависимости от температуры поверхность земли значительную часть поглощенной радиации излучает обратно (зачастую 10—15% от поглощенной радиации).

После уменьшения за счет потерь в результате отражения и обратного излучения оставшаяся часть, известная под названием остаточной радиации, делится на три части — одна нагревает почву, другая воздух (в результате соприкосновения с почвой) и третья используется на испарение — транспирацию.

Многочисленные полевые исследования, методика которых хорошо разработана как у нас (Будаговский и Савина, 1956), так и за рубежом (Blomgren, 1955), показывают, что при высокой влажности почв более 80% тепловой энергии, получаемой в виде остаточной радиации, идет на испарение—транспирацию. При сухой почве испарение значительно уменьшается, большая часть остаточной радиации идет на нагревание воздуха и лишь незначительная часть расходуется на испарение.

Для определения испарения — транспирации в настоящее время широко применяется метод теплового баланса, уравнение которого для суши имеет вид:

$$R=LE+P, \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (9)$$

где: R — остаточная радиация или радиационный баланс; L — скрытая теплота испарения; E — испарение; P — турбулентный обмен тепла между почвой и воздухом (Будыко, 1956).

Этот метод, впервые предложенный В. Шмидтом в 1915 г., в упрощенном виде использовался лишь для определения испарения с открытой водной поверхности. Применение этого метода для определения испарения — транспирации, зависящей от влажности почв, долгое время считалось нереальным. Лишь после того, как было введено понятие потенциального испарения — транспирации, или испаряемости, стало возможным более широкое применение этого метода (Скворцов, 1928). Когда влажность почв становится меньше полевой влагоемкости, доля остаточной радиации, используемой на испарение — транспирацию уменьшается пропорционально снижению влажности почвы, что позволяет определять испарение — транспирацию при разных значениях влажности почвы.

Различным видам растительности соответствует определенная степень испаряемости, так как они имеют различное альбедо. Альбедо изменяется в довольно широких пределах от 0,25 для трав и сельскохозяйственных культур и до 0,10 для хвойных деревьев (Будыко, 1956).

Для определения всех источников испарения — транспирации проводятся балансовые градиентные наблюдения, которые состоят в измерении остаточной радиации R, температуры, влажности воздуха и скорости ветра, а также температуры почвы на поверхности и разных глубинах. Методика такого рода измерений хорошо разработана (Будаговский, 1956).

Наблюдения над испарением — транспирацией в настоящее время проводятся Институтом географии Академии наук СССР в орошаемых районах Средней Азии. Предполагается, что на основе полевых данных по испаряемости различных видов растительного покрова и в результате обработки метеорологических данных можно будет получить величины испарения — транспирации расчетом.

В практике США считается более надежным определение испарения — транспирации путем сравнения климатических данных с данными наблюдений по лизиметрам. Было установлено, что размер потенциального испарения — транспирации, или испаряемости, зависит от температуры и продолжительности светового дня. В результате статистической обработки данных получена формула, позволяющая определять испаряемость в любой точке по ее географическим координатам и данным о температуре. По своей простоте и точности эта формула имеет значительные преимущества перед другими эмпирическими формулами (Tomlinson, 1953).

В настоящее время в США ведутся исследования для получения физически обоснованных зависимостей, но формулы, основанные на таких зависимостях, пока еще не выведены.

Размеры испаряемости по формуле Блейни и Криддла Бюро погоды США определило для 3500 метеостанций; на основе этих вычислений составлена карта испаряемости. Размер водопотребления изменяется от 440 мм в горных районах Запада до 1500 мм на пустынных участках Аризоны и Южной Калифорнии, на востоке — от 530 мм на границе с Канадой до 1200 мм во Флориде и Южном Техасе. Испарение — транспирация с поверхности болот одинакова для большинства районов США. В зимние месяцы на заболоченных равнинах Мексиканского залива испарение — транспирация имеет незначительную величину, а на юге Флориды составляет 50 мм в месяц. В июле испарение достигает 125 и даже 175 мм.

Поскольку формула Блейни—Криддла выведена на основе статистической обработки материалов наблюдений за размерами испарения — транспирации в лизиметрах площадью 4 м² на Североамериканском континенте (от Аляски до Мексики), возник вопрос о допустимости ее применения в других районах, в частности, в районах Восточного полушария. С этой целью были проведены расчеты водопотребителей по формуле Блейни—Криддла и произведено сравнение с фактическими данными по Египту (Selim, El Oraby, 1957), Бирме, а также по некоторым районам Средней Азии (Гипроводхоз, 1957) и по Народной Республике Албании (Гипроводхоз, 1958). Во всех случаях расхождения между расчетными и фактическими данными были невелики и не превышали 3—5%. Это подтверждает возможность повсеместного пользования формулой Блейни—Криддла для определения размеров водопотребления культурной растительности. Предварительные расчеты размеров водопотребления естественной растительности по одному из участков Зеравшанской долины (Калачев, 1958) и по Камышкурганскому массиву на севере Таджикской ССР (Страннолюбская, 1958) также подтвердили достаточную точность этих расчетов по сравнению с данными фактических наблюдений.

На первый взгляд кажется, что определение испарения — транспирации по эмпирическим формулам (в которых учитывается лишь температура, географическое положение и растительный покров) чрезвычайно примитивно и не может претендовать на достаточную точность. Тем не менее есть основания считать, что эта простая,

эмпирически выведенная зависимость отражает действительную картину изменения испарения — транспирации. Это вытекает из основного теоретического положения физической географии о том, что физико-географические условия данной территории земной поверхности определяются условиями обмена энергии или тепловым балансом, выразителем которого, в свою очередь, является водный баланс (Григорьев, 1956).

Действительно, поскольку основным источником энергии для процесса испарения — транспирации является остаточная солнечная радиация, а последняя в свою очередь зависит от степени поглощения ее поверхностью (т. е. интенсивности и времени поступления солнечной энергии или продолжительности светового дня и альбедо, изменяющегося в зависимости от степени развития и вида растительного покрова), физическая связь между размером испарения — транспирации и этими элементами становится очевидной. Температура воздуха, являющаяся функцией остаточной солнечной радиации, расходующейся на испарение и нагревание почвы и воздушных масс, с одной стороны, и функцией условий обмена этих масс — с другой, также должна служить показателем интенсивности обмена энергии данной территории, будучи связана генетически с тепловым и водным балансом.

Глубокое изучение зависимости отдельных элементов теплового баланса, проведенное в Государственной геофизической обсерватории имени А. И. Воейкова (Будыко, 1956), показало, что размер испаряемости (испарения — транспирации) с поверхности суши имеет наиболее выраженную линейную связь с суммой температур. Поэтому, по мнению М. И. Будыко, «...из эмпирических методов определения испаряемости большого внимания заслуживают расчеты годовых величин испаряемости по суммам температур. Эти расчеты очень просты и для широкого диапазона климатических условий — от тундровой до экваториальной зоны дают результаты, довольно близкие к расчетам по радиационному балансу». Приведенная выше эмпирическая зависимость Блейни и Криддла, включающая, кроме суммы температур, еще продолжительность светового дня и эмпирический коэффициент, зависящий от рода культур, по-видимому, должна давать еще более близкие результаты к расчетам по радиационному балансу.

Из сказанного следует, что формула Блейни—Кридла выражает не случайную эмпирическую зависимость, а в известной степени также отражает и физическую сущность явления. Дальнейшее усовершенствование этой зависимости, по-видимому, должно быть направлено на уточнение влияния влажности почв и растительного покрова на разных стадиях развития растений и при различной густоте стояния[1].

Выводы

1. Существующие методы определения оросительной способности источников орошения, основанные на русловом балансе, не отражают действительной картины изменения стока рек под влиянием забора воды на орошение.

2. Практика разработки водохозяйственных схем и фактические наблюдения за изменением стока обнаруживают значительные расхождения между проектными и фактическими данными[2].

3. Правильное решение вопроса об изменении стока под влиянием забора воды на орошение может быть получено на основе анализа уравнения водного баланса с учетом физико-географических условий, в которых формируются составляющие водного баланса.

4. Для водного баланса орошаемой территории особенно большое значение имеют гидрогеологические условия и растительный покров, но известную роль также играет и циркуляция влаги в атмосфере.

5. В определенных гидрогеологических условиях вода, теряющаяся в каналах, полностью возвращается в реку.

[1] Методика районирования растительного покрова по размерам транспирации разработана И. Н. Бейдеман (1950).

[2] Такое положение имеет место в бассейне р. Сыр-Дарьи, где забор воды на орошение значительных площадей не сопровождался уменьшением стока реки по данным гидрометрических постов, расположенных ниже водозабора; в отдельные маловодные годы даже произошло увеличение стока. В бассейнах рек Зеравшан и Ангрен сокращение площади посевов риса в верхней части долины не только не способствовало развитию орошения в низовьях за счет экономии воды, но привело к значительному сокращению стока.

Данные зарубежной практики, в частности США, также показывают, что забор воды на орошение в различных физико-географических условиях влияет на сток по-разному.

Срок возвращения профильтровавшейся воды в ирригационных системах в зависимости от природных условий варьирует от 1—2 до 20 лет и более.

6. Роль транспирации растительного покрова очень велика. Для многих речных бассейнов пустынной зоны транспирация составляет 85—95% выпадающего в их пределах количества осадков. В ряде случаев естественная растительность потребляет значительно больше воды, чем культурная; поэтому после орошения вода, расходовавшаяся естественной растительностью, может возвращаться в реку и таким образом существенно увеличивать водные ресурсы.

7. Правильная методика установления водного баланса должна включать изучение условий формирования и выклинивания возвратных вод с учетом водопотребления культурной и естественной растительности. Определение проектных размеров водопотребления культурной растительности может быть значительно упрощено.

8. Определение водопотребления естественной растительности имеет также большое значение при установлении потерь на испарение с поверхности водохранилищ, которые, как правило, определяются без учета водопотребления естественной растительности и резко завышаются.

9. Анализ элементов водного баланса показывает, что борьба с потерями на фильтрацию на ирригационных системах во многих случаях является частной технико-экономической задачей, так как нередко эти потери возвращаются в источники орошения в виде дополнительных вод.



Карл Маркс, Капитал, т. III. М., Госполитиздат, 1949.

Контрольные цифры развития народного хозяйства СССР на 1959—1965 годы, «Правда», 8 февраля 1959 года.

Александров И. Г. Орошение новых земель в Ташкентском районе, М., ТЭС, 1923.

Антипов-Каратаев И. Н. Предисловие к кн. Торн Д. и Петерсон Х. «Орошаемые земли». М., Изд. иностранной лит., 1952.

Аскоченский А. Н. Некоторые итоги и задачи водохозяйственного проектирования и строительства. «Гидротехника и мелиорация», 1956, № 1.

Аскоченский А. Н. Предисловие к кн. Гулати Н. Д. «Орошение в разных странах мира». М., Сельхозгиз, 1957.

Бартольд В. В. К истории орошения в Туркестане. СПБ, 1914.

Бейдеман И. Н. Сезонный ход интенсивности транспирации некоторых растений в условиях полупустынного климата. Докл. Академии наук Азербайджанской ССР, № 7, 1948.

Бейдеман И. Н. «Карты интенсивности транспирации растений». Ботан. журнал, № 1, 1950.

Бельский А. В. Сельскохозяйственная гидротехника. П. Деврием, 1916,

Берг Л. С. Географические зоны СССР. М., Географгиз, 1947.

Берг Л. С. Климат и жизнь. М., Географгиз, 1947.

Близняк Е. В. и др. Гидрография рек СССР. М., Гидрометеоиздат, 1945.

Будущее аридных земель. М., Изд. иностранной лит., 1958.

Будаговский А. И. и Савина С. С. Испаряемость растительного покрова. «Метеорология и гидрология», № 8, 1956.

Будаговский А. И. Отчет Ферганского климатологического отряда. Институт географии АН СССР, 1956 (рукопись).

Будыко М. И. Тепловой баланс земной поверхности. Л., Гидрометеоиздат, 1956.

Бударин И. И. Водохозяйственное строительство в РСФСР в шестой пятилетке. «Гидротехника и мелиорация», № 4, 1956.

Вавилов Н. И. и Букинич Д. Д. Земледельческий Афганистан. Л., Всесоюзный институт прикладной ботаники и новых культур при СНК СССР и Гос. ин-т опыт. агрономии НКЗ РСФСР, 1929.

Вильямс В. Р. Травопольная система земледелия на орошаемых землях, М., Сельхозгиз, 1935.

Вильямс В. Р. Почвоведение. М., Сельхозгиз, 1939.

Вопросы использования водных ресурсов Средней Азии, М., Изд. Акад. наук СССР, 1954.

Вызго М. С. Водозаборные узлы. Ташкент, 1947.

Воронин В. В. Орошение в Китайской Народной Республике. «Гидротехника и мелиорация», № 10, 1955.

Гафуров Б. Г. История Таджикского народа. М., Госполитиздат, 1949.

Гаража М. С. Режим орошения сельхозкультур в Горно-Бадахшанской автономной области. 1956 (рукопись).

Герасимов И. П. О почвенно-климатических фациях равнин СССР и прилегающих стран. Труды Почвенного института Академии наук СССР, вып. 5, 1933.

Герасимов И. П. Состояние и задачи советской географии на современном этапе ее развития. Изв. Академии наук СССР, Серия геогр., № 3, 1955.

Герасимов И. П. Лессы Китая. Изв. Академии наук СССР, Серия геогр., № 5, 1955.

Герасимов И. П. и др. Задачи советской географии в шестой пятилетке. Изв. Академии наук СССР, Серия геогр., № 4, 1956.

Отчет о работе Памирской изыскательской партии, 1955. Архив Гипроводхоза МСХ СССР.

Гипроводхоз МСХ СССР. Проектное задание переустройства оросительных систем нижнего Кафирнигана и орошения Бешкентской долины, 1956 (рукопись).

Глебов П. Д. Курс ирригации, Л.-М., ОНТИ, 1938.

Глухов И. Г. Лессы водного происхождения на орошаемых территориях некоторых районов Средней Азии — ВКН. Труды совещания по инженерно-геологическим свойствам горных пород и методы их изучения. М., т. 1, 1956.

Григорьев А. А. О взаимосвязи и взаимообусловленности комплексов географической среды. Изв. Акад. наук СССР. Серия геогр., № 4, 1956.

Ден Дзи-хуэй. О комплексном плане обуздания р. Хуанхэ и использовании ее водных ресурсов. Народный Китай, № 21, 1955.

Докучаев В. В. Русский черноозем. Избранные сочинения. Т. 1. М., Сельхозгиз, 1948.

Долгов С. И., Егоров Л. И. и Польский М. Н. Изучение изменения послойной засоленности грунтовых вод при промывках. Почвоведение. № 1, 1956.

Дунин-Барковский Л. В. Развитие орошения в Узбекистане водами Аму-Дарьи. Ташкент, 1946.

Дунин-Барковский Л. В. Вопросы методики проектирования водохозяйственных мероприятий по совместному комплексному использованию водных и земельных ресурсов смежных бассейнов рек. Автореферат диссертации. Ташкент, 1955.

Дунин-Барковский Л. В. Проблемы ирригации и мелиорации орошаемых земель в странах Ближнего и Среднего Востока. Гидротехника и мелиорация, № 7, 1956.

Дунин-Барковский Л. В. Совместное использование водных ресурсов бассейнов рр. Зеравшан и Кашкадарья и подача воды из других источников. Сб. «Сельское хозяйство бассейна Зеравшана». Ташкент, Изд. АН СССР, 1957.

Егоров В. В. Общие закономерности формирования Приморско-дельтовых равнин. Изв. Акад. наук. СССР, Серия геогр. № 4, 1955.

Зайков Б. Д. Водный баланс Аральского моря. Труды ГГИ, 1951.

Иванов В. Н. Почвы Памира. Записки Тадж. с.-х. ин-та, т. 1, с. 21-59, 1948.

Отчет о гидрогеологических исследованиях в долинах рр. Яхсу и Кзылсу. Архив Института земной коры ЛГУ, 1953.

Исаченко А. Г. Заключительное слово на совещании по вопросам ландшафтоведения. Изв. Всесоюз. геогр. о-ва, вып. 5, 1955.

Калачев Н. С. К вопросу обводнения пустыни Бет Пак-Дала. Вести. Академии наук Казахской ССР, № 5, 1953.

Кононников А. М. К вопросу о природных зонах. Изв. Всесоюз. геогр. о-ва, вып. 6, 1955.

Келлер Б. А. Засоление, транспирация и накопление солей внутри растений. Труды бот. станции 1929. В его кн. «Избранные сочинения». М., Изд-во Акад. наук СССР, 1951.

Ковда В. А. Происхождение и режим засоленных почв, т. 2. Л., Изд. Акад. наук СССР, 1947.

Корженевский Н. Л. Очерки физической географии Туркестана. Ташкент, 1925.

Костяков А. Н. Основные элементы расчета оросительных систем и их изучение. М. (Типо-лит. Кушнерова), 1919.

Костяков А. Н. Основы мелиорации. М., 1927.

Костяков А. Н. Основы мелиорации. М., Сельхозгиз, 1951.

Коржинский С. Очерк Рошана и Шугнана с сельскохозяйственной точки зрения. СПБ, 1898.

Крылов М. М. К вопросу о принципах и методике гидрогеологического районирования Узбекистана. Изв. Акад. наук Узбекской ССР, 1950.

Крылов Н. В. К теории и практике комплексных географических исследований для сельского хозяйства. Изв. Всесоюзн. геогр. о-ва, вып. 1, 1955.

Кузнецов Н. И. Предварительная записка к подсчетам стока р. Сыр-Дарьи. ГГИ, 1954 (рукопись).

Легостаев В. М. и Коньков Б. К. Мелиоративное районирование Средней Азии. Ташкент. 1953.

Ло Кай-фу. Проект природного районирования Китая. Изв. Акад. наук. СССР. Серия геогр., № 2, 1956.

Ляпичев П. А. Методика регулирования речного стока. Госиздат по строительству и архитектуре, 1955.

Мавлянов Г. А. Распространение генетических типов лесса и лессовидных пород Узбекистана и их просадочность. Труды Лаборатории гидрогеологических проблем им. акад. Саваренского, 1949, т. II.

Макеев П. С. Основные этапы развития речных долин бассейна Арала на равнинной части Средней Азии, 1941 (диссертация, архив Ин-та географии АН СССР).

Максимов С. П. Записки по курсу орошения. СПБ, 1914.

Максимов Н. А. Развитие учения о водном режиме и засухоустойчивости растений от Тимирязева до наших дней. М.-Л., Изд-во Акад. наук СССР, 1944.

Мильков Ф. Н. Основные вопросы ландшафтного районирования юга Русской равнины. Изв. Всесоюз. геогр. о-ва, вып. 5. 1955.

Мусли Н. Водная проблема Сирии. М., Изд. иностранной лит., 1954.

Миркин С. Л. Предварительный отчет о полевых исследованиях гидротехнического отряда Арало-Каспийской экспедиции. Архив СОПС АН СССР. 1952.

Молчанов Л. А. Изменяется ли климат Средней Азии. «Соц. наука и техника». 1933. № 3.

Николаев и др. Почвы Вахшской долины. Сталинабад, Гос. изд. Таджикской ССР, 1947.

Опрышко К. Я. Отчет об инженерно-геологических исследованиях по трассе Зеравшанского канала. 1947. Архив Среднеазиатского геологического управления.

Послwoвский В. В. Опыт ирригации в Индии. Гидротехника и мелиорация, № 1, 1956.

Преображенский Т. Н. Суммарное водопотребление растений в зоне Каракумского канала. 1953. Архив Московского института инженеров водного хозяйства.

Проектное задание переустройства оросительных систем в Пархарском районе. 1952. Архив Средазгипроводхлопка.

Проектное задание Кокандского узла на р. Сох. 1955. Архив Средазгипроводхлопка.

Проектное задание мелиорации земель по правой ветке Кировского канала. 1955. Архив Узгипроводхоза.

Решеткина Н. М. Вертикальный машинный дренаж и его роль в борьбе с засолением. Сборник «Дренаж орошаемых земель». Изд. АН СССР, М. 1958.

Роговская Н. В. Методика гидрогеологических и инженерно-геологических исследований на массивах орошения, М. Госгеолтехиздат, 1956

Ризенкампф Г. К. Основы ирригации. Т. I, Л., 1925.

Скворцов А. А. К вопросу о климате оазиса и пустыни и некоторых особенностях их теплового баланса. Труды по с.-х. метеорологии, 1928.

Схема использования водных ресурсов р. Сыр-Дарьи. 1940. Архив Средазгипроводхлопка.

Схема использования водных ресурсов бассейна р. Чу, 1951. Архив Средазгипроводхлопка.

Схема использования водных ресурсов бассейна р. Сыр-Дарьи. 1952. Архив Средазгипроводхлопка.

Схема использования водных ресурсов бассейна р. Кашкадарьи. 1953. Архив Средазгипроводхлопка.

Схема использования водных ресурсов бассейна р. Аму-Дарьи, 1954. Архив Средазгипроводхлопка.

Схема использования водных ресурсов бассейна р. Зеравшан, 1954. Архив Средазгипроводхлопка.

Станкевич В. С. О режиме орошения зерновых, овощных и кормовых культур на Памире. 1955. Архив Гипроводхоза МСХ СССР.

Ся Цзань-чунь. Природные условия и сельское хозяйство Тибета. Реферат. Журн. География, № 3, 1956.

Толстов С. П. Древний Хорезм, М., «Полиграфкнига», 1948.

Торн и Петерсон. Орошаемые земли. М., Изд. иностр. лит., 1952.

Трамбачев С. П. Упадок Туркестанской ирригации. Хлопковое дело, № 11—12, 1922.

Трамбачев С. П. Орошение и осушение М.—Ташкент, ОГИЗ Средне-Азиат. отд. 1932.

Федоров Б. В. Агро-мелиоративное районирование зоны орошения, Средней Азии. Ташкент. Изд. Акад. наук Узбекской ССР, 1953.

Херст Г., Нил М., Изд. иностр. лит., 1954.

Цинзерлинг В. В. Орошение на Аму-Дарье. М., Упр-ние водного х-ва Средней Азии, 1927.

Чаплыгин А. В. Урегулирование водного хозяйства Зеравшанской долины. Хлопковое дело, № 1, 1925.

Шапошников Д. А. Горное орошение. 1954. Архив Московского института инженеров водного хозяйства.

Шаров И. А. Эксплуатация гидромелиоративных систем. М., Сельхозгиз, 1952.

Шаумян В. А. Научные основы орошения и оросительных сооружений. М., Сельхозгиз, 1948.

История народов Узбекистана. Ташкент, Изд. Акад. наук Узбекской ССР, т. 2. 1950.

Шмидт М. А. Гидрогеологический очерк Китабо-Шахризябской котловины. Ташкент, 1939.

Шмидт М. А. Гидрогеологические типы орошаемых оазисов Уз ССР и методы учета выклинивающихся подземных вод. Вопросы ирригации, 1948.

Шубладзе К. К. Из водохозяйственной практики за рубежом. Гидротехника и мелиорация, № 6, 1955.

Шульц В. Л. Реки Средней Азии. Л., Географгиз, 1949.

Янишевский Н. А., Кондрашев С. К., Рачинский А. А. и др. Комплексная схема мелиоративных мероприятий по Южному Хорезму. 1946. Архив Министерства водного хозяйства Узбекской ССР.

Barnes I. R. Water for Industry in USA, 1952.

Benassini O. Development of Irrigation in Mexico. International Commission on Irrigation and Drainage, Annual Bulletin, 1954.

Benton G. S. and Daminitz, Measuring Evapo-Transpiration from Atmospheric Data. Proceedings of the American Society of Civil Engineers, No. 4, August, 1956.

Blaney H. F. Consumptive Use Requirements for Water. Agricultural Engineering, December, 1954.

Blomgren W. E. Water Supply Procedures for Water-Resource Projects in the United States. International Commission on Irrigation and Drainage, Annual Bulletin, 1955.

Brashears M. L. Recharging Ground Water Reservoirs with Wells and Basins. Mining Engineering, No. 10, 1953.

Brown R. H. Irrigation Principles and Practice. London, 1912.

Christiansen J. E. Irrigation in Relation to Food Production. Agricultural Engineering, June, 1953.

Clyde G. D. History of Irrigation in USA, 1949.

East L. R. Harnessing Australia's Greatest River. The Work of the River Murray Commission. International Commissi n on Jrrigation and Drainage, Annual Bulletin, 1953.

Etcheverry B. A. Irrigation Practice and Engineering. 1915.

Fletcher H. C. and Elhendorf H. B. Phreatophytes—a Serious Problem in the West of the USA. Water, 1955.

Grinqrod J. Indian River Valley Irrigation Schemes. World Crops, No. 11, 1954.

Gulhati N. D. Jrrigation in the World. New Delni, 1955.

Houk J. E. Irtigation Engineering. New York, 1951.

Huber O. Irrigation in the Upper Rhone Valley. International Commission on Irrigation and Drainage. Annual Bulletin, 1954.

Israelsen O. W. The Historikal Background of Reclamation. Agricultural Engineering, June, 1951.

Lauritzen C. W. Lining Irrigation Canals to Save Water and Land. Agricultural Engineering, June. 1954.

Maierhofer C. R. Some Aspects of Drainage in Reclamation. International Commission on Irrigation and Drainage, Annual Bulletin, 1954.

Malhotra S. L. and Ahuja P. R. Review of Irrigation Development and Practice in India. Intetnational Commission on Irrigation and Drainage, I Congress, New Delni, 1951.

Pawley W. H. The Possibilities of Increasing World Food Supplies. World Crops, December, 1954.

Ram M. Review of Development and Practice of Irrigation in Israel. International Commission on Irrigation aud Drainage, Annual Bulletin, 1953.

Ronna A. Les Irrigations. Paris, 1912.

Schiff L. Water Spreading for Storage Underground. Agricultural Engineering, November, 1954.

Schmidt W. Strahlung und Verdunstung an freien Wasserflächen ein Beitrag zum Wärmehaushalt des Weltmeeres und zum Wasserhaushalt der Erde. Annalen der Hydr. und marit. Met. XLIII, H. III, H. IV, 1915.

Selim M. A. and El Oraby M. A. An Approach for Water Requirements in the Desert Areas in Egypt. International Comi mission on Irrigation and Drainage, III Congress, Question 8, Report 1. New Delhi, 1957.

Seymour J. Ceylon's Irrigation „Tanks". Water and Water Engineering, September, 1952.

Sharma K. B. Irrigation Engineering. Amritsar, 1942.

Thorntwaite C. W. and Mather S. R. The Water Budget and its Use for Irrigation. Water, 1955.

Tomlinson B. R. Comparison of Two Methods of Estimating Consumptive Use of Water. Agricultnral Engineering, July 1953.

Walter W. W. Land Drainage in California. Agricultural Engineering, Julv, 1955.

Whetstone G. A. Mechanism of Ground Water Recharge. Agricultural Engineering, September, 1954.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие 3
Введение 5

I. РАЙОНИРОВАНИЕ ОРОШАЕМЫХ ТЕРРИТОРИЙ

1. Задачи и принципы районирования 17
2. Особенности оросительных систем в пустынной зоне 26
Оросительные системы горных районов 27
Оросительные системы подгорных равнин 32
Оросительные системы пустынных низменностей 46
3. Характерные черты оросительных систем степной и полупустынной зон 57
4. Влияние хозяйственных условий на оросительную систему . . 61
Выводы 69

II. ВОДНЫЙ БАЛАНС ОРОШАЕМОЙ ТЕРРИТОРИИ

1. Водный баланс орошаемой территории и его элементы . . . 71
2. Учет изменений водного баланса при определении оросительной способности источников орошения и потерь из водохранилищ 81
3. Учет изменений водного баланса для прогноза мелиоративных условий и установления запасов подземных вод 106
4. Районирование и водный баланс орошаемой территории . . . 110
Бассейн р. Аму-Дарьи 115
Бассейн р. Сыр-Дарьи 132
Бассейн р. Зеравшан 144
5. Методы определения составляющих водного баланса 151
Выводы 160
Литература 162