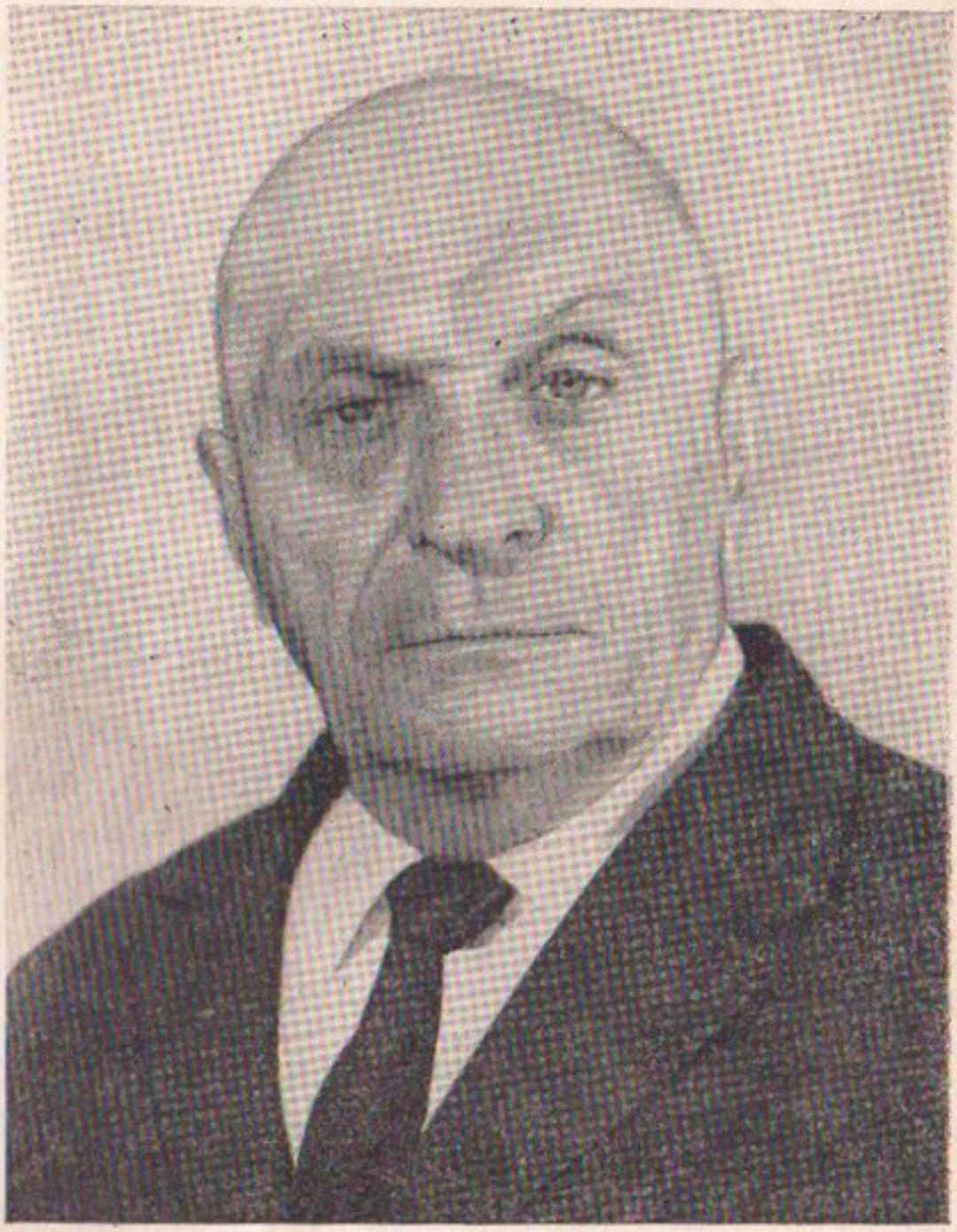
В.В.ПОСЛАВСКИЙ

ПРОБЛЕМЫ ОРОШЕНИЯ В СРЕДНЕЙ АЗИИ





МИНИСТЕРСТВО МЕЛИОРАЦИИ И ВОДНОГО ХОЗЯЙСТВА СССР
СРЕДНЕАЗИАТСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ИРРИГАЦИИ
им. В. Д. ЖУРИНА (САНИИРИ)

В. В. ПОСЛАВСКИЙ

ПРОБЛЕМЫ ОРОШЕНИЯ В СРЕДНЕЙ АЗИИ

ИЗБРАННЫЕ ТРУДЫ

ТАШКЕНТ. ИЗДАТЕЛЬСТВО «ФАН» УЗБЕКСКОЙ ССР. 1983

УДК 631.67

Проблемы орошения в Средней Азии. Пославский В. В. Ташкент, Изд-во «Фан» УзССР, 1983.

Избранные труда академика ВАСХНИЛ и АН УзССР, Героя Социалистического Труда В. В. Пославского издаются по решению директивных органов республики. В них описаны оригинальные гидротехнические конструкции, включая известный водозабор Ферганского типа, бесплотинный шпорный водозабор, схемы орошения Ферганской долины и низовьев Амударьи и т. д. Решаются вопросы освоения Голодной степи, улучшения использования водных ресурсов в Средней Азии. Освещены опыт и проблемы ирригации и развития водного хозяйства за весь огромный период истории Средней Азии.

Для специалистов сельского и водного хозяйства, инженеров и экономистов.

Ответственный редактор
канд. техн. наук В. А. ДУХОВНЫЙ

Рецензенты:
доктор техн. наук А. А. РАЧИНСКИЙ
доктор геол.-мин. наук Н. М. РЕШЕТКИНА

П $\frac{3802030000-241}{М\ 355\ (04)-83}$ 221—83

© Ташкент, Изд-во «Фан» УзССР, 1983 г.

Деятельность Виктора Васильевича Пославского, академика АН УзССР и ВАСХНИЛ, Героя Социалистического Труда широко известна гидротехникам и мелиораторам, работникам орошаемого земледелия в нашей стране и за рубежом.

В. В. Пославский участвовал в строительстве почти всех крупных водохозяйственных объектов Средней Азии.

Схемы орошения крупнейших регионов, конструкции плотин, моделирование водозаборов, проблема наносов, техника полива, борьба с потерями на фильтрацию, возможность использования Сарезского озера, природных ресурсов долины Нарына — вот круг вопросов, к которым В. В. Пославский относился с большой требовательностью, скрупулезностью и умел находить наиболее правильные и экономичные для существующего момента решения.

В. В. Пославский родился 10 ноября 1896 г. в г. Батуми в семье врача. Учился в г. Фергане (б. Скобелев). В 1915 г. по окончании гимназии поступил на инженерный факультет Московского сельскохозяйственного (ныне Гидромелиоративный) института. С мая до декабря 1917 г. пробыл на Румынском фронте, куда поехал по приглашению учебно-фронтового отдела Земгора и Земсоюза в качестве метеоролога-наблюдателя. Затем вернулся в Ферган, служил в конторе техником, в Народном банке — младшим бухгалтером.

В 1918—1919 гг. (до июня) служил в Ферганской Красной Гвардии, а затем до марта 1920 г. — в Красной Армии.

После демобилизации В. В. Пославский был командирован для продолжения образования в г. Ташкент на инженерно-мелиоративный факультет САГУ и осенью 1921 г. перевелся в Москву на инженерный факультет Петровской сельскохозяйственной академии.

После окончания (1923 г.), проработав год инженером технического отдела Туркводхоза, Виктор Васильевич почти семь лет занимается инженерным переустройством систем магистрального питания Хорезмского оазиса, занимая должности помощника на-

чальника Кунядарьинской проектно-изыскательской партии, старшего инженера и руководителя Амударьинского бюро, начальника Хорезмской проектно-изыскательской партии. В этот период он разрабатывает подходы к переустройству системы Амударьинских каналов, что нашло отражение в его статьях 1927—1929 гг. «Коренное переустройство питания Южно-Хорезмской ирригационной системы» и «Ташсака или Туямуюн», частично приведенных в данной книге. Эти работы интересны как первые инженерные разработки проблемы совершенствования оросительных систем, которые составили целую эпоху в развитии отечественной ирригации до начала народных строек.

С 1931 по 1949 г. Виктор Васильевич принимает самое активное участие в строительстве основных ирригационных объектов Средней Азии. Он является руководителем проектных работ на Вахшпроизе, зам. руководителя сектора сооружений Сазводхоза, Главным инженером проекта реконструкции БФК, зам. главного инженера Сазводпроиза по сооружениям, руководителем строительства сооружений Ташкентского канала, главным инженером проекта Фархадской ГЭС. К этому периоду его деятельности относится ряд крупных теоретических разработок по гидросооружениям, в том числе по обоснованию совместно с другими проектировщиками и учеными водозабора Ферганского типа. Ему довелось работать под руководством выдающегося партийного и государственного деятеля Узбекистана Усмана Юсуповича Юсупова, рядом с А. Н. Аскоченским, Б. Д. Коржавиным, А. А. Саркисовым и другими специалистами.

В 1949 г. В. В. Пославский становится директором САНИИРИ. Этот период его деятельности связан с разработкой и внедрением новой системы орошения, за которую большая группа ирригаторов удостоена Государственной премии. Виктор Васильевич занимается исследованием КПД оросительных систем, разработкой методов его повышения, особенно с применением полимерных материалов, включая пленку, полимерные трубы, стыки и т. д. Благодаря трудам В. В. Пославского в ирригации возникло целое направление, которое успешно развивают его ученики (В. К. Синяков, В. В. Сокольская, Е. Д. Томин и др.).

Этим В. В. Пославский занимается во вновь созданном Министерстве хлопководства, куда он переведен на должность начальника отдела эксплуатации, а затем будучи главным инженером Главводхоза Министерства сельского хозяйства СССР.

Виктор Васильевич активно участвует в проектировании и экспертизе Главного Туркменского канала, составлении схемы Северо-Крымского и Каховского (ныне Краснознаменского).

С 1959 г. Виктор Васильевич трудится во Всесоюзном научно-исследовательском институте гидротехники и мелиорации им. В. В. Костякова. Он ведет большую работу как консультант Минводхоза СССР, член Госэкспертизы Госплана СССР, председатель Национального комитета по ирригации и дренажу.

В этот период В. В. Пославский занимается изучением проблемы Сарезского озера, модельными исследованиями русловых процессов на реках Средней Азии, переустройством и повышением водообеспеченности оросительных систем юга страны.

В статье «Реконструкция и повышение водообеспеченности оросительных систем Средней Азии», помещенной в данной книге, процесс переустройства орошаемых земель представлен в динамике. Если в 20—30-х годах задача состояла в создании взамен складывающейся веками неинженерной сети головного водозабора и распределении воды технически совершенной управляемой системой магистрального питания, то уже в 50—60-х годах требования социалистического сельского хозяйства в условиях орошаемого земледелия в качестве критериального уровня поставили переустройство внутрихозяйственной сети и создание резервов поливных участков, пригодных для крупномасштабного механизированного земледелия. Это и было осуществлено в значительной мере в результате работ «по переходу на новую систему орошения».

Наконец, в последнее время нарастание дефицита водных ресурсов в Средней Азии наряду с необходимостью дальнейшего развития орошаемого земледелия приводит к необходимости осуществления комплекса мероприятий (как в водном хозяйстве, так и в орошаемом земледелии) по рациональному использованию и максимальному увеличению всех водных ресурсов. Этому начавшемуся и развивающемуся этапу совершенствования системы водного хозяйства посвящена последняя часть статьи, которая по сути освещает всю программу реконструкции на ближайшие 25—30 лет.

В. В. Пославский, руководствуясь материалами XXV съезда КПСС, считает, что в водном хозяйстве необходимо полное регулирование стока рек Сырдарьи и Амударьи, инженерное оборудование всех водозаборов, автоматизированное управление бассейнами и одновременно совершенствование систем орошения; борьба с потерями на фильтрацию, внедрение современной техники полива, оптимальных мелиоративных режимов и т. д.

В Узбекистане под руководством ЦК КП Узбекистана, особенно за последние 20 лет, проведены огромные работы по дальнейшему подъему ирригации как базы развития огромного агропромышленного комплекса республики.

Благодаря напряженному труду коллективов водохозяйственных организаций Узбекистан совершил небывалый скачок в ирригационном строительстве — от земляных каналов к высокоинженерной сети облицованных гигантов — каналов, лотков, трубопроводов, насосных станций, закрытых дрен и вертикального дренажа, их автоматизации и телемеханизации. Узбекистан дал путевку в жизнь десяткам и сотням оригинальнейших технических решений в водном хозяйстве. В Узбекистане создан комплексный метод орошения и освоения земель, получивший признание и

распространение во всем мире. В Узбекистане впервые эксплуатация оросительных систем переведена на промышленную основу.

Работы, проводимые в этом направлении коллективом Минводхоза УзССР, постоянно консультировал В. В. Пославский.

В. В. Пославский принимал активное участие в организации I Региональной конференции по ирригации стран Азии и Африки, проводившейся в Ташкенте в 1976 г., во Всесоюзных совещаниях по эксплуатации гидромелиоративных систем в 1969 и 1974 гг.

По инициативе В. В. Пославского осуществлено издание четырехтомного труда «Ирригация Узбекистана». В этой уникальной монографии собран огромный материал и отмечен опыт большой организаторской и инженерной работы Узбекистана, позволившей под руководством ЦК Компартии республики всего за 20 лет не только повысить технический уровень орошения земель и водохозяйственных работ до одного из самых высоких в мире, но и увеличить площадь орошаемых земель более чем вдвое, превысить производство хлопка-сырца в 2,5 раза, многих видов сельхозкультур — в несколько раз.

В. В. Пославский активно участвовал в освоении новых земель, в развитии водного хозяйства, в обосновании проекта переброски сибирских рек в Среднюю Азию. Он участвовал в разработке инженерных основ комплексного метода орошения Голодной степи, которая стала лабораторией передового опыта мелиорации земель не только в нашей стране, но и за рубежом, консультирует при решении всех технологических вопросов, встречается со строителями, проектировщиками, эксплуатационниками, советует, сам обогащается новым опытом. Эта большая работа В. В. Пославского высоко отмечена партией и правительством — в 1966 г., он в числе лучших освоителей степи награжден орденом Ленина.

Начинается новый крупный объект освоения — Каршинская степь, и он снова в гуще событий. Благодаря В. В. Пославскому принят вариант строительства Ульяновского канала для подачи воды на половину площади I очереди степи, что ускорило темпы освоения массива. Много внимания уделял В. В. Пославский решению головного водозабора в плотинных и бесплотинных условиях, выбору створа водозаборного гидроузла в среднем течении.

Проблема регулирования Амударьи и Сырдарьи была одной из тем, наиболее близких Виктору Васильевичу. Его идеи использованы при проектировании Андижанского гидроузла на Сырдарье, Туямуюнского и Тахиаташского — на Амударье. Им предложен метод эксплуатации Туямуюнского гидроузла, позволяющий при пропуске паводковых расходов бороться с заилением и уменьшением мертвого объема водохранилища.

В. В. Пославский был эрудированным человеком, обладающим высокой культурой, широким диапазоном интересов. Он пи-

сал великолепные очерки, стихи, играл на пианино и других музыкальных инструментах, сочинял музыку, любил книги, живопись, очень ценил красоту нашей среднеазиатской природы.

Предлагаемая вниманию читателей книга, бесспорно, не могла вместить все творческое наследие В. В. Пославского, которое насчитывает более 100 печатных листов. Тем не менее, в ней собраны основные работы, раскрывающие различные стороны его научных и производственных интересов.

Выражаем благодарность родным и близким В. В. Пославского — Т. Р. Подоляк, Т. Ю. Даниляк, О. П. Богданову, сотрудникам ВНИИГиМа — Н. Н. Кременецкому, Ю. С. Кащенко, И. С. Лапидовской за помощь в сборе материалов, а также А. С. Меркиной за работу при подготовке трудов к изданию.

В. Духовный

К ВОПРОСУ О ВЗВЕШИВАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ПОТОКА В УСЛОВИЯХ НИЗОВЬЕВ АМУДАРЬИ

В. В. Пославский на основании большого объема проведенных им натурных исследований каналов в Хорезмской области, а также обобщения и анализа значительного количества зарубежных материалов попытался выявить закономерности в вопросах заиления каналов и меры борьбы с этим явлением (прим. ред.).

Первая известная формула для незаиляющей скорости была опубликована в 1895 г. инженером Кеннеди. Составленная на основе изучения каналов Бари-Доабской ирригационной системы Пенджаба (Индия) эта формула имела вид

$$v_0 = c \cdot h^x,$$

где c — коэффициент, зависящий от грунта, слагающего ложе канала, принят Кеннеди равным 0,84;

h — глубина потока;

x — показатель степени, принят Кеннеди равным 0,64.

Формула выведена на основе данных по сравнительно крупным каналам и означает главным образом незаиление этих каналов и вынос наносов в более мелкие, внутрихозяйственные.

При проектировании незаиляющихся каналов ирригаторы всех стран долгое время пользовались формулой Кеннеди, несмотря на то, что данная формула получена для группы каналов с определенными мутностью и фракционным составом наносов. Формула Кеннеди быстро распространилась по ирригационным районам разных стран.

Стремление несколько приблизить формулу Кеннеди к новым условиям вызвало появление многочисленных формул, одинаковых по структуре и различных по значениям коэффициента и показателя степени, менявшимися в зависимости от мутности потока и крупности наносов. Решения и выводы по этому вопросу многих исследователей (Н. Е. Жуковский, М. А. Великанов, В. Т. Боттомлей, Лосей, Срупп, Перкер, Шоклич, Крей и др.) с практической их оценкой описаны И. И. Леви в «Известиях науч-

но-исследовательского института гидротехники» (1932 г.) в статье «Обзор работ по вопросам взвешивания».

Следует также отметить работы Лосея, напечатанные в «Minutes of Proceedings of the institution of Civil Engeneers» (1929—1930 гг.) в статье «Stable Channels in Allyvium».

Сущность явления взвешивания оставалась долгое время загадкой и формула Кеннеди чисто формально находила применение в ирригационных проектах.

Хотя большинство исследователей пришло к заключению, что взвешивание — результат беспорядочного движения потока и раскрытие «механизма» последнего может объяснить процессы взвешивания, теоретически явление не изучено.

В практике формула структуры Кеннеди единственная. Среднеазиатский институт водного хозяйства проводил на разных каналах полевые работы с целью определения коэффициента и показателя степени в формуле Кеннеди. Результаты исследований изложены в статье Г. А. Шамова «Обзор материалов полевых исследований по критическим, предельным и размывающим скоростям в оросительных системах Средней Азии» («Социалистическое водопользование», 1932), из которой видно все разнообразие коэффициентов и показателей степеней, полученных для формулы Кеннеди на магистральных каналах Газават ($c=0{,}69$; $x=0{,}47$), Койсарсака ($c=0{,}7$; $x=1{,}03$) и Джиликуль ($c=0{,}7$; $x=0{,}64$). Почерпнуть что-либо для практики из этих работ невозможно.

Нам кажется нецелесообразным поиск коэффициентов и показателей степеней в формуле Кеннеди. В опытных работах необходимо найти зависимость относительной мутности потока (ρ, кг/м^3), которую он способен транспортировать устойчиво, от гидравлических элементов канала, учитывая при этом механический состав наносов.

Институт водного хозяйства (ИВХ) за 1926—1930 гг. собрал большой материал по Хорезмским каналам, включающий данные о мутностях и соответствующих им гидравлических элементах канала. Эти сведения из-за статистичности и недостаточности целевых установок, которые ставились при их получении, несколько осложняют вывод эмпирической зависимости, но все же в первом приближении позволяют подойти к ней.

В результате поработки принята зависимость

$$\rho=\psi R_i,$$

где ρ — относительная мутность, кг/м^3;

R — гидравлический радиус;

i — уклон канала;

ψ — числовой коэффициент.

Следует отметить, что лабораторные исследования САНИИРИ подтвердили прямолинейную зависимость между ρ и R_i.

Краткие сведения об условиях питания Хорезмских систем и их заиление

Головы каналов интенсивно заиляются главным образом на первых 10—12 км, являясь отстойниками для магистральных каналов, которые по всей длине, за исключением хвостовой части, не только не заиляются, но на нескольких участках даже размываются. Каналы, отходящие от магистральных, вновь интенсивно заиляются на первых 3—5 км, в средней части почти не заиляются и в хвостовой — значительно; аналогичное явление на каналах, питающихся из ябов. Особенно интенсивно заиляются отдельные мелкие каналы, питающиеся непосредственно из реки. Отвалы (раши) на них достигают такой величины, что дальнейшая очистка невозможна, канал оставляют и рядом роют новый. Заброшенные каналы можно часто встретить в Хорезме на берегах реки и внутри оазиса.

В 1930 г. ИВХ в течение почти всего поливного периода вел наблюдения за мутностью и расходами на гидрометрических станциях, установленных на основных каналах Хорезма. Зная величину стока наносов по каналам ниже впадения всех голов и сравнивая ее с данными Упрадиса по очистке, можно приблизительно наметить процент наносов, выносящихся сетью на поля, отлагающихся в головах и сети. Приведем данные для каналов Шават, Газават и Палван, причем для последнего объем очистки уменьшен пропорционально (на 0,4) площади, которой он командует ниже гидрометрической станции.

Очистка, тыс. м³	*Общее кол-во поступающих наносов, тыс. м³*	*% наносов, отлагающихся*		
		в голове канала	*в сети*	*на полях*
		Палван		
1700	1950	27	60	13
		Шават		
2135	2587	8	74	18
		Газават		
620	930	21	46	33

Для перехода от весовых определений наносов к объемным принят коэффициент $\mu=0{,}75$, соответствующий весу сухого грунта $\gamma=1{,}35$ т/м³.

Ввиду того, что станции не учитывают наносы, отлагающиеся в головах, к учтенному станцией количеству прибавлен объем грунта из голов каналов. Для определения крупности донных и взвешенных наносов мы используем данные механического анализа проб наносов, взятых исследовательскими отрядами ИВХ в 1926—1930 гг. на каналах Хорезма.

Средние данные ИВХ о процентном распределении наносов по фракциям на исследуемых (1930 г.) каналах приведены в табл. 1. Механический анализ проб донных наносов по тем же каналам (1930 г.) приведен по данным ИВХ (табл. 2).

Таблица 1

Канал, номер участка	Расстояние от головы канала, км	Распределение наносов по фракциям, %				
		>0,25	0,25–0,05	0,05–0,01	<0,01	
Кайсарсака, 1	20	—	12	33	55	% распределения по фракциям, средние из наблюденных
2	12,5	—	4,38	16	79,68	
Шават 1	16	—	9,37	17,63	73	
2	56	—	7,74	19,26	73	
Бекъяб	56,2	—	9,69	28,87	61,52	
Бозъяб	57	—	9,95	23,31	66,67	

Исходя из данных табл. 1 и 2 и характера отложений в различных каналах, можно сделать следующие выводы.

Таблица 2

Канал	Содержание фракций в пробах, %				Место взятия проб
	>0,25	0,25–0,05	0,05–0,01	<0,01	
Тазаярган	0,33	41,01	26,29	32,37	Левый берег
Клычниязбай	0,0	2,96	51,45	45,59	Правый берег
	0,0	4,97	54,59	40,44	Левый берег
Палван	0,0	2,06	35,97	61,97	Левый берег
	0,0	10,79	39,03	50,18	Правый берег
	0,0	0,66	36,78	62,56	Дно середины канала
Газават	0,0	9,22	61,01	29,77	Левый берег
	0,0	1,42	30,84	67,74	Правый берег
	0,0	12,52	50,05	37,43	Дно середины канала
Кайсарсака	0,07	28,14	26,95	44,84	Правый берег
	0,23	16,27	26,55	56,95	Дно середины канала
	0,50	9,82	39,63	50,05	Левый берег
Шават	0,13	68,22	14,14	17,51	Левый берег
	2,19	37,11	27,24	33,46	Правый берег
	23,91	58,66	16,96	0,47	Дно середины канала

1. Взвешенные и донные наносы состоят из материала одной и той же крупности, преимущественно мельче 0,25 мм. Наносы крупнее 0,25 мм во взвешенном состоянии встречаются в малом количестве и лишь в одной донной пробе канала Шават их содержится 24%, а в канале Газават (1926 г.) — 62.

2. Существенной разницы в составе донных и взвешенных наносов нет; отмечено некоторое преобладание донных наносов фракции 0,25—0,01 над фракцией <0,01.

3. Значительного различия в процентном составе взвешенных наносов по фракциям при разных мутностях в каналах с расходами от 0,15 до 100 м³/с не наблюдается. Очевидно, во всех каналах минимальные скорости таковы, что диаметр частиц не играет роли.

4. При заилении каналов происходит одновременное выпадение всех фракций; судя по взвешенным наносам, выпадение всех фракций равномерное, а по донным пробам, особенно на мелких каналах, преобладают фракции 0,25—0,01 над фракцией <0,01. Вероятно попадание в мелкие каналы донных наносов из крупных каналов и оседание их в головах первых. Картина аналогична забрасыванию донными наносами голов каналов, питающихся из реки.

5. На основании указанного выше при установлении зависимости относительной мутности от гидравлических элементов канала можно оперировать лишь общей мутностью потока без учета отдельных фракций, предполагая, примерно, одинаковое содержание их при разных мутностях и в различных каналах.

Эмпирическая зависимость между относительной мутностью потока ρ и его гидравлическими элементами

В ирригационных каналах любых порядков как картовых, так и крупных магистральных движение воды характеризуется различной степенью беспорядочности. Это дает возможность потоку нести во взвешенном состоянии частицы грунта. Чем больше степень беспорядочности, тем большую относительную мутность с большим процентом содержания крупных фракций поток в состоянии нести во взвешенном состоянии и наоборот. Иными словами, с уменьшением степени беспорядочности движения снижается как относительная мутность потока, так и процентное содержание крупных фракций. Такого же мнения придерживались Кеннеди, Б. А. Бахметьев, Этчеверри и др.

Беспорядочность движения возрастает с увеличением скорости v, шероховатости n и уменьшением при тех же v и n гидравлического радиуса R.

$$R_i = \frac{f(v)}{\gamma} = \frac{v^2}{c^2}, \qquad (1)$$

где $\frac{f(v)}{\gamma}$ — средняя сила трения на стенке, отнесенная к единице веса.

Приняв по Манингу $C = \frac{1}{n} R^{1/6}$ и умножив обе части на γ, получим

$$\gamma R_i = \gamma \frac{v^2 n^2}{R^{1/3}}. \qquad (2)$$

Выражение как правой, так и левой части этого уравнения может до известной степени характеризовать беспорядочность движения потока.

В. Т. Боттомлей считает, что «взвешивающая сила потока зависит от силы сопротивления, возникающей у дна»[1], т. е. от R_i.

Б. А. Бахметьев отмечает, что «...для поддержания наноса во взвешенном состоянии необходима некоторая определенная затрата энергии в потоке. Говоря о беспорядочности движения, можно, таким образом, сказать, что отсутствие заиления связано с поддержанием известной степени беспорядочности. Всякому определенному размеру фракций соответствует определенная беспорядочность»[2].

Мерой удельной работы сопротивления на единице длины водотока является уклон.

Этчеверри, разбирая теорию Кеннеди, указывает: «в любом потоке имеются водовороты и поперечные циркуляционные токи, которые поддерживают наносы во взвешенном состоянии. Сила этих поперечных токов пропорциональна некоторой степени скорости (вероятно, квадрату) и оказывает пропорционально больший эффект при малых глубинах, чем при больших, т. е. если два канала имеют одну и ту же скорость, но различные глубины, то мелкий канал в состоянии будет поддерживать больший процент наноса, чем глубокий».

Основываясь на предыдущих рассуждениях, можно предположить существование следующей зависимости:

$$\rho = f\left(\gamma \frac{v^2 n^2}{R^{1/3}}\right) = f(\gamma R_i). \qquad (3)$$

Наблюдениями над мутностью с замерами гидравлических элементов потока охвачены каналы с расходом от 0.15—0,8 м³/с (Бозъяб) до 126 м³/с (Шават) при уклонах от 0,000075 до 0,00036 на разных каналах. Кроме того, использованы некоторые данные о каналах Имперской Ирригационной системы на Колорадо. Всего исследовано 117 точек и 8 с большей мутностью. На рис. 1 обозначены все точки. По оси абсцисс отложены значения $x = 1000 \cdot R_i = 1000 \frac{v^2 n^2}{R^{1/3}}$, а по оси ординат — относительные мутности $y = \rho$, кг/м³.

Относительной мутности нет только в стоячей воде, поток же,

---

[1] Боттомлей В. Т. Новая теория заиления и размыва. «Техника», 1928.

[2] Бахметьев Б. А. О равномерном движении жидкости в каналах и трубах. Л., 1929, с. 209.

движущийся даже с весьма малым значением x, может нести какую-то определенную мутность. Отсутствие данных о мутности потоков с весьма малым значением $x<0{,}05$ не дает возможности высказаться окончательно о безусловной правильности принятого положения, вероятность существования которого все же довольно реальна.

Главная масса точек (рис. 1) разместилась между двумя прямыми, проведенными из начала координат под определенным уг-

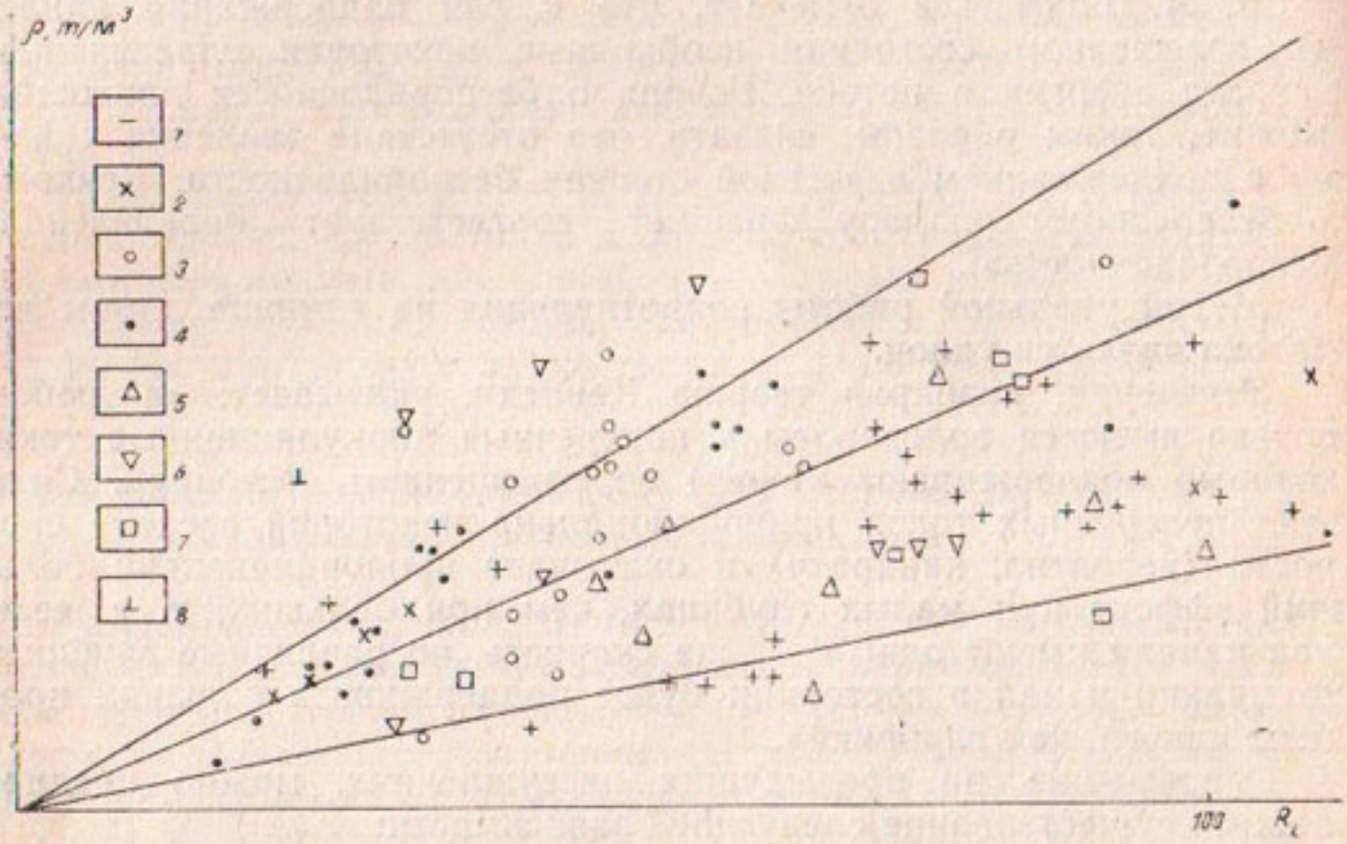


Рис. 1. Эмпирическая зависимость между относительной мутностью ρ и гидравлическими элементами канала.

1 — Шават, *2* — Тазаярган, *3* — Газават, *4* — Кайсарсака, *5* — Клычниязбай, *6* — Палван, *7* — Бекъяб, *8* — Бозъяб.

лом к оси абсцисс. Анализируя точки методом корреляции, можно отметить только существование прямолинейной неточной связи между x и y; коэффициент корреляции $\approx 0{,}80$. Верхняя прямая, проходящая по точкам с высокими мутностями, может служить для оценки предельной, но, вероятно, неустойчивой способности потока нести взвешенные наносы.

Нижняя прямая характеризует минимальную относительную мутность потока, очевидно, недостаточно насыщенного. Если провести третью прямую, проходящую, примерно, через центр этих точек, то она разделит всю массу точек на две группы.

Если исключить нижние точки, как относящиеся к потоку недостаточно насыщенному, наиболее вероятной характеристикой транспортирующей способности потока следует считать верхние точки, причем среднюю пограничную прямую можно принять

для оценки устойчивой способности потока нести взвешенные частицы.

Мутности канала Койсарсаки, как это следовало ожидать, так как он является отстойником, находятся преимущественно в зоне насыщенной (10 точек), 4 точки из 5 близки к той же зоне. По каналу Шават 25 точек из 35 легли в зону недонасыщенную, что вполне понятно, так как он получает воду из голов, которые выбросили часть мутности. Мутности канала Бекъяб распределились почти поровну, только одна точка из четырех в недонасыщенной зоне легла вблизи средней прямой. Все 5 точек канала Бозъяб попали в зону насыщенную, причем 2 точки находятся выше верхней прямой; канал мелкий, сильно заиляется.

По каналу Палван распределение точек следующее: 5 — в насыщенной зоне и 4 в недонасыщенной, причем из 5 точек 3 выше верхней прямой. Такое местоположение 3 точек (табл. 3) понятно — они относятся к малым расходам при $h<1$ м и сравнительно высоких мутностях. Участок слегка заиляется.

Газават — канал значительно меньший по расходам, чем Палван, Шават и Клычбай, дает 25 точек в зоне насыщенной и 7 в недонасыщенной. Клычниязбай аналогично Шавату имеет поток, большей частью недонасыщенный: из 12 точек только 4 легли в насыщенной зоне.

Для больших мутностей и $x>0{,}30$ имеем одну устойчивую точку — мутность канала Аламо ниже Ганлонского сооружения (ниже осадочного бассейна). Мутность канала 9,5 кг/м³ при $x=0{,}389$, точка ложится несколько выше верхней предельной прямой, дающей для того же значения $x\rho=9{,}30$ кг/м³. На канале Эльдер Имперской системы мутность 6,7 кг/м³ при $x=0{,}455$, точка ложится несколько ниже средней прямой — 7,7 кг/м³.

Таким образом, для оценки способности потока нести во взвешенном состоянии ту мутность, которую он получает из другого источника или сам создает на вышележащих участках, может служить уравнение.

$$y = \psi x. \qquad (4)$$

Для ирригационных систем нижнего течения Амударьи относительная мутность ρ (кг/м³) связывается с гидравлическими элементами канала зависимостью

$$\rho = \psi R_i, \qquad (5)$$

где R — гидравлический радиус,

i — уклон канала,

ψ — коэффициент, имеющий размерность кг/м⁴.

При определении взвешивающей способности потока устанавливаются предельные значения относительной мутности, которую поток устойчиво может нести, и предел, где возможно частичное выпадание. Соответственно этим двум пределам имеем два значения: $\psi_1=17000$ — нижнее, $\psi_2=24000$ — верхнее.

Надежнее ориентироваться на средние значения $\rho(\psi_1=17000)$ или близкие к ним.

Если в уравнение (5) подставить $\frac{v^2}{c^2}$ вместо R_i и $\frac{1}{n}R^{1/6}$ вместо C (по Маннингу), то получим

$$\rho = \psi \frac{v^2 n^2}{R^{1/3}}. \qquad (6)$$

Из уравнения (5) следует, что при заданных Q и i максимальное значение ρ дает сечение с наибольшей величиной гидравлического радиуса R, т. е. сечение гидравлически наивыгоднейшее. За исключением картовой и групповой сети применение такого сечения на прочих каналах системы невозможно, но желательно приближаться к нему.

Из уравнения (6) следует, что относительная мутность ρ прямо пропорциональна квадрату средней скорости v^2 и квадрату шероховатости n и обратно пропорциональна $\sqrt[3]{R}$.

Следовательно, из двух потоков с одинаковым значением v и n поток с меньшим R может нести большую относительную мутность.

Найдем из уравнения (6) скорость

$$v_0 = KR^{1/6}, \qquad (7)$$

где

$$K = \frac{1}{\psi^{0,5}} x \frac{1}{n} \rho^{0,5}. \qquad (8)$$

Это значение скорости v_0 критическое, скорость в канале должна быть больше или равна v_0 для того, чтобы обеспечить в потоке то или иное значение ρ.

При заданном ρ (v_0) меняется для различных R медленно. В табл. 3 даны величины v_0 для различных значений R, ρ, n. Ввиду того, что $R^{1/6}$ между соседними его значениями меняется незначительно, можно, пользуясь табл. 3, не вычисляя точно R, определять его приближенно по h. Скорость v_0 подсчитана для $\psi_1=17000$; для $\psi_2=24000$ значения v_0 будут на 16% ниже.

На рис. 2 показаны различные формулы[3], применяющиеся в разных странах. Здесь же даются величины скорости v_0 для различных значений ρ. Нарастание скоростей с увеличением h по формуле $v_0=kR^{1/6}$ происходит более медленно, а при учете влияния потерь на повышение относительной мутности еще медленнее. Если сопоставить скорости по формуле $v=0{,}425\,h^{0,64}$, принятой в Синде, как наиболее близкой к условиям Амударьи, с новой формулой при $\rho=4$ кг/м^3, то мы увидим, что для всех ка-

[3] Взято из материалов Е. Е. Нельсон-Скорнякова. Перевод в метровые меры автора.

налов, имеющих h<3 м, для транспортирования 4 кг/м³ необходима скорость значительно большая, чем по формуле Кеннеди, а при $h>3$ м — меньшая.

Если в картовом канале при гидравлически наивыгоднейшем сечении $h=0{,}60$ м, то по Кеннеди необходимо иметь скорость около 0,30 м/с, а по новой формуле при $\rho=4$ кг/м³ — около 0,50 м/с; в магистральном же канале при $h=3$ м по Кеннеди $v=0{,}88$ м/с, а по новой формуле $v=\approx 0{,}79$ м/с при $R=\approx 2{,}5$ м.

Если такое сопоставление провести с формулой $v=0{,}66\cdot h^{0{,}64}$,

Таблица 3

n	R	$R^{1/6}$	Скорость v_0 при значениях ρ									
			5	1,0	1,50	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
0,025	0,10	0,68	0,15	0,21	0,26	0,29	0,33	0,36	0,39	0,42	0,44	0,47
	0,14	0,72	0,16	0,22	0,27	0,31	0,35	0,38	0,41	0,44	0,47	0,50
	0,30	0,82	0,18	0,25	0,31	0,36	0,40	0,44	0,47	0,50	0,53	0,56
	0,50	0,89	0,19	0,27	0,33	0,39	0,43	0,47	0,51	0,55	0,58	0,61
	0,70	9,94	0,20	0,29	0,35	0,41	0,46	0,50	0,54	0,58	0,61	0,65
	1,0	1,0	0,22	0,31	0,38	0,43	0,48	0,53	0,57	0,61	0,65	0,69
0,0225	0,70	0,04	0,23	0,32	0,39	0,45	0,51	0,55	0,60	0,64	0,68	0,72
	1,0	1,0	0,24	0,34	0,42	0,48	0,54	0,58	0,64	0,68	0,72	0,76
	1,5	1,07	0,26	0,36	0,45	0,52	0,58	0,62	0,68	0,73	0,77	0,82
	2,0	1,12	0,27	0,38	0,47	0,54	0,60	0,65	0,71	0,76	0,81	0,85
	2,5	1,16	0,28	0,39	0,48	0,56	0,62	0,67	0,74	0,79	0,84	0,89
	3,0	1,20	0,29	0,41	0,50	0,58	0,65	0,70	0,76	0,82	0,87	0,92
	3,5	1,23	0,30	0,42	0,51	0,59	0,66	0,71	0,78	0,84	0,89	0,94
	4,0	1,26	0,30	0,43	0,53	0,61	0,68	0,73	0,80	0,86	0,91	0,96
0,020	1,0	1,00	0,27	0,38	0,47	0,54	0,61	0,66	0,72	0,77	0,81	0,86
	1,5	1,07	0,29	0,41	0,50	0,58	0,65	0,71	0,77	0,82	0,87	0,92
	2,0	1,12	0,30	0,43	0,53	0,61	0,68	0,74	0,80	0,86	0,91	0,96
	2,5	1,16	0,31	0,45	0,54	0,63	0,70	0,77	0,83	0,89	0,94	0,94
	3,0	1,20	0,33	0,46	0,56	0,65	0,73	0,79	0,86	0,92	0,97	1,03
	3,5	1,23	0,33	5,47	0,58	0,67	0,75	0,82	0,88	0,94	1,00	1,05
	4,0	1,26	0,34	0,48	0,59	0,68	0,76	0,83	0,90	0,96	1,02	1,08
	5,0	1,31	0,36	0,50	0,61	0,71	0,79	0,87	0,94	1,02	1,06	1,12

применявшейся на Имперской системе (США), то мы получим, примерно, те же соотношения между скоростями по Кеннеди и по новой формуле, но только для $\rho=\approx 10$ кг/м³, мутности, часто встречающейся на Колорадо.

Необходимость повышения скоростей против предлагаемых формулой Кеннеди, особенно для мелких каналов, очевидна, если ставится задача создания системы незаиляющихся каналов и выноса всех наносов на поля, так как у большинства действующих систем, питающихся мутной водой, наблюдается заиление не только мелкой сети, но и крупных распределителей, хотя по Кеннеди этого быть не должно.

Условия эксплуатации системы значительно влияют на заиление, особенно мелкой сети; подпоры, работа каналов расходами значительно ниже проектных и т. д. снижают транспортирующую

способность каналов, способствуют их заилению. В проекте незаиляющейся системы эти обстоятельства должны быть учтены.

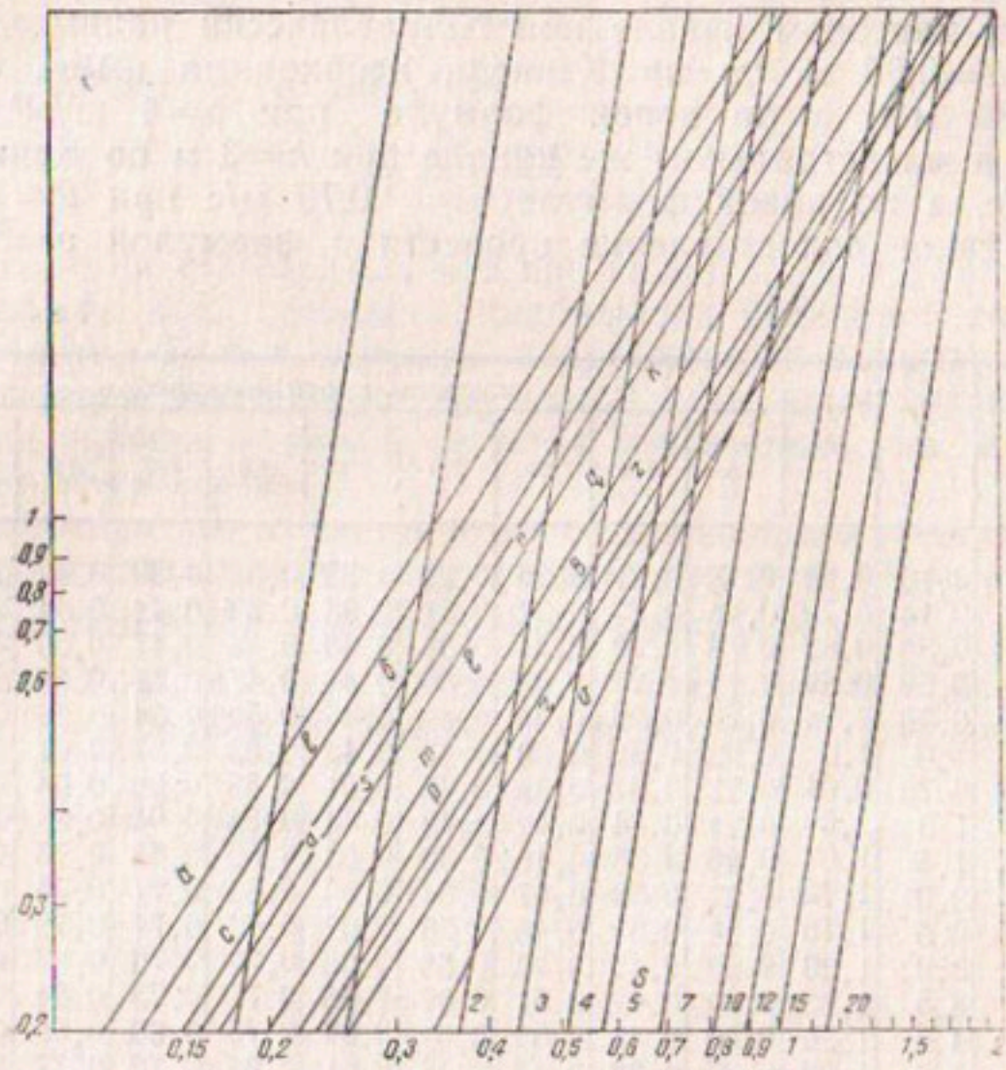


Рис. 2. Незаиляющие и неразмывающие скорости потока

Влияние потерь на фильтрацию, испарение и повышение относительной мутности

Потери на фильтрацию и испарение в каналах, несущих воду с определенной начальной относительной мутностью, неизбежно повысят последнюю благодаря тому, что одно и то же общее содержание взвешенных наносов должно транспортироваться непрерывно убывающими расходами.

Если обозначить через Q_1, Q_2, Q_3 .... Q_n расходы в начале каждого участка канала, а через Q_1', Q_2', Q_3' .... Q_n' расходы в конце тех же участков, то формулу мутности в конце любого участка, выраженной через начальную мутность, можно написать в следующем виде:

$$\rho_n = \rho_1 \cdot \frac{Q}{Q'} \cdot \frac{Q}{Q_2'}, \frac{Q_3}{Q_3'} \cdot \ldots \cdot \frac{Q_n}{Q_n'}.$$

Обозначив через Π_1^n последовательное произведение расходов по участкам от 1 до n, получим

$$\rho_n = \rho_1 \cdot \Pi_1^n \cdot \frac{Q_n}{Q_n'},$$

или

$$\rho_n = \rho_1 \Pi_1^n \frac{1}{\eta_1^n}, \qquad (9)$$

так как отношение $\frac{Q_n^1}{Q_n} = \eta_n$ представляет коэффициент полезного действия n-го участка канала.

Таким образом, относительная мутность в конце участка, выраженная через относительную мутность в начале его, обратно пропорциональна коэффициенту полезного действия данного участка. Относительная мутность в конце любого участка, выраженная через первоначальную мутность в голове канала, обратно пропорциональна последовательному произведению коэффициентов полезного действия всех вышележащих участков, включая рассматриваемый.

Значение произведения $\Pi_1^n \frac{1}{\eta_n} > 1$ и зависит только от того, в какой точке системы необходимо определить мутность, выраженную через мутность в голове магистрального канала. Очевидно, мутность в отдельных пунктах системы будет непрерывно расти по мере удаления от головы, достигая максимума в наиболее удаленных частях системы. Помимо прочих причин именно этим можно объяснить большее заиление хвостовых участков системы, где произведение $\Pi_1^n \cdot \frac{1}{\eta_n}$ может получить значения до 1,50 м и даже выше.

При составлении ирригационного проекта повышение относительной мутности, связанное с потерями в каналах, следует обязательно учитывать.

О создании системы незаиляющихся каналов

Магистральный канал получает воду из реки без барража, то есть головное сооружение, не имеет отстойников и передает в сеть воду с относительной мутностью, равной мутности реки. Требуется создать равновзвешивающую систему каналов и все наносы вынести на поля.

При наличии головного сооружения возможно забирать из реки воду по графику, что значительно уменьшает общее количество наносов, поступающих в систему. Повышение коэффициентов полезного действия системы способствует уменьшению количества наносов, приходящихся на 1 га, за счет уменьшения расходов брутто на га.

Данные по Ташсакинскому проекту приведены в табл. 4. Сток наносов по существующим каналам в зоне командования Ташсакинской магистрали подсчитан по средней мутности Амударьи у Ташсаки за 1926—1927, 1929 гг. Проектный сток наносов определен по тем же годам и отнесен к двум площадям: 212 тыс. га при сохранении существующего гидромодуля и без переустройства сети, 303 — при полном переустройстве системы.

Из табл. 4 следует, что только переустройство водозабора снижает общее количество наносов, поступающих на гектар оро-

Таблица 4

Период работы	Сток каналов, млн. м³	%	Сток наносов, тыс. т	Площадь, га	Наносы на га, тыс. т	%
Существующий	3,938	100	14,000	1750000	80	100
Проектный с головным сооружением	4,750	122	14,000	212000	86	80
Проектный при полном переустройстве	4,750	122	14,000	303000	46	58

шаемой площади, на 20%, полное же переустройство системы — на 42%.

Таким образом, головное сооружение облегчает условия для создания равновзвешивающей системы благодаря возможности точного регулирования расходов, поступающих в магистраль.

Для создания равновзвешивающей системы каналов расчеты следует вести исходя из среднемаксимальной мутности воды, поступающей в магисграль в период паводка. Очевидно, для того, чтобы магистральный канал мог, не теряя, нести мутность реки, необходимо выдержать для магистрали значения Ri, близкие к таковым из реки, но меньше их, учитывая разрушающую способность рек. Отсюда следует, что заданному Ri будет соответствовать какой-то минимальный расход Q, меньше которого нельзя пускать в канал, если необходимо по нему пронести мутность реки. Примером могут служить головы Хорезмских каналов, которые несмотря на наличие уклонов, близких к уклонам реки, а некоторых даже больше (Ташсака), все интенсивно заиляются и подвергаются ежегодной чистке. Расходы отдельных водозаборов не превышают 30—40 м³/с в период паводка.

Таким расходом для низовьев Амударьи при уклоне канала 0,00015 может быть расход не меньше 80 м³/с, обеспечивающий взвешивание при $R=2{,}5$ м до 6,50 кг/м³ (мутность, близкая к среднемаксимальной), т. е.

$$Ri = \frac{6.50}{17,000} = 0{,}000382.$$

Для того, чтобы пронести эту мутность через картовую сеть на поля, оценив повышение мутности коэффициентом 1,5 и приняв для карты R=0,20 м, нужен уклон

$$i = \frac{15 \cdot 0.000382}{0.20} = 0{,}0029,$$

т. е. в 29:1,5=19 раз больше, чем на магистральном канале. Такой системы не только в условиях Амударьи, но ни на одной подобной реке создать нельзя, так как, в частности, на Кунядарье нет таких уклонов, но имеются уклоны от 0,0003 до 0,0006, при которых картовый канал (Q=0,100) в состоянии пронести от 1 до 3 кг/м^3.

Интенсивное заиление системы неизбежно в паводок при наибольшей мутности реки и более слабое в течение остального периода. Это наблюдается по всей Амударье и на других реках с большой мутностью (Сырдарья, Кура, Колорадо, реки Пенджаба и др.).

Для создания равновзвешивающей системы необходимы те или иные устройства для снижения относительной мутности воды, поступающей в магистраль и далее в систему.

Магистральный канал получает воду из подпертого бьефа барража или имеет отстойник в головном участке или и то и другое вместе. При наличии только плотины относительная мутность воды, поступающей в канал, снижается на известный процент и тем самым несколько облегчаются условия для создания равновзвешивающей системы. Так, плотина Лагуна[4] на р. Колорадо снижала мутность паводковой воды только на 20%, а низких вод — до 80%.

Если принять, что в паводок барраж на Амударье снизит относительную мутность до 4 кг/м^3, тогда

$$R_i = \frac{4}{17.000} = 0{,}000235.$$

Картовой сети при R=0,20 м следует дать уклон

$$i = \frac{1{,}5 \cdot 0.000235}{0.2} = 0{,}0018,$$

т. е. в 12 раз больший, чем на магистрали. Как указано выше, таких условий создать нельзя и, следовательно, невозможно вынести 4 кг/м^3 на поля. Таким образом, при барраже неизбежно небольшое заиление сети и только в период паводка, так как низкие воды будут настолько осветлены (до 80%), что оставшаяся мутность вынесется на поля. Примером может служить Юмская система, питающаяся из подпертого бьефа плотины Ла-

[4] S. Fortier, H. Blaney. Silt in the Colorado River and its Relation to irrigation. Technical Bulletin, N 67, 1928.

гуны, где, несмотря на хорошие промывные карманы, происходит довольно сильное заиление системы. Очистка механизирована.

Для полного регулирования количества наносов, поступающих в систему, необходимо устройство при барраже отстойников перед головным регулятором или за ним для промывки отложений нижнего бьефа барража. При наличии отстойников возможно осветлить воду настолько, чтобы ирригационная сеть не заилялась, оставляя все же в воде такую мутность, которую картовая и групповая сеть могут вынести на поля.

В условиях Кунядарьи большая часть сети пронесет до 1,5 кг/м³. Если принять среднюю мутность воды, поступающей в канал за поливной период, 4 кг/м³ и мутность, до которой отстойник должен осветлить воду, 1 кг/м³ (с учетом коэффициента 1,5), то барраж и отстойник при нем должны осадить 3,0 кг/м³, т. е. осветлить воду на 75%. При таких условиях картовой сети можно придать уклон до 0,0004, т. е. примерно в 3 раза больший, чем магистрали, что уже вполне осуществимо.

Примером такого устройства может служить предполагающийся к постройке в Америке Всеамериканский канал. На реке Колорадо в 24 км выше существующей плотины Лагуна будет построена новая плотина, из подпорного бьефа которой будет питаться канал расходом Q=430 м³/с. В голове канала устраиваются 6 осадочных бассейнов, которые по мере заполнения наносами будут выключаться из общей системы и промываться. Плотина Гувера на р. Колорадо (высота 200 м) образует водохранилище емкостью до 36 млрд. м³, которое полностью будет регулировать сток реки и тем самым значительно снизит ее естественную мутность. Работа этих сооружений гарантирует полную незаиляемость системы.

Очевидно, возможно устройство отстойников в голове магистрального канала при отсутствии барража, но при наличии головного сооружения. Эксплуатация их более тяжелая и дорогостоящая, так как промывку отложений осуществить невозможно и очистка должна быть механизирована. Осветленные воды в отстойниках можно доводить до необходимого предела в зависимости от того, ставим ли мы целью создание незаиляемой системы или же не допускаем заиления только распределительной сети и допускаем частичное групповой и картовой.

При орошении больших массивов, когда групповая и картовая сеть может иметь в различных районах различные «i», а следовательно, пронести большую мутность, может оказаться целесообразным устройство отстойников, кроме головного, на отдельных участках системы в головах крупных распределителей. Это дает возможность большее количество наносов вынести на поля, уменьшив тем самым объем отложений, подлежащих удалению из отстойников. Если бы Уазская сеть транспортировала 1,0 кг/м³ и Сипайябская — до 1,75 кг/м³, то отстойник в голове необходимо было бы устроить из расчета осветления до 1,75:1,5=

$=1{,}16$ кг/м^3, а не $1:1{,}5$ кг/м^3. В голове же Уазской ветки следовало бы устроить второй отстойник для осветления воды до предела, гарантирующего незаиление сети. Ввиду того, что площадь по Сипайябу почти в 3 раза больше, чем по Уазу, такое устройство значительно облегчит эксплуатацию головного отстойника.

В американской ирригационной практике[5] мы находим пример работы головного отстойника и внутри системных. Долина «Империал» орошается из р. Колорадо. Канал Аламо имеет головное сооружение Pokyydrsut водосливного типа (В-200 м). На реке плотины нет, но в период низких вод, когда расходы реки падают ниже 1400 м^3/с, ставится временная подпруда, взрываемая при прохождении более высоких расходов. Ниже головного, примерно на 1800 м, расположено перегораживающее сооружение Ганлончейт, до 1918 г. служившее головным устройством канала. Между ними находится отстойник, в котором постоянно работает землесос, иногда два, и рафилирует грунт в реку.

С. Е. Грунский отмечает, что «хотя полезность и экономичность обезыливающих приспособлений при головных сооружениях ирригационных систем в нижнем бассейне Колорадо является общепризнанным, все же эти приспособления разрешают лишь часть проблемы наносов.

Самый мелкий же нанос, являющийся с фермерской точки зрения самым вредным, проходил по всем ирригационным каналам и оседал на орошаемых участках»[6].

На Имперской ирригационной системе, где возможна их промывка, имеются внутрисистемные отстойники.

О проектировании Кунядарьинских отстойников на магистральном канале ниже головного сооружения при бесплотинном водозаборе

Отстойник для ирригационных систем, работающих на Амударье, предназначен для уменьшения заиления каналов путем осаждения части наносов в отстойнике, создания системы незаиляемых равновзвешивающих каналов.

В обоих случаях часть взвешенных наносов остается в воде: в первом они частично заиляют систему, а частично выносятся на поля, во втором — только выносятся на поля, система не заиляется.

Для того, чтобы отстойник мог снизить относительную мутность поступившей в него воды до определенного предела, удовлетворив в точности эти условия, необходимо запроектировать его в виде канала с определенными гидравлическими элементами,

---

[5] S. Fortier, H. Blaney, Silt in the Colorado River and its Relation to irrigation. Technical Bulletin, N 67, 1929.

[6] Proceedings of the Am. Soc. of Civil Engineer. August. 1929. «Silt Transportation by Sucramento and Colorado Rivers and by the Imperial canal», by C. E. Irunsky, Past—President, Am. SOC. C. E.

отвечающими заданной мутности. Как головные участки паводковых каналов Хорезма на определенной длине выбрасывают часть наносов, так и отстойник должен, осадив известный процент их, дать в магистральный канал воду с постоянной или колеблющейся в заданных пределах мутностью.

Магистральный канал работает по плану водопользования. Его расход в течение поливного периода может увеличиваться или уменьшаться вдвое.

Нами принята зависимость

$$\rho = \psi R i,$$

из которой следует, что транспортирующая способность отстойника переменная, так как при i=const и переменном Q получим переменный R. Приняв крайние расходы магистрального канала $Q_{мин}$ и $Q_{форс}$ за расчетные, получаем колебания ρ в пределах до 30—40% от расчетного.

Уклон магистрального канала ниже отстойника i_k может быть больше или равен проектному уклону отстойника i_0. Если $i_k = i_0$ и магистральный канал имеет поперечное сечение отстойника, возникает вопрос о сопряжении уровней отстойника и канала. При $i_k > i_0$ следует учитывать сопряжение уровней отстойника и канала, так как амплитуда колебания уровней в отстойнике Δh_0 больше амплитуды в канале Δh_k. При совмещении высоких уровней минимальные несколько подпирают соответствующие уровни отстойника и снижают и без того пониженную транспортирующую его способность. При совмещении низких уровней и прохождении больших расходов в отстойниках образуется спад, который значительно повысит транспортирующую способность отстойника сверх заданной.

Учитывая, что отстойник имеет малые уклоны порядка 2—4 см/км, $\Delta h_0 - \Delta h_k = 10—15$ см будет значительно сказываться на уклонах даже при длине отстойника 5—6 км.

Отсюда возможны три типа отстойника:

1) нерегулируемый

при $i_k' = i_0$

при $i_k' > i_0$ и совмещении уровней, соответствующих $Q_{форс}$;

2) частично регулируемый

при $i_k' > i_0$ и совмещении уровней, соответствующих $Q_{мин}$, путем подпора перегораживающим сооружением в отстойнике сохраняются расчетные уровни и поддерживается при $Q_{форс}$ предельная транспортирующая способность;

3) регулируемый

при $i_k' \geqslant i_0$ и совмещении минимальных уровней.

При всех расходах от $Q_{мин}$ до $Q_{форс}$, проходящих через отстойник, транспортирующая способность последнего, путем подпора перегораживающим сооружением, поддерживается постоянной, равной предельно заданной.

Для составления проекта отстойника необходимо проработать следующие основные вопросы.

Расчетный режим наносов в источнике орошения. Изучение режима наносов реки на створе головного сооружения должно предшествовать проекту отстойника. Наблюдениями должен быть охвачен период мало- и многоводных лет для прогноза возможных мутностей реки и распределения их во времени.

При отсутствии материалов в месте забора необходимо пользоваться данными ближайшей станции, если она характерна для данного участка реки; при этом необходимо использовать даже кратковременные наблюдения за наносами у места будущего головного сооружения для контроля сведений соседних станций. Для нижнего течения Амударьи наиболее полные, но недостаточные данные имеются по Ташсака, которые необходимо применять при проектировании сооружений у Джумуртау. В частности, для проектируемого отстойника Кунядарьинского канала будем пользоваться данными по этому вопросу В. Н. Гостунского.

При этом необходимо знать режим реки на участке ниже головы, причем на длине не менее длины отстойника, так как он должен проходить параллельно реке на небольшом от нее расстоянии для свалки вынутого из отстойника грунта.

Для расчета объема отложений, по нашему мнению, необходимо пользоваться данными со среднемаксимальной мутностью, повторяющимися не чаще, чем через 10—15 лет, во избежание чрезмерных запасов в мощности землесосных снарядов, которые должны работать с неполной нагрузкой или использоваться на других каких-либо строительных работах.

В периоды же катастрофических лет как исключение можно допускать небольшое заиление мелкой сети.

Критическая относительная мутность отстойника. На основании анализа гидравлических элементов картовой, групповой и распределительной сети орошаемого района необходимо установить критическую относительную мутность сети ρ_c, которую система этих каналов в состоянии вынести на поля. Если проект предполагает полное незаиление системы, то ρ_c и явится исходной мутностью для установления мутности отстойника ρ_0. Если же допускается частичное заиление системы, расчетная мутность сети $\rho_c' = \rho_c + \rho_з$, где $\rho_з$ — избыточная мутность, которая должна осесть в каналах сети.

Установив это, находим критическую мутность отстойника по уравнению (9)

$$\rho_0 = \rho_c' \Pi_i^n \cdot \eta_n .$$

Тип отстойника. Если предполагается в течение поливного периода полностью использовать транспортирующую способность

сети ρ_c для выноса наносов на поля, то необходимо проектировать третий тип отстойника.

Если отстойник предназначен для уменьшения заиления системы и облегчения ее чистки, необходимо проектировать первый тип отстойника. Если система проектируется незаиляемой, но по

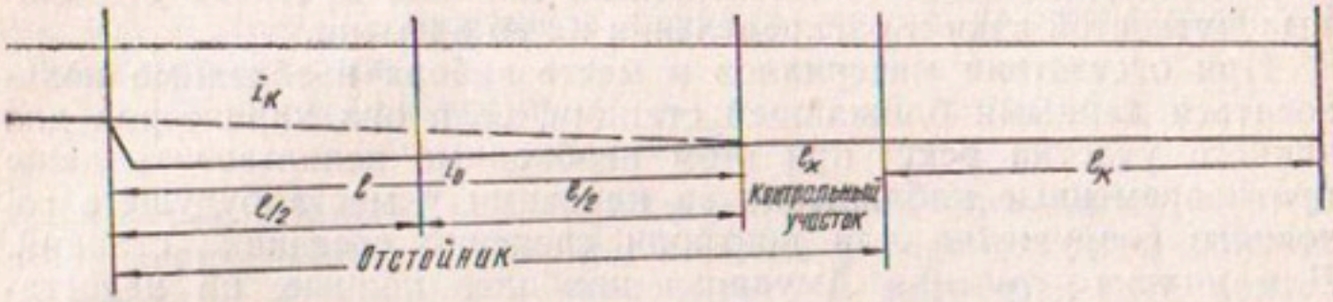


Рис. 3. Схема отстойника второго типа.

условиям постройки трудно или невозможно осуществить третий тип отстойника, то приходится отказаться от полного использования в течение поливного периода транспортирующей способности сети ρ_c и ограничиться лишь этой мутностью, как предельной,

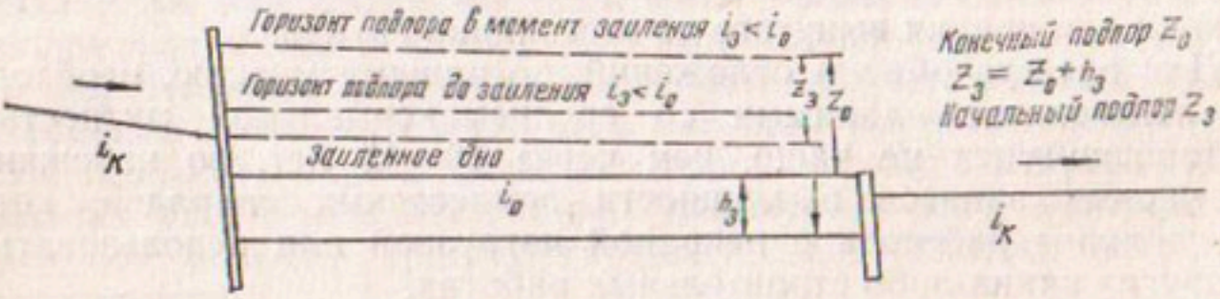


Рис. 4. Схема отстойника третьего типа.

при $Q_{форс}$ в магистральном канале, имея все остальное время в сети $\rho < \rho_i$.

Отстойник — канал, но с пониженными скоростями, поэтому характер отложений в нем, очевидно, аналогичен отложениям в головах Хорезмских каналов, т. е. его можно представить в виде клина, вытянутого вдоль по каналу до 10 км. Такая картина возможна только для отстойников первого и второго типов, так как здесь естественный режим канала или ничем не нарушается (первый тип) или только поддерживается (второй тип).

Принимаем следующую схему заиления отстойника (рис. 3): верхняя половина заиляется до линии дна верхнего участка канала, имея уклон $i_к$; нижняя половина отстойника заиляется резким клином, сходя на нет. В конце отстойника оставляется участок длиною 200—300 м, на котором не допускается отложений и который служит контрольным участком для работы отстойника.

Для отстойника третьего типа принята следующая схема заиления (рис. 4). Он заиляется наносами примерно так же, как в

предыдущем случае, но благодаря регулированию подпорным сооружением можно в конечной стадии получить заиленное дно, поднятое параллельно незаиленному, что даст возможность лучше использовать отстойник.

Исходным расходом для отстойников первого и второго типов является $Q_{форс}$. Глубина отстойника должна быть больше глубины канала $h_0 > h_к$. Зная предельно возможное заглубление в грунт, намечаем предельное значение h_0. Далее, задаваясь значениями R, по формуле (5) определяем уклон

$$i_0 = \frac{\rho_0}{\psi R}.$$

Если полученная глубина по тем или иным соображениям неудовлетворительная, необходимо задаться новыми значениями R и повторить расчеты.

Исходным расходом для отстойника третьего типа является $Q_{мин}$, который должен транспортировать ρ_0. Большая транспортирующая способность расходов $Q > Q_{мин}$ парализуется подпором. Аналогично задаемся значением R, по формуле (5) определяем i_0 и находим все элементы канала.

Необходимо отметить, что в отстойниках этого типа заглубление значительно больше, чем в предыдущих, благодаря необходимости держать подпор при $Q_{форс}$ до конечной стадии заиления.

Отстойник первого типа. По мере накопления отложений в верхнем конце отстойника будет происходить повышение горизонтов, которое можно учесть, построив кривую свободной поверхности для заиленного отстойника одним из известных методов.

Ввиду того, что верхним концом отстойник примыкает к головному сооружению, расчетные горизонты которого нельзя нарушать, необходимо горизонт в начале отстойника до заиления снизить на величину повышения горизонта после заиления, допустив в начальный момент работы отстойника кривую спада в канале, соединяющем головное сооружение с отстойником. Подсчеты показывают, что это повышение для Кунядарьинского отстойника не превышает 10—15 см при $Q_{форс}$.

Следует проверить повышение при пропуске $Q_{мин}$. Если $i'_к = i_0$, то горизонты в конце канала как при $Q_{форс}$, так и при $Q_{мин}$ хорошо сопрягаются с уровнями канала. При $i'_к > i_0$ и совмещении уровней, соответствующих $Q_{форс}$ и $Q_{мин}$, будем иметь подпор нижним каналом уровней отстойника на величину $\Delta h_0 = h_0 - h_к$. Это следует учесть при построении кривой свободной поверхности заиленного отстойника при прохождении $Q_{мин}$ для установления необходимого снижения уровня в начале отстойника.

Транспортирующая способность отстойника при $i_k = i_0$ приводится ниже:

Q	β	h	R	ρ
70	17,30	3,26	2,86	0,73
100	14,05	4,00	3,46	0,88
125	12,30	4,59	3,90	0,98
154	11,05	5,05	4,35	1,10

$b=56$ $t=000015$
$n=0225$
$m=2$
$\psi=17,000$

ρ падает на 34 % ниже критической, $\rho_0 = 1{,}10$ при прохождении $Q_{мин} = 70$ м³/с.

Очевидно, эта разница еще увеличится при $i_k > i_0$ и тем значительнее, чем больше разность $i_k - i_0$. Поэтому необходимо увеличение уклона магистрального канала за отстойником вести постепенно, не допуская разницы в глубинах Δh больше 10—15 см.

Отстойник второго типа. Отличается от первого тем, что при $i_k > i_0$ сопряжение с каналом достигается путем устройства перегораживающего сооружения, причем совмещаются горизонты, соответствующие $Q_{мин}$, как показано пунктиром на рис. 3.

Канал за отстойником может иметь любые допустимые уклоны. Транспортирующая способность отстойника колеблется, как при $i_0 = {}_k'$.

Устройство перегораживающего сооружения, облегчая сопряжение горизонтов, может дать также экономию на земляных работах канала за отстойником, окупив тем самым стоимость сооружения. Кроме того, необходимо учесть, что наличие перегораживающего сооружения позволит, регулируя горизонты в конце отстойника, влиять на его транспортирующую способность.

При проектировании отстойника и перегораживающего сооружения следует учесть возможность образования спада при минимальных горизонтах на 10—20 см.

Отстойник третьего типа. Как уже отмечалось, поперечное сечение определяется по $Q_{мин}$ и ρ_0. При $Q_{форс}$ транспортирующая способность отстойника повысится и должна быть снижена подпором.

Из предыдущего анализа трех типов отстойников можно сделать следующие выводы.

1. Отстойник третьего типа неприемлем из-за необходимости сильного заглубления канала, что невозможно выполнить по причине слабых песчаных грунтов с высоким стоянием уровня грунтовых вод и потери командования. Только при наличии плотины на реке и иной компоновки возможно осуществить полностью регулируемый отстойник.

2. При создании системы незаиляющихся каналов из двух типов отстойников следует отдать предпочтение второму, как

дающему больше уверенности в правильной его работе, так и позволяющему лучше сопрягать уровни канала.

Удобно иметь два параллельных канала-отстойника. Выключая из работы отстойник, заполненный отложениями до проектных отметок, на время его очистки включаем в работу другой. Такое чередование в работе отстойников через определенные, но разные промежутки времени вносит ясность как в работу самих отстойников, так и земснарядов, создавая благоприятные условия для эксплуатации. Хотя это несколько удорожает единовременные затраты на постройку отстойников, все же их следует рекомендовать. Примером могут служить каналы в Пенджабе, Индии, где головные участки некоторых из них выполнены в виде двух параллельных каналов, работающих попеременно.

ЗЕМЛЯНЫЕ ПЛОТИНЫ[1]

Введение. Земляные плотины — древнейший тип водоподпорных сооружений. Можно указать много подобных сооружений, просуществовавших сотни лет. Еще не так давно многие специалисты считали земляные плотины высотою до 20 м высшим допускаемым пределом для сооружений такого рода. Всемирная строительная практика за последние 20 лет окончательно опровергла такое мнение, и в настоящее время никого не удивляет постройка земляных плотин высотою до 300 м.

Одним из лучших материалов для земляных плотин является лесс, но и другие грунты при надлежащем профиле плотины могут служить для прочной и долговечной постройки. Простота, дешевизна и быстрота работ, возможность постройки земляных плотин практически на любых основаниях как скалистых, так и песчаных, сейсмическая стойкость и прочие преимущества делают этот тип сооружений особенно интересным и жизненным для Средней Азии. Накоплен богатый строительный опыт и ориентировочный справочный материал для проектирования.

Общее о земляных плотинах. Земляная плотина представляет трапецеидальную насыпь — дамбу, хорошо соединенную с основанием или грунтом, на котором она покоится, и достаточно врезающуюся в берега перекрываемой долины. Для регулирования уровней воды плотина должна быть оборудована достаточными водопропускными или спускными устройствами. В связи с этим во всех сооружениях можно выделить тело, основание, сопряжение с берегами и водоспуски.

Основная задача проектирования — назначение размеров тела плотины. При этом необходимо определить ширину по верху v, заложение верхового $m_в$ и низового $m_н$ откосов.

Тело плотины может быть из различных материалов, что, в свою очередь, существенно отражается на ее конструкции. По ха-

---

[1] Данный раздел составлен из двух работ В. В. Пославского: написанной в 1924 г. совместно с В. Д. Журиным («Вестник ирригации», 1924, № 3—5) и второй — в 1976 г. (неопубликована).

рактеру или структуре оно классифицируется на 1) однородное 2) с ядром, 3) с водонепроницаемым экраном у верхового откоса, 4) из сортированных материалов, 5) намывное.

1. Примером однородной плотины может служить Bell Fourche Dam в Южной Дакоте (рис. 1). Высота плотины h=27,4 м, ширина по верху b=6,1, верховой откос в неукрепленной части до отметки 29,20 $m_в$=3, затем после 2,5-метровой бермы идет откос, укрепленный бетонными плитами 0,13×0,18×0,20 м. Пли-

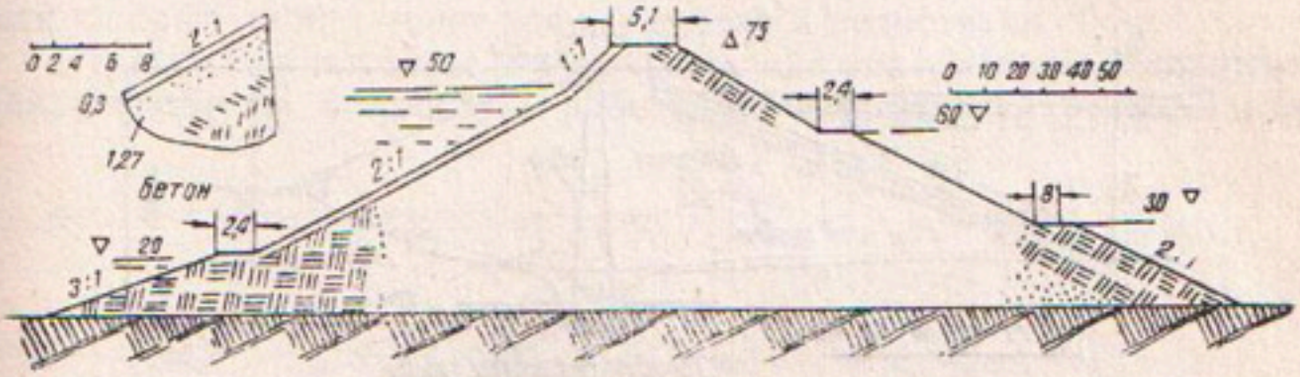


Рис. 1. Плотина Bell Fourche Dam в Южной Дакоте.

ты уложены по слою гравия и гальки толщиною 0,61 м с откосом $m_в$=2, идущим до горизонта воды, выше него откос более крутой $m_в$=1. Высота гребня плотины над напорным горизонтом равна 4,6 м, низовой откос непостоянен, верхняя его часть от гребня до отметки 29,60, m_1=1,75. Далее устроена берма шириною 2,4 м, на отметке 29,30 вторая берма такой же ширины и откос идет уже более пологий — $m_н$=2.

2. Вторым типом могут служить земляные плотины долины Croton (рис. 2). В центре вдоль оси плотины устроено ядро из каменной кладки на прочном скалистом основании. Высота плотины h=27,1 м, ширина по верху b=9,1 м, толщина ядра по верху 1,5 и по низу 5,5 м, верховой откос $m_в$=2,4, защищен отмосткой толщиной 0,45 м, уложенной на слое щебня толщиною 0,3 м, сухой откос $m_н$=2,5, ничем не защищен и только в нижней его части сделана каменная наброска. Постройка плотины велась слоями толщиною 0,15 м с тщательной их укаткой. Высота гребня плотины над горизонтом воды равна 2,7 м.

Другой пример плотины такого типа показан на рис. 2 (внизу). Плотина высотой 26,5 м поддерживает подпор 24,3 м, ширина по верху b=6,1 м, верховой откос $m_в$=4, низовой откос $m_н$=3 и имеет две бермы. В середине плотины устроено ядро из глиняного бетона общей высотой 39,6 м, шириной по верху b= =3 м и уклоном боковых граней 0,33, с обеих сторон ядра сделаны насыпи из глинистого материала толщиной слоев по 0,2 м, крайние части плотины (обращенные к водной и сухой сторонам) выполнены из каменистого материала, уложенного слоями 0,5 м. Верховой откос укреплен мостовой толщиной 0,46 м, уложенной на слой щебня толщиной 0,2, ширина плотины по низу 194,8 м.

3. Типом плотины с экраном является плотина на р. Chagres близ Bohio. Она не имеет ядра, но с верховой стороны, поперек реки, устроена бетонная стенка между двумя шпунтовыми рядами, находящимися на расстоянии 7,9 м друг от друга. Высота плотины $h=26{,}5$ м, ширина по верху 15,2 м, верховой откос защищен бетонной одеждой, $m_в=3$, низовой — покрыт облицовкой из сухой кладки, $m_н=1{,}5$, в нижней его части устроена каменная наброска с откосом в начале $m_н=2$, а затем еще более пологий.

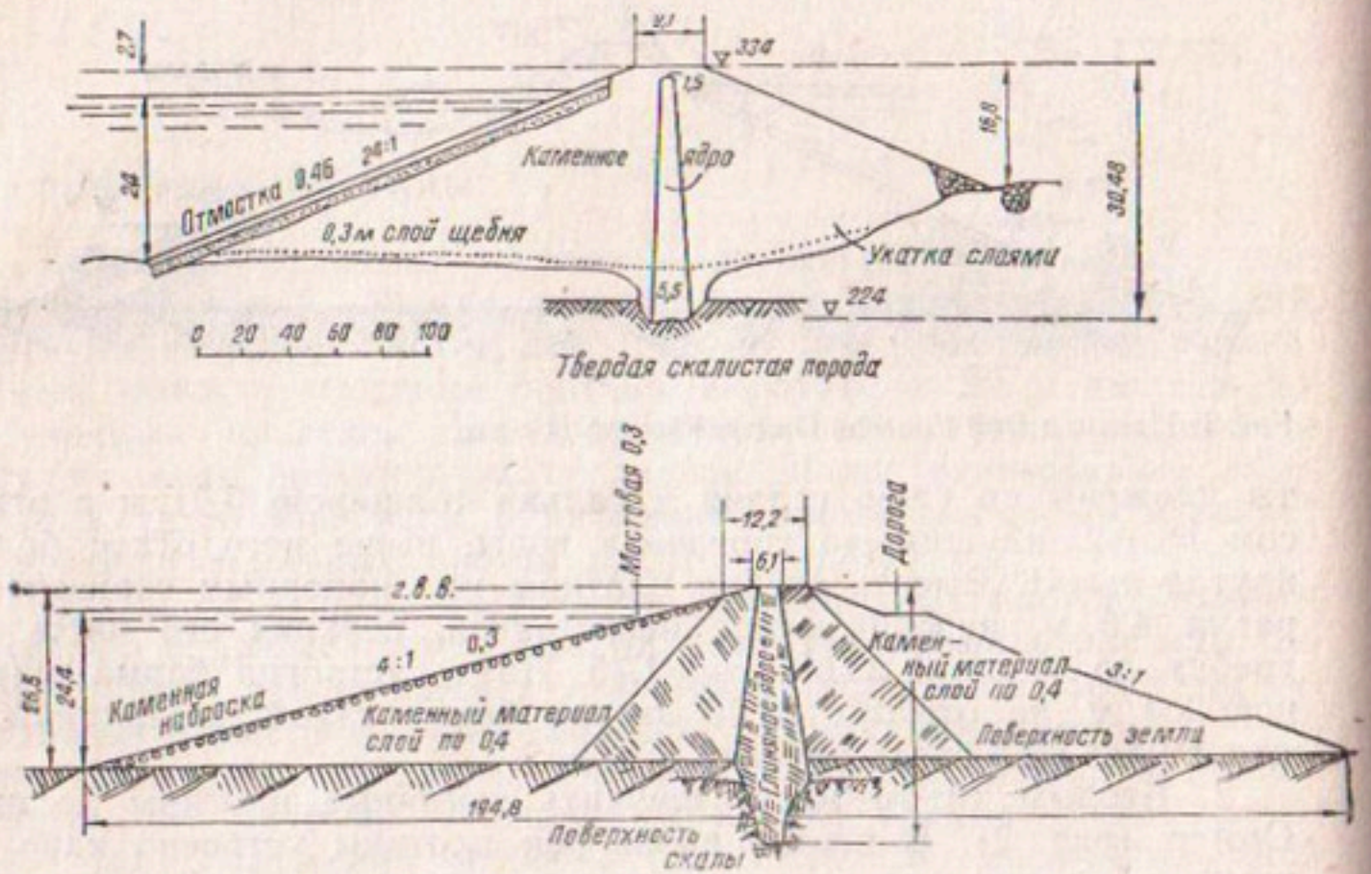


Рис. 2. Тип плотины с ядром.

Основанием плотин служит плотная глина, прикрытая сверху суглинком.

4. Примером плотин из сортированных материалов может служить плотина Ashti в округе Sholapur в Индии. Ядро в ней заменено замком, устроенным в центральной части. Средняя часть сделана из отборного материала (черная земля), от нее по обе стороны распределяют бурую землю, по краям положены продукты выветривания скалистых пород, известных в Индии под названием «мурум». Высота плотины $h=10{,}9$ м, верховой откос, подвергающийся действию воды, равен 3; верхняя часть верхового откоса, начиная от горизонта воды, равна 1,5, низовой также имеет перелом, верхняя его часть равна 1,12, нижняя — 2, ширина плотины по верху 1,8 м, замок толщиною 3 м в нижней части доведен до скалистого грунта. Гребень плотины поднят над горизонтом воды на высоту 3,7 м.

5. Типичным профилем намывной плотины служит плотина Necaxa, построенная в 1909 г. в Мексике (рис. 3). Средняя часть

состоит из водонепроницаемого глинистого грунта, по обеим сторонам которого расположены все более и более проницаемые материалы из гравия, песка, щебня с некоторой примесью глины, прикрытые крупными камнями и глыбами скал. Высота плотины $h=57{,}9$ м, ширина по верху $b=19{,}5$ м, верховой откос $m_в=3$, низовой $m_н=2$.

Что касается сравнения качеств того или другого типа плотины, то мы не можем отдать предпочтение определенному, так как каждый из них имеет преимущества и недостатки.

Первый тип плотины имеет преимущество перед остальными, заключающееся в простоте работы и однородности тела. Плоти-

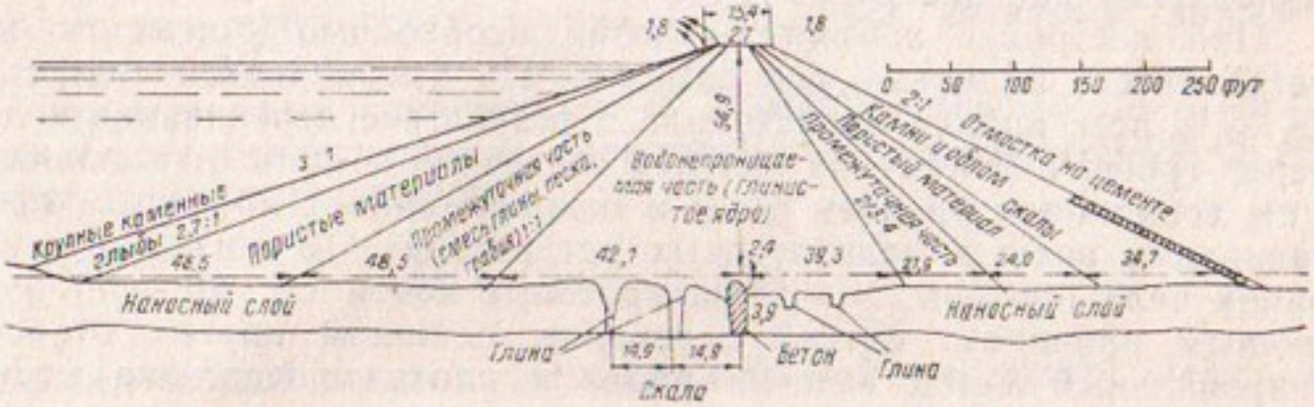


Рис. 3. Тип намывной плотины.

ны с ядром имеют условия, благоприятствующие работе низового откоса и при удачном выполнении ядра могут быть водонепроницаемыми. Однако многие, в частности Mattern, находят в них ряд недостатков: а) разнородность кладки, влекущая за собой неравномерность осадки (особенно при ядре из бетонной или каменной кладки); б) недоступность осмотра в главной, водонепроницаемой, части плотины, не позволяющая своевременно принимать меры к исправлению; в) при усыхании ядро из глины дает трещины и, кроме того, в нем могут появиться кротовые ходы. Дильман считает, что применение внутренних ядер ошибочно: «оно не всегда бесполезно, но всегда неэкономично». Вейраух отмечает, что эти и другие возражения против плотин с ядром касаются возможностей, а не фактов, наблюдаемых во всех случаях. Особое положение занимают ядра намывных плотин, так как они очень широки и исполняются литым способом одновременно с остальными частями дамбы.

Плотины с водонепроницаемым слоем (экраном) у верхового откоса зарекомендовали себя достаточно хорошо в существующих сооружениях. Они характеризуются следующими признаками:

а) противофильтрационные стенки опущены перед плотиной на значительную глубину — 5—15 м;

б) крутые откосы с верховой стороны ($m_в$ от 1 до 1,5) в форме уступов с бермами;

в) облицовка верхового откоса большими бетонными плитами;

г) применение наилучшего грунта и уплотнение материала моторным катком;

д) клинообразные рвы в подошве плотины, противодействующие фильтрации по стыку между дамбой и грунтом.

Тип из сортированных материалов довольно хорошо удовлетворяет условиям работы тела плотины.

Намывные плотины, создаваемые путем отстаивания (осаждения) грунта из искусственно образованного мутного потока, наиболее плотные по структуре, быстрые в работе и удобные в отношении распределения материалов в профиле плотины. Этот тип заслуживает внимания, так как в будущем, видимо, получит наибольшее распространение.

При постройке земляных плотин необходимо учитывать их устойчивость и полную безопасность. По американской статистике, 37% всех аварий происходило в результате переливания воды через гребень вследствие его недостаточной высоты над наивысшим возможным уровнем воды в водохранилище, 30 — из-за просачивания воды в водоспускных устройствах, 10 — из-за подмывания тела плотины, 3 — из-за кротовых ходов и 20 — по различным причинам: слабое основание, слишком крутые откосы, неправильный метод ведения работ и плохая подготовка места под плотину.

Статический расчет. Земляная плотина, как и всякое водоподпорное сооружение, должна быть устойчивой на скольжение и опрокидывание. Трудно представить, чтобы земляная плотина могла опрокинуться под давлением воды, более вероятна возможность скольжения плотины, если не всей в целом, то отдельных ее частей.

Устойчивость на опрокидывание и скольжение в земляных плотинах всегда обеспечена, так как при их проектировании выдвигаются более серьезные требования, которые укажем ниже.

Рассмотрим условия некоторого теоретического треугольного профиля земляной плотины с высотой H и боковыми откосами (верховым и низовым), равными единице: $m_в = m_н = 1$.

Предположим, что теоретический профиль представляет монолитную земляную кладку с весом единицы объема γ_3 (обычно около 1,8). Для определения коэффициентов устойчивости на скольжение (k) и на опрокидывание (n) проведем от подошвы верхового откоса вертикальную плоскость AA_1 и рассмотрим силы, действующие на выделенный отсек AA_1BC.

Горизонтальное давление (от воды) равно

$$P = 0{,}5\,\gamma H^2,$$ где γ — объемный вес воды.

Собственный вес отсека (в предположении абсолютной водонепроницаемости тела плотины) $Q = Q_в + Q_3$,

$$\text{но } Q_в = 0{,}5\,\gamma H^2, \text{ а } Q_3 = \gamma_2 H^2,$$

$$\text{следовательно, } Q = 0{,}5\,\gamma H^2 \left(1 + 2\frac{\gamma_3}{\gamma}\right).$$

Обозначая коэффициент трения через f (от 0,75 до 0,3), получим силу трения F, сопротивляющуюся сдвигу плотины под действием напора воды

$$F = fQ = f\,0{,}5\,\gamma H^2\left(1 + \frac{\gamma_3}{\gamma}2\right).$$

Сопоставляя силу трения F и горизонтальное давление P, получим формулу коэффициента запаса против скольжения

$$K = \frac{F}{P} = f\left(1 + 2\frac{\gamma_3}{\gamma}\right),$$

которая при обычных соотношениях (γ_3 равняется 1,8) и минимальном коэффициенте трения $f=0{,}3$ дает численное значение коэффициента запаса $k=1{,}28$.

Коэффициент устойчивости на опрокидывание n получается еще более благоприятным. Действительно, опрокидывающий момент относительно точки c

$$M_0 = 0{,}167\,\gamma H^3\left(=\frac{\gamma H^3}{6}\right).$$

Удерживающий момент (относительно той же точки) будет

$$M_y = Q_6\frac{5}{3}H + Q_3 H \quad \text{или} \quad M_y = H(1{,}67\,Q_6 + Q_3) =$$

$$= 0{,}5\,\gamma H^3\left(1{,}67 + 2\frac{\gamma_3}{\gamma}\right),$$

откуда коэффициент запаса на опрокидывание выразится формулой

$$n = \frac{M_y}{M_0} = 3\left(1{,}67 + 2\frac{\gamma_3}{\gamma}\right),$$

которая при обычных соотношениях дает численную величину около 15.

В случае частичного намокания земляной кладки объемный вес ее (γ_3) увеличивается, в связи с чем условия устойчивости улучшаются (если принять во внимание и величину фильтрационного давления снизу).

Практически ни одна земляная плотина не может иметь профиль, равный теоретическому или меньше его. Профиль земляной плотины всегда больше его, поэтому условия его устойчивости еще более благоприятны. Обычно коэффициент запаса на скольжение для практикуемых профилей составляет 10 и более. (Коэффициент устойчивости на опрокидывание еще больше, но значение его не представляет никакого интереса, так как по качеству строительного материала профиль не может рассматриваться как монолит).

Следовательно, нет необходимости делать для профилей земляных плотин статические расчеты.

Обычные соотношения и эмпирические формулы. В строительной практике встречаются плотины разнообразного профиля и поэтому общие заключения часто противоречивы. Основная задача проектирования профиля — назначение ширины по верху — в большинстве случаев решается по конструктивным соображениям (переезд через плотину, удобство оперирования построечными средствами и др.). Для определения ширины по верху есть несколько эмпирических соотношений в зависимости от высоты плотины, но они служат ориентировочными данными.

Так, французская практика дает формулу (в метрах)

$$B = 3 + \frac{5}{17}(H - 3),$$

где H — высота плотины.

При проектировании боковых откосов вычисляется их устойчивость при нагруженном состоянии плотины. Обычно верховой откос делают более пологим, чем низовой. Для небольших плотин (до 20 м высотой) заложение верхового откоса от 2 до 2 м, а низового — от 1,5 до 2. Однако можно указать на ряд плотин, где низовой откос положе верхового, например, плотина Wachussett N. Dike, Mass. Длина ее 305 м, создана из песка и гравия, верховой откос $m_в = 2$, низовой $m_н$ выражается пропорцией 33:1. Высота плотины 24,4 м, ширина по низу 588,2 м.

В плотинах намывного типа нередко оба откоса одинаковые (от двойного до пятерного).

Для определения величины превышения верха плотины над высшим уровнем обычно пользуются формулой Стефенсона, выражающей зависимость высоты волны от длины водохранилища. (фут.)

$$X = 1{,}5\sqrt{F} + (2{,}5 - \sqrt[4]{F}),$$

где X — высота волны,

F — длина зеркала водохранилища, мили.

Для глиняных ядер (замков) плотин размеры назначаются из следующих соображений.

1. Ядро должно быть водонепроницаемо, для чего необходима толщина не менее 0,6 м при хорошей глине.

2. Для устойчивости и удобств при производстве работ ядро должно расширяться книзу, причем откосы должны быть крутые — от 0,25:1 до 0,125:1.

3. Ширина по низу не менее 1,8 м для небольших плотин, а для больших эта ширина устанавливается после заложения откосов.

4. Ниже подошвы плотины ядро врезается в грунт или до водонепроницаемого слоя (примерно на 0,3 м углубляясь в него), или на глубину, равную половине высоты подпора воды и более.

Ширина траншеи, врезающейся в грунт, может уменьшаться книзу.

5. Высота ядра не менее глубины подпертого потока, т. е. верхняя площадка ядра должна находиться выше уровня подпертого бьефа.

Массивы из глины сильно изменяются в объеме при колебаниях температуры и влажности. Кроме того, глина в насыщенном состоянии дает незначительный коэффициент трения. Поэтому большинство исследователей рекомендуют для образования ядер применять искусственный состав или естественный землистый грунт подходящего материала. Искусственный состав должен иметь достаточное количество глинистых частей, чтобы быть водонепроницаемым, и песка или гравия для постоянного объема при изменении температуры и влажности. Этот состав — глинобетон, используется подобно цементному бетону.

Описание состава глинобетона и производства работ с ним приведем из книги Басселя «Земляные плотины». «Г. Стрендж рекомендует производить наполнение траншей материалом, состоящим из трех частей земли и двух частей песка. Поверх скалистого ложа основания он предлагает укладывать первый слой, месить его и уплотнять; следующие слои укладывать сухими, затем поливать и утаптывать и, наконец, временно покрывать (рогожами и проч.) во избежание высыхания и растрескивания».

Форхгеймер утверждает, что если «материал содержит глину в такой мере, что последняя нацело заполняет промежутки между зернами песка, то такая смесь является практически водонепроницаемой».

Герберт Вильсон в книге «Irrigation Engineering» рекомендует идеальную, по его мнению, смесь материалов ($м^3$):

крупный гравий	—1,00
мелкий гравий	—0,35
песок	—0,15
глина	—0,20

Объем утрамбованной смеси 1,25 $м^3$, т. е. уплотнение составляет 26,5%.

Работа тела плотины. Условия статической нагрузки не определяют профиля плотины. Из приведенного выше видно, что отдельные элементы профиля (т. е. ширина и боковые откосы) значительно колеблются в зависимости от материалов и многих факторов. Одним из таких факторов, существенно влияющих на выбор профиля, является граница насыщения тела плотины водой. Границу, разделяющую насыщенную часть от сухой, можно считать линией насыщения. Для выяснения фактического положения линии насыщения в существующих плотинах проведены многочисленные наблюдения. Так, по профилю плотины на определенных расстояниях (в горизонтальном направлении) закладываются буровые скважины, в которых определяют стояние горизонтов воды, насыщающей плотину. Положение линии насыщения в трех раз-

личных плотинах при колебаниях уровня воды перед каждой плотиной показано на рис. 4. Эти и другие наблюдения позволяют высказать ряд общих положений, обрисовывающих как залегание линии насыщения, так и обстоятельства, влияющие на ее

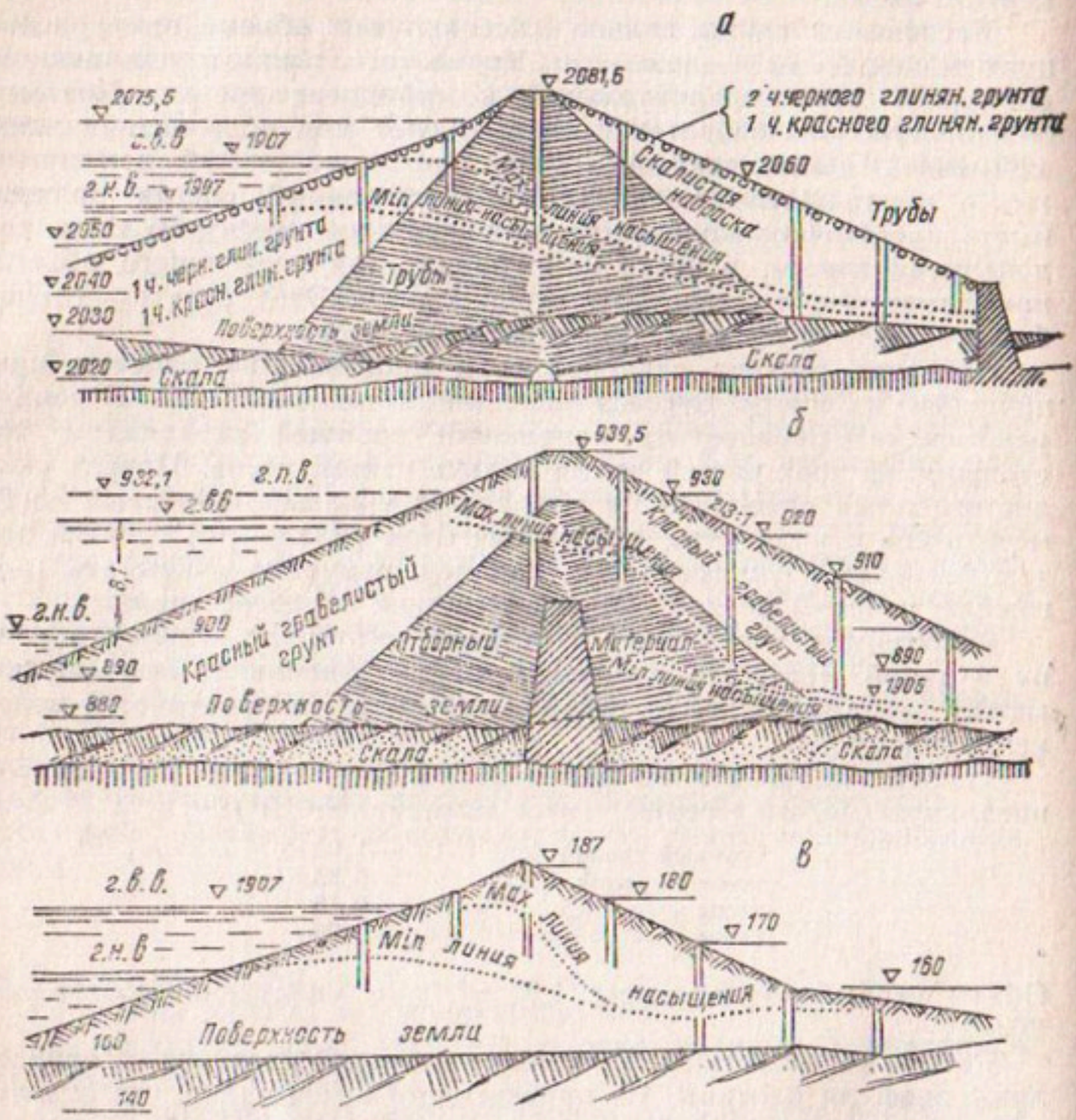


Рис. 4. Положение линии насыщения в различных плотинах при колебаниях уровня воды перед плотиной водохранилища Unkal (*а*), Mukti (*б*), Medleri (*в*).

положение. На основании этих и других наблюдений можно сделать следующие выводы.

1. Линия насыщения низовой части плотины, особенно, если она расположена в дренирующем материале, мало зависит от подпертого горизонта перед плотиной. Положение это довольно отчетливо подтверждается данными рис. 4.

2. Часть плотины, построенная из дренирующего (водопроницаемого) материала и обращенная к верховому откосу, насы-

щается водою почти до подпертого уровня перед плотиной, т. е. уклон линии насыщения в этой части сравнительно мал.

3. Наиболее плотная водонепроницаемая часть плотины создает наибольшее (наиболее крутое) падение линии насыщения.

4. В зоне плотины, лежащей ниже линии насыщения, несомненно, происходит движение воды, и в зависимости от уклона линии насыщения, а также структуры тела плотины получаются те или другие фильтрационные скорости.

Что касается величины уклона линии насыщения, то полученные данные весьма разнообразны. Так, в результате исследований в долине плотины Кротон установлено, что уклон линии насыщения тем круче, чем плотнее материал, из которого сделана плотина. В лучших дамбах долины уклон линии насыщения составляет около 35%, а в худших и при менее тщательном производстве работ — до 20.

Вейраух, ссылаясь на Маттерна, дает для уклона отношение от 1/8 и даже до 1/18 (не подтверждая эти данные ни конкретными наблюдениями, ни технической характеристикой материала насыпи, ни указаниями о производстве работ).

Эти общие заключения позволяют наметить картину работы тела плотины по поддержанию известного подпертого горизонта. Основная работа выполняется наиболее уплотненной частью, боковые (с верховой и низовой сторон) только прикрывают и поддерживают основную рабочую часть. Применяя эти положения к работе профилей плотин различных типов, можно предположить, что в однородных плотинах линия насыщения падает более или менее равномерно, в плотинах с ядром наибольшее падение сосредоточено около ядра, в плотине с экраном — у верхового откоса, а дальше более или менее равномерное. В плотинах из сортированного материала (американский тип) линия насыщения должна иметь наибольшую крутизну в средней части. Намывные плотины по расположению линии насыщения подобны предыдущему типу.

Практика и логические заключения показывают, что низовой откос более устойчив, если линия насыщения не пересекает его, т. е., если вся фильтрующаяся через тело плотины вода не выходит через наружный откос, а соединяется с грунтовыми водами ниже земной поверхности. Это положение приводит к мысли об устройстве наружного откоса из дренирующих материалов с помощью укладки в низовую часть тела плотины специально назначенного дренажа. Имеется ряд плотин, низовая часть которых дренирована тем или другим способом. В качестве одного из примеров устройства такого дренажа (рис. 5) приведен профиль одной индийской плотины, в основании которой с низовой стороны расположены четыре продольные (по оси плотины) траншеи, наполненные гравием, которые являются дренажной системой. Эти траншеи перпендикулярно оси плотины соединены

трубами, выводящими фильтрующуюся воду в общую дренажную канаву, лежащую вне тела плотины.

Выяснив картину работы профиля, можно наметить логический ход расчета (т. е. определения размеров профиля). Очевидно, основная задача в том, чтобы заранее определить положение линии насыщения при том или другом составе земляной насыпи, т. е. нужно установить уклон свободной поверхности потока, фильтрующегося через тело плотины, и скорости при этом. Этот вопрос приходится решать теми же методами, приемами и фор-

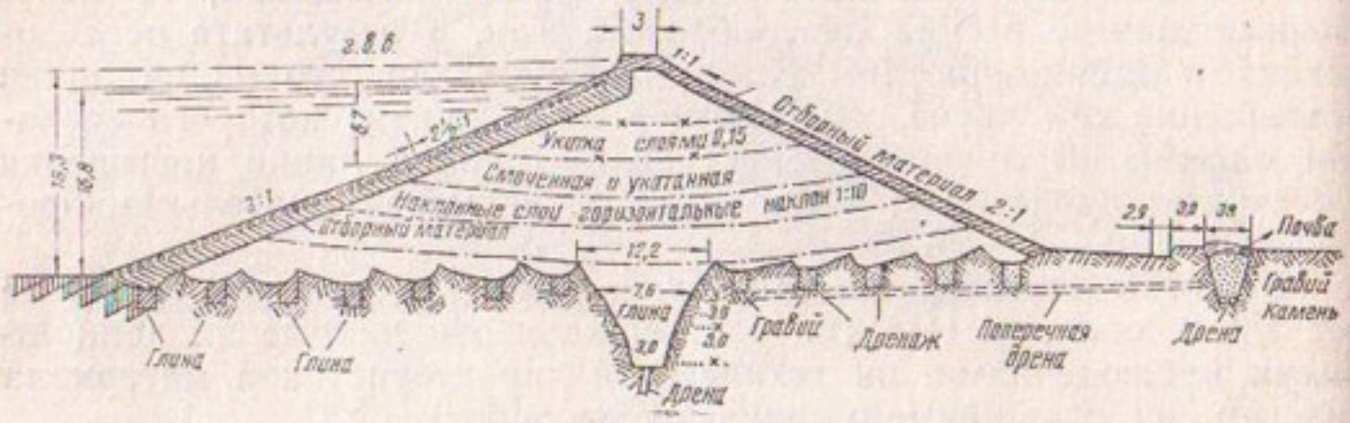


Рис. 5. Дренаж плотины.

мулами, что для учета движения грунтовых вод. Поэтому прежде, чем изложить расчеты по определению линии насыщения в теле плотины, необходимо дать представление о движении грунтовых вод и формулах, применяемых в настоящее время при расчетах.

Движение грунтовых вод (формулы и расчетные данные). По закону Дарси скорость фильтрации прямо пропорциональна первой степени уклона (в трактуемой постановке вопроса, очевидно, уклон грунтовых вод есть ни что иное, как падение или уклон линии насыщения): $v=ki$.

Особенно важно по данным, характеризующим состав и структуру водопроницаемого грунта, вычислить коэффициент пропорциональности (коэффициент фильтрации), входящий в формулу Дарси.

Выбор коэффициента фильтрации k значительно осложняется на практике вследствие того, что водопроницаемые грунты (материалы) состоят из зерен различной крупности. Первым получить расчетную формулу для таких материалов попытался Газен на основании опытов в 1892 г. Он ввел особое понятие действующей величины частицы (обозначаемой через d_e) для данного неоднородного по крупности грунта. Под этой величиной d_e А. Газен подразумевает такой диаметр зерна, при котором однородный грунт, составленный только из частиц такого диаметра, обладает той же пропускной способностью (имеется в виду фильтрация), что и рассматриваемый грунт. В результате А. Газен установил, что действующая величина частицы есть размер такой частицы (d_e, мм), меньше которого в данном грунте содержится 10% по весу.

Формула А. Газена для скорости фильтрации (м/сут) имеет следующий вид:

$$v = Acd_e^2 \frac{H}{l}(0{,}70 + 0{,}03\,T),$$

где d_e — действующая величина частицы, мм;

l — длина слоя грунта, через который происходит фильтрация;

H — полный действующий напор;

$\frac{H}{l} = i$ — гидравлический градиент (уклон);

A — числовой коэффициент, зависящий от размерности скорости (для скорости м/сут $A = 1$);

c — физическая постоянная для данного грунта, зависящая главным образом от чистоты грунта; численно она колеблется от 400 до 1200, причем в наиболее часто встречающихся грунтах — от 700 до 1000;

T — температура, С°.

Обозначая двучлен, стоящий в скобках через τ (температурный коэффициент), формулу А. Газена можно дать в виде

$$v = ki\tau.$$

Эта формула применима для грунтов с действующей величиной частицы от 0,10 до 3 мм. Величину d_e можно получить механическим анализом, пропуская испытуемый грунт через набор тщательно калиброванных сит.

Кинг предложил новый более простой способ для определения действующей величины частицы. С его помощью можно установить время протекания известного объема воздуха через данный образец грунта, помещенного в особый прибор (аспиратор Кинга).

Работы других исследователей показали, что коэффициент фильтрации существенно зависит от действующего размера частицы и порозности. Шлихтер установил, что два образца одного и того же песка, уложенные так, что порозность их равна в одном случае 30%, а в другом — 40, дают различные фильтрационные расходы. Причем при порозности 40% фильтрационный расход в 2,6 раза больше. Поэтому формулу для скорости фильтрации попытались представить в таком виде, чтобы влияние порозности выражалось некоторым отдельным членом.

В 1897—1898 гг. Шлихтер получил новую формулу для скорости фильтрации, подобную формуле А. Газена, но имеющую множитель, зависящий от порозности грунта. Его формула имеет вид

$$v = Bd_e^2\, Mi\,(1 + 0{,}0337\,T),$$

где d_e — действующая величина зерна, мм;

B — числовой коэффициент, зависящий от размерности скорости (при скорости м/сут $B \approx 5000$);

M — коэффициент, зависящий от порозности грунта; остальные обозначения, как в формуле А. Газена.

Формула Шлихтера применима к различным грунтам — от ила до мелкого гравия — при изменении действующей величины частицы от 0,01 до 5,0 мм.

Для величины M Шлихтер приводит следующие данные:

m Порозность, %	M	m Порозность, %	M
26	0,01187	36	0,03473
27	0,01350	37	0,03806
28	0,01517	38	0,04154
29	0,01694	39	0 04524
30	0,01905	40	0,04922
31	0,02122	41	0,05339
32	0,02356	42	0,05789
33	0,02601	43	0,06267
34	0,02878	45	0,07295
35	0,03163	47	0,08455

Формулу Шлихтера можно представить в виде

$$v = ki\tau,$$

где k — коэффициент фильтрации, зависящий только от характера грунта;

τ — температурный коэффициент.

Помножив обе части равенства в предыдущей формуле на площадь поперечного сечения грунтового потока (ω), получим формулу расхода

$$q = v\omega = k\omega i\tau.$$

Величину k можно определить как количество (объем) воды, проходящей за единицу времени через колонну грунта с поперечным сечением $\omega = 1$ при уклоне $i = 1$.

Выбор материала. Как указано выше, для земляных плотин строительным материалом могут служить любые грунты, за исключением болотистых, торфяных и других, подвергающихся гниению с течением времени или растворяющихся. Чтобы представить будущую работу в теле плотины намечаемого материала, необходимо тщательно проанализировать структуру, вес, размер составляющих частиц d_e, порозность, влагоемкость избранного грунта, а также его изменение под действием воздуха и воды.

Проектирование. Основы проектирования земляных плотин — выбор основания плотины и ее сопряжение с руслом, проектирование водосливов, водоспусков и т. п., расчет профиля, производство работ.

Основание плотины рекомендуется выбирать прочное, сухое и водонепроницаемое, прибегая, в случае надобности, к дренажу и выемке ненадежного грунта, причем все наносные почвы, со-

держащие органические вещества, и все пористые материалы должны быть сняты и удалены за пределы расположения плотины.

Однако в большинстве случаев подобное удаление трудно осуществимо и поэтому приходится считаться с необходимостью устройства плотины на водопроницаемых основаниях. Как будет видно из дальнейшего, водопроницаемые основания также могут быть избраны, но для расчетов при проектировании необходимо знать мощность водопроницаемого слоя, глубину залегания грунтовых вод, уклон их свободной поверхности и физические качества грунта, особенно структуру, размер отдельных частиц (эффективный размер), порозность и др.

Для соединения насыпи с основанием рекомендуется применение непроницаемого материала, прочного и достаточно эластичного. Если толщина проницаемого слоя невелика, то достаточно выкопать центральную траншею с откосами до непроницаемой формации и заполнить ее хорошим глиняным бетоном. Если с целью экономии приходится отказываться от устройства подобного замка, то в основании следует заложить несколько неглубоких траншей, заполненных материалом кладки плотины.

Сопряжение с берегами необходимо делать наклонными уступами, врезающимися в коренные породы. Следует избегать устройства сопряжений (с основанием и берегами) посредством сплошных (непрерывных) поверхностей.

Устройство водосливов, водоспусков и т. д. в теле плотины недопустимо. Укладка труб в теле плотины неприемлема. Ее можно применять в сравнительно невысоких плотинах в случае крайней необходимости, когда невозможно найти боковой обход для водоспускных устройств или устроить тоннель в обход плотины. Но при этом труба должна быть заложена в одном из берегов (а не в насыпном теле) в достаточно глубокой траншее и заключена в безнапорную галерею (трубу), доступную для осмотра.

Отверстия водопропускных сооружений должны быть заданы с большим запасом для того, чтобы не допустить переливания подпертой воды через гребень плотины. В целях предохранения дамбы от перелива следует применять автоматические водосбросные сооружения простейшего типа, надежные в работе.

Расчет профиля касается главным образом требования размещения линии насыщения внутри тела плотины, т. е. чтобы она нигде не пересекала низового откоса.

Откосы профиля должны сохранять устойчивость при всех возможных условиях работы. В частности, верховой откос должен быть устойчивым не только в смоченном состоянии, но и в периоды осушения плотины при падении уровня перед ним (когда вода, насыщающая плотину, частично выходит в верхний бьеф через этот откос). Оба откоса (верховой и низовой) следует укреплять: верховой — в пределах колебания уровня перед плотиной, низовой должен быть защищен от размывающего действия атмосферных вод.

Запас высоты плотины над наивысшим подпертым уровнем должен превышать наибольшую высоту волны, могущей появиться в водохранилище, верховой откос должен быть укреплен от разрушительного действия волн.

Если фильтрационный поток через плотину и под ней выступает до поверхности земли за плотиной, то необходимо обратить особое внимание на то, чтобы скорость фильтрации была безопасна в отношении вымывания (выноса) материала плотины и основания. Последнее требование относится ко всем фильтрационным потокам внутри тела плотины и в водопроницаемом основании, но в отмеченном случае оно особенно существенно.

Производство работ должно быть тщательно и подробно разработано, т. к. сооружение, спроектированное на правильных технических принципах, не будет безопасным при отсутствии надлежащего ведения работ.

Тело насыпи должно быть превращено по возможности в однородную массу. Уплотнение — самый важный процесс при сооружении земляной плотины. При постройке водоудерживающих дамб не следует возлагать надежд на время как средство для уплотнения, последнее должно явиться результатом механического воздействия. Легкие катки более чем бесполезны, так как во время укатывания или «утюжения» приводят лишь к обманчивым внешним результатам. Для совершенного уплотнения необходимо применять тяжелые катки и выбирать материалы, которые лучше всего отвечали бы такой обработке. Материалы, которые не уплотняются ни при поливке, ни при укатывании, непригодны для сооружения отдельных частей земляных плотин.

Количество воды, употребляемое в насыпных дамбах для лучшего уплотнения, должно быть тщательно выбрано, ибо слишком большое или слишком малое количество воды одинаково вредно. Точное количество требуемой воды должно быть определено на основании тщательных опытов.

Изложенные основы проектирования следует иметь в виду при составлении всякого проекта земляной плотины. Часть их не поддается расчету по каким-либо формулам и т. п., они должны быть учтены на основании данных о существующих сооружениях. Другая часть доступна и некоторым формальным расчетам. Однако следует отметить, что основная задача расчета положения линии насыщения в теле плотины не имеет общепринятого метода. Iustin предлагает пользоваться для этого расчета способом последовательного приближения. Несмотря на некоторые условности такого приема, в дальнейшем мы ознакомимся с этим способом. Он более прост и нагляден, чем теория движения грунтовых вод и в то же время, по отзывам американской технической литературы, заслуживает внимания проектировщиков.

Расчет тела земляной плотины заключается главным образом в определении положения линии насыщения при заданном материале и величины заложения верхового и низового откосов. На

основании формулы Шлихтера можно получить уравнение для определения расположения той точки, где линия насыщения пересекает основание плотины. Поперечное сечение земляной плотины показано на рис. 6. С низовой стороны за плотиной, где в уклоне грунтовых вод происходит перелом, обозначим точку *O*. В

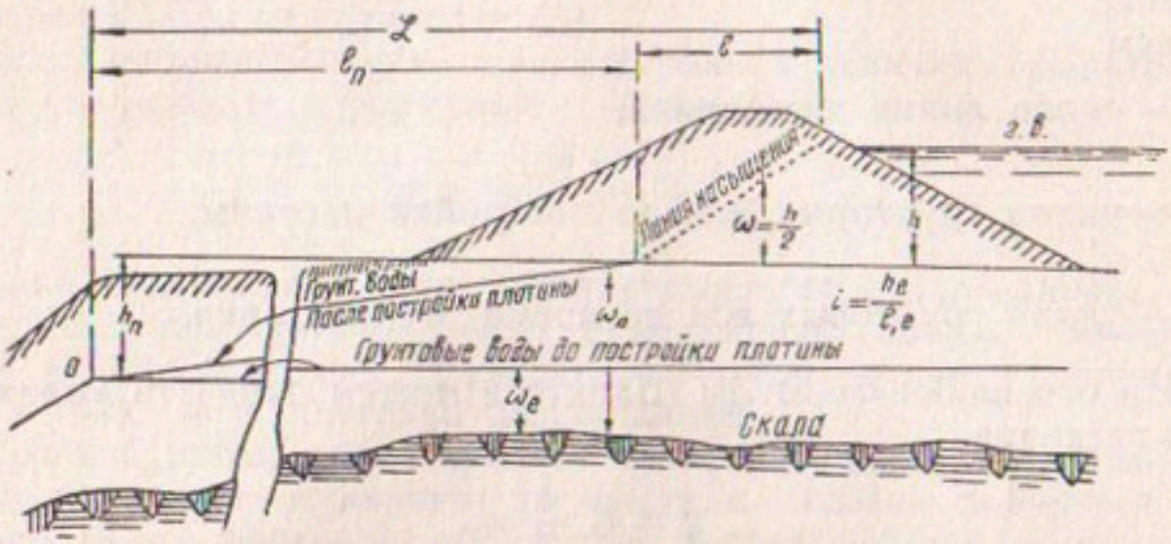


Рис. 6. Поперечное сечение земляной плотины.

h — глубина перед плотиной, считая над основанием плотины, м; l — горизонтальное расстояние от точки, где уровень воды перед плотиной пересекает верховой откос, до точки, где линия насыщения пересекает основание плотины, м; h_n — расстояние по вертикали между фиксированной точкой О и основанием земляной плотины, м; l_n — горизонтальное расстояние от точки пересечения линии насыщения с основанием плотины до фиксированной точки О, м; h_e — вертикальное расстояние; l_e — горизонтальное расстояние между двумя любыми пунктами, удобными для определения уклона естественной поверхности грунтовых вод до постройки плотины; ω_e — площадь, приходящаяся на погонный метр поперечного сечения грунтовых вод (до постройки плотины) и равная разности отметок скалистого или, вообще, любого водонепроницаемого грунта под плотиной и поверхности грунтовых вод; ω_n — площадь, приходящаяся на погонный метр поперечного сечения грунта под плотиной и равная разности отметок скалистого или другого водонепроницаемого грунта и основания плотины; ω — площадь, приходящаяся на погонный метр поперечного сечения воды, протекающей через тело плотины, и равная половине сечения между основанием плотины и горизонтом воды перед плотиной; K — скоростная характеристика для грунта, составляющего основание плотины, и для грунта ниже ее; K — скоростная характеристика для материала, составляющего тело плотины*;

q_n — полный расход в минуту, приходящийся на погонный метр поперечного сечения грунта и основание ниже плотины во время ее эксплуатации, м³;

q_e — то же самое, но только до постройки плотины (в естественном состоянии);

q — полный расход, приходящийся на погонный метр поперечного сечения воды, проходящей через насыщенную часть земляной плотины.

большинстве случаев это точка перелома в уклоне поверхности земли. Расстояние от нее до точки, где поверхность водного откоса пересекается с уровнем воды, обозначим через L, причем это расстояние обычно измеряется по горизонтали вдоль пути сле-

*Ввиду того, что коэффициенты Шлихтера по смыслу представляют скоростные характеристики, в дальнейшем для них примем это название.

дования грунтовых вод. Предположим, что точка O зафиксирована и неподвижна, т. е. даже после того, как плотина начнет эксплуатироваться и в связи с этим расход грунтовых вод сильно увеличится, уровень грунтовых вод в точке O не поднимется. Если расстояние L велико и уклон грунтовых вод значительно круче за точкой O, то наше предположение не вносит заметной ошибки.

Имеем

$\frac{h}{l}$ — уклон линии насыщения;

$\frac{h_e}{l_e}$ — уклон грунтовых вод до постройки плотины;

$\frac{h_n}{l_n}$ — уклон грунтовых вод во время эксплуатации.

На основании формулы Шлихтера можем написать выражение для расходов

$$q = K \frac{h}{l} \omega, \tag{1}$$

$$q_n = K_e \frac{h_n}{l_n} \omega_n, \tag{2}$$

$$q_e = K_e \frac{h_e}{l_e} \omega_e. \tag{3}$$

Количество воды, которое проходит под плотиной благодаря фильтрации через дно водохранилища, — величина незначительная, пренебрегая ею, получим

$$q_n = q + q_e, \tag{4}$$

т. е. полный расход грунтовых вод во время эксплуатации плотины складывается из фильтрации через тело плотины и фильтрации через грунт между основанием плотины и подстилающим его водонепроницаемым пластом.

Сделанное нами допущение правильно для всех случаев, за исключением того, когда тело плотины сложено из очень водонепроницаемого материала, а грунт основания — наоборот. В данном случае приходится применить для расчета иной метод.

Все величины, входящие в уравнения, должны быть определены заранее в той долине, где предполагается постройка плотины. Неизвестными являются расстояния l и l_n. Для их определения имеем два уравнения

$$K_e = \frac{h_n}{l_n} \omega_n = K \frac{h}{l} \omega + q_e, \tag{5}$$

$$L_n = \alpha - 1. \qquad (6)$$

Подставляя в уравнение (5) значение l_n из уравнения (6) и решая первое относительно l, получим искомое расстояние

$$l = \frac{K\bar{h}\omega L}{K_e\, h_n\, \omega_n + q_e + K\bar{h}\omega}, \qquad (7)$$

q_e определяется из уравнения (3).

Для приблизительного подсчета полной величины фильтрации можно пользоваться формулой

$$q_n = K_e \frac{h + h_n}{L} \omega_n, \qquad (8)$$

которая предполагает, что линия насыщения и поверхность грунтовых вод представляют одну непрерывную линию, имеющую один и тот же уклон. Результаты, подсчитанные по формулам (8) и (2), незначительно различаются.

Точка O, которую мы приняли за неподвижную, в действительности не может оставаться на месте и должна подняться, как только перед плотиной образуется водохранилище. Если уклон грунтовых вод ниже точки O довольно сильный, то повышение их уровня после того, как плотина начнет эксплуатироваться, весьма низкое, тем самым мы допустим незначительную ошибку в определении падения линии насыщения.

Для того, чтобы подсчитать величину поднятия уровня грунтовых вод в точке O и выяснить влияние его на положение линии насыщения, выбираем с низовой стороны за плотиной другую точку O_1 в следующем переломе местности, определяем уровень стояния грунтовых вод, глубину залегания водонепроницаемого пласта и находим расстояние между точками O и O_1, принимая точку O_1 за фиксированную. Затем по формуле Шлихтера

$$q_n = K_e \frac{X}{l_n} \omega_n^1, \qquad (9)$$

в которой все величины, кроме X, известны, определяем поднятие уровня грунтовых вод в точке O. Введя найденную поправку, принимаем это за новое положение точки O и снова определяем положение линии насыщения перед плотиной по уравнению (7). Если результат сильно отличается от ранее полученного, делаем дальнейшее приближение, пользуясь каждый раз для определения найденным уже нами значением q_n. Выбираем точно так же новую точку O_2, принимаем ее за фиксированную, определяем повышение уровня грунтовых вод в точке O_1 и повторяем все вычисления. Достаточно проделать одно или два приближения, так как особой точности расчеты не требуют. В этом и состоит способ подсчета линии насыщения.

Наиболее выгодное положение линии насыщения в теле плотины, когда оно сложено из непроницаемых материалов, а основание — из сравнительно проницаемого грунта, служащего хорошим естественным дренажем для материалов, лежащих выше его. По этой же причине иногда тело плотины складывают из различных материалов: часть, обращенную к воде,— из водонепроницаемых, а наружную, по возможности, — из более пористых.

Дренаж. Во многих земляных плотинах в низовой их части устраивается искусственный дренаж для понижения линии насыщения и предотвращения намокания низового откоса. Если грунт основания, по сравнению с материалами тела плотины, непроницаем, то устройство дренажа особенно желательно.

Часто перпендикулярно оси плотины роется траншея глубиною несколько метров, которая заполняется камнем, причем большие глыбы кладутся на дно. По мере приближения к верху количество заполняющего материала постепенно уменьшается, сверху все прикрывается битым камнем или гравием. На дно траншеи иногда укладываются терракотовые водосточные трубы с промежутками в стыках, которые обсыпаются битым камнем или гравием.

В некоторых случаях направление дренажных траншей следует рельефу поверхности (основанию плотины). Для лучшего дренирования делают боковые ветви, питающие главный коллектор. Эти ветви, или дрены, обычно состоят из линии терракотовых труб диаметром 0,1—0,2 м, уложенных с промежутками в стыках по поверхности земли. Стыки должны быть защищены гравием или битым камнем.

Дрены не следует укладывать далеко друг от друга. Для получения лучшего результата расстояние между главными дренами (коллекторами) не должно быть более одной четверти ширины плотины по основанию. Размеры дрен и расстояние между ними определяются обычным способом.

Со стороны низовой подошвы должен быть обеспечен хороший отвод воды. С низовой стороны плотины у ее подошвы как часть системы дренажа устраивается наброска из крупных камней. Если вблизи работ имеется подходящий скалистый материал, то, как показала практика, следует помещать у подошвы наброску из обломков скал, так как этим, с одной стороны, сильно увеличивается безопасность сооружения, а с другой — уменьшается опасность намокания и разжижения грунта низовой части; максимальная ширина основания такой скалистой наброски не должна превышать одной трети полной ширины плотины по ее основанию.

Фильтрация. Профиль земляной плотины должен быть проверен в смысле его безопасности против фильтрации. Допустимая скорость воды при прохождении через тело плотины должна быть настолько незначительной, чтобы она не могла передвигать мелкий ил, так как даже крупный гравий содержит более мелкие частицы, и если скорость воды, протекающей через него, доста-

точна, чтобы передвинуть их, то скорость может увеличиться настолько, что сможет передвигать все большие и большие размеры частиц. Американская практика рекомендует допускать скорость фильтрации не более 0,15 м/мин.

Бермы. В земляных плотинах высотою свыше 10 м с низовой стороны желательно устройство берм шириною от 1,5 до 6 м. В высоких плотинах бермы должны устраиваться через каждые 10 м, считая по высоте плотины. Главное назначение берм — сведение до минимума разрушения насыпи ливнями, причиняющими обычно серьезные повреждения. Внутренний край бермы несколько ниже наружного, чтобы препятствовать воде стекать по нижележащему откосу. У внутреннего края бермы следует устраивать вымощенную водосточную канавку, отводящую воду, попадающую на берму с откосов, к берегам, где устроены желоба, спускающие воду к подошве плотины.

Во многих длинных и высоких плотинах ливневые воды собираются в особые сборные бассейны и уже из них отводятся по водосточным трубам к коллектору дренажа, находящемуся у низовой подошвы плотины.

Иногда бермы делаются и на верховом откосе, где они служат опорами для каменной наброски или другого какого-либо типа крепления.

Откосы. Заложение верхового откоса плотины рассчитывают в зависимости от угла естественного откоса водонасыщенного грунта. Обычно откос закладывается не более 2, особенно при плотинах высотою более 5 м и только для особенно тяжелых и наиболее устойчивых грунтов допускается заложение откоса 1,5.

Заложение низового откоса, как видно из приведенных данных, зависит от уклона линии насыщения и подбирается с таким расчетом, чтобы линия насыщения выходила в нижнем бьефе в основание плотины.

На многих плотинах крепление верхового откоса предохраняет его от разрушительного действия волн. Высота крепления зависит от глубины, до которой возможно падение уровня воды в водохранилище. Если водохранилище часто опорожняется, то верховой откос защищается до подошвы.

Для крепления откосов применяют каменные, железобетонные и бетонные покрытия. Каменные могут быть двух видов: наброска и мостовая. Наброска состоит из несортированных камней, сброшенных на место, отдельные камни могут быть любых размеров. Мостовая — каменная наброска, уложенная на месте вручную. Промежутки между камнями, уложенными на ребро, заполняются щебнем. Толщина мостовой от 0,30 до 0,40 м. Отдельные камни ограничиваются минимальными размерами 0,30×0,30×
×0,10 м. Каменная мостовая по качеству приближается к сухой кладке, отдельные полосы ее должны опираться на специально устроенные для этого бермы, в противном случае она под влия-

нием собственного веса может сползти вниз по насыщенному водой откосу. В нижней части каменной наброски укладываются камни большей величины, которые помещаются иногда в особой траншее, сделанной в насыпи. Это хорошо помогает удержанию наброски на месте.

Крепление откосов железобетонными плитами хорошо предохраняет их поверхность от разрушительного действия волн во время сильного ветра и в периоды опорожнения водохранилища, устраивается в случае отсутствия на месте каменных материалов.

Бетонирование откосов. Полагаться на то, что такая одежда в состоянии препятствовать попаданию воды в тело насыпи, не приходится; назначение ее сводится лишь к предохранению от действия волн. Иногда для усиления бетона вводят арматуру: железо составляет 0,3% рабочей площади бетона. По мнению Custin'a, устройство такого монолитного покрытия в большинстве случаев не оправдывает себя, так как при осадке насыпи железобетонная одежда будет работать как плита и возможно появление трещин. Под действием волн бетонная облицовка может разрушиться и тем самым даст возможность волнам попасть в появившуюся брешь.

Бетонирование откосов квадратными плитами. Лучше всего покрывать откос квадратными бетонными плитами не более 1,5×1,5 м. Усиление их арматурой необязательно, причем толщина плит принимается равной 0,1 стороны плиты, т. е. если сторона плиты 1,5 м, то толщина ее должна быть 15 см. Плиты во время бетонирования отделяются друг от друга просмоленной бумагой или тонкими досками толщиной около 1 см, так что в случае осадки насыпи и осадки одной из них плиты не влияют друг на друга. Нижний ряд бетонных плит опирается на специальный бордюр, устроенный на внутреннем крае бермы.

Если бетонная одежда монолитна или если бетонные плиты уложены без промежутков, то обязательно устройство в бетоне отверстий, чтобы вода в случае опорожнения водохранилища могла стечь из-за облицовки, в противном случае гидростатическое давление может разрушить бетонную одежду.

Низовой откос плотины и верх дамбы обычно сильно страдают от ливней, стекающих по ним с большой скоростью. Для предохранения откосов, как уже указывалось, устраиваются бермы, а вся поверхность откоса засевается травяной смесью (15 кг красного мака, 7 кг белого клевера и 12 кг канадской голубой травы для площади 100 м²). Иногда по низовому откосу разводят виноградники, большое число побегов переплетают корнями всю поверхность откоса на некоторую глубину. Насыпь, защищенная таким образом, хорошо сопротивляется случайному, но непродолжительному действию волн и ливневых потоков.

Запас в дамбах. Для любой плотины зависит от трех факторов: максимальной глубины промерзания грунта, высоты, до ко-

торой могут подняться волны по водному откосу, и высоты, до которой поднимается уровень во время самого высокого паводка.

Что касается глубины промерзания, то данные можно получить или путем самостоятельных наблюдений или с местных метеорологических станций. Для определения вероятной высоты волн существует много формул, но наиболее распространена приведенная выше формула Стивенсона. Вопрос о возможных паводковых водах может быть освещен с достаточной точностью только после многолетних наблюдений реки в створе будущего строительства плотины.

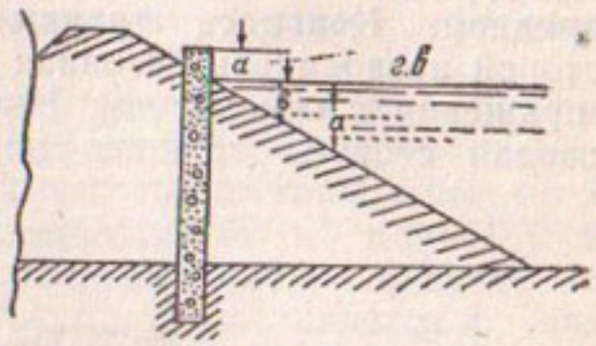


Рис. 7. Схема устройства смещенного ядра плотины.

Предположим, что все данные, необходимые для определения запаса в дамбах, нами найдены: глубина промерзания 0,5 м, максимальная высота волн 2 м и высота, до которой поднимается уровень воды во время самого высокого паводка, — 1,5 м. Принимая во внимание, что все эти три фактора могут существовать одновременно, назначаем величину запаса в дамбах, равную 4 м.

Ядро. Устраивается на соответствующем основании для предупреждения свободного прохода потока через тело насыпи. Ядра делаются глиняные, из каменной и бетонной кладки, железобетонные и деревянные (диафрагмы). Высота ядра обычно равна высоте плотины. Если необходимо, ядро в теле плотины строят не на всю высоту, а только возвышают на несколько метров над основанием плотины, в этом случае ядро называется замком.

Более выгодное положение ядра в теле плотины, когда оно пересекает верховой откос приблизительно на отметку нормального уровня воды. Это, с одной стороны, дает более выгодное положение линии насыщения, а с другой, — ядро может защищать насыпь от действия воды. На рис. 7 расстояние a от нормального уровня до верха ядра должно быть несколько больше, чем максимальная высота воды, считая, что уровень воды в водохранилище никогда не может быть опущен ниже нормального горизонта воды более, чем на высоту $в$, заранее определенную. Когда уровень воды понизится до минимальной отметки, то волнение может размыть откос до высоты, равной высоте уровня воды минус $(a+в)$. Если стенка достаточно прочна, чтобы поддержать насыпь высотой $(a+в)$, то укрепление верхового откоса может быть опущено. Если верховой откос случайно будет размыт до пунктирной линии (рис. 7), то ядро сможет защитить оставшуюся часть насыпи.

Такое устройство ядра широко применяется в Америке в Middie West. При выполнении проекта гидроэлектростанции в Wissota близ Chippewa такое расположение ядра дало возмож-

ность сэкономить на устройстве каменной наброски до 60 тыс. долларов.

Укажем еще на один тип диафрагмы, распространенной в Америке. Она состоит из двух наклонных генитных железобетонных плит со слоем асфальта между ними, уложенных на верховой стороне с заложением откосов 1,5. Поперечное сечение плотины и диафрагмы показано на рис. 8. Постройка велась следующим порядком. Копалась траншея до водонепроницаемого слоя, в которой возводилась бетонная стенка для обеспечения надежного сопряжения с основанием. Выровненная, хорошо приготовленная низовая сторона траншеи вплоть до естественной поверхности

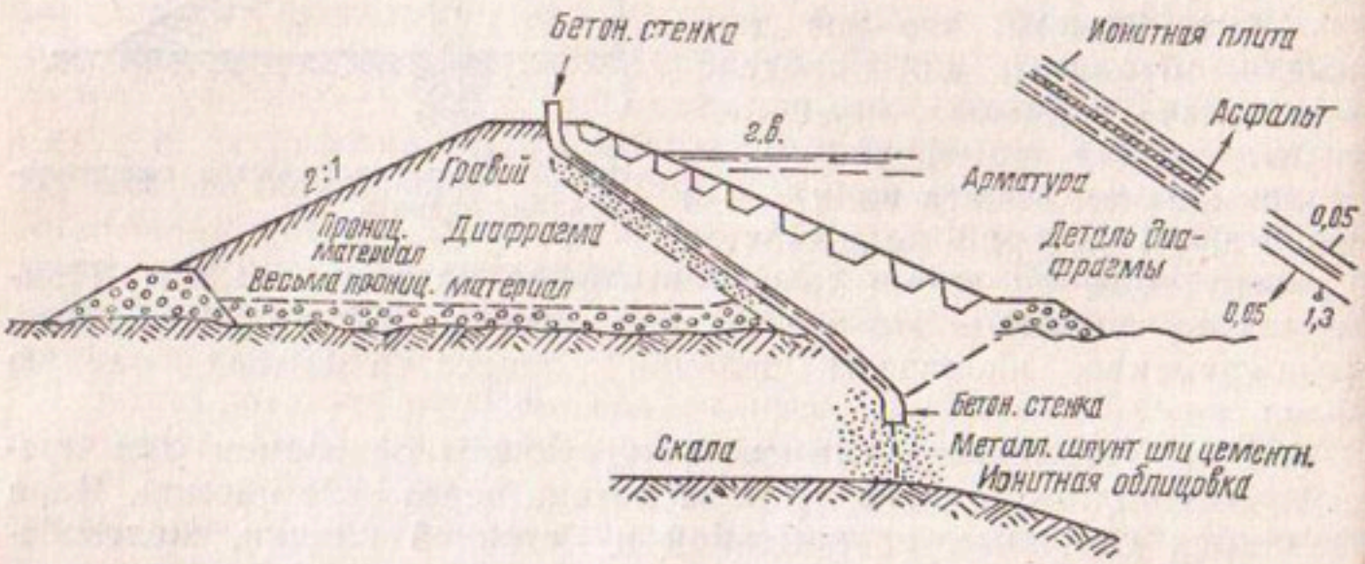


Рис. 8. Поперечное сечение плотины и диафрагмы.

земли при помощи цемент-пушки покрывалась смесью — одна часть цемента на четыре части песка.

Для арматуры генитной плиты использовалась тонкая проволока, на первую плиту настилался слой горячего асфальта толщиной 1 см, на который укладывался второй слой бетона, также усиленный арматурой. Каждая железобетонная плита строилась толщиною 5 см. Земляная насыпь возводилась заложением откосов 1,5 и на нее укладывалась диафрагма данной конструкции, на которую насыпался чистый отборный материал с заложением откосов 2,5, защищенный от действия волн каменной наброской. Такая диафрагма с непрерывным слоем асфальта между двумя железобетонными генитными плитами почти недеформируема. Диафрагму выгодно строить всегда слегка выпуклой по направлению к воде. Укладка материала поверх диафрагмы производится для сжатия бетонных или генитных плит. Кроме низкой стоимости и непроницаемости, она имеет преимущества перед бетонными ядрами.

1. Диафрагма в высшей степени гибка, значительные смещения земляной насыпи образуют лишь волосные трещины в железобетонных плитах. Асфальт в течение многих лет, до окон-

чательной осадки плотины, сохраняет пластичность благодаря герметичности.

2. Так как диафрагма находится все время под значительным давлением со стороны верхового откоса, то всякую трещину, которая может появиться в генитной плите, асфальт тотчас же закупоривает.

3. Диафрагма имеет практически все преимущества прочих типов ядер, хотя стоимость ее несколько больше стоимости обычных.

Ширина по верху земляных плотин. Служит фактором защиты сооружения от действия волн. Обычно требуется устройство ширины по верху, равной одной пятой высоты плотины плюс 1,5 м. В других случаях ширина по верху должна быть равна 0,25 ее высоты. Однако ширина по верху земляных плотин никогда не делается менее 3 м. Большей частью она определяется в зависимости от устройства проезжей дороги через плотину.

Производство земляных работ. При постройке земляных плотин можно наметить следующие виды работ: подготовка места под сооружение, разработка грунта, нагрузка в транспорт и подача к месту работ, распределение земляных масс.

Каким бы способом не велась постройка земляной плотины, необходимы работы по сопряжению будущего сооружения с основанием и берегами перекрываемой долины для предупреждения легкого прохода потока вдоль плоскости, разделяющей тело плотины от ее основания.

Материалы, подвергающиеся гниению,— пни, ветви, корни и вегетативные части растений — должны быть удалены из основания. Весь верхний слой почвы, содержащий более 6% вегетативных частей растений, также должен быть удален, в противном случае после того, как вегетативные части сгниют, образуется слабая связь между телом насыпи и ее основанием и вдоль разделяющей их плоскости может образоваться более или менее свободный проход для воды. После удаления поверхностного слоя земля должна быть вспахана и разрыхлена настолько, чтобы образовалась хорошая связь с материалом тела плотины. Если не предполагается устройство ядра, то вдоль оси плотины или несколько в стороне от нее по направлению к водному откосу должна быть выкопана траншея и снова заполнена материалом, идущим в насыпь плотины.

Для сопряжения берега срезаются уступами: бока плотины должны врезаться в берега перекрываемой долины не менее чем на 3 м (в каждом частном случае приходится считаться с качеством грунта). В зависимости от местных условий выбирается тот или другой способ разработки грунта, транспорта его и возведения насыпи.

Необходимо обратить внимание на уплотнение тела насыпи. Наиболее опасным способом ведения работ является разгрузка

материала с эстакад без какого-либо трамбования. Поэтому не следует пользоваться им при постройке земляных плотин, где от хорошего уплотнения разрыхленного грунта зависит целость сооружения.

В Индии уплотнение достигается большей частью хождением тысячи рабочих, занятых на постройке. На некоторых плотинах в Америке уплотнения добивались прогоном животных, но в большинстве случаев материал уплотняется замочкой грунта или катками. При уплотнении катками материал, доставленный на место тем или иным путем, предварительно разбрасывается тонкими слоями толщиною от 0,10 до 0,20 м, а затем укатывается. В случае временного перерыва в работах поверхность последнего уложенного слоя может затвердеть, поэтому при возобновлении строительства необходимо сначала разрыхлить и увлажнить его, прежде чем укладывать новые слои. Уплотнение замочкой — самый экономный и желательный способ.

При тщательно выбранном материале и хорошем уплотнении осадка насыпи невелика, но ввиду большой опасности в неравномерной осадке приходится установить допустимые пределы от 3 до 5%.

Намывные плотины. В горных районах, где можно найти источники воды, расположенные на значительной высоте над местом строительства плотины, издавна используется живая сила воды. Она служит для добывания (разработки) материала, заменяет транспорт, перенося материалы к месту работ и, наконец, укладывает доставленный материал на место. Таким образом, на всех трех стадиях строительства используются соответственно эрозионная и транспортирующая способность потока. Плотины, возводимые таким способом, называются намывными или плотинами гидравлического наполнения. Лучшим составом материала для намывания является смесь песка, глины, гравия и небольших обломков скал, причем содержание глины, по указаниям Скайлера, желательно от 10 до 30%.

Разработка материала. Обычно выбирают участок, расположенный несколько выше места строительства плотины для того, чтобы иметь возможность подавать полужидкую массу самотеком, не пользуясь насосом.

Вода подается в карьер под давлением насосами, при благоприятных местных условиях — по напорному трубопроводу из источника, лежащего выше карьера, затем гидравлическими мониторами размывают грунт в карьере.

Двухшарнирный монитор (рис. 9) поворачивается в вертикальной и горизонтальной плоскости, благодаря шарнирным соединениями *а* и *в*. Неподвижный наконечник *В* иногда заменяется особым направляющим соплом, снабженным для облегчения маневрирования рычагом. Диаметр наконечников, применявшихся при постройке намывных плотин, от 5 до 30 см, при напорах от 30 до 200 м и скорости вылетающей струи до 60 м. Расход воды,

необходимый для нормальной успешности размыва, колебался от 0,15 до 1 м³/с.

Насколько мощно размывающее действие струи при напоре, создаваемом искусственно насосами, можно видеть на строительстве в Рио-де-Жанейро. Насосная станция состояла из всасывающей трубы диаметром 0,61 м, центробежных насосов производительностью 284 м²/мин при напоре 145 м, соединенных с мотором мощностью 882 Вт. От насосов к мониторам, расположенным на расстоянии от 150 до 900 м, шли трубы, диаметр которых по мере приближения к мониторам менялся от 0,6 до 0,2 м. Диаметр наконечника монитора 0,08 м.

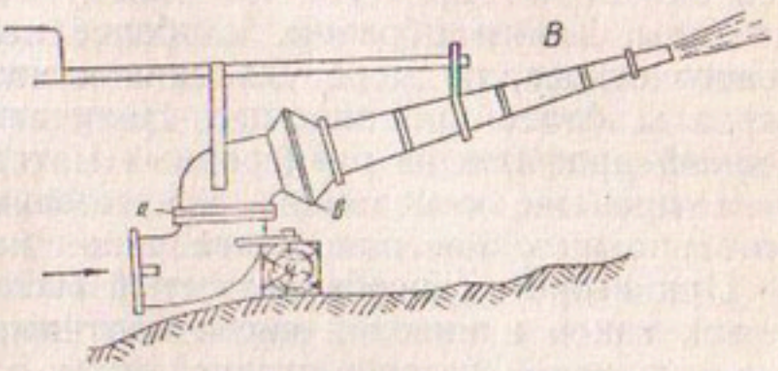


Рис. 9. Двухшарнирный монитор.

Подача материала. Материал, размытый мониторами, поступает в приемники, где в случае необходимости разбавляется водой для получения более жидкой массы, которая подается к месту работы по желобам, трубам и каналам.

Желоба и лотки применяются главным образом при более или менее постоянном уклоне, что не требует особых затрат на сооружение дамб или эстакад в сильно пересеченной местности. Желоба строят из дерева или железа, или же из того и другого. Прямоугольное сечение для деревянных желобов и полукруглое (лотки) — для железных. Уклоны желобов от 2 до 10% в зависимости от местных условий и состава подаваемой полужидкой массы. Твердых материалов в воде от 3 до 50%, иногда до 70, в среднем 25.

При пересеченном рельефе местности и недостаточном ее уклоне для доставки материала желобами применяют напорные трубопроводы, укладываемые на поверхности земли, при этом обеспечивается скорость, необходимая для переноса полужидкой массы. Трубопроводы имеют ряд недостатков: затруднено перенесение крупных обломков скал, поэтому их приходится предварительно раздроблять, сильно изнашиваются трубы, затруднительно устройство внутренней сменной обшивки и почти невозможно наблюдение за подаваемым материалом.

Возможно совместное применение труб и желобов, особенно, если имеется запас труб. Иногда при большом количестве подаваемого материала пользуются открытыми каналами. При этом учитывают пересеченность местности и прочность ложа канала, так как иначе большие скорости, необходимые для передвижения крупных материалов, могут оказаться недопустимыми для данного грунта.

Укладка материалов. Полужидкий материал с помощью системы труб и желобов распределяется по поперечному профилю плотины. При намывании возможны два способа ведения работ. При первом размытый грунт подается к низовой части плотины, где откладываются наиболее крупные обломки скал и камней, а более мелкий материал — щебень, песок, глинистые частицы — стекает к верховой стороне, причем у внешнего края откладываются самые мелкие частицы, материалы промежуточных размеров заполняют пространство между верховой и низовой частью плотины. Таким образом, наиболее непроницаемая часть у верхового откоса, по мере удаления к низовому располагаются материалы более проницаемые. Получается профиль плотины, подобный профилю из разнородных материалов, дающий при хорошем дренаже основания — искусственном или естественном — особенно выгодное положение линии насыщения в теле плотины.

При втором способе размытый материал подается как к верховой, так и к низовой части плотины, откуда стекает к центру, где получается бассейн стоячей воды, в котором происходит осаждение мелких частиц, образующих широкое водонепроницаемое ядро. Типичный профиль такой плотины — Necaxa (рис. 3). Крупный и тяжелый материал остается на наружных краях профиля для устойчивости откосов.

На практике, однако, наблюдаются нарушения распределения материала по крупности в поперечном сечении плотины и при неправильном расположении желобов возможны неустойчивые откосы из-за присутствия в них мелких частиц или водопроницаемое ядро в результате попадания внутрь его крупных материалов. Даже при тщательной сортировке материалов лотки, подводящие полужидкую массу к месту работ, не могут вполне равномерно подавать смесь, в результате чего может образоваться сквозной слой сильно проницаемых грунтов, идущий по всей ширине плотины. Во избежание этого необходимо присутствие нескольких рабочих с инструментами, которые в случае надобности помогали бы воде в распределении крупных материалов.

Бассейн, образующийся при намыве, время от времени после осаждения частиц должен спускаться, для чего воду сбрасывают или через отверстие, сделанное в одном из боковых откосов, или через особые трубы. Они устраиваются вертикально на коротком расстоянии друг от друга, внизу, около основания плотины, меняют направление на горизонтальное и, таким образом, выводят воду к низовой подошве плотины.

По мере возрастания высоты плотины распределительные желоба и трубы приходится поднимать примерно через каждые 2—3 м, считая по высоте плотины.

Если разработка грунта ведется на обоих берегах перекрываемого русла, обычно устраиваются две системы распределительных труб и желобов. При одинаковом составе подаваемой полужидкой массы каждая система обслуживает половину дли-

ны возводимой плотины, доходя примерно до ее середины. Если карьеры на том и другом берегу дают материалы различного характера, то приходится от карьера, дающего более крупные материалы, вести системы желобов на всю длину плотины вдоль ее низовой подошвы, а со стороны карьера, подающего более мелкий материал, — на всю длину вдоль верховой подошвы плотины. Таким образом, регулированием концентрации полужидкой массы можно всегда получить выгодное распределение материалов по профилю плотины.

При постройке намывных плотин происходит значительное уплотнение материалов, достигающее 10—11%, причем по отношению не к разрыхленному материалу, а к его плотности в естественном состоянии (плотина doke Irances в Калифорнии). Кроме того, во время постройки при спуске воды из центрального осадочного бассейна происходит бесполезная утечка материала, которая в той же плотине достигала 4—5%. Учитывая эту потерю и сильное уплотнение, количество добываемого материала необходимо увеличивать приблизительно на 15% по сравнению с объемом плотины.

Так как при строительстве намывных плотин возможны затруднения, главным образом связанные с местными условиями— недостаток воды, малые напоры, а отсюда не совсем правильная кладка материала по профилю, — необходимы опытные специалисты. На постройке обычно занято немного рабочих: по одному у мониторов, несколько на подводящих и распределительных желобах и один или два мастера по их ремонту.

Что касается преимущества намывных плотин перед обычными земляными, то оно ясно видно уже из того сильного уплотнения материала, которого невозможно достигнуть, применяя обычный способ уплотнения катками. Стоимость намывных плотин, по данным Скайлера, обходится от 0,2 до 1 руб/м³.

Указанное выше о проектировании земляных плотин относится и к намывным.

Изыскания. При строительстве и проектировании высоких земляных плотин недавно начали применять научные методы.

Приведем основные пункты, по которым необходимо произвести тщательное обследование пердполагаемого района постройки земляной плотины и будущего основания.

1. Съемка всей местности в горизонталях основания плотины, а также в районе, охватываемом водохранилищем, с точным нанесением водоразделов и определением водосборной площади.

2. Гидрометрическое и метеорологическое с точным указанием расходов воды в реке в зависимости от ее режима и возможных максимальных расходов в связи с селевыми и ливневыми водами, стекающими с водосборной площади.

3. Геологическое с указанием глубины залегания водонепроницаемых пород и их простирания, особенно на месте расположения плотины, выбором грунтов, годных для постройки тела

плотины, назначением места для карьеров в зависимости от качества грунта и принятого способа его разработки.

4. Гидрогеологическое с указанием глубины залегания грунтовых вод, количества их, уклона и амплитуды колебаний их уровня. Должен быть произведен тщательный механический анализ грунта с определением эффективного размера частиц, порозности и т. д. для материалов, из которых предполагается строить плотину, а также грунта для основания плотины и ниже ее. Необходимо указать и точно зафиксировать места резких переломов в уклоне грунтовых вод за плотиной. Должны быть тщательно изучены законы движения грунтовых вод.

Несмотря на вековую практику строительства земляных плотин, вопрос их проектирования остается открытым. При постройке больших плотин обычно делают модели из материала, предназначенные для строительства плотины; наблюдают за работой моделей, изучая законы движения грунтовых вод под плотиной и через тело плотины; определяют положение линии насыщения, величину заложения боковых откосов; при строительстве намывной плотины — способ намыва и распределения материалов по профилю земляной плотины. Если модель дает положительные результаты, приступают к строительству плотины. Модели сооружения широко распространены в Америке, где при строительстве многих сооружений, земляных плотин особенно, не обходятся без предварительного испытания грунта на модели. Так, при строительстве плотины Catum Dam создали ее модель в 1/12 натуральной величины. Модель длиной 24 м, шириной по верху 1,8 м и высотой 3,6 м построена из материала, предназначенного для строительства плотины; метод производства работ тот же. В первую из двух выстроенных плотин (рис. 10) материал подавался насосом с низовой стороны и мог стекать по направлению к верховому откосу, где откладывались мельчайшие частицы. Во второй (рис. 10) помещался на обоих откосах и стекал по направлению к центру, где отлагались мельчайшие частицы.

Природа отложившихся частиц и их расположение в теле плотины определялись посредством открытых с обоих концов трубок, забивавшихся в грунт до требуемой глубины. Положение линии насыщения определялось с помощью обыкновенных колодцев, сообщающихся с водомерными стаканами, которые устанавливались на одном из откосов плотины.

* * *

За время, прошедшее после написания работы «Земляные плотины», практика среднеазиатской гидротехники не только обогатилась огромным количеством земляных плотин, но и заняла достойное место в мировом опыте гидростроительства. Тем не менее, основные положения, изложенные выше в общей форме, продолжают сохранять свое практическое значение и сейчас.

Строительство в Средней Азии русловых водохранилищ на реках, а также внутрисистемных наливных водохранилищ на

каналах обеспечило создание емкостей более 48 км³, в ближайшее время объем их превысит 72 км³.

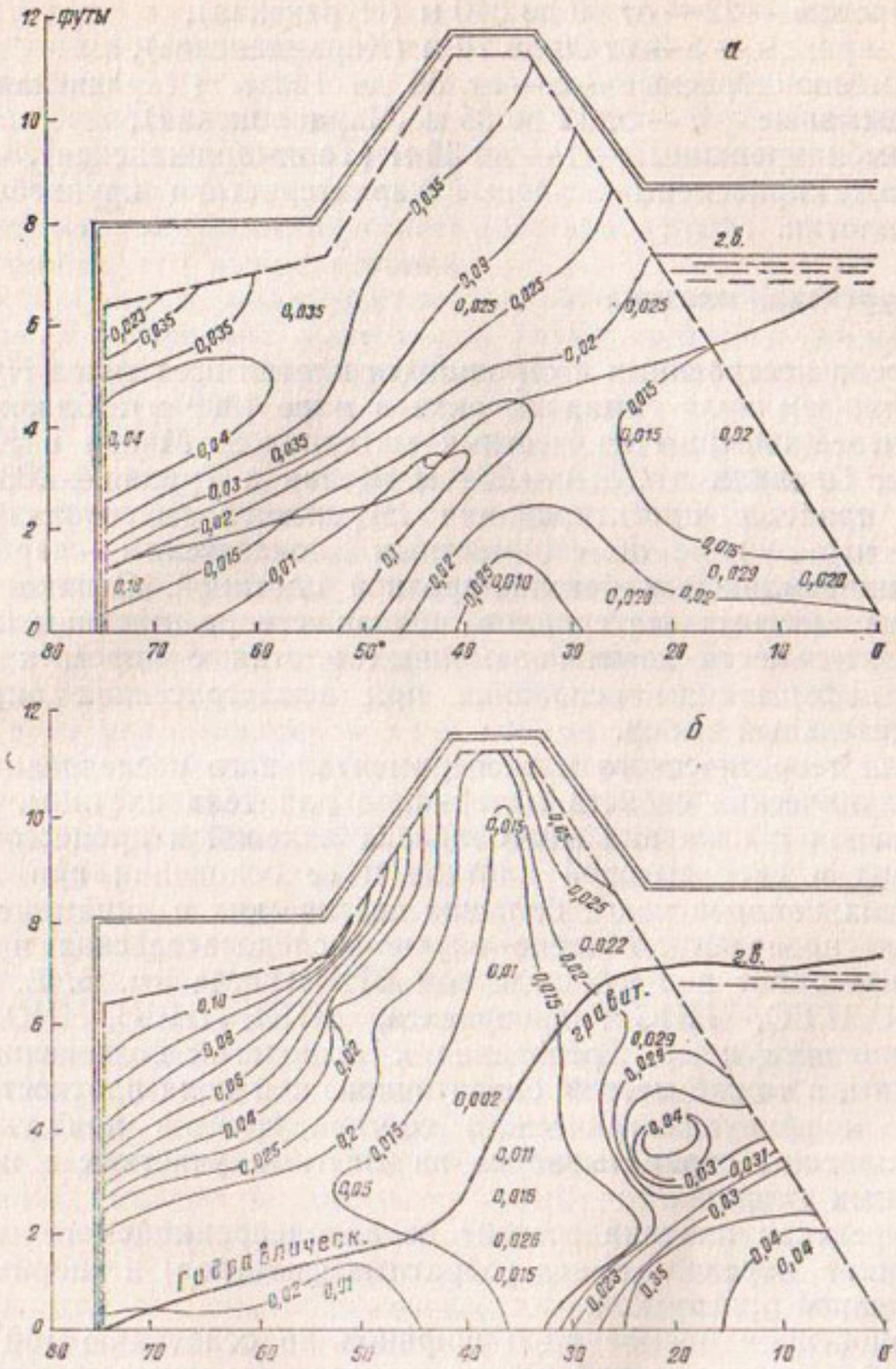


Рис. 10. Распределение материала намыва по эффективному размеру зерен при подаче с низовой стороны *(а)* и с обоих откосов *(б)*.

Сооружение этих водохранилищ стало возможным благодаря строительству плотин, 86% которых (43 из 50) представлены различного типа земляными плотинами.

Согласно классификации, принятой В. В. Пославским, плотины разделяются на следующие типы:

однородные— 11 — высотой от 10 до 62,5 м,
ядровые — 22 — от 40 до 310 м (Нурекская),
с экраном — 5 — от 30 до 70 м (Каркиданское),
каменнонабросные — 5 — от 36 до 168 м (Чарвакская),
намывные — 6 — от 12 до 35 м (Чардаринская),
комбинированные — 1 — до 36 м (Талимарджанская).

Ниже приведены основные характеристики крупнейших из этих плотин.

Нурекская плотина

Среди построенных и строящихся плотин всех типов Нурекская каменно-земляная самая высокая в мире (300 м). Близкие к ней по высоте плотины из местных материалов: Майка в Канаде — 244 м, Оровилл в США — 224 м, Кебан в Турции — 203 м.

В процессе проектирования Нурекского гидроузла установлено, что лучшие по стоимостным показателям — варианты с каменно-земляной и бетонно-арочной плотиной. Однако большие запасы местных материалов вблизи створа плотины и малая чувствительность каменно-земляных плотин с ядром к возможным деформациям основания при землетрясениях определили окончательный выбор.

Для теоретического и экспериментального исследования физико-механических свойств материалов для тела плотины, а также выяснения и изучения многообразия явлений и процессов, возникающих в сверхвысокой плотине и ее основании при действии больших напоров воды, больших статических и динамических нагрузок, проведен комплекс научно-исследовательских и опытно-полевых работ под руководством ВНИИГиМа им. Б. Е. Веденеева, ВОДГЕО, НИС Гидропроекта, ЛПИ, ЛИСИ, НИО Средазгидропроекта и др. Требования к технологии возведения частей плотины, а также методы оперативного контроля плотности, влажности и гранулометрического состава грунтов при укладке в теле плотины отрабатывались на опытных участках в производственных условиях.

Нурекская плотина состоит из водонепроницаемого центрального ядра, переходных зон (обратных фильтров) и упорных призм с каменной пригрузкой.

Водонепроницаемое ядро шириной по основанию 150 м выполняется из отложений конуса выноса сая, находящихся в 4 км от створа плотины и представленных линзообразно чередующимися слоями суглинка и супеси с включениями обломочного материала.

Материал карьера неоднороден по гранулометрическому составу, что не позволяет укладывать его в ядро плотины без предварительной обработки. Поэтому после ряда экспериментов в про-

изводственных условиях отработана технология получения материала требуемого состава с содержанием мелких фракций (менее 5 мм) 50—80% и максимальной крупностью камня до 200 мм. Камни крупнее этого размера отделяются путем отсыпки карьерного грунта в конус искусственной сегрегации.

Из конусов сегрегации (за исключением нижних частей, где происходит скопление крупных камней) грунт перемещается автотранспортом на промежуточный склад для замочки и смещения и затем отсыпается слоями 0,5 м. По мере отсыпки производится анализ гранулометрического состава грунта и в случае необходимости его корректировка.

Грунт на складе увлажняется послойно поливом в картах. Для лучшего смещения материалов грунт срезается экскаватором примерно одинаковым слоем по всей высоте склада, затем автотранспортом перевозится к месту укладки.

Согласно результатам исследований, ядро из скелетного материала обеспечивает достаточную водонепроницаемость, относительно быстрое (по сравнению с суглинком) рассеивание порового давления, малую сжимаемость, повышенную сопротивляемость сдвигающим усилиям и способность ядра к самоликвидации трещин, могущих возникнуть в ядре вследствие различных осадок частей плотины, особенно при сейсмических воздействиях.

К уплотнению грунтов в ядре предъявляются жесткие требования. Грунт укладывается в ядро слоями 25—30 см и уплотняется до объемного веса скелета по мелкозему 2,03—2,13 т/м^3 сначала пятью проходками легкого катка Д-551 массой 34 т, а затем пятью проходками МАЗ-525 массой 50 т или семью проходками вибрационного катка ПВК-70.

Для создания надежного контакта ядра с основанием и предупреждения образования в нем трещин необходимы: съем в основании ядра выветрелой скалы на глубину 5—10 м (местами до 20 м) и придание основанию в поперечном разрезе плавного очертания, близкого к параболическому; устройство в каньонной части ущелья (в основании ядра) бетонной пробки, уменьшающей высоту грунтового ядра и значительно сокращающей объем скальной выемки по подготовке основания; заделка бетоном крупных впадин в бортовых примыканиях ядра, имеющих откосы круче 1:2; укрепительная цементация основания на глубину до 10 м и покрытие бортовых участков бетоном толщиной 10—15 см для защиты обнаженных алевролитов от выветривания, предупреждения контактного размыва ядра и сглаживания мелких неровностей скальных поверхностей; придание ядру в плане арочного очертания, обеспечивающего плотность контакта при вероятных деформациях тела плотины; укладка в приконтактную зону ядра грунта с несколько повышенной влажностью, содержанием мелких фракций (не более 5 мм) не менее 60% и максимальной крупностью камней до 70 мм; устройство в основании ядра глубокой цементационной завесы.

При обработке ядра откосов котлована применяют гладкое взрывание. Скважины бурятся из контурных штолен через 0,7 м. Упорные боковые призмы плотины возводятся из несортированных гравелито-галечниковых аллювиальных отложений Вахша, карьеры которых находятся в 4—9 км от створа плотины. Материал этих карьеров содержит фракции менее 5 мм от 15 до 37% и крупные камни до 500—600 мм. Грунт в упорные призмы укладывается слоями толщиной 0,8—1,0 м с поливом водой из расчета 0,18 м³ воды на 1 м³ грунта и уплотнением виброкатками ПВК—70 и тяжелыми катками до объемного веса скелета 2,25 т/м³.

Выбор гравелисто-галечникового грунта для упорных призм определился прежде всего близостью к створу плотины карьеров с достаточными запасами грунта. Установлены высокие показатели прочности уплотненного грунта на сдвиг, а также лучшая уплотняемость этого грунта при укладке по сравнению с обычно используемой для упорных призм плотин каменной наброской и, как следствие этого, относительно небольшие последующие осадки.

Переходные зоны (фильтры) между ядром и упорными призмами отсыпаются одновременно с ядром и такими же слоями. Материал для фильтров готовится на построенном для этой цели заводе. Пригрузка откосов плотины рваным камнем крепких пород выполняется ярусами с отставанием от уровня отсыпки упорных призм на один ярус.

При возведении плотины большое внимание уделяется работе геотехнического надзора, осуществляющего повседневный оперативный контроль за качеством работ при подготовке скального основания и разработок в карьерах грунтов, за строгим соблюдением требований на укладку грунтов в плотину. Высокая плотность укладки грунтов в плотину обязательна для обеспечения ее сейсмической прочности и устойчивости.

Повышение сейсмостойкости плотины достигается за счет пригрузки откосов плотины крупным рваным камнем толщиной 20—40 м со стороны верхнего бьефа и 5—10 м — со стороны нижнего, увеличения против обычной толщины переходных зон между ядром и упорными призмами, придания ядру в плане арочного очертания, а также уширения гребня плотины до 20 м и увеличения превышения его над НДУ до 10 м.

Для наблюдения за состоянием плотины в строительный и эксплуатационный периоды предусмотрено оснащение ее комплексом контрольно-измерительной аппаратуры. Для наблюдений за деформациями ядра в нем устраиваются на двух уровнях смотровые галереи из железобетона с гибкими швами.

Плотина первой очереди, поставленная под напор в 1972 г., имеет высоту 140 м. Водонепроницаемость ее обеспечивается экраном из суглинисто-щебнистого грунта, являющимся продол-

жением экрана верховой строительной перемычки высотой более 80 м, входящей в состав основного тела плотины.

Чарвакская плотина

В результате изучения вариантов строительства гидроузла с каменно-земляной и бетонной (гравитационной) плотинами, различных составов и компоновок сооружений с оценкой наибольшего соответствия их природным условиям принят гидроузел с каменно-земляной плотиной из местных материалов. В состав основных сооружений гидроузла входят каменно-земляная плотина, водосбросные сооружения на левом берегу и сооружения гидроэлектростанции — на правом.

Плотина (рис. 11) высотой 168 м и длиной по гребню 765 м имеет прямолинейную ось, симметричный профиль и состоит из центрального суглинистого ядра, двуслойных песчано-гравелистых переходных зон (фильтров) и боковых призм из уплотненной каменной насыпи, а также наброски. Общий объем тела плотины, включая встроенную верховую и низовую перемычки, 19,3 млн. м^3.

Одна из особенностей конструкции плотины — устройство под подошвой ядра, в каньонной части русла, на высоте 16 м бетонного основания («пробки») объемом 40 тыс. м^3. Благодаря этому смягчается резкая неравномерность высоты ядра плотины в каньоне и на береговых террасах.

В дополнение к этому по периметру основания ядра выполнена бетонная потерна 3,8×4,0 м, которая является как бы зубом ядра, обеспечивая врезку его в основание, сложенное слоистыми известняками. Из потерны производилась цементация скального основания на глубину 8—10 м под давлением до 6 атм, а также двухрядная цементная завеса глубиной до 100 м практически до зоны с удельным водопоглощением известняков 0,01 л/мин. Благодаря потерне обеспечивалось совмещение работ по возведению суглинистого ядра и цементации его основания, созданию завесы. Основание ядра с поверхности котлована цементировалось под давлением 0,5—2,0 атм.

Укладка грунтов и камня в тело плотины велась механическим уплотнением с соблюдением требований к их объемному весу: суглинистое ядро — 1,75 т/м^3, песчано-гравийный материал переходных зон (фильтров) — 2,2 т/м^3, камень упорных призм (горная масса) — 1,85—1,95 т/м^3.

Основные сооружения гидроузла, в первую очередь плотина, широко оборудованы контрольно-измерительной аппаратурой (КИА), обеспечивающей наблюдение за деформациями элементов тела плотины и процессами фильтрации в теле и ее основании, а также определение напряженного состояния и порового давления грунта в ядре и бетона в потерне плотины, пульсационных давлений потока и кавитационных явлений в водосбросных соо-

ружениях, на облицовках и затворах оборудования. В потерну и смотровые шахты плотины выведены коммуникации КИА и датчики наблюдения.

Водосбросные сооружения гидроузла размещены на левом берегу ущелья и состоят из шахтного водосброса и двух строительных туннелей двух ярусов. Эти сооружения подключаются к общему отводящему тракту — безнапорному туннелю круглого

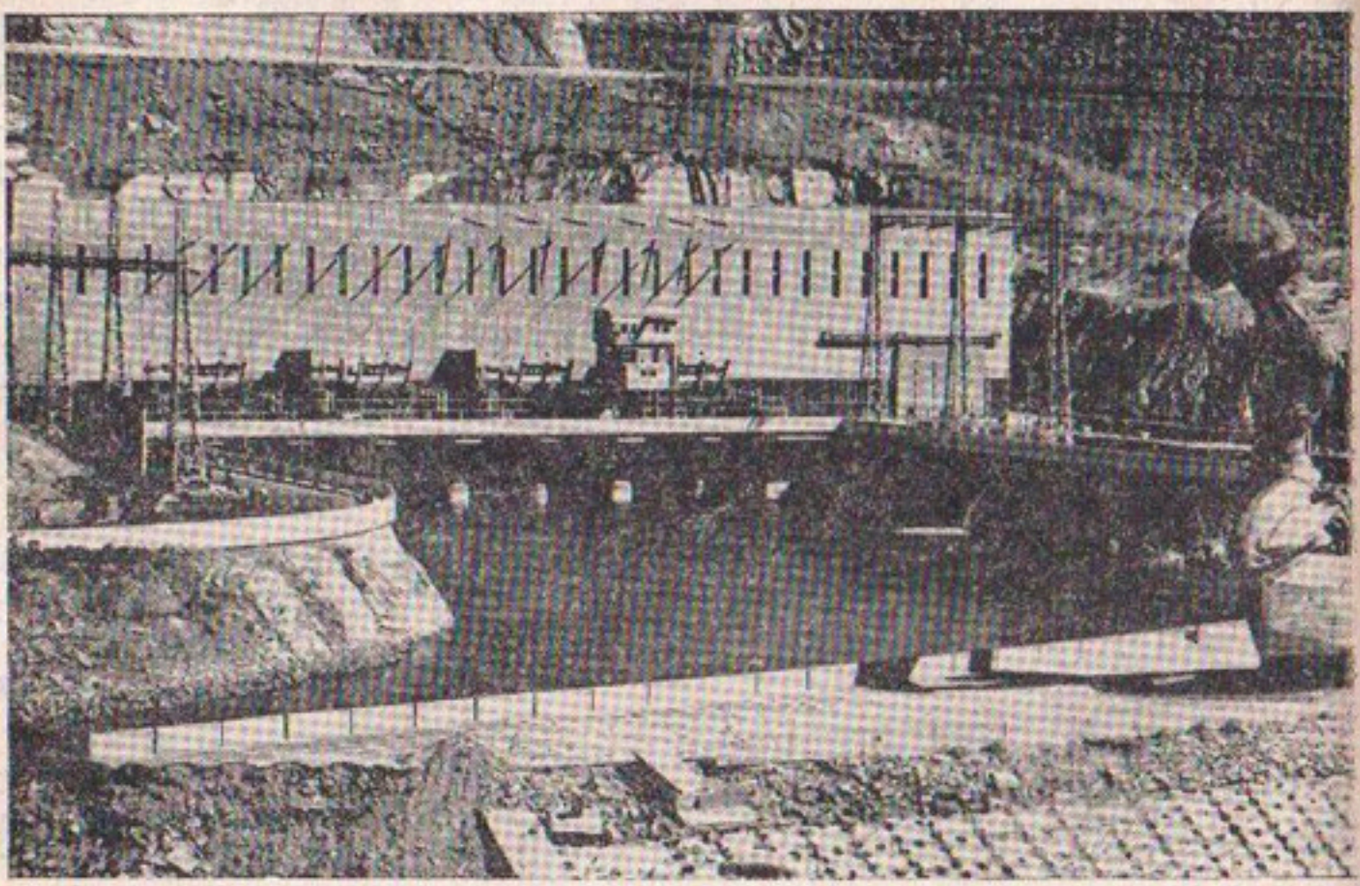


Рис. 11. Чарвакская плотина.

сечения и открытому бетонированному каналу за ним, впадающему в реку ниже плотины. Принятие схемы пропуска строительных расходов через два яруса туннелей обусловлено высотой плотины и большим напором, а также экономичностью пуска гидроэлектростанции с промежуточного подпорного бьефа.

При выборе типа катастрофического водосброса рассматривалось несколько вариантов, из которых по стоимостным показателям и условиям надежности гидравлической работы оптимальным признан водосброс шахтного типа. Строительная высота шахты водосброса 154 м, водослив ее имеет полуциркульное очертание в плане с пятью отверстиями, перекрываемыми поверхностными сегментными щитами 4,5×15 м. Шахта диаметром 11 м, коленом сопрягается с отводящим туннелем.

Полная длина туннеля первого яруса около 1 км, а внутренний диаметр 11 м, он выполнен в бетонной отделке и рассчитан на пропуск 1410 м³/с (расход 1%-ной обеспеченности) при высоте перемычки около 20 м. При проходке туннеля на участках в сла-

бых породах диаметр выломки достигал 15 м; проходка велась с металлическим креплением.

Чардаринская плотина

Земляная плотина (рис. 12) длиною 5,3 км и высотою до 26 м возведена из мелких песков намывным способом. Намыв объемом 9 млн. м^3 проведен безэстакадным способом трестом Гидромеханизация за 3 года. Откосы плотины закреплены желе-

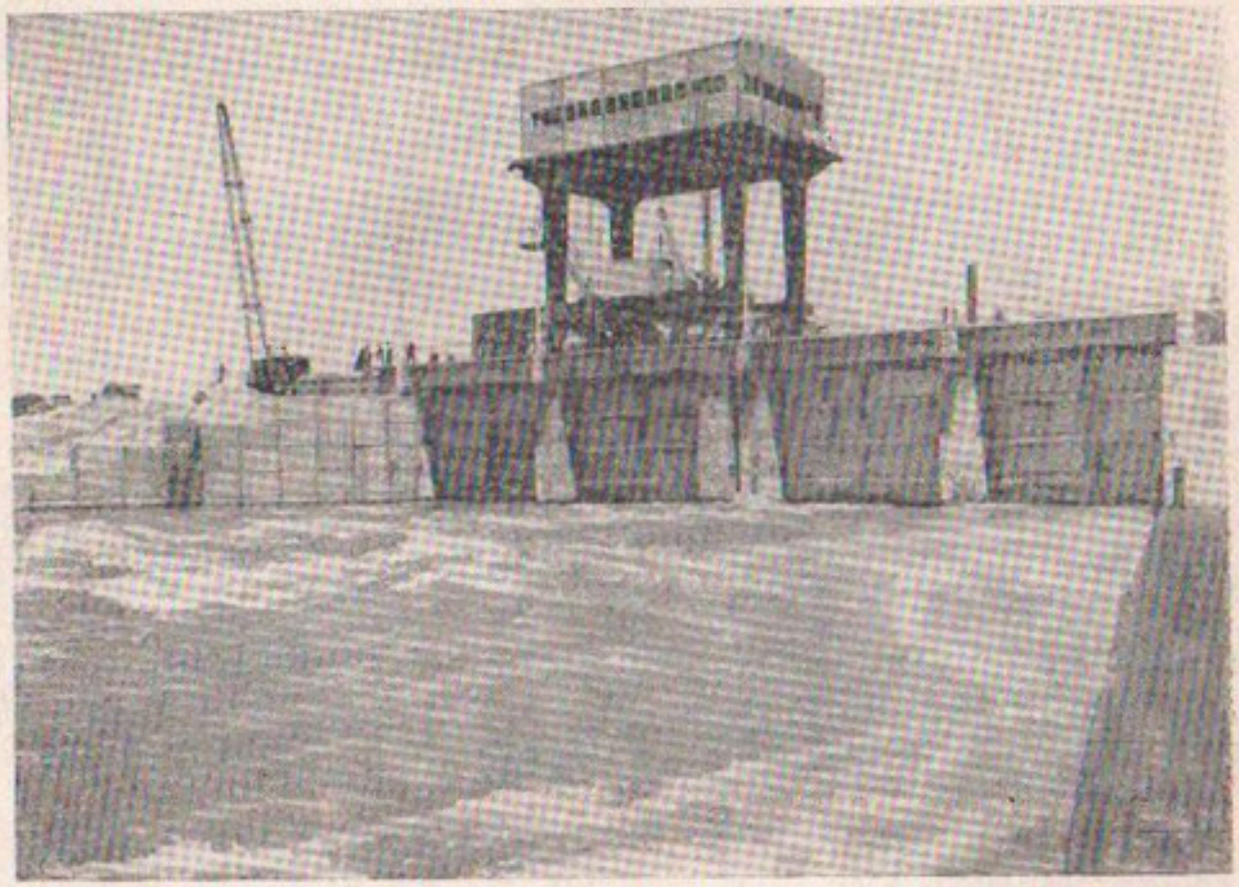


Рис. 12. Чардаринская плотина.

зобетонной облицовкой толщиной 28—40 см по слою фильтра с напорной стороны и местным гравелисто-суглинистым грунтом— с низовой.

Напорный откос тела плотины после планировки дополнительно уплотнялся катками для повышения динамической устойчивости. Низовой на береговой части имеет трубчатый дренаж с каменной пригрузкой и двухслойным обратным фильтром. Это недостаточно из-за неоднородности основания и наличия напорного горизонта, поэтому для снятия напорной фильтрации на дне коллектора, проходящего вдоль подошвы низового откоса, устроили сплошной ряд разгрузочных самоизливающихся скважин со средним шагом 25 м и глубиною 10 м, что оказалось весьма эффективным.

На русловом участке плотины с верховой стороны располагается упорная каменная призма, служившая банкетом для перекрытия русла реки, а с низовой — дренажная призма с двухслойным обратным фильтром. При строительстве плотины впервые в крупном масштабе укладка бетона крепления верхового откоса объемом 120 тыс. м³ выполнена бескрановым способом с помощью бульдозеров.

Опыт эксплуатации плотины с 1965 г. подтвердил правильность принятых решений. Все элементы плотины работают вполне удовлетворительно.

Водосброс, совмещенный с гидростанцией. На гидроузле впервые применена полностью совмещенная компоновка на ГЭС в центральной части и боковых (4 отверстия) донных водосбросов, позволяющих при необходимости полную сработку водохранилища. Гашение энергии воды в нижнем бьефе осуществлено за счет использования бьефа ГЭС и принципа соударения струй, поступающих из симметричного расположения донных водосбросов. В результате водобой и рисберма сконструированы компактно.

Земляная плотина Арнасайского узла. Плотина высотою 10 м, длиною 2 км возведена из супесчано-суглинистых грунтов с содержанием гипса в среднем 7,5%. В основании плотины залегают аналогичные супеси и суглинки с содержанием гипса 7—20%, а в некоторых участках — до 30%. Залегание гипса в плане и по высоте не имеет закономерности.

Заданный проектом объемный вес тела плотины 1,7 т/м³ при оптимальной влажности 14—18% в процессе производства работ вследствие загипсированности грунтов легко доходил до 1,9 т/м³. Переуплотнения грунтов во избежание растрескивания не допускалось.

Напорный откос плотины закреплен монолитными железобетонными плитами 10×10 м, толщиною 0,25 м, при гравийно-песчаной подготовке толщиною 0,15 м. Заложение откосов 1:3.

Талимарджанская плотина

Талимарджанское водохранилище (рис. 13) входит в комплекс водохозяйственного строительства в Каршинской степи. Оно обеспечивает регулирование стока, подаваемого Каршинским магистральным каналом (КМК) для орошения 380,5 тыс. га земель I и II очереди освоения Каршинской степи.

Проект разработан Средазгипроводхлопком, строительство ведет объединение Каршистрой Главсредазирсовхозстроя. Срок строительства 6 лет, начато в 1975 г. Общая стоимость объекта 190,8 млн. руб., в том числе строительно-монтажных работ — 172,1 млн. руб.

Водохранилище размещается на стыке головной и рабочей частей КМК. Первая длиною 78 км рассчитана на подачу рас-

хода воды до 195 м³/с. Здесь осуществлен подъем воды из р. Амударьи каскадом из 6 насосных станций на высоту 132 м. Вторая связана с орошаемыми землями и рассчитана на расход до 360 м³/с.

Воду подают в водохранилище в осенне-зимний период, когда эта подача из головной части превышает потребность на оро-



Рис. 13. Талимарджанское водохранилище.

шение. Выпуск воды из водохранилища осуществляется для покрытия дефицита в июне — августе.

Полная емкость водохранилища 1525 млн. м³ воды, в том числе полезный объем 1400 м³. Площадь зеркала водохранилища 75 км².

В состав основных сооружений Талимарджанского водохранилища входят: земляная плотина 1; земляная плотина 2; водовыпуск из водохранилища; обходной канал; насосная станция 7.

Земляная плотина 1. Створ плотины выбран для получения необходимой емкости водохранилища при наименьших затратах.

Конструкция плотины принята однородной, земляной.

Наибольшая высота ее 35 м, ширина по основанию 300 м. Гребень плотины шириной 7 м, длиной 9745 м, по нему проходит эксплуатационная автодорога.

Плотина примерно на 1/2 длины отсыпается из мелкозернистого песка и легкой супеси с механическим уплотнением до объемного веса скелета 1,6—1,65 м³. Заложение откосов плотины на

этом участке 3,5. На остальной длине плотина возводится намывом безэстакадным способом. Объемный вес скелета на этом участке 1,46—1,48 т/м³, заложение откосов 4,0.

Разработка грунта ведется в карьерах комбинированным взрывом с последующим размывом гидромониторами и закачкой пульпы на плотину двумя насосными перекачками.

Верховой откос плотины для защиты от волнобоя крепится монолитной железобетонной облицовкой толщиной 20—25 см, уложенной на подготовку из карьерной гравийно-песчаной смеси толщиной 30 см на сухоройном участке и 100 см на участке намыва.

Крепление разбито температурными швами на плиты 10×10 м и деформационными швами через 30 м. Под деформационными швами устроены двухслойные ленточные фильтры из песка и гравия. Низовой откос крепится гравийно-песчаной смесью толщиной 30 см.

Для снижения кривой депрессии и предотвращения выклинивания фильтрационных вод на откосе плотины предусмотрено устройство дренажной призмы со стороны низового откоса и закрытого трубчатого дренажа.

Техническими условиями на возведение плотины, разработанными совместно с ВНИИВОДГЕО, допускается оставлять в основании плотины грунты, содержащие до 7% гипса, и разрабатывать в забое отдельные загипсированные прослойки грунта с содержанием в них гипса до 15%. Общая их толщина не превосходит 10% высоты уступа забоя.

Земляная плотина 2 перекрывает понижение местности и прорезь, выполненную при строительстве рабочей части КМК.

Плотина длиной 1 км насыпная, из песчанистых алевролитов. Заложение верхнего откоса — 4,0, низового — 3,5. Конструкции плотины 1 и 2 аналогичны.

Водовыпуск из водохранилища рассчитан на пропуск 360 м³/с. Выполнен в виде 5-очковой железобетонной трубы, уложенной в основании плотины 2. Отверстие каждого очка 4×6 м перекрывается двумя линиями затворов, расположенных в начальном участке трубы. Здесь же предусмотрена башня управления затворами.

Обходной канал рассчитан на пропуск 195 м³/с. Трасса канала длиной 23 км проходит в сложном рельефе по местности, расчлененной многочисленными логами периодически действующих ливневых водотоков. В головной части канала размещен шлюз-регулятор, обеспечивающий подачу воды в канал в нужном режиме.

Канал на всем протяжении имеет железобетонную облицовку толщиной 15—18 см. По трассе канала в местах возможного формирования селевых потоков предусмотрено устройство селезащитных сооружений, дамб и селевыпусков.

Насосная станция 7 забирает воду из верхнего бьефа НС-6 головной части КМК. Обеспечивает заполнение водохранилища

при высотах качания от 3,9 до 26,6 м. В качестве основного оборудования на насосной станции принято семь центробежных насосов 2400 ВР—25/25 с приводом от синхронных электродвигателей ВДСЗ 75—100/32 мощностью 8000 кВт.

Для лучшей водоподачи дополнительно к вышеуказанным насосам установлены два «разменных» агрегата 72 В—22, комплектуемых синхронными электродвигателями ВДС—325/59—2419 мощностью 4400 кВт. Основные агрегаты производительностью до 21 м³/с обеспечивают подачу расчетного расхода 145 м³/с, два «разменных» агрегата производительностью по 10 м³/с являются резервно-форсировочными.

В качестве запорной арматуры устанавливаются дисковые затворы.

В состав станционного узла входят: подводящий канал длиною 2810 м в бетонированном русле; аванкамера с приемными камерами: здание насосной станции; напорные трубопроводы в железобетонной галерее; водовыпускное сооружение, сопрягающее сооружение и отводящий канал в земляном русле.

Электроснабжение станции предусматривается от подстанции 22/10 кВ, где устанавливаются 2 трансформатора по 63 кВА.

* * *

Таким образом, всего за 50 лет среднеазиатская ирригация в области строительства земляных плотин не только достигла огромных успехов, но и обрела опыт, которого не знала зарубежная практика.

Уникальные сооружения Чарвакского гидроузла, Нурекской и будущей Рогунской ГЭС обошли все зарубежные примеры, что позволяет нам гордиться большим путем, пройденным за столь короткий срок.

РЕКОНСТРУКЦИЯ И ПОВЫШЕНИЕ ВОДООБЕСПЕЧЕННОСТИ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ СРЕДНЕЙ АЗИИ[1]

Каждой эпохе свойственно постоянное совершенствование средств и способов производства, наращивание знаний и опыта, которые определяют технический уровень отрасли, характерный для каждого периода развития. Учитывая постоянное опережение потенциальным техническим уровнем фактического положения, совершенствование производственного процесса всегда является перманентной задачей общества.

В условиях социалистического общества плановое ведение хозяйства позволяет до минимума сократить разрыв между потенциальным, или как его называют критериальным техническим уровнем производства, и фактическим благодаря постоянному целенаправленному осуществлению работ по реконструкции и модернизации. Это в полной мере относится и к ирригации. За последние 50—70 лет эти задачи менялись и усложнялись. Совершенствование оросительных систем происходило в три этапа: в 1920—1941 гг. оно касалось в основном головного питания каналов и перехода на инженерное водообеспечение; в 1948—1956 гг. — внутрихозяйственного водопользования путем перехода на новую систему орошения; в современный этап — комплексной рационализации использования водных ресурсов. Покажем этот процесс на примере орошения в Средней Азии.

Переустройство систем магистрального питания на примере Южно-Хорезмской ирригационной системы

В нижнем течении р. Амударьи при выходе ее из Питнякской луки, на левом берегу расположен Хивинский оазис. С севера и востока граничит с Амударьей, на юге — с Каракумами и на западе — с землями, некогда орошавшимися из староречий Аму-

[1] В данном разделе объединены основные положения из работ В. В. Пославского «Повышение водообеспеченности оросительных систем Средней Азии» (1976), «Водные вопросы, интересные предложения» (1977), «Развитие орошения в низовьях Амударьи» (1930), «Коренное переустройство питания Южно-Хорезмской ирригационной системы» (1927) и др.

дарьи (условная граница — меридиан, проходящий через Нукус).

Природные условия низовьев исследованы довольно тщательно. Река Амударья — это мощный водный поток, известный древним как Аксус, Вахш и Джейхун. Пройдя около 2500 км среди горных ущелий, степей и бесплодных пустынь, вливается в южную часть Аральского моря, создав на пути ряд таких крупных культурных оазисов, как Хивинский, Шураханский, Чимбайский и др.

Древняя дельта. После прохода теснины Туямуюн Амударья меняет характер. Ниже Питняка начинается дельта реки с огромными массивами земель, пригодных для орошения, среди которых разбросаны современные культурные оазисы. Различают древнюю и современную дельту. Границей между ними служит Тахиаташ, откуда начинается современная дельта Амударьи с разливами, тугаями, болотами и озерами. Древняя занимает участок реки от Туямуюна до Тахиаташа, причем он делится, в свою очередь, на два. Граница между ними — возвышенность Джумуртау.

Земли древней дельты относятся к первоначальным аллювиальным образованиям, возраст их естественно падает по мере продвижения вниз по реке. По-видимому, в прошлом современная дельта являлась частью водного Арало-Сарыкамышского бассейна и Амударья имела вершину, где-то в пределах между Джумуртау и Ташсакой.

Понижение базы эрозии и отступление береговой линии Арало-Сарыкамышского бассейна передвигало вершину дельты к северу. Река создавала новые конусы выносов, размывая прежние отложения и углубляясь в пределах старой дельты.

Когда вершина дельты располагалась около Туямуюна, река обладала свойствами, присущими ей и в настоящее время. В результате геологической деятельности воды уклоны сглаживались, горизонты повышались, и река, протекая в постепенно наращивающихся собственных отложениях, заняла господствующее положение над окружающей местностью. Дальнейшее повышение дельты вызвало, по-видимому, образование рукавов и протоков, которые потекли по направлению общего уклона местности. Образовалась типичная дельта.

Усыхание Арало-Сарыкамышского бассейна способствовало понижению базы эрозии, постепенному передвижению дельты к северу, что задавало реке новую сложную работу. Река, занося старую дельту, создавала в другом месте новую. Прежние русла реки высыхали, и жизнь переносилась туда, где река прокладывала новое ложе. Все это гипотеза, но дающая возможность объяснить происхождение многочисленных староречий таких, как Урун, Даудан, Кунядарья, Лаузан, Менгелыкель, Соккулы и др., которые отчасти полузасыпаны песками прилегающих пустынь (Каракумы и Кызылкумы). Эти староречья не только сохранились

до настоящего времени, но даже могут быть использованы для проведения оросительных каналов. Мы видим, может быть, лишь незначительную часть этих староречий, так как, вероятно, немало их погребено песками, начинающими пагубную деятельность, как только исчезает вода.

В древней дельте река, протекая в легких наносных берегах (новейшие отложения крупного песка), встречает слабое сопротивление и поэтому сильно разрушает их. Берега здесь низкие, т. е. на 0,5—1,20 м ниже поверхности паводковых вод, вследствие чего возведена система оградительных дамб и расположенные по обеим сторонам берега Хорезмский и Шураханский оазисы защищены от затопления. В паводки река разливается на 2—5 км, а в низкую воду разбивается на ряд рукавов.

На участке реки от Ташсаки (точнее Туямуюна) до Джумуртау по левому берегу располагается древняя Хорезмская ирригационная система, орошаемая такими крупнейшими ирригационными каналами, как Палван, Газават, Шахабад, Ярмыш, Клыч-Ниязбай и др., которые берут в паводки из реки не меньше 1,000—1,300 м^3/с воды.

Ниже Джумуртау, вплоть до Тахиаташа, Амударья меняет облик. К правому берегу вначале примыкают отроги хребта Султануиздаг, а затем возвышенное плато Кызылкумов, левый берег повторяет характер вышележащего участка, т. е. низкий обвалованный. Ширина реки 1,5 км. Паводки ослаблены, но разрушительная способность реки ослаблена незначительно.

Культурные земли представлены лишь небольшими пятнами: на левом берегу Кипчака, район Мыскената и др., на правом берегу в тех местах, где река несколько отходит от возвышенного плато, расположены туган, среди которых можно найти небольшую возделываемую часть.

Участок древней дельты, особенно часть в Джумуртау, характерен тем, что река здесь выбрасывает массу крупных наносов, вследствие чего Амударья меняет направление русл и разрушает культурные земли. Пройдя Тахиаташ, Амударья вступает в современную дельту.

Возвышенное плато Кызылкумов отступает к северо-востоку, с северо-запада окаймляет дельту Устюрт и с севера — Аральское море. Современная дельта, в которой процессы образования продолжаются до настоящего времени, постоянно изменяется. Дельта, изображенная на картах, не похожа на ту дельту, которую мы видим в последние годы.

Протоки Ишим, Куванышджарма, Чартомбай и др. мелеют, река оставляет их и прокладывает новые с востока на запад и с запада на восток. В настоящее время она прорезает дельту почти в северном направлении, имея по обе стороны громадные площади земель последнего аллювиального образования, среди которых раскинулись и культурные оазисы: Чимбайский, Кунградходжейлинский и др.

Первыми протоками, ответвляющимися на 12 км ниже Тахиаташа, являются Кокузяк и Каттагар, которые, сливаясь, образуют Куванщджарму, некогда многоводный проток, в настоящее время быстро забрасываемый Амударьей. Сравнительно высокие берега ниже Тахиаташа быстро понижаются, ниже Бурлытау река почти не имеет берегов и малейшие подъемы горизонтов воды вызывают затопления больших пространств, среди которых лишь на повышенных местах, как на островах, живут скотоводы.

Расходы реки увеличиваются с марта, достигая максимума в июне, затем плавно снижаются, достигая лишь в конце ноября мартовских расходов. Для орошаемых хозяйств критический период—апрель и май. В бассейнах других рек Средней Азии, кроме весеннего, наблюдается осенний критический период. Эти особенности резко выделяют Амударью среди других рек Средней Азии и благоприятны для использования ее в естественном, нерегулированном режиме. Лишь отдельные кратковременные пики остаются неиспользованными в течение вегетации.

Абсолютный минимум — 530 $м^3/с$, максимум — 12000 в вегетационный период. На Керкинской станции среднемесячные расходы колеблются от 1500 до 5000 $м^3/с$, Нукусской от 1200 до 4000 вследствие потерь в пути и разбора воды оросительными каналами. Несмотря на значительные суточные колебания расходов, колебание горизонтов воды не выходит в вегетационный период за пределы разности отметок высокого и низкого горизонта в 2 м. Это тоже большой плюс. Река несет много взвешенных наносов и по сравнению с другими реками занимает в этом отношении одно из первых мест.

Загруженность наносами увеличивается с повышением расходов реки. Минимальное содержание (0,043) отмечено в ноябре, декабре, максимальное — в конце апреля, мае и начале июня, после первых больших паводков.

Как механический, так и химический состав наносов Амударьи довольно благоприятны; крупные наносы незначительны по количеству, преобладают наносы средних фракций, содержащие большое количество минеральных веществ: извести, калия и фосфорной кислоты, повышающих плодородие почвы.

Приведем средние данные механического состава взвешенных наносов в процентах (табл. 1).

Район Хорезма располагается в пределах древней дельты реки. Поэтому он сложен грунтами древней поймы, примыкающими с одной стороны к Шураханскому участку, с другой — к Сарыкамышскому. Современные почвы развиты на древних аллювиальных наносах реки; участки, примыкающие к реке, сложены преимущественно песчаными наносами, которые по мере удаления от реки обогащаются тонкими частицами, иногда вплоть до иловатых, подстилающихся на глубине до 1,5—2 м тем же речным песком. Близость реки и большая многоводность каналов обуслови-

ли снижение горизонта от 1 до 2,5 м в районах, удаленных от источников воды.

В орошаемой части Хорезма отмечены некоторые особенности в накоплении растворимых солей. По-видимому, это связано с появлением вторичных горизонтов грунтовых вод, что происходит или от неумеренного пользования оросительной водой или из-за отсутствия надежной сбросной сети, особенно, когда сбросная вода задерживается в понижениях внутри контура орошаемых земель. Наблюдения подтверждают наше мнение. На берегах озер, явившихся результатом сброса отработанных и излишних вод, имеются солончаки. Солевые налеты появляются на поверхности пашен, особенно при неумелом пользовании водою. Население ведет борьбу с появлением солей в почве. Этим можно объяснить незначительную распространенность солончаков в Хорезме, которые обычно приурочены к районам сброса оросительных вод.

Таблица 1

Река	Крупные наносы				Средние		Мелкие	
	>1	1–0,5	0,5–0,25	0,25–0,5	0,05–0,01	0,001–0,005	0,005–0,001	<0,001
Амударья	—	0,02	0,8	2,60	6,5	57,0	10,9	18,9
Нил	—	—	0,7	0,7	9,0	19,20	11,4	55,20
Сетледж	3,0	18,0	63,0			11		
Ченаб	5,0	29,0	53,0			11		

Исследования в 1926 г. на площади 645 тыс. га показали следующие качества грунтов.

I. Годные для орошения земли: культурные и влажно-луговые заболоченные (рисовые).

II. Годные под орошение после мелиорации: глинистые, солончаковые, примитивно засоленные и пойменные, допускающие культуру без орошения.

III. Негодные для орошения земли: серые амударьинские пески, желтые каракумские пески, выходы каменистых пород, высохшие озера и болота с солями и существующие озера.

После обмера обследованных земель получаем следующие данные (район Ташсака, Тахиаташ):

	По почвенной карте		*Недостающая часть по планш. ВТО*	
	га	%	*га*	%
Годные	286,000	45	67,500	30
Годные после мелиорации	219,000	34,5	88,000	40
Негодные	130,000	20,5	67,500	30

Климат. Хорезм, как и весь район дельты, представляет собой область с климатом, типичным для пустыни. Количество осадков, выпадающих в среднем за год, не превышает 80 мм, значительная часть приходится на зимний период. Испарение с поверхности Амударьи превышает в 25 раз количество осадков.

По влажности воздуха Хорезм, как и вся дельта, уступает лишь побережью Каспия. Средняя за вегетацию относительная влажность примерно 41% (36—52%). Продолжительность без-

Таблица 2

Станция	Продолжительность безморозного периода			Сумма тепла, С°
	март	октябрь	число дней	
Чарджоу	28	25	210	5390,7
Турткуль	25	26	214	4811,5
Нукус	3 апреля	10	197	4554,5
Байрамали	26	21	209	5445,0
Голодная степь	4 апреля	20	198	4822,2
Ташкент	31	22	204	4709,0
Фергана	29	26	210	4848,0

морозного периода в среднем 214 дней, колеблется от 192 до 260 дней с 19. II—25. IV и 9. X—18. XI. Средние суммы температур с 1 мая по 1 октября составляют 3788°.

Скороспелые сорта хлопчатника в условиях Ферганы созревают в течение 128 дней, с затратой тепла до 3200°. Климат Хорезма способствует этому, так как высокая влажность воздуха обусловливает хорошие качества хлопка-сырца.

Приведем данные за безморозный период по другим районам, на основании которых видно преимущество Хорезмского района (табл. 2).

Естественноисторические и сельскохозяйственные условия. Амударья моет берега, срывает головные участки каналов, оставляя земли без воды. Население вынуждено восстанавливать разрушенные головы. Река забрасывает наносами магистрали, незначительные подъемы и падение горизонтов в реке грозят затоплением местности. Население вынуждено заниматься обвалованием берегов, защищая земли от наводнения.

Амударья, не имея прочных берегов, блуждает. Обрушиваясь всей мощью на правый берег, рвет его, разрушая селения, унося посевы и головы каналов, и тем самым, уничтожив прибрежную полосу, фактически обезвоживает земли в глубь страны. В то же самое время у левого берега образуются песчаные косы и острова. Питание каналов, головы которых заложены на том участке, немедленно прекращается. В какую бы сторону не бросалась река, она все разрушает на пути.

Местная гидротехника бессильна в борьбе, и все меры ее недостаточны для укрощения реки и регулярного снабжения каналов водой.

Большинство каналов левого берега благодаря тому, что река при выходе из Питнякской луки у Ташсака идет почти все время правым берегом, находится постоянно под угрозой дальнейшего отжима реки вправо и прекращения их питания.

Кроме того, головные участки каналов на первых 5—10 км сильно забрасываются взвешенными наносами, находящимися в большом количестве в амударьинской воде. Канал, начав работу с первым подъемом воды, быстро заносится в течение ближайших паводков. Отметка дна канала на этом участке повышается почти на метр, пропускная способность его падает. Дальнейшее падение горизонтов реки и их подъемы способствуют еще большему забрасыванию головы наносами и питание канала прекращается. Это совпадает по времени с вегетационным периодом и пагубно отражается на сельском хозяйстве.

При устройстве головных участков учитывали указанные явления. Канал отдельными рукавами (так называемыми «саками» длиной до 10 км) захватывает воду из реки на участке протяжением до 15 км и больше. Это, с одной стороны, дает возможность вести очистку сак, не прекращая питания канала, так как забрасывание их наносами разновременное и главная масса наносов выпадает в них, а не в канале, с другой, — обеспечивает регулярное питание канала, так как в случае обмеления реки и прекращения работы одной из сак питание канала осуществляется через другие действующие саки. К каналам с такими сложными усовершенствованиями головного участка относятся Палван, Газават, Шахабад и др. (табл. 3).

Многоголовье и раздробленность питания отдельных площадей самостоятельными каналами создали в оазисе тяжелые условия эксплуатации паводковых каналов, так как обмеление реки в голове канала или срыв головного участка, прорыв берего-укрепительных дамб и т. д. в вегетационный период делают работы по ежегодной очистке трудоемким процессом.

Сильное заиление многочисленных каналов и очистка их создали высокие дамбы по берегам, что, в свою очередь, вызвало затруднения по дальнейшей их очистке, так как вынутый со дна грунт приходится с тройной, а иногда и пятерной перекидкой выбрасывать из канала. Некоторые из таких каналов население забрасывает и копает новые.

Основной недостаток хорезмской ирригации — наблюдающийся за последние 12 лет отход реки к правому Шураханскому берегу, вследствие чего перед головами сак появляется песчаная отмель и населению приходится ежегодно протягивать через нее до реки саки каналов. Летом эти участки снова заносятся, отмель передвигается дальше. Работа по очистке и прокопке новых сак возобновляется. При ежегодном медленном отходе реки население

еще в состоянии бороться с увеличивающейся этим путем нагрузкой по натурповинности, но если Амударья будет отходить к правому берегу более быстрым темпом, то одна натурповинность бессильна в борьбе с рекой.

Особенно интенсивный отход реки вправо начался с 1923 г. К 1925 г. река переместилась в разных местах на расстояние от 1,5 до 3 км, а за последние 12 лет отошла на 5 км.

Упорное отклонение Амударьи может прорвать в 17 км ниже Ташсака 4-километровый перешеек, отделяющий ее от старого

Таблица 3

Канал	По магистрали в раб. днях на га	По распределению и оросит. сети в раб. днях на га	Всего в раб. днях на га
Палван	13,85	3,40	17,25
Газават	11,36	10,00	21,36
Ханки	9,17	3,12	12,29
Шахабад	13,31	12,10	25,41
Низовья Газавата и Шахабада	4,04	5,13	9,17
Среднее по району	10,18	5,40	15,58

русла, проходящего с большим уклоном (0,0002) через озеро Соккулы и ведущего к восточному концу озера Истемес и низовьям реки к Дуакаринской низменности. От этого изменения течения реки оазисы на левом берегу засохнут.

Достаточно привести лишь несколько цифр, чтобы составить себе картину работы и количества труда, затрачиваемого ежегодно для очистки каналов и удлинения сак.

На очистку сак по годам получены следующие данные натурповинности:

	1924 г.	*1925 г.*	*1926 г.*	*1927 г.*
Человеко-дни на очистку голов арыков Палван, Газават, Ханки, Шахабад, Ярмыш, Клычниязбай	470000	652000	826140	996496*
То же, арб-дни	—	6350	7335	—
Сделано прокопов протяженностью 1 км	6,25	27,95	22,65	7,3

* Внесена только весенняя чистка.

Кроме всего вышеописанного, сами приемы земледелия для населения тяжелы. Из-за трудных условий обработки и малоземелья, как следствия недостаточности орошения, размер отдельных хозяйств колеблется от 0,5 до 5 га. Семье в 4—8 человек и довольно часто с наемными рабочими существовать на таком клочке земли тяжело и можно только при интенсивном способе ведения хозяйства. Идет подчас ювелирная обработка почвы. Участки вспахиваются и разглаживаются малóй не менее 2—3 раз. Удобрением служат: 1) навоз с землей; 2) земля без навоза и 3) оросительная вода. Наиболее распространены 1 и 3 способы. Земля

берется с барханов, бортов арыков, где складывается грунт при их очистке, или с полей и привозится в сейс-ханы, где кладется под ноги животных из расчета 75—80 двадцатипудовых арб на голову крупного животного. Земля лежит там два месяца, временами перемешивается и вывозится на поля в количестве 350—400 арб, т. е. 100—120 т/га под все культуры. На всю эту операцию требуется 20—25 дней. Для распределения привезенного на поля удобрения тратится еще три рабочих дня на гектар. Затем идет заделка удобрения в почву омачем и заглаживание малой.

Верхние слои почвы истощенные, иногда засоленные, собираются на всем участке в кучи и стоят в таком виде, пока не будут свезены в сейс-ханы для приготовления новых партий удобрения. Все эти простые, но тяжелые операции отнимают у земледельца много времени и энергии.

Характерно большое число предпосевных поливов, до 4—6, причем они следуют один за другим для промывки капиллярно поднявшихся солей. Предпосевные поливы обычно совпадают по времени с низкими горизонтами в реке, ведутся путем подъема воды чигирями, отнимая на это рабочие руки и скот. Чигирь — необходимая принадлежность почти каждого хозяйства, так как аяко-чигирь преобладающий тип орошения и, несмотря на дороговизну, пользование им неизбежно.

Таким образом, земледелец круглый год ведет интенсивную работу, без которой он не в состоянии поддержать свое маленькое хозяйство.

Только устранением всех недостатков можно создать прочный фундамент для развития некогда цветущего оазиса. Единственное спасение Хорезма — в коренном переустройстве питания магистралей и внутреннем переустройстве самой системы, что даст толчок к дальнейшему ее развитию.

Экономическое состояние. Рассмотрим Южно-Хорезмскую ирригационную систему с точки зрения целесообразности ее переустройства. По имеющимся данным, правда недостаточно точным, вся дельта р. Амударьи в дореволюционное время, судя по количеству вывозимого волокна, должна была иметь хлопковый клин в севообороте около 17—30%. Статистические данные 1924 г. определяют хлопковый клин всего в 7,0%. Что вызвало столь резкое снижение хлопкового клина. Один из основных факторов — ухудшение условий для расчистки голов ирригационных каналов, вызванное отходом р. Амударьи к правому берегу.

Катастрофическое положение района почти в 130—150 тыс. га, фактически орошаемых, не могло остаться без внимания. В 1924 г. была организована Туямуюнская изыскательская партия. В результате проведенных работ был сделан вывод о необходимости ирригационных работ в этом районе и относительной их дешевизне.

Для выявления общей, возможной для орошения площади, приведем данные, где для получения действительных площадей

орошения введен коэффициент использования 0,80 (кроме Мангытккипчакского района, для которого он понижен до 0,60); земли, пригодные для орошения после мелиорации, введены только в 1/2 общего их количества, что гарантирует возможность их легкого освоения. Предварительные данные (га) почвенных экономических обследований площадей приведены в табл. 4.

Таблица 4

Показатель	Освоенные	Обарыченные	Годные для орошения	Годные после мелиорации	Общая площадь
По 3 главным арыкам	108000	53000	29000	71500	261500
По 2 арыкам	41500	9500	12000	41000	104000
По арыкам Мангытккипчакского района	10000	6000	6000	75000	29500
	159500	68500	47000	120000	395000
Земли древнего орошения					
Черменъяб	—	—	21000	—	21000
Уаз	—	—	34000	—	34000
Итого	159500	68500	102000	120000	450000

Если даже из земель (табл. 4), вводимых в севооборот, 40% пойдет на пар и перелоги, то получим площадь около 220 тыс. га, т. е. примерно существующую (212 тыс. га), обарыченную по 5 главным арыкам. Это, по-видимому, может служить объектом работ 1 очереди[2], так как из них 91%[3] уже обарычены, имеют владельцев и нуждаются только в получении воды и частичном ремонте ирригационной сети.

Отсюда видно преимущественное влияние на освоение земель водного фактора, так как только из-за недостатка воды 62500 га обарыченных земель пустуют, что составляет 27,4% общего количества и 91% пустующих обарыченных, остальные (6200 га) 9% засолены и заболочены.

Отметим, что питание Южно-Хорезмской системы происходит за счет паводковых каналов, получающих воду в полном соответствии с колебаниями горизонтов воды р. Амударьи, весенние паводки которой не совпадают с периодами наибольшей весенней потребности в воде, а потому часты и почти неизбежны недополивы земель, особенно в марте и апреле, когда требуется большое количество воды на предпосевные поливы.

Резкие колебания расходов в паводковых каналах вызывают недополивы в хвостовых частях магистралей и заболачивание земель в верховых вследствие отсутствия сбросной сети, которая заменена озерами, то высыхающими, то вновь развивающимися в зависимости от поступления воды.

---

[2] Окончательная площадь 1 очереди 237 тыс. 400 га.
[3] По данным экономического бюро Упрадиса.

Несовпадение осеннего паводка реки с потребностью на полях орошения и необходимостью куда-то сбрасывать воду способствует заболачиванию и засолению земель.

Несоответствие подаваемого паводковыми каналами количества воды потребляемому видно на рис. 1, где показаны теоре-

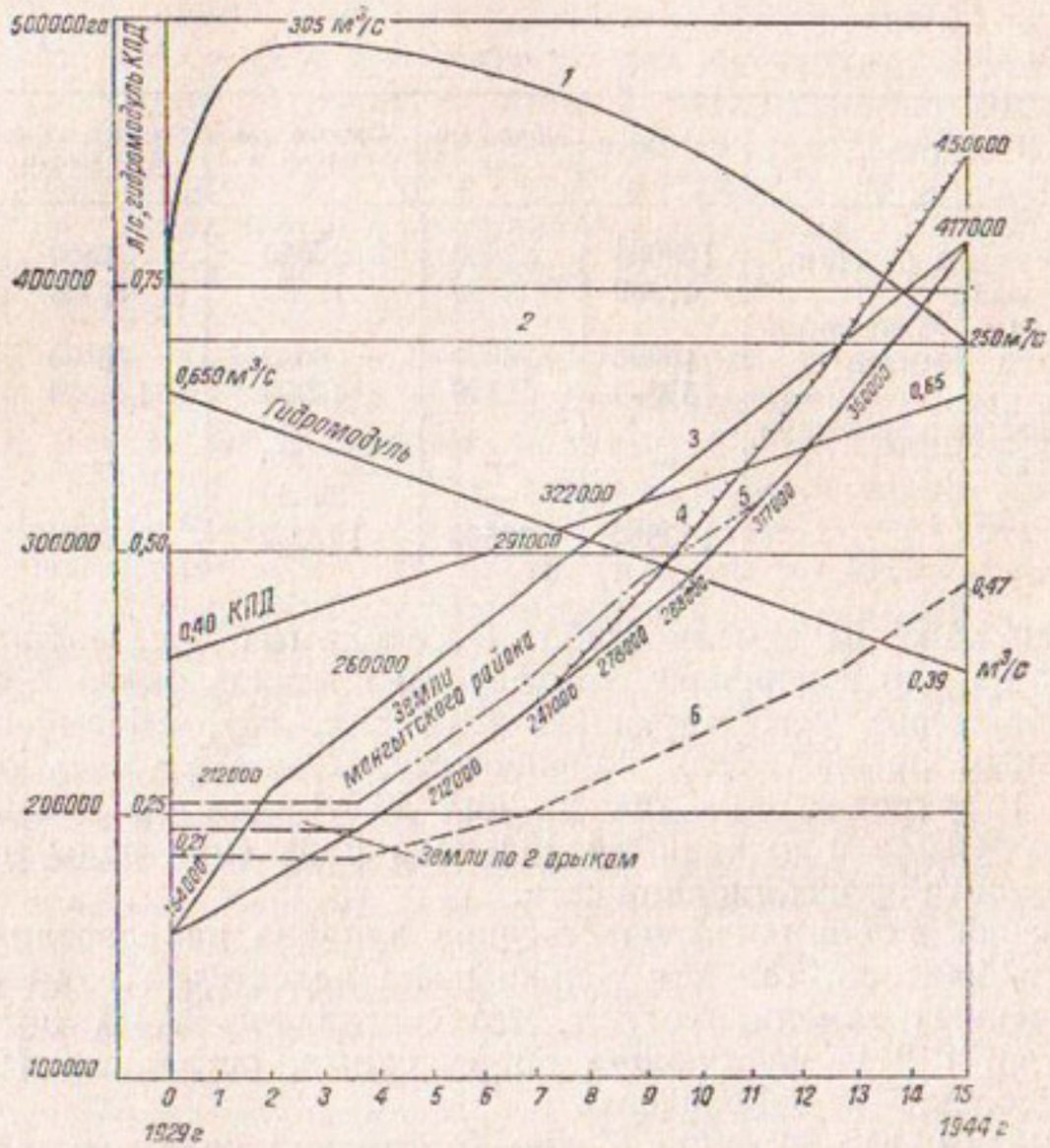


Рис. 1. График изменения основных коэффициентов и гидромодуля с показанием включения земель.

1 — расход для II кривой включения земель, *2* — расход для I кривой включения земель (250 м³/с), *3* — II кривая включения земель, *4* — площади на сбросных водах, *5* — I кривая включения земель, *6* — коэффициент использования земель для I кривой площадей (включая площади на сбросных водах).

тически необходимое количество воды на ныне орошаемую площадь при коэффициенте полезного действия системы 0,60, и фактические расходы магистралей Палван, Шахабад и Газават.

Нехватка воды, безусловно, приуменьшена, так как при несовершенствах забора воды распределителями в головных частях магистралей и при излишних сбросах ее коэффициент полезного действия системы для поливного графика следовало бы понизить с 60 до 30—40%.

Нерегулярное получение воды в хвостовых частях — одна из причин стремления населения к оседанию в головных участках, чем и определяется перенаселенность верховых, более обеспеченных водой районов. Перенаселенность ведет к дроблению хозяйств, что влияет на сокращение хлопкового клина, так как в этом случае доминирует желание к удовлетворению натурально-потребительских запросов.

Таким образом, основная причина замедленного развития хозяйства в Южном Хорезме — неурегулированность водного фактора.

Рассмотрим запасы труда существующего населения Хорезмского района и установим возможность и степень трудности освоения вновь вводимых в оборот земель. Картина получается довольно благоприятная для развития орошения, так как общее количество труда почти вдвое больше используемого на сельскохозяйственных и ирригационных (очистка каналов) работах. Указанное соотношение верно как для общего количества людского труда, так и для запасов мужского. Имеющиеся статистические данные указывают на наличие большого запаса рабочей силы, которую можно всегда использовать для земледельческого или какого-либо другого труда.

Необходимо оттенить работы, относящиеся к общественной ирригации: чистка сак и сети, куда относится ~ 1 млн. 400 тыс. арб/дней, это составляет 6,4% общей затраты мужского труда в хозяйстве, или 12% труда, затрачиваемого на земледелие[4]. Сравнение сделано с затратой мужского труда, так как в общественных и ирригационных работах участвуют лишь мужчины.

Чистка каналов является одним из больших зол хорезмского дехканина и работы по переустройству системы должны его разгрузить от этой тяжелой общественной обязанности, часто ложащейся непосильным бременем на него.

«Просматривая изменения затрат рабочей силы во времени, замечаем, что получается 3 максимума: весенний, совпадающий с очисткой каналов и ирригационной сети; летний в связи с уборкой пшеницы, пропашкой джугары и окучкой хлопка и осенний в связи с озимыми посевами пшеницы. Периодического перенапряжения общих трудовых ресурсов не наблюдается, но в период весенних работ по очистке сети создается остро-повышенный максимум по использованию мужского труда, иногда доходящий до кривой запаса и ее превышающий»[5].

Это перенапряжение мужского труда влияет на севооборот, так как отвлечение труда на натурповинность вызывает недозапашку хлопкового и джугарового клиньев, а тем самым вводит в севооборот малодоходные культуры второй очереди. Кризис осложняется еще тем, что в работах по натурповинности участвует преимущественно бедняцкий элемент, а потому перенагру-

---

[4] Данные экономического бюро Упрадиса.

[5] Заимствовано из записки экономиста Манохина.

женность труда ложится в первую очередь на маломощные хозяйства.

Определим возможное освоение площади существующим населением, считая число хозяйств в настоящее время по узбекской части 54,544 и по туркменской — 17,969. Принимая надел для первой 3,5 га и для второй — 5,5 га, получим возможную к освоению площадь:

$$3{,}5 \times 54{,}544 + 5{,}5 \times 17{,}969 = \sim 290 \text{ тыс. га.}$$

Район	Эксплуатируемая площадь (без Кипчак-Мангытского района), га	Нормы наделения, га			
		усадьба	сад и виноградники	посевы	всего
	Узбекская часть				
1	57000	0,14	0,055	3,85	4,04
2	39000	0,14	0,011	3,23	3,38
3	32000	0,10	0,033	3,21	3,21
	Итого 128000				
	Туркменская часть				
4	7600	0,13	—	6,01	6,14
5	11000	0,08	0,011	5,93	6,02
6	65400	0,13	0,011	5,32	5,46
	Итого 84000				
	Всего 212000	Средневзвешенный тип			

Таким образом, Южно-Хорезмский район почти обеспечен имеющейся рабочей силой и неиспользование ее в настоящее время можно объяснить лишь неурегулированностью водного фактора.

«Инвентарные резервы необходимо рассматривать только с точки зрения тяговой силы, использование которой составляет лишь 28,72% в среднем по всему району»[6]. Обеспечение тяговой силой в узбекских и туркменских хозяйствах различное, так как туркменские как скотоводческие или полускотоводческие обеспечены ею лучше, чем узбекские.

Малый средний процент использования скота указывает на большие возможности к расширению и освоению земель и необходимость широкого развертывания ирригационных работ в этом районе. Имеющийся максимум использования скота — весенний (предпосевные поливы и очистка каналов) и осенний (шудиарная обработка пшеничного клина), если и создает перенапряжение, то только в отдельных хозяйствах, а с точки зрения общего баланса никаких затруднений не представляет.

Следовательно, есть все данные для осуществления орошения,

[6] Заимствовано из записки экономиста Манохина.

необходимо установить тенденции развития хозяйства и возможности для его осуществления.

Статистические и эксплуатационные данные о хлопковом клине за 1923—1926 гг., перспективы на 1927 г. и общие сведения неубедительны, так как исходный 1923 совпадает с годами общего упадка в хозяйствах, особенно хлопкового клина, и дальнейший его рост очевиден. Поэтому следует руководствоваться лишь данными о хлопковом клине в довоенные годы и надеяться, что

Таблица 5

Состав перспективного хозяйства, %						
озимая пшеница	рис	гауш	джугара	хлопчатник	бахчи	люцерна
12	—	4	28	30	4	22
14	5	5	10	40	5	21
20	10	—	13	40	5	12
30	—	—	8	30	7	25
18	—	2	26	33	5	16
24	2	2	20	33	7	12
18,6	3	2,6	19,0	34,5	5,3	17,0

тенденция к тому же виду хозяйства должна сохраниться, если нет причин, тормозящих его развитие — мелкое дробление хозяйств и необеспеченность всего района зерновыми культурами.

Для уяснения вопроса о дроблении хозяйств, необходимо рассмотреть проектные трудовые типы, намеченные экономическим бюро Управления амударьинских дельтовых ирригационных систем. При разбивке земель по Южному Хорезму предварительно установлено шесть районов (табл. 5).

Наделение проектным количеством земель хозяйств дехкан вызвало бы необходимость изыскания для заселения новых земель помимо намеченных в проекте (обарыченных) 220 тыс. га. Для создания нового орошения и переселения туда дехкан можно имеющиеся в избытке 13,708 узбекских и 2,972 туркменских хозяйств (всего 16,680 хозяйств) разместить в том же районе, дав уравнительный надел, при котором наличный фонд будет освоен всем населением[7]. В этом случае для узбекских хозяйств уравнительный надел 2,72 га и туркменских — 4,72. Эти наделы приуменьшены по сравнению с трудовыми, поэтому могут быть ос-

[7] По последним предположениям намечено наделение проектным наделом всех хозяйств.

воены наличным запасом труда. При уравнительном землепользовании возможно считать хлопковый клин в 30—40% (точнее, средневзвешенный 34,5%), который в единичных хозяйствах наблюдается и при настоящем положении.

Остается проверить, удовлетворяют ли намеченные зерновые и джугаровые клинья общую потребность района в хлебных злаках. Безусловно, не может быть речи о вывозе из Южно-Хорезмского района зерновых, правда, можно ставить вопрос о ввозе. Но опыт текущих лет показал, что этот район достаточно хорошо самообслуживается и не требует ввозного запаса. Это подтверждается постановлением Экономического совета от 5 августа 1926 г., где указано, что Хорезмский район Узбекской об-

Таблица 6

Культура	Валовой урожай, т			В среднем на душу, т		
	узб. ч.	туркм. ч.	всего	узб. ч.	туркм. ч.	всего
Современное положение						
Зерновые	38,076	16,515	54,591	0,21	0,17	0,20
Джугара	31,990	9,085	41,075	0,17	0,09	0,15
В перспективе						
Зерновые	22,194	31,405	53,599	0,12	0,31	0,19
Джугара	46,435	34,811	81,246	0,24	0,35	0,28

ласти и Ташаузский округ ТССР в текущем операционном году в завозе хлеба не нуждаются. Это подтверждается данными табл. 6, учитывая, что существующим населением осваиваются только обарыченные земли. Здесь указано на невозможность ухудшения положения с зерновыми при проектном плане хозяйства, когда на душу в среднем получается почти 0,20 т, что является обычной нормой потребления для крестьянских хозяйств центральных районов Союза и одновременно существующей нормой в Южном Хорезме.

Все указанные предпосылки целесообразности развития ирригационных работ в Южно-Хорезмском районе кратко сформулируем в следующей форме.

1. Рациональное облегчение труда населения по натурповинности, так как это явится стимулом для интенсификации хозяйств.

2. При наличии мощного водного источника местная сеть при инженерном переустройстве (хотя бы в головной части) легко подаст для орошения всего района необходимое количество воды в соответствии с графиком полива.

3. Запас труда для освоения земель (даже с избытком 24,8% для первой очереди).

4. Определенные инвентарные ресурсы населения.
5. Обеспеченность района в зерновых культурах.
6. Пригодные и подготовленные к орошению площади (обарыченные) — 228 тыс. га и возможные к орошению — 450 тыс. га.
7. Тенденция к развитию хлопковых хозяйств, что может дать увеличение хлопковых земель по намеченным нормам по циклу работ первой очереди, по данным экономического бюро Упрадиса:

	Прирост, га	
	всей площади	*хлопкового клина*
Узбекская часть	37,211	35,312
Туркменская часть	44,786	23,165
Весь район	81,996	58,477

8. Дешевизна работ ввиду наличия ирригационной сети. Ориентировочно полное переустройство оценено в 200 руб/га (на десятину).

Таким образом, экономические и хозяйственные данные свидетельствуют о выгодности развития ирригационных работ именно в этом, а не в районах исключительно нового орошения, где возникнут большие трудности при освоении земель.

Общая схема питания Южного Хорезма. Ирригационные схемы орошения в дельте р. Амударьи связаны с финансовыми возможностями устройства крупных узлов на мощной реке, имеющей малоустойчивое русло в низовой части. По предварительным подсчетам стоимость Амударьинского барража для Ташсакинского узла в виде глухой плотины с промывными шлюзами составит 46 млн. руб. Его стоимость может быть несколько уменьшена за счет 1) перехода к более простому типу глухой части в виде каменной наброски по индийскому образцу или по типу нильских дельтовых барражей с устройством сливной стенки на подсыпном каменном основании вместо опускных колодцев, 2) механизации работ, 3) регулирования реки путем сброса паводковых вод. Но все же стоимость его при 1,5-километровом пролете, по-видимому, составит 30 млн. руб. Ясно, что на барраж в любом другом месте р. Амударьи будет израсходована такая же сумма, так как условия везде одинаковы. Можно отрегулировать реку постройкой плотины выше, у Кизилаяк, по одной из схем Ф. П. Моргуненкова, сбросив излишки воды в пески, и тогда строительство нижележащих барражей намного дешевле. Однако столь сложная задача в наших экономических условиях невыполнима.

Постройка нескольких узлов с барражами в дельте реки сильно отразится на стоимости орошения земель, особенно в первые годы развития, а в некоторых местах ляжет непосильным бременем. Поэтому необходимо тщательно выбирать на реке основные узлы. В дельтовой части реки можно отметить только 5 устойчивых точек, где наблюдаются выходы коренных пород: Туямуюн, Ташсака, Джумуртау, Кипчак и Тахиаташ.

Количество земель, относимое на командование из каждого узла, представлено в табл. 7.

При окончательном выборе узлов необходим метод исключения отдельных пунктов для того, чтобы в дальнейшем оперировать меньшим числом неизвестных. Отметим, что самая верхняя закрепленная точка р. Туямуюна расположена у места выхода к реке отрогов Кызылкумского плато, через которые она прорвалась очень узким и глубоким руслом (около 21 м глубиной и 200—300 м шириной). По последним данным рекогносцировочных исследований, дно реки не каменистое, как это предполагалось по аналогии с его берегами, сложенными из известняка, довольно плотного. Это в значительной степени лишило преиму-

Таблица 7

Узел	Площадь, относящаяся только к данному узлу			Площадь 1 тыс. га, возможная для орошения из узла		
	левый берег	правый берег	всего	левый берег	правый берег	всего
Туямуюн	22	—	22	452,2	220,0	672,2
Ташсака	350,0	220,0	570,0	450,0	220,0	670,0
Джумуртау	10,0	—	10,0	90,0	—	90,0
Кипчак	80,0	—	80,0	80,0	—	80,0
Тахиаташ	330,0	350,0	680,0	560,0	470,0	1030,0

щества Туямуюнский узел, по сравнению с ближайшим Ташсакинским, так как специально на Туямуюнском узле висит лишь 2 200 га земли, а вывод из него воды не дает улучшения командования для площади Ташсакинского узла и по наивыгоднейшим вариантам при подсчете только земляных работ на 11—15 млн. руб дороже из-за большого количества земляных работ, приходящегося на скальные грунты. В этом случае стоимость может снизиться за счет экономии в постройке барража на реке. Но это преимущество, по-видимому, почти отпадает, так как строительство барража в 300 м при глубине 21 м при неустойчивом дне, вероятно, может равняться его стоимости в Ташсаке при длине 1,5 км, но при наибольшей глубине 6—7 м. Кроме того, большие затраты на магистраль при первоочередных работах лишают этот вариант всякого смысла.

Таким образом, Туямуюнский узел можно к настоящему времени исключить. В дальнейшем возможно построить Туямуюнскую гидростанцию и подать от нее воду в Южно-Хорезмский канал.

С такой же точки зрения рассмотрим Кипчакский узел, который расположен очень близко к Джумуртау и имеет только левый возвышенный берег. Специально висящих на нем земель немного, и его можно предложить только в порядке преимущества перед Джумуртау. В нем река с обеих сторон стеснена отрогами Султан-Уиздагского хребта, справа — Шейдейли и слева —

Джумуртау и представляет поэтому более надежное место по сравнению с Кипчаком. Для простоты выкладок будем считать более приемлемым первое из указанных мест, оставив вовсе Кипчак, так как в дальнейшем указано, по каким причинам приходится отказаться от узла в Джумуртау, а следовательно, от Кипчака.

Для сравнения остаются 3 узла — Ташсака, Джумуртау и Тахиаташ[8].

Начнем с выделения земель на низовой узел.

Тахиаташский узел может охватить при создании подпора 1,44 м над наивысшим существующим горизонтом реки земли Кунядарьинского, Кунградского, Ходжейлинского, Ишанджекинского и Чимбайского районов. По схеме Ф. П. Моргуненкова (1925 г.) узел состоит из барража на реке, у головы существующего арыка Кызкеткена, с 3 выпусками в магистральные каналы: правобережный — 425 м³/с для Чимбая и Ишанджекина, левый нижний — 185 для Кунград-Ходжейлинского района и левый верхний — 250 для Кунядарьинского. В узле намечено сбросное отверстие для отвода излишних вод между возвышенностями Кетменчи и Кетменчи-Мазар, далее через урочище Сафар-Куль на Дарьялык, Менгелы-Кель, Даудан в Сарыкамышскую впадину (рис. 2).

Искусственная часть сбросного канала намечается всего лишь на 37 км, а остальная должна идти по имеющимся старым руслам, причем в пути возможно орошение около 75 тыс. га сбросными водами.

Проектируемый сбросной канал служит границей между площадями орошения древней и современной дельт. Особого стремления к увеличению командования современной дельтовой системы не должно быть, так как намеченная площадь охватывает около 1 млн. га.

Необходимо выяснить, насколько рационально строить узел у Джумуртау. Выделив земли для орошения современной дельты, перейдем к описанию древнедельтовой системы (рис. 2). Намеченный основной узел у Ташсаки имеет бесспорную сферу командования по правому берегу на 220 тыс. га и по левому — на всей площади магистральных арыков Палван и Газават.

Шахабад, Ярмыш и Клычниязбай могут в хвостовых участках орошаться магистралью от Джумуртау. Поэтому необходимо

---

[8] В. В. Пославский и К. А. Михайлов считали необходимым создание постоянного головного водозабора у Ташсаки в противоположность мнению Г. К. Ризенкампфа и Ф. В. Моргуненкова о строительстве его у Туямуюна. В. В. Пославский исходил при том из сложности строительства плотины в коренном левом возвышенном берегу у Туямуюна того периода, а также отсутствия перспективных площадей орошения (всего 2 тыс. га по его оценке) между Туямуюном и Ташсакой. Постоянный головной узел построен по предложению В. В. Пославского у Ташсаки, но плотинный водозабор в настоящее время заканчивается по схеме, предложенной Г. К. Ризенкампфом.

Эту задачу оказалось возможным осуществить на современном уровне строительства (примечание В. А. Духовного).

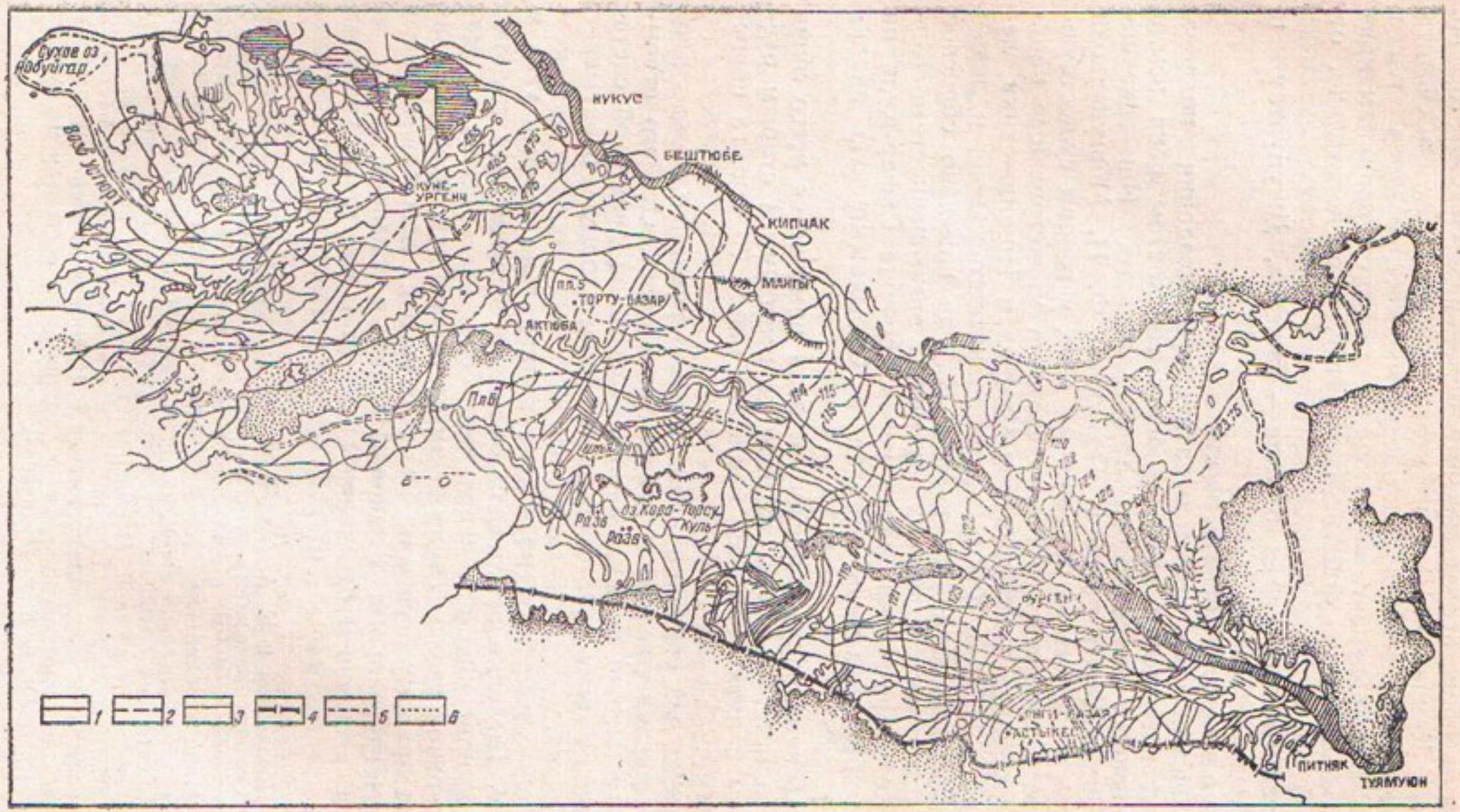


Рис. 2. Схема переустройства орошения левобережной части низовьев р. Амударьи.

1 — магистр., *2* — распределитель, *3* — сброс, границы: *4* — республиканская, *5* — командования, *6* — районов.

обосновать полное их включение в Ташсакинский узел. Хвостовые части арыков Шахабад и Ярмыш, попадающие в зону командования Джумуртау, столь незначительны (обарыченных около 3 тыс. га и общих около 25 тыс. га), что выгоднее форсировать канал на 1—2% для орошения обарыченных земель в этом районе. Земли, пригодные к орошению, могут быть включены в него и другими путями, если к тому будут какие-либо причины.

Порсинский район (площадь № 5), лежащий в хвосте арыка Клычниязбай и частью питаемый его сбросными водами через Дарьялык и плотину Совбет, имеет поливную площадь около 7,7 тыс. га, обарыченную—около 15 и возможную к орошению—около 30. Этот район требует для орошения на первое время около 7—14 м³/с воды, которую приходится гнать от Ташсаки около 200 км. Головной расход Ташсакинской магистрали столь незначителен (около 250 м³/с), что его легко прогнать в хвостовую часть, отшлюзовав предварительно магистраль.

Если потребуются земляные работы, так это в местах перекопов по магистрали ввиду того, что прохождение потребных расходов воды по старым руслам пропускной их способностью не обеспечено. Следовательно, земляные работы необходимы при переходе из Шахабада в Ярмыш на протяжении 3 км и при переходе из Ярмыша в Клычниязбай на протяжении 7 км, но это все же дешевле, чем подача воды от Джумуртау при прокопе канала не менее 30—40 км с устройством специальных сооружений.

Таким образом, целесообразно хотя бы на первое время орошение земель по 5 главным арыкам — Палван, Газават, Шахабад, Ярмыш и Клычниязбай из Ташсакинского узла.

Что касается Мангытского района, то при детальном изучении возможных к орошению земель от Джумуртау отмечено, что этот узел может поднять максимум 90 тыс. га, включая земли старого орошения по Черменъябу (площадь не указана на рис. 2, а дана только головная часть старого канала) и Шахмураду (дана только головная часть канала старого орошения, которое базируется на сбросных водах).

Общие перспективы устройства дорогостоящего узла сооружений на реке на 90 тыс. га орошения невыгодны. Поэтому в будущем может возникнуть вопрос о целесообразности питания всех земель из Ташсакинского узла, тем более, что по схематическому проекту это не дороже, чем питание от Джумуртау. Поэтому необходимы следующие условия.

1. Перевод питания Мангытского района при существующем орошении на Ташсакинский узел нерентабелен по экономическим соображениям, так как проще и легче на первое время установить расчистку механическими снарядами головы арыка Мангыт и тем самым получить требуемый результат.

2. Развитие орошения в Мангытско-Кипчакском районе возможно только после достаточно хорошего обследования и мелио-

рации земель, находящихся, по данным съемки 90-х годов, под озерами и болотами, вызванными разливами рек. Это, по-видимому, обусловливает устройство обвалования для защиты этих земель от паводковых вод и сильно удорожает и осложняет освоение этих земель. Поэтому по схеме, утвержденной Техническим советом Водохозяйственного комитета, Мангытско-Кипчакский район должен быть введен в орошение из Ташсаки в последнюю очередь, когда рост населения вызовет необходимость расширения площадей или возникнет необходимость в шлюзовании реки.

Земли старого орошения Черменъяб и Уаз намечено питать сбросными водами Южно-Хорезмской системы.

Таким образом, по всей дельте р. Амударьи останавливаемся на двух узлах: первом — для орошения древней дельты реки с питанием от Ташсаки до Менгелыкель и втором — у Тахиаташа для питания современной дельты.

Ташсакинский узел. Должен охватить командованием: 1) на правом берегу Шурахана 55 тыс. га современного орошения и 165 тыс. га земель древнего, или всего 220 тыс. га; 2) на левом — 450 тыс. га, которые могут включиться в орошение, согласно разрабатываемому проекту, в течение 15 лет.

В настоящее время точно охарактеризовать весь объем мелиоративных работ по Южному Хорезму нельзя, можно только наметить порядок включения в орошение земель и указать необходимые мероприятия для их выполнения.

Для увязки этого вопроса с работой Ташсакинской магистрали необходимо установить возможные изменения во времени основных коэффициентов (полезного действия и использования земель) и гидромодуля с тем, чтобы по ним выявить возможность включения земель в орошение.

Изменение коэффициента полезного действия системы. Потери воды при современном состоянии ирригации в Южном Хорезме составляют почти 60—66%. При постройке головного Ташсакинского сооружения и шлюзовании первых 41 км магистрали, что намечено к выполнению в первую очередь, можно надеяться на повышение коэффициента полезного действия системы примерно на 6—10% и тогда следует принять начальный КПД системы 0,40, соответствующий коэффициенту Голодностепской ирригационной системы.

Для уточнения теоретического КПД системы подсчитаны потери по главным элементам — сети, распределителям 1 и 2 порядка и магистральному каналу. Оказалось, что теоретический КПД $\simeq 0{,}60$.

Допуская возможность некоторого повышения КПД за счет кольматирования системы, улучшения водопользования, техники поливов и пр., его пределом считаем значение 0,65[9]. Оно не пре-

[9] При рассмотрении вопроса об изменении коэффициентов на заседании Технического совета 14 июня 1927 г. конечный КПД утвержден равным 0,60, а начальный — 0,40.

увеличено, так как, по данным ирригации других стран, КПД достигает 0,70 (Нижний Египет). Промежуточные значения КПД условно будем считать изменяющимися во времени по прямой (рис. 1).

При решении вопроса об орошении земель Южного Хорезма гидромодульная часть Средазводхоза составила ряд поливных кривых, причем почти во всех случаях при разных типах хозяйств посевы хлопчатника составили от 13 до 28%, наибольшая ордината получилась около 0,652 л/с/га. В перспективном плане Средазводхоза имеется несколько отличное значение ординаты гидромодуля 0,52 л/с, так как уже предусматривалось более резкое изменение условий орошения в Южном Хорезме.

Выявление перспективных типов хозяйств, по данным экономического бюро Упранада, показало, что процентный состав культур мало влияет на изменение максимальной ординаты гидромодуля при определенном стремлении к наиболее слабому укомплектованию поливного графика и для обеспечения на первое время орошением земель при сложившихся условиях землепользования.

Для получения оптимального гидромодуля, приняв начальный 0,652 л/с/га и перспективный 0,52 л/с, уменьшаем нормы полива на 25%, включая сюда как уменьшение предпосевных поливов, так и снижение норм. Это дает оптимальное значение гидромодуля, считая по перспективному 0,390 л/с/га[10].

Изменение гидромодуля по времени принято по прямой ввиду невыясненности вопроса о фактическом его характере (рис. 1).

Наметим мероприятия, которые смогут гарантировать возможность орошения 450 тыс. га при изменении гидромодуля и КПД по принятой схеме Моргуненкова.

Для орошения до 450 тыс. га очень важно регулирование подачи воды, шлюзование системы, жесткое водопользование, устройство сбросной и в случае необходимости дренажной сети при переходе системы на самотек. Сроки и порядок проведения этих работ наметить невозможно, так как в настоящий момент ведется основная работа по коренному переустройству питания Хорезмских каналов, которая решается довольно просто и не требует тех уточнений, необходимость которых возникает при полном переустройстве.

Общий период включения земель в орошение. В данное время можно только установить срок и порядок включения в орошение земель, учитывая полную площадь 450 тыс. га, из которой 8% относится на сбросные воды (около 33 тыс. га). По последним данным из указанных 450 тыс. га около 160 уже орошаются. Обарыченные примерно 68 тыс. га будут освоены, по-видимому, в первые годы устройства магистрального питания. При достаточном ко-

[10] На заседании технического совета Средазводхоза от 14 июня 1927 г. предложено уточнить конечный гидромодуль, связав его с разработкой перспективного хозяйства.

личестве рабочей силы и скота оставшиеся около 200 тыс. га пригодных для орошения земель можно освоить не более чем за 10 лет, считая по 20 тыс. га в год. В этом случае период включения всех земель можно считать не более 15 лет с момента первого пуска воды по Ташсакинской магистрали, что намечается на весну 1929 г. при условии правильного кредитования.

Имея оптимальный гидромодуль и КПД, легко подсчитать потребный расход для орошения всей площади, выражающийся в 250 м³/с.

Схема включения земель. Несомненно, целесообразнее вводить в орошение площади с таким расчетом, чтобы пропускная способность канала оставалась постоянной, а площадь увеличивалась за счет улучшения системы. Поэтому включаем начальную площадь при расходе 250 м³/с, считая по принятому гидромодулю и КПД системы, 154 тыс. га и строим кривую введения площадей в орошение за счет улучшения КПД системы потребления ею воды (рис. 1, *I*). По этой кривой намечается следующий порядок включения площадей по годам:

1) начальный: вводятся почти все обарыченные земли по 3 главным арыкам: Палван; Газават и Шахабад — 154 тыс. га (исключая 7 тыс. га). Питание арыков Ярмыш и Клычбай и Мангытского района идет местным способом на площади 51,5 тыс. га;

2) четвертый: вводится вся обарыченная площадь по 3 арыкам и переключаются на питание от магистрали арыки Ярмаш и Клычбай с существующей на них площадью; всего на питание от Ташсаки 202,5 тыс. га, Мангытский район на самостоятельном питании с учетом роста площадей по 1 тыс. га в период;

3) пятый: вся обарыченная площадь по 5 арыкам 212 тыс. га; Мангытский район на самостоятельном питании;

4) седьмой: вся обарыченная площадь по 5 арыкам и вся годная по 3 арыкам, всего 241 тыс. га; Мангытский район на самостоятельном питании;

5) девятый: вся обарыченная и годная площадь по 5 арыкам и около 1/3 годных после мелиорации земель по 3 арыкам; всего на магистрали земель 278 тыс. га.

На сбросные воды сносится 10 тыс. га по Уазу и Черменъябу. Мангытский район на самостоятельном питании;

6) одиннадцатый: Мангытский район включается в орошение от магистрали площадью 16 тыс. га, безусловно годных по 2 арыкам и 1/2 земель, требующих мелиорации по 3 арыкам, всего 317 тыс. га, кроме того, на сбросной воде орошаются 20 тыс. га;

7) тринадцатый: включаются все обарыченные и безусловно годные по всему району земли, годные после мелиорации по 3 арыкам и 1/3 годных после мелиорации по Ярмышу и Клычниязбаю; всего на питании на магистрали 360 тыс. га и на сбросных водах 27 тыс. га;

8) пятнадцатый: вводится в орошение вся площадь 417 тыс. га, а на сбросных водах 33 тыс. га (рис. 1, II).

Изменение коэффициента использования земель. Просматривая КИЗ, сначала относим освояемые земли к общей площади земель, безусловно годных к орошению и годных после некоторых мелиораций, и тогда получаем коэффициент использования для конечной площади

$$\Xi_к = \frac{450}{762,5} \cong 0,59;$$

относя ту же площадь к общей валовой в контуре, получаем коэффициент $\Xi'_к = \frac{450}{990} \cong 0,470$. Использование земель в начальный период незначительное $\Xi_н = \frac{205,5}{762,5} = 0,27$ и $\Xi'_н = \frac{205,5}{990} = 0,212$. Промежуточные его значения легко находятся по рис. 1.

Вычисленный КИЗ вполне допустим для системы, даже вновь строящейся, на 15 году, так как максимальное его значение можно было бы довести до 0,80.

Общая схема. После установления основных элементов: площади орошения, гидромодуля, КПД системы и расхода воды в магистрали можно точно охарактеризовать намеченные работы по Южному Хорезму.

Относительная молодость идеи оросительных работ в Хорезме (3—4 года, в то время как Голодностепская имеет около 50 лет), а в соответствии с этим некоторая неполнота данных изысканий, равно и финансовые соображения заставляют выдвигать лишь первоочередные работы.

1. Коренное переустройство питания существующих Южно-Хорезмских магистралей с таким расчетом, чтобы была возможность в любое время перейти на самотечное орошение от чигирного и аяко-чигирного.

2. Приобретение землечерпательного каравана для работ по расчистке фарватера реки перед головным сооружением Южно-Хорезмского канала и для удаления наносов из магистралей, если таковые будут отлагаться на первых ее километрах, что при современных знаниях закона перенесения наносов рекой и каналами и отсутствии достаточного количества наблюдений не может быть окончательно решено.

3. Устройство концевых сбросных каналов на существующих магистралях для облегчения очистки и возможной промывки хвостовых частей, которые страдают от заиления, а также предупреждения заболачивания.

4. Переустройство двух-трех небольших площадей с заменой чигирного и аяко-чигирного орошения на самотечное для выявления влияния самотечного орошения на возможное засоление и расходование воды, что даст возможность окончательно решить вопрос о замене чигирей. Отметим, что орошение в дельте р. Нила до сих пор частично оставлено чигирным в целях

предупреждения засолонения, так как, во-первых, глубокие чигирные каналы являются в то же время сбросными артериями и, во-вторых, механический подъем воды заставляет бережно относиться к воде.

Эти соображения приводят нас к довольно парадоксальному выводу о том, что для ирригации в равнинных районах и ложбинах с тяжелыми грунтами или грунтами, склонными к засолению, и при некотором навыке населения необходима лишь «сбросная сеть».

Ясно, что подача воды на поля в этом случае должна производиться механическим путем, посредством предоставления электрической энергии для подъема воды целым обществам или даже отдельным земледельцам. Очевидно, постройка и особенно содержание сбросной, а также и оросительной сети будет дороже, чем постройка одной глубокой сети с механической подачей воды.

5. Проведение мероприятий эксплуатационного порядка в целях улучшения системы до ее переустройства. После установки определенных вех для работ первой очереди по коренному переустройству питания Южно-Хорезмской ирригационной системы можно перейти к технической схеме, разработанной Упронадом.

У верхней саки арыка Палван строится головное сооружение на расход $Q \cong 250$ м/с для орошения 450 тыс. га. Магистраль на 41 км проходит по руслу арыка Палван, исключая головной участок 2 км, где канал идет целиной, затем перекопом 1,5 км она переходит в арык Газават, который покидает на 58 км и перекопом 7 км перебрасывается в арык Шахабад. По нему магистраль продолжается около 20 км и затем направляется в арык Ярмыш, из которого на 102 км последним перекопом в арык Клычбай, в который и впадает на 109 км. Конец магистрали намечен на 143 км. При включении арыка Мангыт в Ташсакинский узел от 109 км магистрали будет прорыт канал, питающий арык Мангыт, а из него воду перебросят к Кипчаку.

В связи с этим необходимо решить вопрос о сбросных сооружениях: первый катастрофический сброс намечен на 41 км в Амударью. Арыки Палван, Газават и Шахабад должны иметь концевые сбросы, объединенные озерным коллектором, проходящим по границе культурной полосы и подающим сбросные воды в Черменъяб, а магистраль и арыки Ярмыш и Клычбай направляют сбросные воды в Дарьялык (староречье). Главнейшая водосборная и сбросная сеть показаны на общей схеме орошения (рис. 2).

Таким образом, для выполнения этих работ необходимы следующие сооружения:

1) головное с судоходным шлюзом;

2) магистральный канал со сбросом от 41 км;

3) машинное орошение земель в головной части магистрали;
4) распределители второго порядка (мелкие) на первых 40 км магистрали;
5) выпуск в арык Палван на 40,6 км;
6) узел на 41 км с отверстием для сброса излишних вод и возможное использование энергии перепада на магистрали для постройки гидростанции мощностью 2700 HP;
7) выпуск в арык Газават на 58 км;
8) узел сооружений на 65 км с перепадом в горизонтах в 1 м при переходе в арык Шахабад, на 87 км при выделении воды для Ярмыша и Клычбая, на 102 км для раздела вод между Клычниязбаем и Ярмышем, на 109 км магистрали для питания Мангытского района и сопряжения горизонтов;
9) концевой узел на 143 км со сбросом в Дарьялык, на Газавате и Шахабаде, на Ярмыше и Палване (вопрос о постройке его окончательно не решен).

Ввиду необходимости пароходного сообщения до Новоургенча и сохранения каючного до Ташауза, как наиболее развитых пунктов оазиса, при постройке перегораживающих сооружений по магистрали и у головного сооружения намечено создание судоходных шлюзов за счет Комиссариата путей сообщения, исключая шлюз у головного сооружения, который необходим для пропуска землечерпательного каравана. Кроме того, по магистрали намечены к постройке мосты для сообщения лежащих по левому берегу центров с Амударьей, Новоургенчем и Ханками.

На ближайшее пятилетие предположено закончить магистраль со всеми относящимися к ней сооружениями только до 65 км, т. е. до включения в Шахабад около Новоургенча. Питание Ярмыша и Клычниязбая предусматривается временным, его можно легко осуществить через сбросной канал, идущий от 41 км магистрали.

Приобретение землечерпательных снарядов является насущной задачей текущего пятилетия, так как их работа гарантирует бесперебойную подачу воды в систему при всяких условиях. Кроме опытных самотечных участков, предусмотрены также работы по устройству концевых сбросов на Газавате и Шахабаде, которые легко направляются в Черменъяб и Даудан. Устройство же концевого сброса на Палване не предусматривается ввиду отсутствия удобного староречья для отвода сбросных вод, а устройство дорогостоящего участка озерного коллектора от Палвана до Газавата в первые же годы нецелесообразно.

Общая стоимость намеченных работ на пятилетие около 18,6 тыс. руб, включая судоходные устройства и мосты.

К разработке полной схемы переустройства Южно-Хорезмского района приступили, она выявит окончательные варианты сети, стоимость и порядок включения земель.

Переход на новую систему орошения

Для наиболее полного использования в районах поливного хлопководства орошаемых земель и улучшения механизации сельскохозяйственных работ в течение 3—4 лет (1950—1953 гг.) должен был быть осуществлен переход на новую систему орошения. В ее основу положено строительство временных оросительных каналов на поливном участке. Новая система орошения позволит более полно использовать поливные земли, сократить потери урожая от заминания посевов машинами на поворотах, повысить уровень механизации всех сельскохозяйственных и ирригационных работ на поливном участке, уменьшить потери воды на поле, улучшить мелиоративное состояние земель, снизить эксплуатационные расходы на содержание каналов вследствие механизации работ по их устройству, уменьшения работ по очистке их от наносов и растительности.

Новая система орошения должна была явиться той основной базой, которая даст возможность неограниченно совершенствовать на поливных землях сельскохозяйственное производство, требуя в то же время всестороннего улучшения технического состояния ирригационных систем и организации службы эксплуатации на системах. В связи с этим за короткий период необходимо осуществить основные работы по переустройству распределительной сети, преимущественно межколхозной, оснащению каналов всех порядков водомерными и другими гидротехническими сооружениями, а магистральных — головными отстойниками.

Кроме того, на засоленных землях с высоким уровнем стояния соленых грунтовых вод, где невозможно вести интенсивное хозяйство без мелиоративных мероприятий, необходимо создание дренажа того или иного типа в зависимости от местных условий— горизонтального (открытый или закрытый) и вертикального (глубокий или мелкий), используя дренажную воду, где это возможно, для орошения.

Таким образом, через несколько лет в результате перехода на новую систему орошения должен измениться облик колхозных и совхозных полей. Вместо мелких (1,5—3—10 га) в большинстве неправильной формы карт с тутовыми насаждениями по контуру и частью на самой карте, с извилистой беспорядочно наложенной на местности мелкой сетью появятся крупные с правильными геометрическими контурами поливные участки площадью до 20—40 га и более с минимальной протяженностью сети постоянных каналов-распределителей.

На научно-исследовательские институты ирригации возлагались следующие задачи: оказание практической помощи водному хозяйству и колхозам, особенно в первый год перехода на новую систему орошения; использование гигантского масштаба этих работ для детального их изучения с тем, чтобы быстро предупредить ошибки; пропаганда достижений колхозов; непрерыв-

ное совершенствование организации и техники производства работ и поливов.

Рассмотрим некоторые вопросы, касающиеся поливных участков.

Для различных условий рельефа необходимо установить рациональную схему временной оросительной сети с минимальной протяженностью временных оросительных каналов, позволяющую экономно расходовать воду на поливном участке, представляющую наибольшие удобства для механизации работ по устройству временных каналов и борозд, а также всех сельскохозяйственных работ.

Необходимо детально изучить организацию техники поливов на участках. Для различных условий рельефа, почв и планирования поливных участков следует установить оптимальные величины расхода поливной борозды, ее длину, степень увлажнения почвы вбок и вглубь по длине борозды, время полива. Для выводных борозд в зависимости от способа поливов установить при тех же условиях расход и длину борозды. Всесторонне исследовать вопросы, связанные с применением полива глубоких борозд.

Для равномерного увлажнения поля и повышения производительности рабочего важное значение имеет распределение воды по поливным бороздам из выводной борозды, а в последнюю из временного оросительного канала. Необходимо проверить на практике имеющиеся по этому вопросу предложения и выработать наиболее простую, дешевую транспортабельную конструкцию оголовка. Полив дождеванием до сих пор не получил в хлопковом хозяйстве должной оценки, поэтому следует широко поставить опытные работы по дождеванию на хлопковых полях в различных мелиоративных условиях.

Значение планировки поливных участков для борьбы с засолением, уменьшения поливных норм, времени полива, непроизводительных потерь воды, повышения качества поливов, ухода за сельскохозяйственными культурами и в результате значительного повышения их урожайности хорошо должно быть известно всем работникам водного и сельского хозяйства.

Планировочные работы с переходом на новую систему орошения приобретают массовый характер, поэтому необходимо изучить особенно тщательно работы первого года и установить простейшие способы проектирования, разбивки, производства работ различными машинами, состав планировочных бригад и нормы выработки. Необходим широкий опыт гидромеханизации планировочных работ, особенно на засоленных землях, в сочетании их с промывкой. Массовое применение новых механизмов для устройства временной сети потребует от научно-исследовательских институтов дальнейшего их совершенствования. Необходимо сконструировать механизм, позволяющий штамповать поперечное сечение временного оросительного канала, что можно легко

сделать на вспаханном грунте. Это даст резкое сокращение потерь воды во временной сети.

Производство всех видов сельскохозяйственных и ирригационных работ на укрупненном поливном участке при наличии открытых дрен невозможно. Поэтому важно применение горизонтального закрытого и вертикального глубинного или мелкого дренажа. Для этого необходимо наладить изготовление гончарных труб в районах, где придется применять закрытый дренаж. В частности, следует создать в Узбекистане на базе ангренских глин и углей завод по изготовлению гончарных труб. Наряду с этим изыскать способы постройки закрытых дрен с помощью имеющихся на месте материалов (песок и гравий, хворост, плитчатый камень и др.), иначе на укрупненном поливном участке останутся открытые дрены, отсюда невозможность перехода через них машин. Необходимо внедрить механизацию работ по устройству дрен. В Голодной степи крайне важно строительство глубокого и мелкого вертикального дренажа. Аналогичные работы следует проводить в низовьях Амударьи.

Для кардинального решения вопросов засоления и заболачивания необходимо одновременно проводить мероприятия, касающиеся всех сторон орошаемого хозяйства. Среди них различные дренажные устройства, за небольшим исключением, имеют вспомогательные значения, как ускоряющие процессы борьбы с засолением. Для районов, неблагополучных по засолению (Хорезм, Каракалпакия, Бухара, Голодная степь), следует рекомендовать введение более скороспелых сортов хлопчатника и применение режима орошения, позволяющего увеличить продолжительность периода закрытия систем на 4—5 мес.

Новая система орошения требует планомерного переустройства распределительной сети (межколхозной в первую очередь) и оборудования колхозных отводов водомерными сооружениями, на которых должны быть установлены счетчики для учета стока воды и указатели расхода. Это особенно важно, когда с колхозов взимается оплата за воду. На распределительных каналах всех порядков необходимо принять меры по уменьшению потерь на фильтрацию — вспахивание поверхности канала и последующее ее трамбование или трамбование поверхности нового канала. Химические способы уплотнения и закрепления грунтов должны быть также испытаны и в производственных условиях. Необходимы специальные машины для обработки поверхности каналов разных размеров. Проект такой машины разработан САНИИРИ. Эксплуатация нуждается в машине по очистке каналов от растительности, особенно коллекторов.

При новой системе орошения потребуются систематические работы по оснащению оросительных систем гидротехническими сооружениями, что обеспечит надежность эксплуатации и правильное распределение воды между каналами. Научно-исследовательские институты должны систематически обследовать по-

стоянные гидротехнические сооружения разных типов, непрерывно совершенствовать типы сооружений, упрощать конструкции, удешевлять их стоимость. Необходимо разработать сборные конструкции для мелких сооружений, ввести в практику изготовление сборных элементов сооружений из центробежного бетона на специальных передвижных заводах. Типовой проект такого завода разработан САНИИРИ.

Новая система орошения потребует улучшения головного питания ирригационных систем и устройства отстойников для борьбы с наносами на реке и внутри системы. В зависимости от местных условий эти отстойники могут быть с гидравлической промывкой отложившихся наносов и с механической их очисткой. Все эти сооружения являются весьма ответственными и требуют больших единовременных затрат на их устройство.

Научно-исследовательскими институтами внесено много предложений по улучшению головного питания и по вопросам борьбы с наносами, но внедрено в практику мало и впереди еще сложная и кропотливая работа. Кроме того, необходимо дальнейшее совершенствование конструкций различных регулировочных сооружений: направляющих систем Потапова, дамб, шпор, тюфяков, сквозных дамб и т. д., а также механизации производства ремонтно-регулировочных работ.

Новая система орошения помимо повышения водообеспеченности ирригационных систем за счет более рационального использования воды на самой системе и уменьшения потерь потребует неослабной работы по повышению водообеспеченности за счет дальнейшего регулирования стока путем устройства водохранилищ. Это связано со строительством крупных гидротехнических сооружений — плотин (земляных и каменной наброски, бетонных), гидростанций, водосбросов, тоннелей и т. д.

При новой системе орошения обязанности районных органов водного хозяйства будут четко сформулированы, сфера деятельности райводхозов, МТС, райхлопотделов в колхозе разграничена. Необходимо учесть большой организационный опыт, который получен в процессе перехода на новую систему орошения, разработать новую организацию службы эксплуатации на ирригационной системе и перейти на нее по мере подготовки соответствующих кадров.

В вопросах устройства временной сети и производства планировочных работ необходим тесный контакт институтов с МТС в вопросах переустройства распределительной сети, оснащения каналов водомерами, изучения мероприятий для борьбы с потерями на каналах, определения КПД систем — с облводхозами, строительно-монтажными конторами и машинно-экскаваторными станциями. На крупных строительствах институты обязательно должны иметь опорные пункты. Институтам необходимо оказать существенную помощь в получении различного оборудования,

аппаратуры, автомашин и усилить штаты с учетом возросших требований со стороны водного хозяйства.

Одним из существенных недостатков в работе институтов (САНИИРИ и др.) является крайняя ограниченность и некомплексность практической реализации достижений науки и практики в производстве. Опытно-мелиоративные станции не в состоянии устранить этот недостаток.

В целях широкой производственной проверки, показа и внедрения предложений САНИИРИ, достижений других институтов, совхозов, колхозов и водных организаций необходимо в каждой республике в течение 3—4 лет превратить по одной оросительной системе в образцовую как в отношении состояния колхозной ирригации, технического состояния системы в целом, организации службы эксплуатации и ее оснащенности механизмами и современной аппаратурой, так и в отношении освоения травопольных севооборотов, высокой агротехники и показателей по другим отраслям сельского хозяйства. Кроме того, на этих системах должны быть построены новые образцовые колхозные поселки, электрифицированные и обеспеченные водоснабжением, автомобильные дороги с образцовой постановкой эксплуатации и т. д.

Такие системы должны явиться отправной базой для дальнейшего всестороннего совершенствования оросительной системы. Здесь должен получить апробацию эффект от комплексного внедрения ряда мероприятий, отсюда должны широко распространяться на другие системы все новшества, весь научно обоснованный и проверенный в производстве опыт.

Руководство работами по созданию образцовых систем должно быть возложено в каждой республике на научно-исследовательский институт. В Узбекской ССР таким объектом может служить Дальверзинская оросительная система, обеспечивающая водой около 30 тыс. га. Эта система имеет 3 совхоза и 17 колхозов, часть площадей в мелиоративном отношении неблагополучна и требует дренажа, орошение будет развиваться за счет освоения перелогов, а также нового самотечного и машинного орошения. Система находится в неудовлетворительном состоянии, поэтому превращение ее в течение 3—4 лет в образцовую потребует серьезной работы. В результате будет достигнут значительный рост урожайности хлопчатника, возможно уменьшение головного водозабора с 30 до 20—25 $м^3/с$, резкое улучшение мелиоративного состояния земель и т. д.

САНИИРИ должно быть поручено составление проекта и общее руководство всеми работами по переустройству Дальверзинской системы. К составлению проекта необходимо привлечь также СоюзНИХИ, Сельхозпроект, Сельэлектро, Узшосдор и др. Выполнение всех ирригационных работ должно быть возложено на Министерство водного хозяйства Узбекской ССР в обычном

порядке, выполнение других видов работ — на специализированные организации.

Общая схема переустройства Дальверзинской ирригационной системы и мероприятия по осуществлению этого переустройства должны быть рассмотрены и утверждены Советом Министров Узбекской ССР и Министерством хлопководства СССР.

Современное состояние водного хозяйства Средней Азии и задачи повышения водообеспеченности оросительных систем

Природные богатства Средней Азии практически неисчерпаемы, за исключением воды, ресурсы которой весьма ограниченны. В воде нуждаются все отрасли народного хозяйства, но основной потребитель ее (до 80—90%) орошаемое земледелие.

За годы Советской власти площадь орошаемых земель в Средней Азии и Южном Казахстане увеличилась с 2 до 5,5 млн. га, т. е. почти в 2,8 раза, площадь земель, занятых хлопчатником, — с 540 тыс. га до 2,6 млн. га, или примерно в 5 раз, урожай хлопка-сырца повысился с 11—14 до 25—30 ц/га, валовой сбор хлопка — с 1,13 до 7,8 млн. т, т. е. почти в 8 раз. Значительный рост площади орошаемых земель, повышение урожайности хлопчатника, а также возделывание новых высококачественных сортов с более продолжительным вегетационным периодом потребовали изъятия значительных объемов воды из рек.

После майского (1966 г.) Пленума ЦК КПСС широко развернулись работы по орошению и освоению новых земель (Голодная и Каршинская степи, Яванская долина, зона Каракумского канала, низовья рек Амударьи и Сырдарьи и др.), регулированию стока рек водохранилищами (Нурекское на р. Вахш, Туямуюнское на Амударье, Токтогульское на р. Нарын, Андижанское на р. Карадарье, Кировское на Таласе и др.), борьбе с потерями воды из каналов, строительству горизонтального и вертикального дренажа, водозаборных плотин на реках, крупных насосных станций (Каршинский каскад на Амубухарском канале, в Голодной степи, Яване и т. д.).

В «Основных направлениях развития народного хозяйства СССР на 1976—1980 гг.» предусмотрено дополнительно оросить и обводнить в Средней Азии и Южном Казахстане соответственно 1052 тыс. и 30,9 млн. га, из них в Узбекистане — 462 тыс. га и 1,5 млн. га, в Южном Казахстане — 410 и 24,8, в Киргизии — 35 и 0,5, Таджикистане — 60 и 0,1 и в Туркмении — 85 и 5. Население этой зоны к 1970 г. достигло 23,1 млн. чел.

Каково положение с водными ресурсами региона и их использованием. Ресурсы поверхностных вод в бассейне Амударьи и Сырдарьи по среднему многолетнему стоку оцениваются в 127,5 км^3:

	Годовой сток		Расход
	км³	%	м³/с
Бассейн Сырдарьи	37,2	30	1177
в т. ч. Сырдарья*	33,8	—	1068
Бассейн Амударьи	79,5	62	2516
в т. ч. Амударья**	68,1	—	2160
Бассейны бессточных рек Киргизии и Южного Казахстана	10,2	8	321
в т. ч. р. Чу, Талас, Асса	5,8	—	183

* Без р. Арысь-Туркестанского района и других мелких источников (3,4 км³).

** Без р. Кашкадарьи, Зарафшана, Мургаба, Теджена, Атрека, Копетдага и Северного Афганистана.

Сток Сырдарьи в многоводные годы достигает 45,4 км³, в маловодные уменьшается до 22,5 км³. До 76% стока выше Кайраккумского водохранилища и до 60% ниже его отмечено с апреля по сентябрь. Основной сток Амударьи с мая по август составляет около 60% годового. В маловодные годы сток уменьшается до 49 км³, а в многоводные повышается до 98 км³.

Ресурсы подземных вод, использование которых возможно без ущерба для речного стока на перспективу, оцениваются Мингео СССР 15,7 км³/год, в том числе в бассейне Амударьи — 7,65, Сырдарьи — 7,5 и других рек — 0,55. В основном подземные воды (85—90%) формируются в орошаемых районах за счет потерь воды из русл рек, каналов и с полей. Оценка подземных вод довольно приближенная, поскольку произведена путем распространения данных по Узбекистану, где они изучены лучше. Эти воды главным образом используются для водоснабжения, обводнения и оазисного орошения в Кызылкумах и Каракумах.

Объем возвратных вод в настоящее время составляет от объема забираемой из рек воды: для бассейна Амударьи — 30÷35%, Сырдарьи — 36÷38, бессточных бассейнов 15÷20 (максимальные значения относятся к перспективе). Не весь объем возвратных вод может использоваться, поскольку часть их не возвращается в реки в связи с природными условиями (зоны Каракумского канала, Арнасая), часть сбрасывается за пределы оазисов и в крупные понижения (Сарыкамышская впадина, Денгизкуль и др.). В таких крупных горных долинах, как Ферганская, долины Зарафшана, Вахша и других возвратные и сбросные воды, возвращаясь в реку, как правило, значительно повышают минерализацию речной воды. Так, минерализация воды в Сырдарье в пределах Ферганской долины повышается с 0,4 до 2,3 г/л. Ниже по течению благодаря разбавлению воды в водохранилищах она понижается, а ниже Чардары увеличивается с 0,75 до 1,5—2,5 г/л в межень. Поэтому только какая-то часть возвратных вод, попадающих в русло реки, вторично используется на орошение, причем в бассейне Сырдарьи — большая, Амударьи — меньшая. Следует отметить, что возвратные воды изучены недостаточно

и поэтому необходимо проведение широких исследований для установления их объема, качества и режима. Таким образом, основным источником воды для орошения земель региона остаются реки.

Забор воды на орошение в 1970 г. составил 71,5% стока Амударьи и Сырдарьи, в 1971 г. — 83, в 1972 г. — 88,4, 1973 г. — 71%. Маловодные 1974 и 1975 гг. особенно отразились на орошаемом земледелии в бассейне Сырдарьи, сток которой был меньше среднемноголетнего на 35%, а за вегетационный период — почти на 50% (водопотребление в 1,75—1,85 раза превышало сток реки).

Для покрытия дефицита воды использовались запасы водохранилищ (около 4 км³ в 1974 г. и 1,1 в 1975 г.), вода из коллекторов (1,7—1,4 км³ по Узбекистану) и скважин вертикального дренажа (до 0,08 км³ по Узбекистану). Были запрещены или ограничены посевы риса, уменьшены или прекращены поливы сельскохозяйственных культур, кроме хлопчатника. Промывка земель проводилась неполностью. Благодаря принятым мерам посевы хлопчатника получили воду в большинстве случаев в объеме, близком к норме.

Необходимо отметить, что в то время как водозабор на орошение в бассейне Сырдарьи практически достиг среднемноголетнего стока реки, крупные водохранилища многолетнего регулирования (Токтогульское с полезным объемом 14 км³, Андижанское — 1,6), которые в совокупности с действующими (Кайраккумское, Чардаринское и др.) позволили бы в маловодные годы (75 и 90% обеспеченности) поддерживать необходимую водообеспеченность оросительных систем, еще не вступили в действие. На самих системах необходимо выполнить огромные объемы работ по переустройству межхозяйственной и внутрихозяйственной сети, провести ряд других мероприятий по повышению водообеспеченности.

Маловодье затрудняет решение проблемы. Даже первоначальное наполнение Токтогульского водохранилища осложняется из-за отсутствия свободной воды в Нарыне. При определенных гидротехнических условиях это водохранилище можно заполнить за 4—5 лет. Однако не исключена возможность увеличения срока заполнения до 10 лет и более, если не форсировать наполнение за счет некоторого ущемления водопотребителей (снижение нормы на 10—15%).

Орошаемое земледелие в бассейне Амударьи находится в более благоприятных условиях. Критический период здесь весна, когда не хватает воды для промывки земель. В тяжелых условиях находятся орошаемые земли в нижнем течении Амударьи, особенно ниже Тахиаташа, поскольку вода в значительном объеме разбирается в верхнем течении реки.

Водопотребление на орошение, рыбное хозяйство, водоснабжение в бассейне Амударьи за последнее пятилетие достигло 56—60 км³ (только на орошение 2—2,36 млн. га расходуется 48—50 км³), т. е. практически приблизилось к объему среднемноголет-

него стока реки. Объем воды, забираемой из реки, увеличивается с ростом площади орошаемых земель быстрее, чем осуществляются предусматриваемые планами мероприятия по регулированию стока, водораспределению на реке, рациональному и экономному расходованию воды. Поэтому относительное благополучие с водой в среднем и нижнем течении Амударьи наступит только с вводом в действие двух крупных водохранилищ — Нурекского с 1976 г. и Туямуюнского с 1980 г., а также наливных водохранилищ на Каршинском и Каракумском каналах.

Дальнейшее расширение орошаемых земель в бассейне Сырдарьи и Амударьи необходимо планировать в зависимости от выполнения мероприятий, гарантирующих водоотдачу источников и снижение водопотребления (брутто). Прирост орошаемых земель в пределах действующих систем необходимо планировать исходя из объема воды, высвобождаемой на системах в результате их совершенствования.

Необходимо учитывать, что в Афганистане и Иране развивается орошаемое земледелие. По р. Теджену в Туркмению попадают только случайные пики паводков. Афганистан располагает большим земельным фондом, и на каком-то этапе водозабор из Амударьи для орошения лучших земель (около 600 тыс. га) здесь составит 9—10 км³. Эти потери частично можно компенсировать за счет многолетнего регулирования р. Пянджа (путем строительства Даштиджумской плотины с ГЭС мощностью 4 млн. кВт и водохранилища полезным объемом 10,2 км³ и полным 17,5 км³).

Вполне понятно, что положение с водой в Средней Азии с каждым годом становится все более и более напряженным, а темпы осуществления мероприятий, которые должны были опережать и сопровождать развитие орошаемого земледелия, значительно отстают от темпов его роста.

В схемах использования водных ресурсов в бассейне Сырдарьи и Амударьи, разработанных институтами Средазгипроводхлопок и САОГидропроект, показано, что максимальная площадь земель, которые можно оросить водой из этих рек при условии выполнения намеченных мероприятий, составляет соответственно 3,7 и 5,2 млн. га, из которых более 5,5 уже орошается.

Исходя из намеченного объема производства основного промышленного сырья — хлопка — и других сельскохозяйственных культур в бассейне Аральского моря площадь орошаемых земель потребуется значительно увеличить. В связи с этим сильно возрастет водозабор на орошение в целом по бассейну Арала. Следовательно, существенно увеличится и дефицит воды. Сток рек будет почти полностью разобран на орошение, и в дальнейшем темпы прироста орошаемых земель резко сократятся.

Судьба Аральского моря тесно связана с развитием орошения в его бассейне. Уровень моря постоянно падает: с 1966 г. более чем на 3 м, береговая линия в дельте Амударьи местами отошла на 30—40 км, соленость моря с 9,8 повысилась до 13.2%, резко

сократился улов рыбы. Очевиден разрыв во времени между полным использованием водных ресурсов бассейна Аральского моря и приходом воды сибирских рек, поэтому сегодня надо думать о сохранении в дальнейшем «малого Арала».

В «Основных направлениях развития народного хозяйства СССР на 1976—1980 годы» намечено «...провести научные исследования и осуществить на этой основе проектные проработки, связанные с проблемой переброски части стока северных и сибирских рек в Среднюю Азию, Казахстан и бассейн Волги». Переброска части стока рек бассейна р. Оби в объеме до 50 км^3 (I очередь) в Среднюю Азию по водному тракту протяженностью около 2,5 тыс. км является грандиозной по замыслу, технически сложной задачей. Выполнение основного объема работ следует ожидать не ранее 1995—2000 г. До этого периода Средняя Азия и Южный Казахстан будут иметь в распоряжении только собственные водные ресурсы. Поэтому крайне необходимо ускорить в этой зоне осуществление мероприятий, от которых зависят водообеспеченность оросительных систем, рациональное и экономное использование воды.

На XXV съезде КПСС отмечалось: «Рациональное использование такого ценнейшего природного ресурса, каким является вода, — крупнейшая экономическая проблема. Наша страна богата водными ресурсами, но распределены они по территории крайне неравномерно. Потребности в воде растут очень быстро, а осуществление проектов по межрайонной переброске вод требует не только значительных капиталовложений, но и длительного времени. Поэтому мероприятиям по экономическому расходованию воды следует уделять больше внимания. Крупные резервы экономии водных ресурсов имеются в сельском хозяйстве, где особенно много воды идет на нужды ирригации. Эти резервы необходимо использовать»[9].

Что же надо делать для того, чтобы обеспечить рациональное и экономное расходование воды на орошение, повысить водообеспеченность существующих систем, одновременно развивая орошение новых массивов в период до прихода сибирской воды?

Рассмотрим некоторые основные мероприятия, способствующие повышению водообеспеченности оросительных систем.

Переустройство старых оросительных систем. Недостатками многих старых систем являются избыточная удельная протяженность оросительной сети, проложенной преимущественно в земляном русле (86%), низкий КПД (не превышающий 0,5—0,6), неустойчивое из-за недостаточно развитой дренажной сети мелиоративное состояние земель, требующих ежегодных промывок, большое число выделов в хозяйства и неполная их оснащенность водомерными устройствами, в результате чего водораспределение на межхозяйственной и внутрихозяйственной сети осуществля-

[9] Материалы XXV съезда КПСС. М., 1978, с. 143

ется без достаточной точности. До сих пор в ряде хозяйств сохраняется неправильная конфигурация межхозяйственных границ и полей. Имеющиеся на полях различные препятствия (например, тутовые деревья) затрудняют механизацию сельскохозяйственных работ и полив. Уменьшение всех видов потерь воды на пути от водозабора до поля может повысить оросительную способность каждого кубометра воды в 1,3—1,4 раза (при увеличении КПД с 0,5—0,55 до 0,70).

Переустройство оросительных систем — сложный, длительный и непрерывный процесс, но его необходимо начать и с каждым годом ускорять. В первую очередь следует исключить все лишние каналы, сохранившиеся до сих пор на системах и в хозяйствах, свести до минимума число отводов в хозяйства из магистральных и межхозяйственных каналов. Все это необходимо проводить с учетом плана землеустройства каждого хозяйства и проектов переустройства межхозяйственных каналов. Уровень сельскохозяйственного производства не должен снижаться.

Работы по переустройству необходимо вести планомерно и следить на каждой оросительной системе и в каждом хозяйстве за динамикой водозабора и водопотребления, КПД и удельных показателей по внутрихозяйственной и межхозяйственной сети (оросительной и дренажной), а также за динамикой затрат. В соответствии с этим следует строить отчетность (годовую, пятилетнюю).

Наиболее нуждаются в переустройстве оросительные системы и хозяйства в Ферганской долине, низовьях Сырдарьи, на юго-западе Узбекистана, в среднем и нижнем течении Амударьи (от Туямуюна), зоне орошения Каракумского канала, Мургабском оазисе и др.

Проекты на все работы должны составляться на местах проектными институтами минводхозов, минсельхозов, проектными группами областных УОСов (которые должны быть для этого усилены) совместно с областными отделами землеустройства.

Переустройство межхозяйственной и внутрихозяйственной сети должно выполняться организациями областного УОСа под его руководством с привлечением строительных организаций минсельхозов. Мероприятия, проводимые минводхозами по переводу эксплуатации на промышленную основу, позволили успешно выполнять разные работы в хозяйствах.

Особый вопрос совершенствования оросительных систем — это техника полива. Даже на самых передовых технических системах он не решен и вызывает дискуссии.

В проекте первой очереди орошения Каршинской степи приняты способ полива по бороздам и технологические схемы оросительной сети, что и в Голодной степи. Участковые каналы представлены в виде железобетонных лотков на опорах (75% площади), временная сеть — расположенные перпендикулярно к ним гибкие шланги длиной 400 м.

Практика применения такой продольной схемы полива в Голодной степи на большой площади показала, что она имеет существенные недостатки, главные из них малая пропускная способность гибких шлангов, высокая стоимость и большие амортизационные отчисления, сложность решения задачи механизации ее перемещения и недостаточно надежное регулирование выпуска воды в борозды. Известные трудности создает расположение лотков на высоких опорах, которые должны обеспечить напор в сети, равный примерно 1,2 м.

В результате поиска и последующих испытаний значительное распространение, приблизительно на 50% орошаемой площади, получила поперечная схема, предусматривающая расположение борозд перпендикулярно к лоткам, а подачу воды в них — через короткие гибкие шланги, идущие параллельно лоткам. Для Голодной степи эту схему предложил С. Кривовяз, проверив ее на практике в 1962 г. с П. Коротковым и Г. Павловым.

В Голодной степи много лет изучают и проходят производственные испытания другие способы орошения — дождевание и внутрипочвенный полив. Полученные данные исследований и широкого применения новой техники полива следует проанализировать и использовать положительные результаты при проектировании оросительных систем на других объектах.

В связи с пестротой природных условий Каршинской степи по величине уклона поверхности, типу рельефа, мощности мелкоземистого покрова, характеру почв, степени затрудненности оттока грунтовых вод и интенсивности процесса соленакопления С. М. Кривовяз предложил следующие технологические схемы для полива по бороздам: первая — поперечная, вторая — продольная и третья — предусматривающая наполнение горизонтально спланированных чеков по глубоким бороздам в сочетании с затоплением в невегетационный период. Кроме того, одна технологическая схема дана для полива дождеванием машиной «Фрегат».

Применительно к этим схемам С. Кривовязом выполнено районирование территории Каршинской степи в контуре, охваченном проектом первой очереди орошения. Он полностью отказывается от устройства участковых каналов на опорах, больше использует закрытую сеть, стремится значительно сократить удельную длину нестационарной (передвижной) оросительной сети и предлагает вместо гибких шлангов жесткие быстросборные трубопроводы, перемещаемые на тракторных тележках, оборудованных кранами. Технические решения, заложенные в указанных предложениях, направлены на снижение потерь поливной воды, сокращение затрат труда и повышение качества полива.

Для уменьшения потерь воды предлагается на землях с достаточными уклонами пропускать сбросную воду по бороздам с верхних частей поля под жесткими трубопроводами и использовать ее ниже по уклону. На землях с малыми уклонами при

поливе по длинным бороздам (400—500 м) следует производить сбор и последующий возврат этой воды в оросительную сеть с помощью сооружений, включающих автоматически работающие насосные станции.

Осуществление этого предложения связано с некоторым усложнением работы оросительной системы и дополнительными затратами. Но необходимо учитывать, что таким образом существенно повышается эффективность использования поливной воды, исключается затопление нижних частей поливных участков, дорог и прилегающих земель. Подобные явления особенно заметны на землях с малыми уклонами. Кроме того, претворение в жизнь этих предложений позволит значительно сократить затраты труда, упростить проведение полива и решение задачи его автоматизации, так как отпадает надобность регулирования размера струи, подаваемой в борозды при поливе. Будет решена и такая важная задача, как улучшение равномерности увлажнения почвы по длине борозды.

Задача уменьшения затрат труда при поливе решается путем увеличения струи до 150 л/с и более, которой должен управлять один поливальщик. В целях создания такой возможности предусматриваются улучшение конструкции и увеличение пропускной способности участковой и передвижной (нестационарной) оросительной сети, механизация работ по перемещению последней, оборудование для измерения расходов и напоров с использованием автоматических регуляторов. Осуществление этих мероприятий планируется с учетом правильной организации внутрихозяйственного водопользования.

Представляет интерес предложение выпускать воду в борозды с помощью автоматически включающихся или выключающихся переносных перемычек, устанавливаемых в бетонированных каналах (поперечная схема). Такая техника может найти применение в первую очередь на системах с повторным использованием сбросной воды, так как регулирование величины струи, подаваемой в борозды, исключается.

Изучение работы новых дождевальных машин в Средней Азии находится в начальной стадии и пока еще не получены окончательные результаты. Серьезные исследования проведены Н. Т. Лактаевым, ГСКБ по ирригации, НИСТО САНИИРИ. Ясно, что поверхностный полив еще длительное время будет являться наиболее распространенным способом и всесторонняя его механизация позволит резко сократить непроизводительные потери воды и снизить затраты труда на поливе.

Дренаж. На большей части орошаемых земель дренажная сеть представлена открытыми каналами и коллекторами, зарастающими камышом, заиляющимися и требующими ежегодной очистки. Густота полевых дрен недостаточна, не более 10—12 м/га при глубине 1,5—2 м. Исключение составляют новые оросительные системы в Голодной и Каршинской степи, в Яванской долине,

где впервые широко применили закрытый горизонтальный и вертикальный дренаж.

Большая часть земель в Средней Азии в той или иной степени подвержена засолению, поэтому создание благоприятных условий для выращивания хлопчатника, люцерны и других культур требует выполнения промывок. На орошаемых землях в низовьях Амударьи (Хорезм, Ташауз, Каракалпакия) сложился невыгодный мелиоративный режим, при котором более 30—40% объема водопотребления (нетто) расходуется на борьбу с засолением. Ежегодно на промывку земель затрачивается воды 4—6 и даже 9 тыс. м³/га. Отсюда и большие объемы воды, забираемые из реки, которые достигают 30 тыс. м³/га (12—15 км³/год). Благоприятный мелиоративный режим на этих землях может быть достигнут только после строительства глубокого закрытого горизонтального или вертикального дренажа. Это позволит значительно снизить затраты воды на промывку и в сочетании с переустройством сети уменьшить водозабор (брутто) из источника до 13—17 тыс. м³/га.

Большая работа предстоит по устройству закрытого дренажа на староорошаемых землях на площади около 2,5 млн. га с доведением густоты горизонтальных дрен глубиной 3 м до 20—60 и даже 100 м/га и числа дренажных трубчатых колодцев до 1—3 на 1 км². Небольшие коллекторы с расходом до 3 м³/с следует заменить трубчатыми. Строительные организации располагают необходимой техникой для строительства закрытых коллекторов, трубчатых колодцев и закрытых дрен. Так, создан дреноукладчик БДМ-300, позволяющий без отрыва траншеи закладывать на глубину 3 м дренаж из гофрированных полиэтиленовых труб диаметром 125 мм с песчаным фильтром. С помощью дреноукладчика БДМ-300 за смену можно укладывать до 3 км дрен с песчаным фильтром 250×250 мм и до 5 км — с капроновым.

Необходимо организовать тщательный учет коллекторных и дренажных вод, отводимых за пределы орошаемых массивов, исследовать их режим, оценить общий сток, степень минерализации воды и состав солей, установить возможность использования для орошения этих вод непосредственно, либо в смеси с пресными водами рек, допустимость и время возврата коллекторных вод в реки, объемы водохранилищ для сезонного регулирования отводимых с системы дренажных вод или для их накопления в случае, если сброс в источник недопустим. Коллекторные воды с орошаемых массивов в нижнем течении Амударьи (ниже Туямуюна) и Сырдарьи (ниже Кзыл-Орды) должны отводиться только в Аральское море. Годовой сток таких вод уже сегодня может составить, по-видимому, не менее 3,5—4 км³.

Регулирование стока рек. Общий полезный объем эксплуатируемых водохранилищ в бассейнах Амударьи, Сырдарьи и Чу

в настоящее время составляет соответственно 3,5; 8,34 и 1 км³, а с учетом строящихся к 1975—1980 гг. достигнет около 22,2; 26,32 и 1,3 км³. Проработки, выполненные в схемах комплексного использования водных ресурсов Амударьи и Сырдарьи, показывают, что необходимо осуществить не только сезонное, но и многолетнее регулирование стока обеих рек. Для этого полезный объем водохранилищ должен быть доведен до 28 км³ в бассейне Сырдарьи и до 24—31 км³ — Амударьи. Из этого объема 7 км³ должны быть размещены в магистральных каналах.

Начальное наполнение водохранилищ при развитом в бассейнах орошаемом земледелии весьма затруднительно, особенно в годы, по водности близкие к средним, и может быть длительным.

В данном регионе необходимо построить и ввести в действие следующие объекты.

В бассейне Сырдарьи: Андижанское водохранилище (строится) на р. Карадарье объемом 1,75 км³, ГЭС мощностью 100 тыс. кВт и Кампырраватский канал для подачи воды в верхнюю часть Исфайрам-Шахимарданской системы (проект); Дайваронское на р. Сох объемом 0,5 км³ (проект); Папанское на р. Акбура объемом 0,2 км³ (проект); Исфайрамское водохранилище на р. Исфайрамсае; Ахангаранское водохранилище на р. Ангрене объемом 0,33 км³, увеличить объем Касансайского водохранилища с 165 до 500 млн. м³, для чего необходимо построить горный канал и перебросить по нему часть стока р. Карасу и Падшаатсая.

В бассейне Амударьи: Нурекское водохранилище на Вахше объемом 10,5 км³ и ГЭС мощностью 2,7 млн. кВт (строится); Рагунское на Вахше объемом 11,8 км³ и ГЭС мощностью 3,2 млн. кВт (строится); Нижнекафирниганское объемом 1,5 км³ на р. Кафирнигане (проект); Зеидское (наливное) в голове Каракумского канала объемом 3,5 км³ (проект); Талимарджанское (наливное) в голове рабочей части Каршинского машинного канала объемом 1,2 км³ (строится); Туямуюнское объемом 7,3 км³, часть объема в двух наливных водохранилищах (строится); Гигаракское на Аксу (верховье Кашкадарьи) объемом 0,2 км³; Ават-ходжинское на Зарафшане объемом 1 км³ (необходимо составить проект и построить в следующей пятилетке); Сарыязинское на Мургабе (Туркменская ССР) объемом 1,2 км³; на Каракумском канале — увеличить объем Хаузханского водохранилища с 0,80 до 1,5 км³, применить здесь обвалование во избежание образования мелководий; завершить строительство Копетдагского водохранилища объемом 0,5 км³.

В бассейне р. Таласа необходимо в десятой пятилетке завершить строительство Кировского водохранилища полезным объемом около 250 млн. м³ для развития орошения на территории Киргизии и Казахстана; в бассейне р. Чу продолжать работы по регулированию стока рек, стекающих с Киргизского хребта, а также рассмотреть вопрос о регулировании стока р. Б. Кемина и строн-

тельства Нижнеаларчинского водохранилища на р. Чу.

Сарезское озеро, образовавшееся в 1911 г. в ущелье р. Мургаб вследствие обрушения правобережного склона (объем завала 2,3 км³, глубина у завала 500 м, объем 18—20 км³), можно использовать как аварийный резерв в объеме 3—4 км³, сбрасывая этот объем для орошения только в маловодные годы расходом не менее 500—600 м³/с.

Внутрисистемные переброски стока. Сегодня уже действуют каналы, по которым осуществляются межбассейновые переброски стока, среди них Большой Ферганский им. У. Юсупова (расход 250 м³/с, длина 300 км), Южно-Ферганский им. Андреева (65 м³/с, 100 км), Северный Ферганский им. Микояна (105 м³/с, 160 км), Большой Наманганский (50 м³/с, 120 км), Гиссарский (50 м³/с, 60 км), Эскиангор (50 м³/с, 200 км), Амубухарский I и II очереди (140 м³/с, 100 м³/с, 200 км), Каршинский (200 м³/с, 90 км), Каракумский канал им. В. И. Ленина (400 м³/с, 850 км). Протяженность Каракумского канала по окончании строительства достигнет почти 1,5 тыс. км с головным расходом около 1400 м³/с. В настоящее время канал эксплуатируется на длине 850 км с головным расходом 350—400 м³/с.

В связи с развитием орошения в бассейне оз. Иссыккуль и уменьшением стока в озеро его уровень снижается. При уточнении схемы необходимо предусмотреть переброску части стока р. Нарына в оз. Иссыккуль. Как первоочередное временное мероприятие по стабилизации его уровня намечено осуществить переброску стока р. Каркары, кроме того, части стока р. Нарына в бассейн р. Чу, части стока р. Кзылсу (верховье Вахша) в р. Исфайрам и стока р. Зарафшана в Уратюбинский и Ганчинский районы Ленинабадской области Таджикской ССР для орошения 100 тыс. га.

Очевидно, в десятой пятилетке следует исследовать возможность этих переброс ок, составить проекты и установить сроки выполнения работ.

Водозаборные плотины. Правильное распределение воды между потребителями, расположенными вдоль рек, всегда важно для органов эксплуатации, а в настоящее время стало чрезвычайно трудным из-за ограниченности расходов в отдельные периоды года, недостатка регулирующих сооружений, по организационным и другим причинам. Для упорядочения вододеления необходимо построить на каждой реке каскад водозаборных плотин и магистральных каналов, из которых вода пойдет в каналы, ранее имевшие самостоятельные водозаборы на реке. Эксплуатацию водозаборов в союзных республиках должен контролировать Минводхоз СССР, в областях — Минводхоз республики, в пределах области — областной УОС.

На Сырдарье и Нарыне (Ферганский участок) и Карадарье построены два водохранилища, два строятся, эксплуатируются

8 водозаборных плотин и предстоит построить еще 2 в нижнем течении — Яныкургамскую и Тогузкентскую.

На Амударье на протяжении почти 1000 км нет ни одной водозаборной плотины, только в нижнем течении завершается сооружение Тахиаташской водозаборной плотины и строится Туямуюнский гидроузел. Одновременно с завершением этих двух крупных сооружений должны быть закончены объединяющие магистральные каналы: от Туямуюна — Правобережный и Левобережный Туямуюнский, от Тахиаташа — Кызкеткен, канал им. Ленина и Советъяб.

В связи с необходимостью иметь в голове Каракумского канала Зеидское водохранилище, использование которого весной позволит уменьшить водозабор из Амударьи, целесообразно перенести створ Кзылаякской плотины на 15—20 км вверх по реке в Гаурдарский створ. Чаша водохранилища объемом 3,5 км^3 будет служить и отстойником. Амударья в среднем за год проносит до 200—250 млн. т наносов (по данным Керкенской станции), из них донные мелкопесчаные фракции составляют 10—15%, или 25—37 млн. т. Поэтому сосредоточивать большие водозаборы (до 2000 м^3) в одной точке нецелесообразно.

Для Каршинского канала с учетом дальнейшего развития орошения в Каршинской степи водозабор необходимо перенести в Келифский створ (ширина русла около 500 м), где русло Амударьи проходит в скальных породах. Схемы плотины составлены в двух вариантах: с ГЭС мощностью 480 тыс. кВт при НПУ 280 м и без ГЭС при НПУ 273 м; бесплотинный водозабор проектировался с отметкой в голове 268 м. При всех вариантах канала от Келифа амударьинская вода может быть подана в будущее Тудакульское водохранилище или в Зарафшан.

Водозабор в Амубухарский канал (I и II очереди) находится в тяжелых условиях, так как только правый берег прочный, левый же сложен легкоразмываемым аллювием. До постройки плотины необходимо выполнить на участке водозабора руслоправительные работы на реке. С этой целью следует построить левобережную струенаправляющую дамбу.

Выполнение всех указанных мероприятий необходимо форсировать. Только тогда службы эксплуатации смогут уверенно управлять системой, обеспечивать водопользователей водой в соответствии с принятыми в хозяйствах режимами орошения, следить за рациональным и экономным использованием воды хозяйствами и помогать им в содержании внутрихозяйственной сети, сооружений и дальнейшем их совершенствовании.

На Всесоюзном совещании в Ташкенте (июль 1973 г.) по улучшению эксплуатации мелиоративных систем и переводу их на индустриальную основу подготовлены рекомендации по созданию промышленных баз, автоматизации и телемеханизации мелиоративных схем, производству водоизмерительных приборов, техническому обслуживанию внутрихозяйственной сети и механизации ремонтно-

эксплуатационных работ, укреплению эксплуатационных органов и т. д.

Образцового порядка при вододелении на реке, на магистральных, межхозяйственных и внутрихозяйственных каналах можно достичь только путем поэтапного введения АСУ, для чего на старых системах необходимо приспособить каналы и сооружения для установки на них соответствующего оборудования и построить недостающие сооружения, аккумулирующие емкости и т. д.

Введение хозяйственного расчета на системах стимулирует ускоренный переход к использованию средств автоматики и телемеханики для гидрометрии, вододеления и создания АСУ.

Для выполнения в Средней Азии и Казахстане в ближайшие 15—20 лет большой программы мелиоративных работ с целью создания благоприятных условий для рационального и экономного использования (наиболее полного) собственных водных ресурсов при надежной водообеспеченности оросительных систем потребуются значительные капиталовложения.

До переброски в Среднюю Азию сибирских рек дальнейшее расширение здесь орошаемых земель необходимо планировать в зависимости от выполнения указанных выше мероприятий, гарантирующих необходимый объем водозабора из источников, снижение водопотребления (брутто) и т. д.

Бассейновые схемы (Сырдарья, Амударья) и частные должны непрерывно уточняться, раз в три года издаваться и рассылаться в республики, области и районы для учета при планировании развития орошения.

ГЛАВНЫЙ ТУРКМЕНСКИЙ КАНАЛ АМУДАРЬЯ — КРАСНОВОДСК[1]

Советское правительство, будучи верным своей непоколебимой мирной политике, заботе о советском человеке и благе всего человечества, направляет энергию народов нашей Родины и ее богатейшие ресурсы на созидательный труд.

Широко задуманный великий план преобразования природы претворяется в жизнь советскими людьми. Большая часть засушливых районов нашей страны уже охвачена этим планом, и недалек момент, когда не останется ни одного уголка в нашей стране, не получившего своего плана преобразования природы. Этот план в удивительной гармонии всесторонне развивает все отрасли народного хозяйства.

Посадка государственных лесных защитных полос, орошение водами Дона, Кубани, Терека обширных степных пространств юго-востока европейской части РСФСР, орошение Кураараксинской низменности в Азербайджане, переход на новую систему орошения во всех поливных районах страны, строительство Куйбышевской и Волжской гидроэлектростанций на Волге, орошение и обводнение водами великой русской реки необозримых пространств Заволжья и Прикаспия, строительство Главного Туркменского канала, орошение на его базе земель в низовьях Амударьи, западных районов Туркмении, обводнение Каракумов и, наконец, строительство Каховской гидроэлектростанции на Днепре, Южно-Украинского, Северо-Крымского каналов для орошения степей Украины и Крыма — неполный перечень тех грандиозных строек и мероприятий, которые должны создать мощную энергетическую базу для нашей промышленности и сельского хозяйства, в корне изменить облик орошаемых районов, превратить пустыни и степи в цветущие культурные оазисы.

Амударья — самая крупная река Средней Азии. Воды ее далеко еще не использованы для орошения, ежегодно до 50 км³ бесполезно вливаются в Аральское море. В бассейне Амударьи земли больше, чем можно оросить ее водами реки, поэтому не-

[1] «Изв. АН УзССР», 1950, № 6.

обходимо выбрать районы, где по показателям (климат, почвы, сельское хозяйство, промышленность и т. д.) целесообразно использовать воды Амударьи. Массивы, пригодные для орошения (свыше 1,5 млн. га), расположены преимущественно в нижнем течении Амударьи как на правом, так и на левом берегах на территории Узбекистана, Каракалпакии и Туркменистана. В среднем течении культурные оазисы и небольшие площади земель, которые можно оросить, находятся главным образом на левом берегу реки и вытянуты вдоль него узкой лентой. Большие массивы земель (в низовьях Мургаба и Теджена, в пределах Бухары и Каршинской степи, большая часть которых помимо того расположена высоко и требует машинного подъема), пригодных для орошения, находятся в стороне от реки и отделены от нее пустыней.

На границе двух периодов — третичного и четвертичного — Амударья текла по другому руслу, через Каракумы, Мургаб, Теджен. Реки, стекающие с Копетдага, впадали в Амударью. В северной части Каракумов существовало Сарыкамышское озеро, из которого вытекала р. Узбой, соединявшая это озеро с Каспийским морем. В четвертичный период произошли изменения в течении Амударьи. Переместившись к северу, она вливает воды в Аральское море, Сарыкамышское озеро стало усыхать, прекратился ток воды по Узбою в Каспийское море, и вскоре все пространство между Каспием и Аралом, лишившись воды, превратилось в труднодоступную пустыню. Древнее русло Узбоя хорошо сохранилось до наших дней и теперь значительно облегчит все работы по переброске амударьинских вод в юго-западные районы Туркмении.

Этим вопросом занимались многие талантливые инженеры. Среди них Ф. П. Моргуненков, много сделавший для разрешения проблемы переброски вод Амударьи через Каракумы для орошения земель в низовьях Мургаба, Теджена и Прикаспийской равнины.

Когда-то на Прикаспийской равнине существовали культурные оазисы, орошавшиеся, по-видимому, водами р. Атрека. В этом районе Туркмении много земель, пригодных для орошения. Климат в южной части благоприятен для субтропических культур, а в остальных — для ценных сортов тонковолокнистого хлопчатника. Эти районы богаты полезными ископаемыми. Ни один из районов нашей страны не беден так водою, как рассматриваемая часть Туркмении, поэтому не говоря о сельском хозяйстве, которое совершенно не может здесь развиваться, развитие промышленности резко ограничено отсутствием воды, и жизнь для человека в условиях пустыни становится невыносимо тяжелой. Вот почему решено использовать воды Амударьи для орошения в нижнем течении реки 800 тыс. га и на равнинах, прилегающих к Каспийскому морю, 500 тыс. га, создав таким образом две новые хлопковые базы.

С постройкой Главного Туркменского канала будут обводнены пастбища в Каракумах и Прикаспии, созданы опорные оазисы для дальнейшего развития кормовой базы животноводства.

Промышленные предприятия будут в изобилии обеспечены водой. Гидростанции дадут энергию для сельского хозяйства и промышленности.

В нижнем течении Амударьи Туямуюн и Тахиаташ неоднократно выбирались для постройки плотин. К Туямуюнской плотине должны быть подвешены земли Южного Хорезма и Южной Каракалпакии, к Тахиаташской — все земли существующего и нового орошения в нижнем течении Амударьи, находящиеся на территории Туркмении и Каракалпакии. Нельзя ли питание этих земель осуществить от Туямуюна и тем самым одновременно решить вопрос переустройства Южного Хорезма и Южной Каракалпакии. Такое решение значительно увеличило бы объем работ по всем левобережным и Главному Туркменскому каналу Амударья — Красноводск, а для питания земель правого берега пришлось бы строить плотину у Тахиаташа. Поэтому подтягивание всех каналов к Туямуюну нецелесообразно. Туямуюнская плотина может строиться независимо от Тахиаташской, так как при Туямуюнской плотине можно построить гидростанцию.

Амударья в низовьях и дельте протекает в русле, образованном аллювиальными отложениями, и занимает командное положение по отношению к расположенным по ее берегам культурным землям. Население защищает их от затопления валами, которые тянутся по берегам реки на сотни километров. Угроза затопления всегда нависает над культурными оазисами летом в паводки и зимою во время зажоров, когда горизонты реки часто держатся на том же уровне, что и в паводки. Поэтому Тахиаташской плотиной нельзя создать значительного подпора уровня реки в паводки и, очевидно, этот подпор необходимо принять не более чем 1,5—2 м сверх максимальных наблюденных горизонтов. Оба берега реки в пределах кривой подпора следует обваловать, причем левый берег, как наиболее опасный, должен иметь две линии валов на расстоянии около 500 м. Пространство между валами должно быть закольматировано и засажено тугайным лесом.

При Тахиаташской плотине может строиться только низконапорная гидростанция. Помимо нее на головных участках магистральных каналов, отходящих от плотины, можно соорудить небольшие низконапорные гидростанции, которые будут давать энергию только в летнее время, пока работают ирригационые каналы.

В состав Тахиаташской плотины, кроме головных регуляторов магистральных каналов и отстойников для них, войдут рыбопропускные сооружения и судоходные шлюзы для пропуска судов, идущих по Амударье через плотину, и ввода судов из Амударьи в Главный Туркменский и другие крупные каналы.

Автодорожный мост — неотъемлемая часть Тахиаташской плотины. Он соединит право- и левобережную Каракалпакию. Вопрос о железнодорожном мосте необходимо решать особо, в процессе проектно-изыскательских работ.

В Главный Туркменский канал из Амударьи у Тахиаташа будет забираться 350—400 м³/с, кроме того, предусмотрена возможность увеличения водозабора до 600 м³/с. Направление трассы от Тахиаташской плотины на Амударье юго-западное, в обход Сарыкамышской котловины с юга. Общая длина канала 1100 км, вначале он будет проходить по целине, пересекая культурные оазисы, затем земли древнего орошения, прорезанные крупными староречьями Амударьи (Кунядарья, Даудан, Мангелыкел, Черменяб и др.). На этом участке трассы, как показали исследования Сазводпроиза в 1932 г. (Ф. В. Поярков и Э. М. Беньяминович), нет серьезных препятствий для проложения канала. Он будет проходить по равнине в суглинистых и супесчаных грунтах, по такырам и лишь местами, на коротких участках, пересекать гряды песков, надутых ветрами на поверхность тех же грунтов.

Возможен другой вариант обхода Сарыкамышской котловины с использованием Кунядарьи и затем по целине с выходом к той же точке у Чарышлы, предлагавшийся еще в 1875 г. Глуховским, первым исследователем Узбоя, и трассы переброски вод Амударьи к Каспийскому морю. Он указал на тяжелые условия прохождения трассы по целине от выхода из Кунядарьи до Чарышлы. Изыскания ближайшего времени окончательно разрешат этот вопрос.

Почему не приняли вариант строительства трассы через Сарыкамышскую плотину, выдвигавшийся некоторыми исследователями. Объем Сарыкамышской котловины при заполнении ее до уровня, обеспечивающего сток по Узбою, составляет около 320 км³ при площади зеркала озера около 9600 км². Потеря воды на испарение при слое его 1 м равна 9,6 км³/год, что соответствует среднегодовому расходу 310 м³/с. Если сбрасывать в котловину 70% стока Амударьи у Тахиаташа, т. е. 35 км³ ежегодно, то потребуется не менее 11 лет для наполнения Сарыкамышской котловины до уровня, при котором вода начнет стекать по Узбою. Если учесть, что для сброса в Сарыкамыш вод Амударьи необходимо построить Тахиаташскую плотину, канал до Кунядарьи на расход не менее 3000 м³/с, разработать русло Кунядарьи для пропуска такого большого расхода и что для выполнения всех этих работ потребуется около пяти лет, то только через 16 лет амударьинская вода попадет в русло Узбоя. Поэтому канал решили построить в обход Сарыкамышской котловины.

На протяжении 150 км канал проходит по цепи отдельных понижений, между которыми устраиваются короткие прокопы. Русло Узбоя хорошо сохранилось, имеет местами пойму шириною до 2—3 км. Правый берег Узбоя высокий по всей длине рус-

ла, так как к нему примыкают склоны Большого Балхана. Левый ограничен высоким Каракумским плато, покрытым грядами барханных песков, возвышающихся над дном Узбоя местами на 50—60 м. Эта широкая полоса барханов высотой до 15—20 м отделяет русло Узбоя от равнины, вытянутой вдоль предгорий Копетдага. Ширина полосы песков примерно против станции Казанджик Ашхабадской железной дороги достигает 60—80 км. Ниже Кугунека по руслу Узбоя не требуется вести каких-либо работ для пропуска по нему проектных расходов, так как русло в естественном состоянии на используемом участке может пропускать около 500 м³/с.

Основная масса земляных работ по Главному Туркменскому каналу сосредоточена на участке длиной 420 км от Тахиаташа до начала Узбоя у Кугунека. Предварительные подсчеты показали, что здесь при заборе в канал из Амударьи 350—400 м³/с необходимо выполнить не менее 100 млн. м³ земляных работ в мягких грунтах и в районе Кугунека — около 7 млн. м³ в скальных. В русле Узбоя отдельными участками на общей длине 120 км залегает пласт чистой поваренной соли мощностью до 2—4 м. Запасы соли грубо оцениваются в 30 млн. т. Легкорастворимая поваренная соль будет некоторой помехой при использовании данных участков русла. Необходимо решить вопрос о добыче ее до пропуска воды по Узбою. Если это окажется нецелесообразным, следует промыть ее при пропуске по Узбою первых больших расходов. Из 500 тыс. га, которые должны быть, согласно постановлению Совета Министров СССР, орошены в южных районах Западной Туркмении, в первую очередь, очевидно, будут орошены лучшие земли около 210 тыс. га, из них на склонах Большого Балхана около 27 тыс. га машинного орошения и на юге, в Прикаспийской равнине, 183 тыс. га, в том числе 58 тыс. га машинного орошения. Таковы первые наметки, которые будут уточняться дальнейшими исследованиями.

Гидростанции на Узбое в основном будут использовать воду, идущую на орошение земель на склонах Большого Балхана, на водоснабжение предприятий, озеленение городов, орошение лесных полос, поддержание судоходства для выхода в море и нужд рыбного хозяйства. При плотинах образуются большие водохранилища, которые дадут возможность, с одной стороны, снизить не менее чем на 15—20% головной водозабор в Главный Туркменский канал из Амударьи и, с другой стороны, позволят увеличить выработку энергии на гидростанциях за счет создания достаточно большого регулирующего объема водохранилищ. Вода, не использованная в отдельные периоды года, должна не сбрасываться в Каспийское море, а идти на обводнение прибрежной полосы.

Строительство крупных водопроводов протяженностью 1 тыс. км полностью обеспечит питьевой и технической водой промышлен-

ные предприятия, железнодорожный транспорт, а также водоснабжение и озеленение пунктов Западной Туркмении.

Ниже пересечения с Ашхабадской железной дорогой, в районе станции Бала-Ишем, на Узбое намечается последний узел, от которого на запад, к Каспийскому морю, пойдет судоходный канал, а к югу — сбросной и для обводнения прибрежной полосы.

Устройство судоходного канала к Каспию свяжет водным трактом Амударью с бассейном Волги. Министерству речного флота СССР поручено разработать мероприятия по использованию Главного Туркменского канала для целей судоходства.

Главный Туркменский канал и Прикаспийский, отходящий от первой плотины, создают водный путь для транспортной связи между северными и южными районами Туркмении и животноводческими базами в Каракумах. Размеры этих каналов настолько велики, что могут обеспечить движение судов, ныне плавающих по Амударье.

Вдоль Главного Туркменского и крупных оросительных и обводнительных каналов, уносящих воды Амударьи в глубь Каракумов, по границам земель нового орошения, вокруг промышленных предприятий и населенных пунктов будут созданы защитные лесные насаждения и проведено закрепление песков растительностью. Эти мероприятия охватят площадь около 500 тыс. га. Мощные зеленые барьеры сыграют немаловажную роль в борьбе советского крестьянства за высокие и устойчивые урожаи, так как будут защищать орошаемые земли от суховеев, подвижных песков и сильных восточных и северо-восточных ветров.

Карагач, абрикос, белая акация, ясень, тополь, айлантус, шелковица — вот те долговечные древесные породы, из которых будут состоять лесные насаждения. На юге, в районе Атрека, зашумят листвою финиковые пальмы и оливковые рощи, появятся новые ценные породы деревьев — эвкалипты, инжир, хурма, гвайюла, гранат и др.

Для закрепления и облесения песков будут использованы травы и древесно-кустарниковые породы (саксаул, кандым, черкез, гребенщик и др.), имеющие глубокую корневую систему и способные развиваться в пустынях без полива. Корни черного саксаула уходят вглубь на 10 м и более, он легко переносит засыпание песком, образуя около себя песчаные бугры. Защитные лесные полосы шириною от 2 км и более вытянутся по обеим сторонам Главного Туркменского и других крупных оросительных и обводнительных каналов, а также по границам культурных оазисов и населенных пунктов.

В нижнем течении Амударьи, на территории Каракалпакии и Туркмении, в районах древнего орошения и современной дельты реки будет дополнительно орошено 800 тыс. га лучших земель. Земельный фонд этой территории огромен и измеряется не одним миллионом гектаров, поэтому интересно дать первую намет-

ку распределения вновь орошаемых земель по республикам и новым магистральным каналам.

В настоящее время в границах командования Тахиаташской плотины эксплуатируются каналы, питающиеся из Амударьи: Кызкеткен, Ленинъяб и Кенегес, орошающие в Каракалпакии около 100 тыс. га земли, и Советъяб, орошающий в Туркмении около 30 тыс. га. С постройкой Тахиаташской плотины питание этих каналов переключат на плотину.

Новые 800 тыс. га в соответствии с наличным земельным фондом можно распределить между Туркменией и Каракалпакией, т. е. по 400 тыс. га в каждой республике. В Каракалпакии эти земли следует разместить следующим образом: на правом, восточном, берегу дополнительно оросить в Ишанджекинской, Чимбайской, Караузякской и Тахтакупырской части дельты 240 тыс. га, на левом, западном, в Ходжейлинской и Кунградской части — 160.

В Туркмении 400 тыс. га новых земель будет орошено в районах древнего орошения, расположенных к северу и югу от староречья Кунядарьи, на берегу которой беспорядочно разбросаны руины известного в истории города Гурганджа, ныне Куняургенч. В северной Кунядарье может орошаться 150 тыс. га и южной — 250.

Таким образом, от Тахиаташской плотины будут питаться Главный Туркменский канал для орошения 500 тыс. га в Западной Туркмении, Туркменский для орошения 400 тыс. га в районах северной и южной Кунядарьи и существующего орошения около 30 тыс. га, а всего 430 тыс. га, левобережный Каракалпакский для орошения земель нового (160 тыс. га) и существующего орошения (около 30 тыс. га) в Кунградском, Ходжейлинском районах, всего около 190 тыс. га, и правобережный Каракалпакский для орошения 240 тыс. га новых и около 70 тыс. га существующих, всего на территории всей правобережной дельты реки 310 тыс. га.

Тахиаташская плотина должна обеспечить надежное питание водою указанных выше магистральных каналов. Воду, поступающую из реки в Главный Туркменский канал, необходимо освободить только от мелкого песка, так как мощный поток этого канала в состоянии пронести амударьинские взвешенные наносы в глубь Каракумов и отложить их там в естественных отстойниках, имеющихся на его трассе несколько выше Чарышлы. Вода для других магистральных каналов, подающих воду на орошаемые земли, должна быть освобождена не только от песчаных наносов, но частично и от взвешенных, т. е. мутности. В амударьинской воде в паводки содержится 10—12 кг мути в 1 м^3 воды. Среднегодовая мутность воды колеблется от 3 до 4 кг на 1 м^3. Поэтому в составе Тахиаташской плотины, как уже указывалось, должны быть отстойники.

Мероприятия по борьбе с наносами на существующих и вновь создаваемых оросительных системах необходимо тщательно продумать, так как от этого в значительной степени будут зависеть размеры головных отстойников при плотине, их стоимость и на-

дежность транспортирования из отстойников промытых наносов по руслу реки вниз от плотины. Новая система орошения с крупными поливными участками площадью 20—40 га и более требует подачи воды к полю большими расходами. Это обеспечит вынос на поля большего количества взвешенных наносов по сравнению с тем, которое выносится в настоящее время при наличии мелких поливных карт.

На орошаемой территории должны быть найдены места для устройства внутрисистемных отстойников на ветвях и крупных распределителях. Ими могут служить озера, заполняемые сбросными водами, и отдельные участки стариц.

Наметив мероприятия по борьбе с наносами на оросительных системах, необходимо установить примерно и размеры борьбы с наносами при Тахиаташской плотине. Для орошения в низовьях Амударьи от Тахиаташской плотины 930 тыс. га потребуется изъять из реки около 9 млрд. м³ воды. При средней мутности воды за поливной период около 3—4 кг/м³ в каналы попадет 27—36 млн. т наносов. Из этого количества на поля желательно вынести не менее 60% (16—22 млн. т) наиболее мелких наносов, а 40% (11—14 млн. т.) задержать примерно поровну отстойниками в голове каналов и внутри систем.

Помимо взвешенных наносов в каналы не должны допускаться донные (мелкий песок), для чего в плотине необходимо предусмотреть соответствующие устройства и обеспечить правильный подход потока к месту водозабора. Количество донных наносов не поддается точному учету, но приближенно можно оценить его в 1—1,5 млн. м³, причем это количество может резко колебаться в зависимости от подхода потока.

Культурные земли Каракалпакии в нижнем течении Амударьи сильно страдают от наводнений в летние паводки и зимние зажоры. Со временем при дополнительных больших расходах на орошение 800 тыс. га земель в нижнем течении реки, а также в среднем и верхнем разрушительных паводков не будет. Но после постройки только Тахиаташской плотины паводки лишь незначительно ослабнут за счет забора воды в Главный Туркменский канал. Устройство в узле крупного сброса в Кундарью и далее в Сарыкамыш вряд ли целесообразно из-за высокой стоимости и, главное, резкого ухудшения условий для транспортирования наносов по руслу реки от плотины и неизбежности интенсивного повышения русла. Поэтому для борьбы с наводнениями наряду с постройкой Тахиаташской плотины и орошением новых земель необходимы строительство защитных дамб, кольматаж, выправление русла реки, устройство прокопов, связывающих озера, и сбросов из озер в Аральское море, чтобы одновременно удовлетворить интересы сельского хозяйства, ирригации, рыбного хозяйства и транспорта.

Культурные земли в дельте располагаются главным образом к югу от линии, пересекающей дельту по возвышенностям Кзыл-

джар — Кушканатау. Поэтому все мероприятия по защите их от наводнения необходимо сосредоточить на участке от Тахиаташа до указанной линии, и севернее не следует развивать орошения в ближайшей перспективе.

Культурные земли отделены от реки полосою озер и разливов. Затопление происходит, как правило, в результате переполнения этих озер в паводки во время зажоров и прорывов защитных озерных дамб, ограждающих культурные земли.

Обвалования берегов на рассматриваемом участке реки недостаточно, так как это неизбежно приведет к повышению русла в пределах защитных дамб, что обусловит все большую с каждым годом угрозу прорыва дамб с тяжелыми последствиями, вплоть до свала всей реки или ее части в сторону, за пределы единственной береговой линии дамб, что вызовет затопление и потерю большой территории культурных земель.

Таким образом, одно только обвалование берегов реки бесперспективно в борьбе с наводнениями и с каждым годом будет лишь усиливать остроту положения.

На восточном и западном берегах реки необходимо создать две линии защитных дамб: речную — вблизи берега (200 м) и озерную — по границе культурных земель. Из пространства, ограниченного этими линиями дамб, должен быть обеспечен вдоль озерной дамбы (не ближе 200 м) свободный отток воды до 500 $м^3/с$ с каждой стороны в северном направлении по староречьям, прокопам, озерам в Аральское море.

Пространство между дамбами должно ежегодно кольматироваться с таким расчетом, чтобы в первую очередь повысить отметки поверхности земли в полосе вдоль речных (500 м) и озерных дамб (200 м), а затем в остальные части. Площадь между речной и озерной дамбами должна быть, по возможности, осушенной или иметь сниженный горизонт воды на случай паводков (период кольматажа и случайных прорывов речных дамб) и зимних зажоров, когда возможны прорывы речных дамб. Намеченные мероприятия не только не противоречат интересам рыбоводства и судоходства, а наоборот, одновременно решают все вопросы по обводнению нерестилищ. Необходимо обратить внимание на разведение тугайного леса вдоль озерных и речных дамб и в других удобных местах.

Недалеко время, когда, подобно Большому Ферганскому и другим еще большим каналам, построенным в нашей стране, чудесной сказкой, ставшей былью, явится и Главный Туркменский канал. Оживет пустыня Каракумы, забелеют хлопковые поля на вновь орошенных землях, зацветут сады, вырастут новые благоустроенные города и селения, задымят трубы новых промышленных предприятий, сеть дорог прорежет прежде недоступные районы пустыни, исчезнут многие озера и разливы в дельте, Аральское море начнет снижать свой уровень и высвобождать тем самым новые территории для освоения их человеком.

Созданная строительная организация Средазгидрострой в 1951 г. должна приступить к подготовительным работам по сооружению Главного Туркменского канала и в 1957 г. закончить строительство плотины на Амударье у Тахиаташа с гидроэлектростанциями и другими сооружениями на нем, головных сооружений крупных отводных оросительных и обводнительных каналов, а также холостого участка Прикаспийского канала в барханных песках. Проектирование всех этих объектов возлагается на Гидропроект.

Работы (изыскания, исследования, проектирование и строительство), связанные с орошением новых земель, обводнением пастбищ в Каракумах и орошением земель вдоль Главного Туркменского канала, будут выполняться Министерством хлопководства СССР, Министерством сельского хозяйства СССР и Министерством совхозов СССР, работы по созданию насаждений и закреплению песков — Министерством лесного хозяйства СССР.

Промышленные министерства будут вести «изыскания, проектирование и строительство крупных трубопроводов, обводнительных каналов и водопроводов с насосными станциями для обеспечения водою промышленных предприятий и населенных пунктов при них, а также для орошения пригородных хозяйств и лесных насаждений в районах промышленных предприятий и населенных пунктов...».

Очевидно, необходимо форсировать строительство Тахиаташской плотины, так как это даст возможность переключить существующее орошение на питание от плотины и тем самым быстро получить первый эффект, облегчит сооружение Главного Туркменского канала и обеспечит электроэнергией прилегающий большой район с городами Нукус, Ходжейли и Куняургенч.

К моменту окончания работ по Тахиаташской плотине в Каракалпакии и Северной Туркмении должна быть подготовлена к освоению часть новых земель, а на землях существующего орошения полностью сделан переход на новую систему орошения; распределительная сеть должна быть перестроена и подключена к новым магистральным каналам, отходящим от Тахиаташской плотины.

Освоение Каракумов и орошение земель Главного Туркменского канала могут вестись параллельно с постройкой канала. Лишь в южных районах Туркмении все работы по орошению и обводнению смогут быть широко развернуты только с приходом первой амударьинской воды. Поэтому одновременно с началом строительства в северной части на юге также необходимо развернуть работы по сооружению Прикаспийского канала и тем самым подготовить этот участок к приему амударьинской воды.

Строительным работам должны предшествовать крупные изыскания и исследования, на основании которых будут составлены проекты отдельных объектов. Изыскательские партии должны быть хорошо оснащены инструментами, таборным оборудо-

ванием, средствами связи, транспортом (самолетами, автомашинами), в пустыне необходимо создать для полевых работ опорные базы с посадочными площадками для самолетов. Местные советские и партийные организации окажут широкую помощь партиям в период организации изыскательских и исследовательских работ и при их проведении.

Советские гидротехники и ирригаторы накопили большой опыт в проектировании и строительстве на реках страны крупных плотин и гидростанций, ирригационных систем, лесозащитных полос, и в работах по закреплению песков во всех засушливых районах СССР. Это дает право смело взяться за воплощение в жизнь задания партии и правительства по созданию новых цветущих оазисов в пустыне. Это же обязывает всех гидротехников и ирригаторов глубоко изучить многообразные вопросы, возникающие в связи с невиданными до сих пор масштабами работ, построить совершенные сооружения и оросительные системы.

Ученые-агрономы, климатологи, экономисты, землеустроители примут деятельное участие в разработке ряда экономических проблем, связанных с размещением культур на вновь орошаемых землях и освоением этих районов. Почвоведы и агромелиораторы должны детально изучить почвы новых районов орошения и наметить мероприятия для их освоения. Совместно с географами, биологами, обследовавшими Каракумы, им необходимо наметить площади вдоль Главного Туркменского канала в целях использования их как опорных оазисов для животноводства.

Геологи и гидрогеологи должны изучить трассы всех крупных каналов, места расположения крупных гидротехнических сооружений и в первую очередь Тахиаташской плотины, исследовать тектонику районов строительства. Геологам и инженерам необходимо подобрать местные строительные материалы и сырье для цементных и других заводов. Гидрологи должны тщательно проанализировать имеющиеся материалы по формированию стока Амударьи, дополнить их новыми исследованиями на вновь организованной сети высокогорных опорных пунктов и дать надежный прогноз возможных максимальных расходов реки, режима наносов, ледовых явлений и т. д. Гидротехники обязаны усовершенствовать и уточнить методы расчета сооружений каналов, в частности учета потерь из каналов и водохранилищ, транспортирования наносов, расчета отстойников и др. Ирригаторы и агрономы должны изучить весь опыт перехода на новую систему орошения в поливных районах страны, обобщить его и применить для новых районов орошения, предложить эффективные методы мелиорации земель, в том числе изучить и освоить вертикальный дренаж.

Энергетикам необходимо изучить вопросы электрификации как сельского хозяйства, так и мелиоративных работ. Физики должны помочь в разработке более совершенных методов геофизической разведки, химики — в вопросах закрепления и окаменения грун-

тов. Историки и археологи могут существенно помочь изыскателям, исследователям, строителям и обогатить историческую науку новыми открытиями, которые неизбежно будут иметь место в период строительства. Трудно дать весь перечень тех вопросов, которые предстоит поставить и решить советским ученым.

Подготовка кадров всех специальностей должна вестись систематически, планомерно и весьма интенсивно как в высших учебных заведениях Узбекистана, Туркмении и других республик Средней Азии, так и на местах — во вновь организованных техникумах, ремесленных училищах и школах ФЗО. Необходимо развернуть в больших масштабах подготовку кадров из местных национальностей. Эти кадры должны занять ведущее место в строительстве и освоении вновь орошаемых земель.

Через несколько лет в разных уголках южных районов Советского Союза начнут вступать в число действующих предприятий страны новые гидростанции, каналы, обводнительные и оросительные системы и лесные полосы. Войдет в строй Главный Туркменский канал с плотиной на Амударье у Тахиаташа с разветвленной сетью каналов на землях нового орошения в Каракалпакии и Туркмении. Неузнаваемо преобразится природа прежде пустынных знойных степей и песчаных пустынь. Новые стройки коммунизма сделают еще более мощной нашу страну и будут новым ярчайшим свидетельством миролюбивой политики СССР, последовательного осуществления ленинской национальной политики, нерушимой дружбы и братства советских народов, заботы нашей партии и правительства о советском человеке.

ГОЛОДНАЯ СТЕПЬ — ШКОЛА ПЕРЕДОВОГО ОПЫТА ОРОШЕНИЯ И ОСВОЕНИЯ ПУСТЫННЫХ ЗЕМЕЛЬ[1]

По соседству с густонаселенными, цветущими долинами — Чирчикской, Ферганской, Зарафшанской, на левом берегу Сырдарьи веками покоилась безлюдная степь, заслуженно называвшаяся Голодной. Ненадолго оживая весной, когда по зеленому ковру трав расцветали яркие пятна маков, она выгорала под жгучими лучами летнего солнца, превращаясь в мрачную пустыню, через которую с осторожностью двигались редкие караваны.

С незапамятных времен в народе жила вера в то, что вода и труд смогут превратить эту пустыню в цветущий сад, — вера, запечатленная в бессмертной легенде о Фархаде и Ширин. Осуществить извечную мечту народа смогли лишь советские люди в условиях могучего социалистического строя.

Первые попытки оросить Голодную степь относятся к далекому прошлому. Об этом свидетельствуют остатки древних оросительных каналов, обнаруженных археологами на ее восточной окраине. Однако провести воду из Сырдарьи в глубь степи древним ирригаторам было не под силу. Не смогли справиться с этой задачей и ирригаторы дореволюционной России, финансируемые царским правительством и частными предпринимателями, заинтересованными в развитии отечественного хлопководства. Неоднократные попытки подать воду из Сырдарьи в степь кончались неудачей (Кауфманский канал по проекту Н. Ульянова, Бухара-арык князя Романова). Только в 1896 г. удалось построить канал «Николай I» длиною около 100 км и пропускной способностью 7 м³/с и подать воду в район Гулистана. В 1913 г. введен в эксплуатацию романовский канал с головным расходом 50 м³/с, предназначенный для орошения 50 тыс. га.

В строительство романовского канала и орошение на его базе северо-восточной части Голодной степи немало труда вложили талантливые русские инженеры, впоследствии видные советские ирригаторы — Ф. П. Моргуненков, В. Ф. Булаевский, Т. А. Колпакова, С. М. Курбатов, А. И. Курсиш и др.

---

[1] «Гидротехника и мелиорация», 1970, № 4, 5.

До революции из канала орошалось не более 34 тыс. га. Из-за отсутствия дренажа и неумелого ведения русскими переселенцами орошаемого хозяйства земли засолялись, применялось кочевое землепользование.

Советское правительство, возглавляемое В. И. Лениным, придавало исключительное значение развитию орошения в Средней Азии как основе создания прочной хлопковой базы страны. Об этом ярко свидетельствует декрет Совета Народных Комиссаров об организации оросительных работ в Туркестане, подписанный В. И. Лениным 17 мая 1918 г. и поныне сохраняющий силу программного документа. В 1920 г. этот декрет дополнили два правительственных Постановления о восстановлении хлопководства в Туркестане и Азербайджане (от 2 и 27 ноября), также подписанные В. И. Лениным.

Этот декрет предусматривал развитие орошения в Голодной степи на площади 500 тыс. десятин, или 546 тыс. га. Обеспечить водой орошение на такой площади можно было только в результате строительства огромного ирригационного комплекса. В первую очередь была начала реконструкция романовского канала, переименованного в Северный, впоследствии — канал им. Кирова. Увеличение пропускной способности этого канала до 200 м³/с позволило значительно расширить посевы хлопчатника в северо-восточной части Голодной степи. В настоящее время с площади, подкомандной каналу им. Кирова, государство ежегодно получает до 300 тыс. т хлопка-сырца. Здесь находится первый по времени организации (1924 г.) на территории Голодной степи совхоз «Пахтаарал» — образцовое сельскохозяйственное предприятие, выращивающее хлопчатник на площади свыше 6300 га при среднем урожае 30,2 ц/га.

Однако одна лишь реконструкция канала им. Кирова не решала проблемы. Необходимо было доставить воду в центральную часть степи.

В проектах орошения Голодной степи, разрабатывающихся под руководством Г. К. Ризенкампфа, и в первоначальных проектах Сазводпроиза эта задача решалась следующим образом. На 40 км магистрального канала им. Кирова должен был строиться отвод — Центральный канал. Для повышения объема головного водозабора в канал им. Кирова на р. Сырдарье намечалось создание плотины вблизи створа Бекабад.

В результате новых исследований и изысканий проекты существенно изменялись. В частности, створ плотины на р. Сырдарье перенесли выше по течению.

В начале 1943 г. в трудных условиях Великой Отечественной войны начато строительство Фархадского гидроузла на р. Сырдарье и деривационной ГЭС мощностью 130 тыс. кВт.

Большой коллектив исследователей, строителей и проектировщиков развернул эту крупнейшую по тому времени стройку, испытывая недостаток в машинах, материалах, средствах — бук-

вально во всем, за исключением воли, знаний и изобретательности, помогавшей всегда находить выход из безвыходного, казалось бы, положения. Начальником Фархадстроя был А. А. Саркисов — крупный инженер и талантливый организатор (затем — начальник Главного управления Средазирсовхозстрой). Во главе Чирчикстроя, в состав которого входил Фархадстрой, в то время стоял А. Н. Аскоченский — академик ВАСХНИЛ, Герой Социалистического Труда. Строительство было начато по инициативе секретаря ЦК(б) Узбекистана Усмана Юсупова, оказывавшего постоянную помощь строителям в преодолении возникавших перед ними трудностей. Строителям помогали колхозники, совершившие два массовых выхода на стройку, в каждом из которых участвовало до 80 тыс. человек.

Нынешнему поколению гидротехников должны быть известны имена участников строительства Фархадского комплекса, вписавших славную страницу в историю советской гидротехники. Это М. Я. Бабун, В. Н. Симаков, Х. Д. Джалилов, Б. Я. Моисеев, А. А. Жимский, А. В. Троицкий, К. К. Шубладзе, П. М. Жуков, С. А. Боровец, Ф. Пожаров, М. С. Райтман, М. И. Жеребцов, Т. П. Сенкевич, И. Ф. Федодеев, В. Ф. Поярков, Я. И. Флигельман, А. А. Налетов, И. Г. Бурдиашвили, Г. А. Полонский, Э. Э Пеплов, А. С. Вавилов, А. П. Борисов, П. П. Лаупман, М. И. Леви, Г. Н. Маслов, Р. А. Алимов, Б. Г. Рындин и др. Консультанты Фархадстроя Г. И. Графтио и М. А. Великанов.

К моменту завершения строительства плотины и Фархадской ГЭС в 1948 г. окончательно были установлены недостатки первоначальной схемы магистрального питания и принята новая. От дальнейшего расширения канала им. Кирова и строительства Центрального канала, трасса которого пересекала бы Джетысайскую впадину, решили отказаться. Вместо этого построен Южно-Голодностепский канал (ЮГК) пропускной способностью 300 м³/с, получающий воду из деривационного канала ГЭС. На 63 км Южного канала от него отходит Центральная ветвь с расходом 168 м³/с, которая на 20 км делится на левый и правый отводы (Левую и Правую ветви).

Канал им. Кирова подключили к Фархадской деривации, из которой он в настоящее время получает воду 230 м³/с.

На Южном канале построена насосная станция, подающая воду 12 м³/с в машинные каналы М-1 и М-2 для орошения 12 тыс. га совхоза «Фархад». На 15 км от ЮГК отходит Баяутская ветвь (расход 30 м³/с), на 74 км — Кургантепинская (18 м³/с) и на 93 км — канал ЮР — 18 (31 м³/с).

Для орошения 40 тыс. га в таджикской части Голодной степи насосными станциями первой (84 м) и второй (86 м) ступени вода поднимается на высоту до 170 м. От насосной станции каждой ступени отходят каналы ТМ-1 и ТМ-2, головные расходы которых соответственно составляют 13,7 и 28 м³/с. В подводящий

канал первой насосной станции вода поступает из Фархадской деривации (рис. 1).

Так решена задача создания сложного узла головных сооружений, надежно обеспечивающих водозаборы в основные магистрали, несущие воду для орошения Голодной степи. Проектирование распределительной сети в плане производилось с учетом

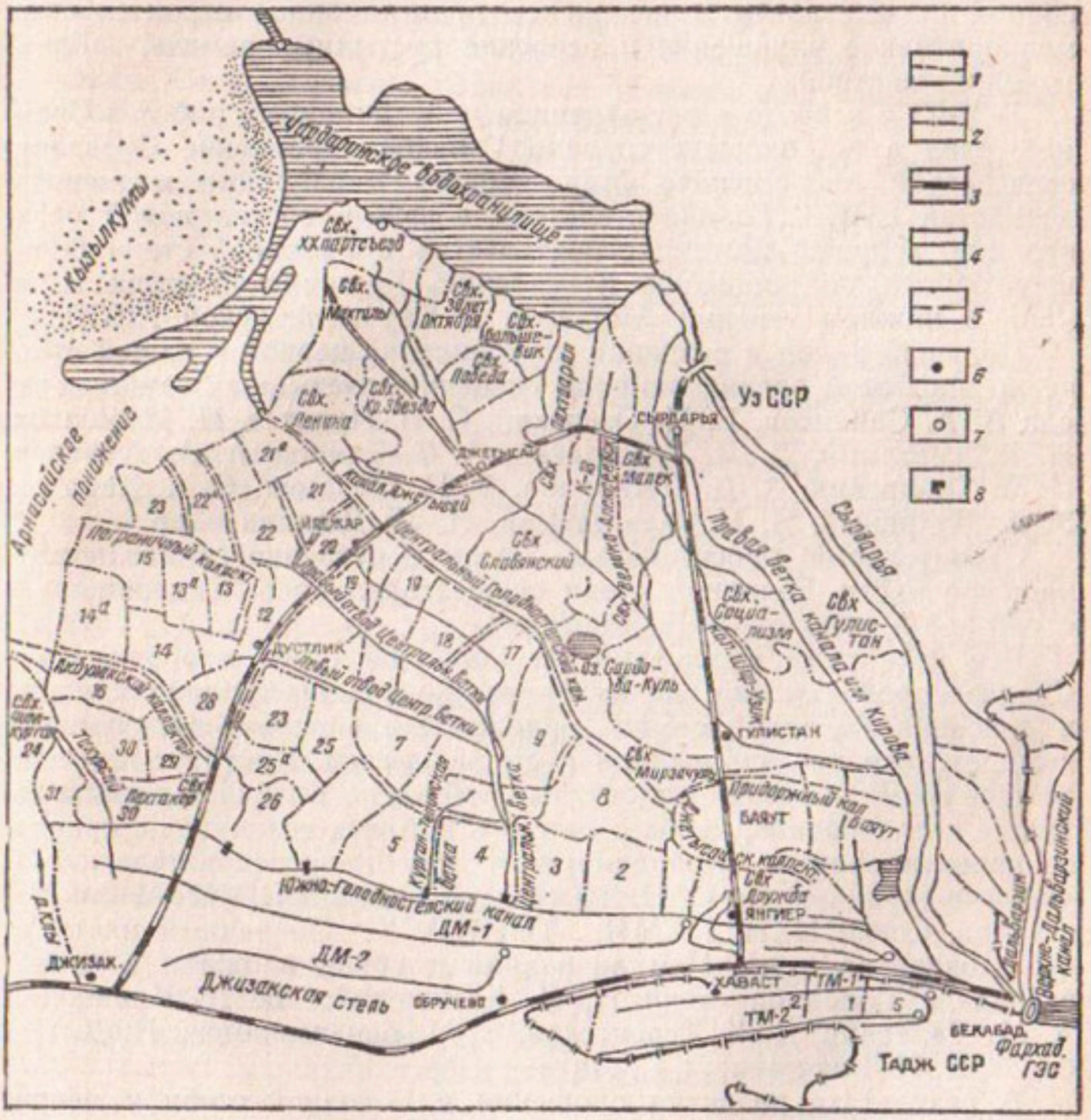


Рис. 1. Схема орошения и освоения Голодной степи.

1 — границы республик, *2* — совхозов, *3* — железная дорога, *4* — магистральный канал, *5* — коллекторная сеть, *6* — города, *7* — насосная станция, *8* — узел сооружений.

размещения на всей территории Голодной степи хлопковых совхозов. Каждый совхоз получает воду из распределителя первого порядка в нескольких точках. Подача ее регулируется сооружением. По полям совхоза вода разводится распределителями второго порядка и т. д.

К 1956 г. площадь орошаемых земель в Голодной степи достигала 206 тыс. га, что в 6 раз превышало площадь, орошавшуюся здесь до революции. Однако темпы освоения Голодной степи не могли удовлетворить требования развивающегося социалистического хозяйства республик Средней Азии. Решения директивных органов сыграли решающую роль в ускорении этих темпов; была создана качественно новая форма строительной организации, способной осуществлять в комплексе ирригационное строительство, мелиоративное улучшение и освоение пустынных земель, — Главголодностепстрой.

В 1963 г. в связи с расширением ирригационных работ в Средней Азии в г. Ташкенте создано Главное управление Средазирсовхозстрой, подчиненное Министерству мелиорации и водного хозяйства СССР. Голодностепстрой вошел в состав новой организации, ведущей помимо строительства в Голодной степи большие работы по орошению и освоению Каршинской степи и земель в нижнем течении Амударьи в Каракалпакской АССР.

Большой вклад в создание и укрепление первой в нашей стране комплексной организации по освоению пустынных земель внесли А. А. Саркисов, Е. И. Озерский, С. В. Пугачев, П. И. Ясаков, Н. Б. Тутолмин, Д. К. Терситский, А. Т. Таиров, А. А. Ахмедов, П. В. Тихарский, Х. Д. Джалилов, А. Н. Низамов, С. А. Харатов, В. А. Духовный, Я. И. Флигельман, Л. Л. Дюндин и др.

Строительство оросительных систем и освоение земель в таджикской части Голодной степи осуществлял трест Таджикцелинстрой под руководством А. Касымова.

Все проектные разработки по Голодной степи проводились в Средазгипроводхлопке, где составлен «Генеральный план орошения и освоения Голодной степи», положенный в основу дальнейшего комплексного проектирования и строительства. Институт и в настоящее время выполняет проектные работы по Голодной степи и текущие исследования, необходимость в которых возникает в процессе проектирования. Координируют научно-исследовательские и учебные организации: САНИИРИ им. Журина, ВНИИГиМ им. Костякова, СоюзНИХИ, МГМИ, ТИИИМСХ, Почвенный институт им. Докучаева и др. Немало знаний и труда вложили в преобразование Голодной степи И. Я. Каминский, Б. Д. Коржавин, А. М. Дадасянц, Д. К. Терситский, Э. М. Беньяминович, И. Д. Лебедев, Л. И. Рокчеева, Л. С. Литвак и др.

В результате развития орошения в Голодной степи и непрерывно возрастающего использования воды на орошение выше и ниже Фархадского гидроузла, на территории Киргизии, Таджикистана, Узбекистана и Казахстана возникла другая задача — регулирование стока р. Сырдарьи. С этой целью в 1957 г. на Сырдарье выше г. Ленинабада сооружен гидроузел, включавший ГЭС мощностью 140 тыс. кВт и плотину, образовавшую Кайраккумское водохранилище полным объемом 4,2 км^3 и полезным —

2,7. В 1968 г. введено в эксплуатацию Чардаринское водохранилище полным объемом 5,7 км³ и полезным — 4,7.

Кроме того, строятся три крупных водохранилища: Чарвакское (объем 1,75 км³), Андижанское (1,75 км³) и Токтогульское (17 км³). С введением их в эксплуатацию повысится водообеспеченность оросительных систем бассейна Сырдарьи и, в частности, появится возможность увеличить на 160 тыс. га площадь орошаемых земель в Голодной степи за счет машинного орошения в Джизаке. Одновременно создадутся условия для орошения Кизилинского массива на территории Таджикистана.

Со дня подписания В. И. Лениным декрета об организации оросительных работ в Туркестане прошло 52 года. В настоящее время в Голодной степи освоено более 350 тыс. га и подготавливается к освоению 150 тыс. га целинных земель. Недалеко то время, когда будет орошаться вся площадь, намеченная ленинским декретом.

Орошение и освоение Голодной степи — важный этап в истории советской ирригации. В этот период одновременно решались две сложнейшие задачи — создание совершенной, по последнему слову техники построенной оросительной системы и сельскохозяйственное освоение пустынных районов. Проектировщики и строители часто располагали данными длительных научных исследований, научные предположения проверялись в производственных условиях. Не удивительно, что наряду с успехами были и неудачи. Тем не менее в целом введение в сельскохозяйственный оборот огромных массивов пустовавших ранее земель — большая победа творческого коллектива голодностепцев. Их опыт обогатил отечественную науку и практику, подготовил советских мелиораторов к решению предстоящих задач таких, как орошение Поволжья.

Природные условия Голодной степи

Чтобы понять сложность решения ряда технических задач при орошении Голодной степи, нужно знать ее природные условия. Лето сухое и жаркое (средняя температура июля 27—30°), зима влажная (средняя температура января — 3—7°). Часто дуют сильные ветры (скорость до 40 м/с). Безморозный период продолжается 210—220 дней, при этом сумма температур достигает 4500—5000°. Среднегодовое количество осадков 300 мм, в районе Джизака — 420. В исключительно многоводном 1968/1969 г. в среднем в Голодной степи выпало 600 мм осадков.

Уклоны поверхности колеблются от 0,003—0,005 на юге до 0,0001—0,0003 на севере.

Южная часть Голодной степи сложена мощной толщей лессовидных суглинков, подстилаемых галечниковыми отложениями с прослоями супесей и песков. Наблюдается естественный от-

ток грунтовых вод, поступающих по конусам выноса саев со склонов Туркестанского хребта.

Грунты центральной части — тонкослойные глины и суглинки с прослоями песка и супеси, носящие характер озерных отложений. На большой глубине они подстилаются отложениями песка и галечника. Приток грунтовых вод в центральной части затруднен, до орошения они залегали на глубине 5—10—20—25 м. Минерализация их достигает 10—50 г/л.

Между южной и центральной частями отмечаются зоны выклинивания, в пределах которых грунтовые воды находятся на глубине 1—2 м. Вследствие интенсивного испарения они сильно минерализованы (до 40 г/л и выше).

Северная и северо-восточная части (зона старого орошения) сложены суглинками и супесями мощностью 20—30 м, лежащими на древних аллювиальных образованиях р. Чирчика, Ангрена и Сырдарьи. Грунтовые воды в этой зоне — напорные, с сульфатно-хлоридно-натриевой и хлоридно-сульфатно-натриевой минерализацией, близко поднимаются к поверхности, испаряются и служат постоянным источником накопления солей в верхнем слое грунта.

Коэффициенты фильтрации верхних горизонтов почвогрунтов степи колеблются от 0,1 до 2 м/с, однако на большей части территории преобладает фильтрация со скоростью 0,1—0,7 м/с. Данные исследований свидетельствуют о неоднородности фильтрационных свойств грунтов по вертикали. Так, на опытном полигоне ВНИИГиМ в совхозе № 7 коэффициент фильтрации для верхних двух метров изменялся от 1,6 до 0,66 м/сут, для нижележащей толщи — от 35 до 0,19, а на глубине 8—10 м поднимался до 0,42 м/сут (по данным исследований С. А. Гиршкана, В. Е. Райнина, Е. А. Макарычевой).

Для лессовых грунтов характерны умеренные просадки — от 0,15 до 0,3 м при замачивании их без нагрузки и до 0,5 м при замачивании под нагрузкой от сооружений 1—3 кг/м². Особенность грунтов Голодной степи — медленное образование послепросадочных деформаций (Г. М. Мавляков, Е. Д. Рождественский, П. М. Карпов, А. Л. Рубинштейн и др.).

Оросительные и поливные нормы, способы полива

Природные условия предопределяют режим орошения и технику полива, применяемые в Голодной степи. Здесь проведено гидромодульное районирование. На засоленных почвах применяют промывной режим орошения с увеличенной на 10—15% оросительной нормой. По мере освоения земель оросительные нормы снижают, исходя из следующих соображений. В начальный период освоения наблюдаются большой дефицит влаги воздуха, значительная проницаемость почвы и глубокое залегание уровня грунтовых вод. С развитием орошения дефицит влаги воздуха и

водопроницаемость почвы уменьшаются, а уровень грунтовых вод повышается. Поэтому потребность растений в оросительной воде постепенно снижается, стабилизируясь примерно на 8—10-й год освоения. В связи с этим принято следующее изменение во времени оросительных норм: для хлопчатника — 7200—6500—5800 м³/га, для люцерны — 9300—8400—7500. Поливные нормы колеблются от 1000—1200 м³/га в начале вегетации до 1500 в период цветения и плодообразования.

Пропускная способность Южного Голодностепского канала и его ответвлений определена исходя из водопотребления в перспективе, когда будут освоены все площади, при ординате гидромодуля 0,67 л/с/га. Вся распределительная сеть рассчитана по ординате гидромодуля 1 л/с/га.

Основной способ полива всех пропашных культур в Голодной степи — бороздковый. Проектная производительность труда на поливе — около 2—3 га за смену на одного поливальщика — может быть достигнута при длине борозды 400 м. Устройство борозд такой длины возможно только при условии тщательной планировки поливного участка и ширине междурядья 90 см.

Усовершенствованию бороздкового полива путем применения сифонных труб, гибких шлангов, жестких разборных поливных трубопроводов, а также поливной машины ПШН-165 для подкачки воды в шланги, механизмов и приспособлений для раскладки и сборки гибких шлангов и других средств уделяется в настоящее время много внимания.

При поливе по бороздам с применением гибких шлангов принята схема внутрихозяйственной сети. От распределителей первого порядка, трассируемых по уклону, отходят вдоль горизонталей межбригадные каналы. Из них вода поступает в участковые оросители (лотки при уклонах 0,002—0,0015 или трубопроводы при уклонах более 0,002), из которых подается на поливные участки по гибким трубопроводам для распределения по бороздам, направленным по уклону (продольная схема).

Обращение с длинными шлангами неудобно — их нужно раскладывать, собирать, транспортировать по полю и т. д. В связи с этим Средазгипроводхлопком совместно с ТИИИМСХа (С. М. Кривовяз) разработана и проведена на опытном участке в совхозе № 1 поперечная схема, согласно которой при широкорядных посевах борозды нарезают перпендикулярно участковым распределителям. В случае лотковых распределителей вода с помощью сифонов подается из лотка в короткие (30—40 м) гибкие трубопроводы, раскладываемые параллельно лотку, и далее распределяется по полю глубокими бороздами. Уклон поливного участка должен создаваться искусственно при планировке полей. При поперечной схеме протяженность внутрихозяйственных каналов остается той же, что и при продольной, при условии сохранения прежней длины борозды (400 м). С уменьшением длины борозд протяженность лотковой сети возрастает.

В совхозе № 6 на площади около 1000 га практикуется полив дождеванием с использованием агрегатов ДДА—100 М, работающих позиционно.

Конструкции новой поливной техники для Голодной степи разрабатываются в основном в ГСКБ по ирригации, в распоряжении которого находятся механический завод в г. Ташкенте и экспериментальная база с ремонтными мастерскими в совхозе № 7. Организована «Фирма новой техники полива», которая по договорам с совхозами после проверки вновь созданной техники на своем полигоне в совхозе № 5 помогает внедрять ее в производство.

Технический уровень средств распределения воды на хлопковых полях из года в год повышается.

Очевидно, в ближайшие годы при Управлении оросительных систем Голодностепстроя будет создана центральная диспетчерская, осуществляющая управление опытной системой автоматического регулирования распределения воды. Автоматизация, телемеханизация и гидравлическое авторегулирование в межбригадных и участковых лотковых каналах намечались еще в проекте эксплуатации Южного Голодностепского канала, составленном Средазгипроводхлопком. К сожалению, ввести в действие автоматы ни на ЮГК, ни на лотковых каналах пока не удалось. Очевидно, этому вопросу нужно уделить первоочередное внимание. Рациональной организационной мерой в этом отношении явилось бы создание специальной группы, которая постепенно начала бы вводить в действие водомеры на водовыпусках из ЮГК, автоматизировать их и налаживать телеуправление. Завершение работ по автоматизации водораспределения из лотковых каналов и трубопроводов — задача Средазгипроводхлопка.

В таджикской части Голодной степи, на каналах ТМ-1 и ТМ-2, управление всеми гидротехническими сооружениями уже автоматизировано и после завершения пусконаладочных работ будет производиться с диспетчерского пункта, находящегося в Управлении оросительной системы (УОС). Насосная станция № 2 управляется дежурным по насосной станции № 1.

Борьба с фильтрацией из оросительных каналов

Борьба с фильтрацией из каналов в Голодной степи в условиях засоленных грунтовых вод и просадочных грунтов чрезвычайно важна. Испробованы все известные методы противофильтрационной защиты. Широко применяется монолитная бетонная облицовка магистральных и распределительных каналов. Мелкая оросительная сеть выполняется в виде лотков или трубопроводов. Технико-экономические расчеты показали, что применение лотковой сети взамен каналов в земляном русле на 5—7% повышает коэффициент земельного использования, на 20 — снижает капитальные и 40 — эксплуатационные затраты. Коэффициент

полезного действия Южно-Голодностепской оросительной системы в современных условиях эксплуатации равен 0,80.

Южно-Голодностепский канал (ЮГК). Пересекает зоны выклинивания грунтовых вод на границе между центральной и южной частями Голодной степи. Общая длина канала 125 км, из которых две трети проходят в полувыемке — полунасыпи, одна — в выемке. На участке от головы до узла сооружений на 62 км расход канала меняется от 300 до 230 м³/с; далее он последовательно снижается до 67,42 и, наконец, становится равным 10 м³/с (расход концевого сброса). Соответственно ширина канала по дну уменьшается с 18 до 8, 3, 5 и 2 м, а наполнение — с 7,2 до 5,3 и 2,7 м. Канал облицован бетоном только в концевой части, начиная со 104 км.

По данным наблюдений, фильтрационный расход из канала в грунт в вегетационный период составляет в среднем 65 л/с на 1 пог. км. На участке между 62 и 72 км, где под действием фильтрации происходит растворение гипса, содержащегося в супесях, фильтрационный расход в последние годы повысился до 220 л/с. Наблюдался вынос мелких фракций грунта в открытые дрены и создалась угроза прорыва дамбы. Для защиты все открытые дрены вблизи канала на участке 2 км переустроены в трубчатые закрытые и с внешней стороны правой дамбы устроен зуб. Не исключено, что подобные меры придется применить и на других участках канала. Общий объем потерь воды на фильтрацию из ЮГК 8 м³/с. Следовательно, при головном расходе 300 м³/с КПД канала равен 0,97.

В качестве одной из мер ослабления подпитывания грунтовых вод из канала может быть предложено следующее. В невегетационный период, когда по каналу проходит небольшой объем воды, необходимый для промывки засоленных земель, целесообразно пропускать его без подпора, подавая воду на поля с помощью плавучих насосных станций. Такая мера усилит дренирующее действие канала. Рассматриваются и другие мероприятия: облицовка канала, снижение уровня воды в нем и перевод прилегающей к нему полосы на машинное орошение, усиленный дренаж на землях, прилегающих к ЮГК. Дренаж должен быть рассчитан на перехват грунтовых вод, поступающих с юга, из зоны орошения каналов ТМ-1 и ТМ-2. Этот поток грунтовых вод может значительно возрасти после освоения Джизакской степи.

Ветви и распределители. На каналах с расходами более 1—1,5 м³/с проектом предусмотрено устройство противофильтрационной одежды. В результате испытаний различных типов выбор пал на облицовку из монолитного бетона и экраны из полимерных пленок с защитой их сборным железобетоном. Испытаны также ударное уплотнение ложа каналов, битумные экраны, экраны из бентонитовых глин.

ВНИИГиМ им. Костякова совместно с Голодностепстроем в 1958 г. осуществляли опытное строительство каналов с пленоч-

ными (из полиэтилена, полихлорвинила и других пластмасс) экранами, защищенными от воздействия солнечных лучей и механических повреждений слоем грунта толщиной 20 см. Всего построено около 25 км таких каналов. Пролежав под защитным слоем в течение 8—10 лет, пленки, в том числе и нестабилизированные, хорошо сохранились и практически не потеряли эластичности в отличие от незащищенных пленок, пришедших за это время в полную негодность. Тем не менее пленочные экраны, защищенные слоем грунта, не нашли распространения в Голодной степи главным образом из-за отсутствия механизмов для строительства и эксплуатационной очистки каналов с такими экрана-

Таблица 1

Канал	Расход Q, м³/с	i	n	h,м	v, м/с
Левая ветка	69	0,00008	0,014	4,8	1,1
Правая ветка	68	0,0001	0,014	4,3	1,3
ЮР-18	31	0,00012	0,02	3,3	0,8
Кургантепинская ветка	22	0,003	0,017	1,5	2,9
КТР-1	3	0,0002	0,017	1,3	0,7
КТР-2	3	0,00018	0,017	1,4	0,7
ЦК-7	16	0,00025	0,0275	2,5	0,7
17-К-7	2,5	0,0006	0,03	1,0	0,6

ми от растительности и ила. Вместо этого практикуют укладку поверх пленочного экрана плоских и ребристых железобетонных плит, изготавливаемых на стане Козлова. Такая облицовка может быть быстро уложена и легко ремонтируется, что очень важно в условиях просадочных грунтов. Подготовка откосов под укладку плоских плит в настоящее время производится с помощью приспособленных для этой цели многоковшовых экскаваторов поперечного черпания ЭМ—201, а на каналах среднего размера — специальными машинами, подготавливающими сразу полный поперечный профиль канала.

Подобная облицовка устраивается на Левой ветке (расход 70 м³/с), распределителях ЮР-22, ЮР—24—9, ЮР—18—1. Исследования, проведенные Средазгипроводхлопком на канале ЮР—18—1, подтвердили хорошие противофильтрационные свойства такой облицовки, что дало основание широко рекомендовать ее для использования в Голодной степи.

Облицовка из монолитного бетона, выполняемая вручную, — наиболее распространенная из применяемых в Голодной степи. Использовалась при строительстве Центральной, Левой и Правой веток, Кургантепинской ветки и др. С 1967 г. здесь испытывается комплект машин конструкции ВНИИЗеммаша. Применение машин почти в 4 раза снижает затраты труда на устройство облицовки, однако предъявляет особые требования к качеству приго-

товления бетона. Конструкция машин еще нуждается в усовершенствовании.

Ввиду жесткости конструкции монолитной облицовки перед ее устройством необходимо замачивать ложе канала.

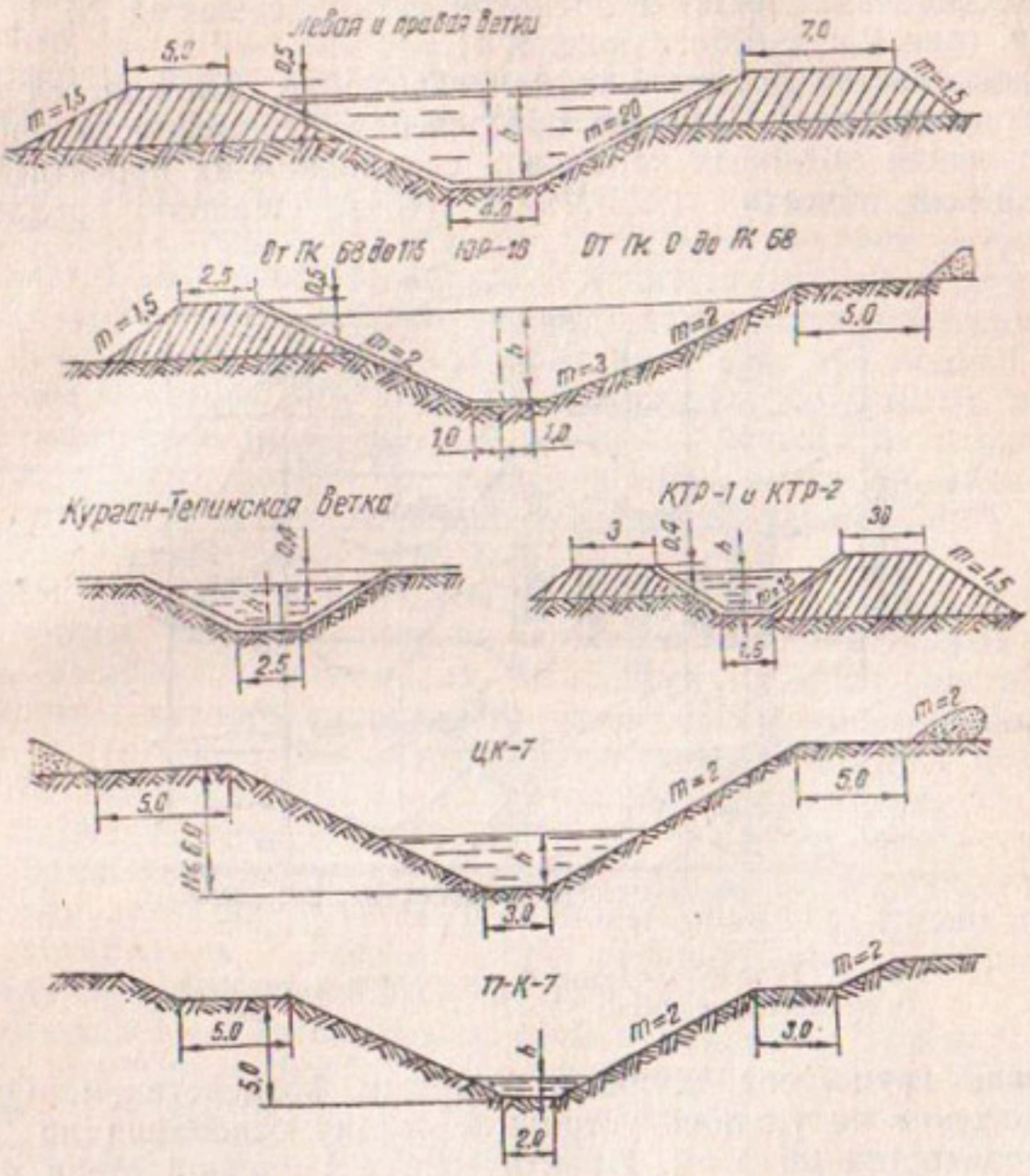


Рис. 2. Фархадская плотина на р. Сырдарье. Пропуск паводка 1969 г.

Лотковые каналы. Широкое распространение каналов-лотков в Голодной степи объясняется главным образом незначительными уклонами местности. Всего построено более 2500 км таких каналов из железобетонных раструбных лотков параболического сечения, изготовленных на Бекабадском заводе железобетонных изделий. Длина каждого лотка 6 м, высота — 40, 60, 80 и 100 см, пропускная способность лотковых каналов 120—1000 л/с. Лот-

ки устанавливают на стойках или сваях, реже укладывают на опорные фундаментные плиты. К таким решениям пришли Голодностепстрой, Средазгипроводхлопок и Гипроводхоз, разработавшие рациональные конструкции лотков в результате тщательного исследования работы лотковой сети в совхозах № 1, 6, 19, 28 и др. (рис. 2, см. табл. 1; рис. 3, 4).

Строительство лотковой сети чрезвычайно осложняется просадочностью грунтов. С целью обеспечения неизменности продольного профиля лотковых каналов и сохранения их проектной пропускной способности САНИИРИ (С. А. Иванов) предложено

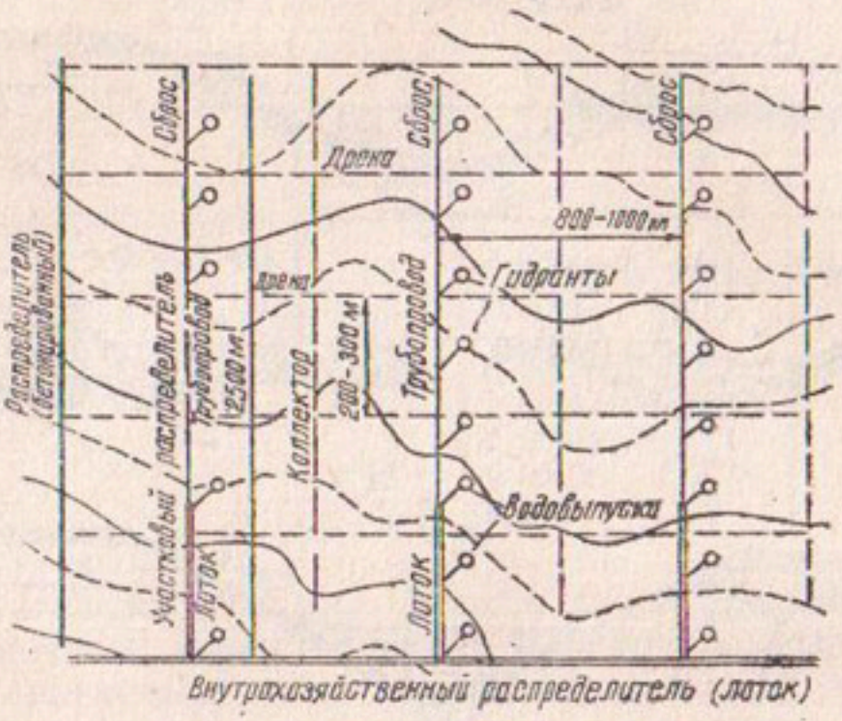


Рис. 3. Типовой участок с лотковыми и закрытыми распределителями.

уплотнять грунт под опорами ударным воздействием. Однако этим методом не удалось устранить осадку основания до 20 см при неровностях до 5 см. Практически в Голодной степи приходится производить послепросадочное выправление продольного профиля каналов-лотков. В связи с этим Голодностепстрой совместно с проектными институтами разработали более совершенную конструкцию лотковых каналов, состоящую из двух элементов — раструбного лотка длиною 6 м и свайной опоры длиною 4—5 м. Эксперименты, проведенные Центральной лабораторией Голодностепстроя, показали, что осадка свай в основании лотков новой конструкции не превышает 25—43 мм. В настоящее время в Голодной степи наряду со свайными лотковыми опорами применяются сборные опоры упрощенной конструкции (в виде стойки, закрепленной в фундаментной плите).

Нормальная работа лотковых каналов в большой степени зависит от качества герметизации стыков лотков. Центральной лабораторией Голодностепстроя проведены исследования различ-

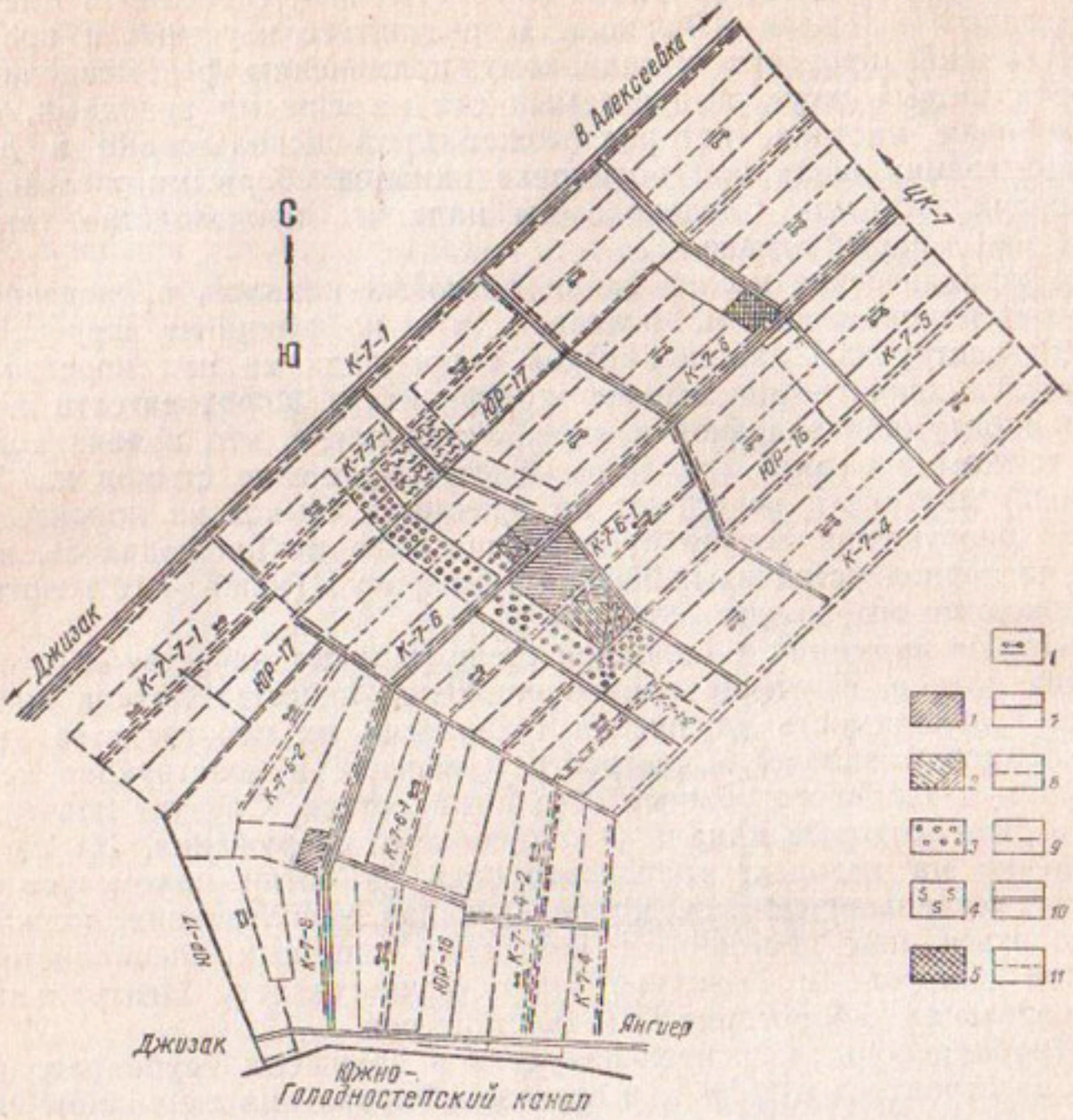
ных герметиков — губчатой резины, полиизобутилена, пороизолов, силиконовой мастики фирмы «Рона — Пуленк», тиоколовой мастики фирмы «Лежьен — Франсе». В результате изучения и производственной проверки к широкому применению рекомендованы пороизоловый жгут, выпускаемый отечественными заводами, силиконовая мастика, которая может быть использована и для герметизации швов при облицовке каналов сборными железобетонными плитами. Следовало бы наладить производство такой мастики в нашей стране.

Гидравлические исследования лотковых каналов, проведенные Средазгипроводхлопком, показали, что коэффициент шероховатости раструбных каналов-лотков с прокладками из пороизола оказался значительно меньше коэффициента шероховатости лотков с битумной заделкой стыков. Установлено, что подача воды по лоткам в зимнее время вызывает разрушение стыков на битумной мастике и не влияет на прочность стыков из пороизола. Хотя разрушения лотков от давления льда не наблюдалось, все же на период устойчивых низких температур (ниже —10°) лотки необходимо освобождать от воды.

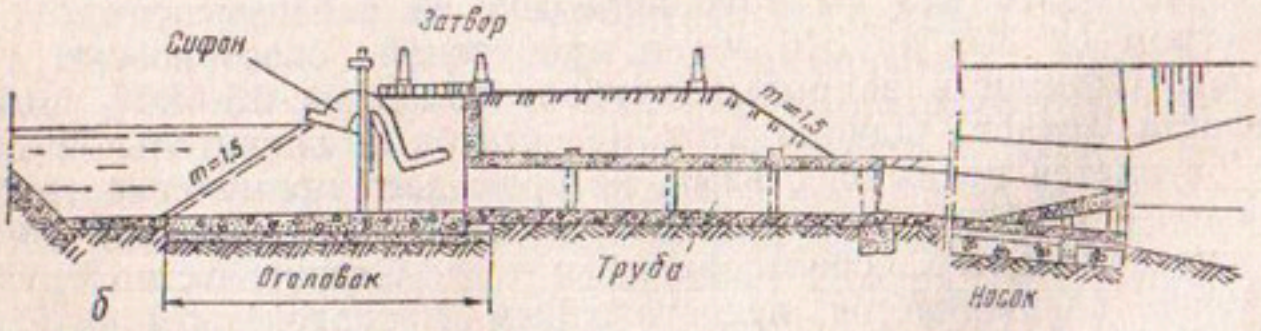
Особое внимание в Голодной степи уделяют качеству изготовления лотков. Изучение причин снижения качества лотков показало необходимость улучшения технологии их производства на Бекабадском заводе, в частности изменение в конструкции термоформ и теплового режима обработки лотков. Следует подчеркнуть, что лотковые каналы — капитальные сооружения. Их изготовление на заводах, транспортировка за сотни километров к месту установки, монтаж и последующая эксплуатация должны находиться под постоянным контролем опытных специалистов. Такой контроль в Голодной степи осуществляет Центральная строительная лаборатория Голодностепстроя.

Трубопроводы. Оросительная сеть в закрытых трубопроводах начала строиться в 1958 г. в совхозе «Фархад» на машинном канале № 2. В настоящее время в совхозах Голодной степи уже построено более 425 км трубопроводов из асбоцементных труб диаметром от 368 до 546 мм и пропускной способностью до 200 л/с. Стоимость закрытых трубопроводов на 15—20% выше стоимости лотков. Однако этот недостаток в значительной степени окупается преимуществами, которые дает применение трубопроводов — удобство эксплуатации, высокий КПД, высокий коэффициент земельного использования и т. д. Строительство трубопроводов сдерживается недостаточным производством асбоцементных труб.

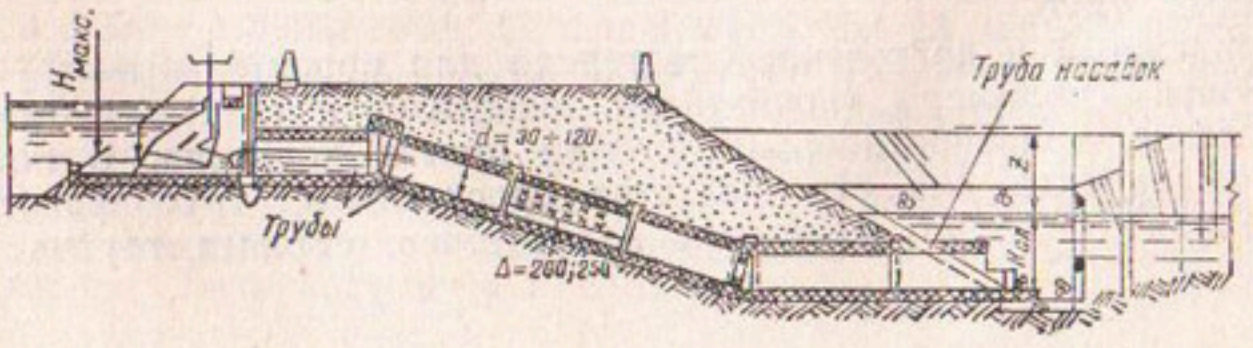
Надежный и долговечный материал для оросительных трубопроводов — полимеры (полиэтилен, винипласт и т. д.), трубы из них легки, транспортабельны, стойки против коррозии. В качестве материала для строительства оросительных трубопроводов на напор 1—2,5 ат, закрытых коллекторов, сетевых трубчатых


В. Алексеевка
ЦК-7
С
Ю
К-7-1
К-7-7-1
К-7-7
К-7-6
К-7-6-1
К-7-5
К-7-4
К-7-3
К-7-2
К-7-1
К-7-8
К-7-9
К-7-10
К-7-11
К-7-12
К-7-13
К-7-14
К-7-15
К-7-16
К-7-17
К-7-18
К-7-19
К-7-20
К-7-21
К-7-22
К-7-23
К-7-24
К-7-25
К-7-26
К-7-27
К-7-28
К-7-29
К-7-30
К-7-31
К-7-32
К-7-33
К-7-34
К-7-35
К-7-36
К-7-37
К-7-38
К-7-39
К-7-40
К-7-41
К-7-42
К-7-43
К-7-44
К-7-45
К-7-46
К-7-47
К-7-48
К-7-49
К-7-50
К-7-51
К-7-52
К-7-53
К-7-54
К-7-55
К-7-56
К-7-57
К-7-58
К-7-59
К-7-60
К-7-61
К-7-62
К-7-63
К-7-64
К-7-65
К-7-66
К-7-67
К-7-68
К-7-69
К-7-70
К-7-71
К-7-72
К-7-73
К-7-74
К-7-75
К-7-76
К-7-77
К-7-78
К-7-79
К-7-80
К-7-81
К-7-82
К-7-83
К-7-84
К-7-85
К-7-86
К-7-87
К-7-88
К-7-89
К-7-90
К-7-91
К-7-92
К-7-93
К-7-94
К-7-95
К-7-96
К-7-97
К-7-98
К-7-99
К-7-100
К-7-101
К-7-102
К-7-103
К-7-104
К-7-105
К-7-106
К-7-107
К-7-108
К-7-109
К-7-110
К-7-111
К-7-112
К-7-113
К-7-114
К-7-115
К-7-116
К-7-117
К-7-118
К-7-119
К-7-120
К-7-121
К-7-122
К-7-123
К-7-124
К-7-125
К-7-126
К-7-127
К-7-128
К-7-129
К-7-130
К-7-131
К-7-132
К-7-133
К-7-134
К-7-135
К-7-136
К-7-137
К-7-138
К-7-139
К-7-140
К-7-141
К-7-142
К-7-143
К-7-144
К-7-145
К-7-146
К-7-147
К-7-148
К-7-149
К-7-150
К-7-151
К-7-152
К-7-153
К-7-154
К-7-155
К-7-156
К-7-157
К-7-158
К-7-159
К-7-160
К-7-161
К-7-162
К-7-163
К-7-164
К-7-165
К-7-166
К-7-167
К-7-168
К-7-169
К-7-170
К-7-171
К-7-172
К-7-173
К-7-174
К-7-175
К-7-176
К-7-177
К-7-178
К-7-179
К-7-180
К-7-181
К-7-182
К-7-183
К-7-184
К-7-185
К-7-186
К-7-187
К-7-188
К-7-189
К-7-190
К-7-191
К-7-192
К-7-193
К-7-194
К-7-195
К-7-196
К-7-197
К-7-198
К-7-199
К-7-200
К-7-201
К-7-202
К-7-203
К-7-204
К-7-205
К-7-206
К-7-207
К-7-208
К-7-209
К-7-210
К-7-211
К-7-212
К-7-213
К-7-214
К-7-215
К-7-216
К-7-217
К-7-218
К-7-219
К-7-220
К-7-221
К-7-222
К-7-223
К-7-224
К-7-225
К-7-226
К-7-227
К-7-228
К-7-229
К-7-230
К-7-231
К-7-232
К-7-233
К-7-234
К-7-235
К-7-236
К-7-237
К-7-238
К-7-239
К-7-240
К-7-241
К-7-242
К-7-243
К-7-244
К-7-245
К-7-246
К-7-247
К-7-248
К-7-249
К-7-250
К-7-251
К-7-252
К-7-253
К-7-254
К-7-255
К-7-256
К-7-257
К-7-258
К-7-259
К-7-260
К-7-261
К-7-262
К-7-263
К-7-264
К-7-265
К-7-266
К-7-267
К-7-268
К-7-269
К-7-270
К-7-271
К-7-272
К-7-273
К-7-274
К-7-275
К-7-276
К-7-277
К-7-278
К-7-279
К-7-280
К-7-281
К-7-282
К-7-283
К-7-284
К-7-285
К-7-286
К-7-287
К-7-288
К-7-289
К-7-290
К-7-291
К-7-292
К-7-293
К-7-294
К-7-295
К-7-296
К-7-297
К-7-298
К-7-299
К-7-300
К-7-301
К-7-302
К-7-303
К-7-304
К-7-305
К-7-306
К-7-307
К-7-308
К-7-309
К-7-310
К-7-311
К-7-312
К-7-313
К-7-314
К-7-315
К-7-316
К-7-317
К-7-318
К-7-319
К-7-320
К-7-321
К-7-322
К-7-323
К-7-324
К-7-325
К-7-326
К-7-327
К-7-328
К-7-329
К-7-330
К-7-331
К-7-332
К-7-333
К-7-334
К-7-335
К-7-336
К-7-337
К-7-338
К-7-339
К-7-340
К-7-341
К-7-342
К-7-343
К-7-344
К-7-345
К-7-346
К-7-347
К-7-348
К-7-349
К-7-350
К-7-351
К-7-352
К-7-353
К-7-354
К-7-355
К-7-356
К-7-357
К-7-358
К-7-359
К-7-360
К-7-361
К-7-362
К-7-363
К-7-364
К-7-365
К-7-366
К-7-367
К-7-368
К-7-369
К-7-370
К-7-371
К-7-372
К-7-373
К-7-374
К-7-375
К-7-376
К-7-377
К-7-378
К-7-379
К-7-380
К-7-381
К-7-382
К-7-383
К-7-384
К-7-385
К-7-386
К-7-387
К-7-388
К-7-389
К-7-390
К-7-391
К-7-392
К-7-393
К-7-394
К-7-395
К-7-396
К-7-397
К-7-398
К-7-399
К-7-400
К-7-401
К-7-402
К-7-403
К-7-404
К-7-405
К-7-406
К-7-407
К-7-408
К-7-409
К-7-410
К-7-411
К-7-412
К-7-413
К-7-414
К-7-415
К-7-416
К-7-417
К-7-418
К-7-419
К-7-420
К-7-421
К-7-422
К-7-423
К-7-424
К-7-425
К-7-426
К-7-427
К-7-428
К-7-429
К-7-430
К-7-431
К-7-432
К-7-433
К-7-434
К-7-435
К-7-436
К-7-437
К-7-438
К-7-439
К-7-440
К-7-441
К-7-442
К-7-443
К-7-444
К-7-445
К-7-446
К-7-447
К-7-448
К-7-449
К-7-450
К-7-451
К-7-452
К-7-453
К-7-454
К-7-455
К-7-456
К-7-457
К-7-458
К-7-459
К-7-460
К-7-461
К-7-462
К-7-463
К-7-464
К-7-465
К-7-466
К-7-467
К-7-468
К-7-469
К-7-470
К-7-471
К-7-472
К-7-473
К-7-474
К-7-475
К-7-476
К-7-477
К-7-478
К-7-479
К-7-480
К-7-481
К-7-482
К-7-483
К-7-484
К-7-485
К-7-486
К-7-487
К-7-488
К-7-489
К-7-490
К-7-491
К-7-492
К-7-493
К-7-494
К-7-495
К-7-496
К-7-497
К-7-498
К-7-499
К-7-500
К-7-501
К-7-502
К-7-503
К-7-504
К-7-505
К-7-506
К-7-507
К-7-508
К-7-509
К-7-510
К-7-511
К-7-512
К-7-513
К-7-514
К-7-515
К-7-516
К-7-517
К-7-518
К-7-519
К-7-520
К-7-521
К-7-522
К-7-523
К-7-524
К-7-525
К-7-526
К-7-527
К-7-528
К-7-529
К-7-530
К-7-531
К-7-532
К-7-533
К-7-534
К-7-535
К-7-536
К-7-537
К-7-538
К-7-539
К-7-540
К-7-541
К-7-542
К-7-543
К-7-544
К-7-545
К-7-546
К-7-547
К-7-548
К-7-549
К-7-550
К-7-551
К-7-552
К-7-553
К-7-554
К-7-555
К-7-556
К-7-557
К-7-558
К-7-559
К-7-560
К-7-561
К-7-562
К-7-563
К-7-564
К-7-565
К-7-566
К-7-567
К-7-568
К-7-569
К-7-570
К-7-571
К-7-572
К-7-573
К-7-574
К-7-575
К-7-576
К-7-577
К-7-578
К-7-579
К-7-580
К-7-581
К-7-582
К-7-583
К-7-584
К-7-585
К-7-586
К-7-587
К-7-588
К-7-589
К-7-590
К-7-591
К-7-592
К-7-593
К-7-594
К-7-595
К-7-596
К-7-597
К-7-598
К-7-599
К-7-600
К-7-601
К-7-602
К-7-603
К-7-604
К-7-605
К-7-606
К-7-607
К-7-608
К-7-609
К-7-610
К-7-611
К-7-612
К-7-613
К-7-614
К-7-615
К-7-616
К-7-617
К-7-618
К-7-619
К-7-620
К-7-621
К-7-622
К-7-623
К-7-624
К-7-625
К-7-626
К-7-627
К-7-628
К-7-629
К-7-630
К-7-631
К-7-632
К-7-633
К-7-634
К-7-635
К-7-636
К-7-637
К-7-638
К-7-639
К-7-640
К-7-641
К-7-642
К-7-643
К-7-644
К-7-645
К-7-646
К-7-647
К-7-648
К-7-649
К-7-650
К-7-651
К-7-652
К-7-653
К-7-654
К-7-655
К-7-656
К-7-657
К-7-658
К-7-659
К-7-660
К-7-661
К-7-662
К-7-663
К-7-664
К-7-665
К-7-666
К-7-667
К-7-668
К-7-669
К-7-670
К-7-671
К-7-672
К-7-673
К-7-674
К-7-675
К-7-676
К-7-677
К-7-678
К-7-679
К-7-680
К-7-681
К-7-682
К-7-683
К-7-684
К-7-685
К-7-686
К-7-687
К-7-688
К-7-689
К-7-690
К-7-691
К-7-692
К-7-693
К-7-694
К-7-695
К-7-696
К-7-697
К-7-698
К-7-699
К-7-700
К-7-701
К-7-702
К-7-703
К-7-704
К-7-705
К-7-706
К-7-707
К-7-708
К-7-709
К-7-710
К-7-711
К-7-712
К-7-713
К-7-714
К-7-715
К-7-716
К-7-717
К-7-718
К-7-719
К-7-720
К-7-721
К-7-722
К-7-723
К-7-724
К-7-725
К-7-726
К-7-727
К-7-728
К-7-729
К-7-730
К-7-731
К-7-732
К-7-733
К-7-734
К-7-735
К-7-736
К-7-737
К-7-738
К-7-739
К-7-740
К-7-741
К-7-742
К-7-743
К-7-744
К-7-745
К-7-746
К-7-747
К-7-748
К-7-749
К-7-750
К-7-751
К-7-752
К-7-753
К-7-754
К-7-755
К-7-756
К-7-757
К-7-758
К-7-759
К-7-760
К-7-761
К-7-762
К-7-763
К-7-764
К-7-765
К-7-766
К-7-767
К-7-768
К-7-769
К-7-770
К-7-771
К-7-772
К-7-773
К-7-774
К-7-775
К-7-776
К-7-777
К-7-778
К-7-779
К-7-780
К-7-781
К-7-782
К-7-783
К-7-784
К-7-785
К-7-786
К-7-787
К-7-788
К-7-789
К-7-790
К-7-791
К-7-792
К-7-793
К-7-794
К-7-795
К-7-796
К-7-797
К-7-798
К-7-799
К-7-800
К-7-801
К-7-802
К-7-803
К-7-804
К-7-805
К-7-806
К-7-807
К-7-808
К-7-809
К-7-810
К-7-811
К-7-812
К-7-813
К-7-814
К-7-815
К-7-816
К-7-817
К-7-818
К-7-819
К-7-820
К-7-821
К-7-822
К-7-823
К-7-824
К-7-825
К-7-826
К-7-827
К-7-828
К-7-829
К-7-830
К-7-831
К-7-832
К-7-833
К-7-834
К-7-835
К-7-836
К-7-837
К-7-838
К-7-839
К-7-840
К-7-841
К-7-842
К-7-843
К-7-844
К-7-845
К-7-846
К-7-847
К-7-848
К-7-849
К-7-850
К-7-851
К-7-852
К-7-853
К-7-854
К-7-855
К-7-856
К-7-857
К-7-858
К-7-859
К-7-860
К-7-861
К-7-862
К-7-863
К-7-864
К-7-865
К-7-866
К-7-867
К-7-868
К-7-869
К-7-870
К-7-871
К-7-872
К-7-873
К-7-874
К-7-875
К-7-876
К-7-877
К-7-878
К-7-879
К-7-880
К-7-881
К-7-882
К-7-883
К-7-884
К-7-885
К-7-886
К-7-887
К-7-888
К-7-889
К-7-890
К-7-891
К-7-892
К-7-893
К-7-894
К-7-895
К-7-896
К-7-897
К-7-898
К-7-899
К-7-900
К-7-901
К-7-902
К-7-903
К-7-904
К-7-905
К-7-906
К-7-907
К-7-908
К-7-909
К-7-910
К-7-911
К-7-912
К-7-913
К-7-914
К-7-915
К-7-916
К-7-917
К-7-918
К-7-919
К-7-920
К-7-921
К-7-922
К-7-923
К-7-924
К-7-925
К-7-926
К-7-927
К-7-928
К-7-929
К-7-930
К-7-931
К-7-932
К-7-933
К-7-934
К-7-935
К-7-936
К-7-937
К-7-938
К-7-939
К-7-940
К-7-941
К-7-942
К-7-943
К-7-944
К-7-945
К-7-946
К-7-947
К-7-948
К-7-949
К-7-950
К-7-951
К-7-952
К-7-953
К-7-954
К-7-955
К-7-956
К-7-957
К-7-958
К-7-959
К-7-960
К-7-961
К-7-962
К-7-963
К-7-964
К-7-965
К-7-966
К-7-967
К-7-968
К-7-969
К-7-970
К-7-971
К-7-972
К-7-973
К-7-974
К-7-975
К-7-976
К-7-977
К-7-978
К-7-979
К-7-980
К-7-981
К-7-982
К-7-983
К-7-984
К-7-985
К-7-986
К-7-987
К-7-988
К-7-989
К-7-990
К-7-991
К-7-992
К-7-993
К-7-994
К-7-995
К-7-996
К-7-997
К-7-998
К-7-999
К-7-1000
Джизак
Янгиер
Южно-Голодностепский канал
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11

а


Сифон
Затвор
m=1,5
m=1,5
Оголовок
Труба
Насос

б


Hмакс.
d = 30 ÷ 120
Трубы
Δ=260;250
Труба насосная

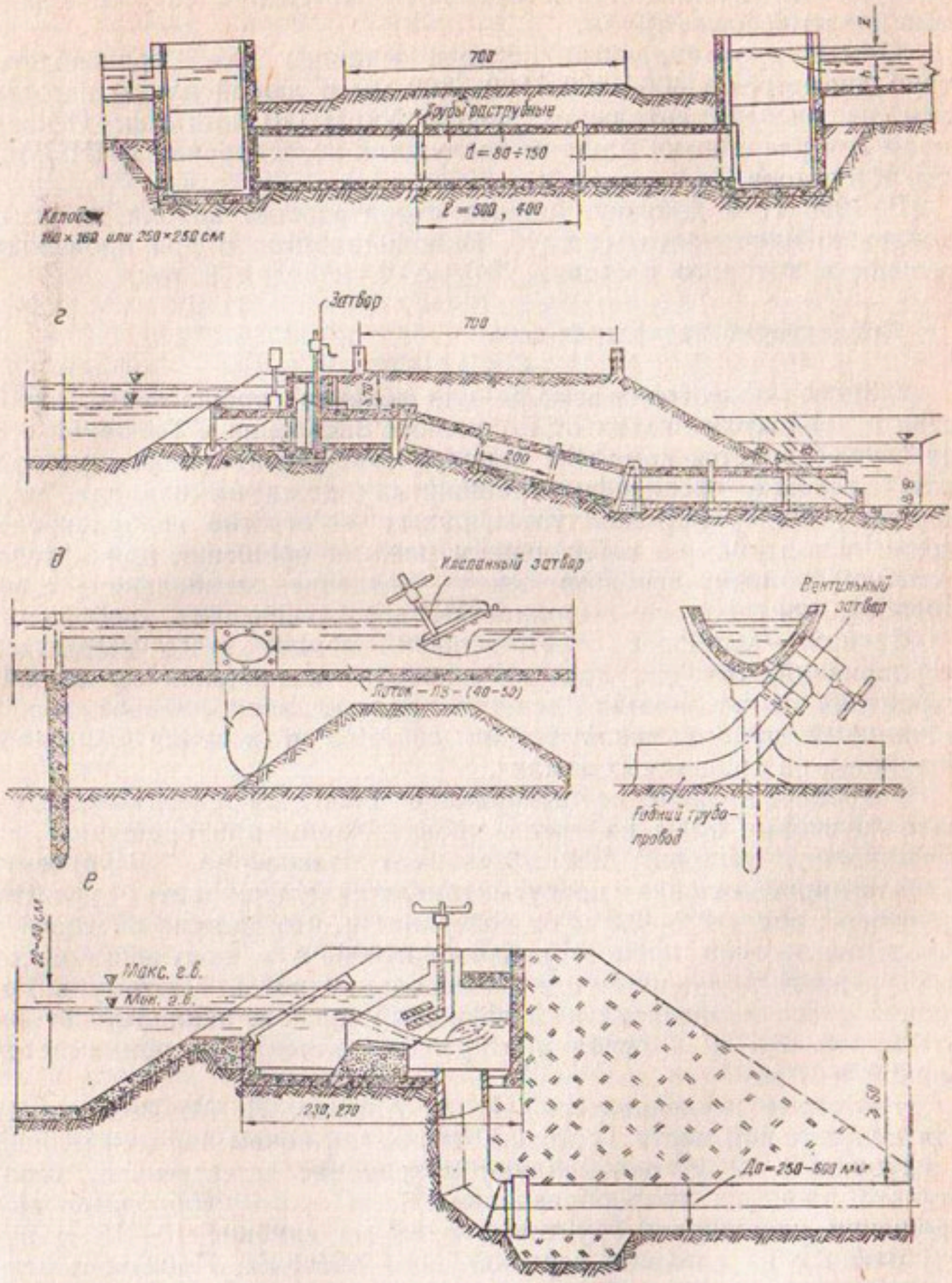


Рис 4. Схема оросительной и коллекторно-дренажной сети в совхозе № 6.

1 — усадьба, *2* — овоще-кормовой севооборот, *3* — сады и огороды, *4* — виноградники, *5* — производительная зона и ферма, *6* — полевой стан, *7* — канал бетонированный, *8* — каналы в железобетонных лотках, *9* — коллектор, *10* — магистральная дорога, *11* — полевая дорога.

Типовое сооружение на открытой и закрытой оросительной сети: *а* — сифонный сброс из канала, *б* — водовыпуск из канала, оборудованный автоматом расхода и переходом, *в* — трубчатый переезд через лотковый канал, *г* — водовыпуск из канала, оборудованный водомером и перепадом, *д* — лоток-водовыпуск в гибкий трубопровод, *е* — водовыпуск в закрытый трубопровод.

сооружений должны найти широкое применение спиральнонавитые пластмассовые трубы.

Опытно-промышленный образец машины для производства труб диаметрами 400—500—600—800 мм и любой длины изготовлен на экспериментальном заводе УкрНИИПластмаш. Основанием для разработки машины послужили исследования ВНИИГиМ им. Костякова.

В 1966 г. в Джизаке начато строительство завода по изготовлению пластмассовых труб, гибких шлангов и др., производительность которого составит 20 тыс. т. изделий в год.

Коллекторно-дренажная сеть

С целью подготовки земель для ведения орошаемого хозяйства и предохранения их от вторичного засоления в Голодной степи осуществляется комплекс мероприятий: строительных — устройство дренажа, противофильтрационных одежд на каналах, планировка; промывка; эксплуатационных — строгое водораспределение и контроль за соблюдением режима орошения при круглосуточном поливе; агрономических — введение специального севооборота, контроль за выполнением агротехнических требований.

Дренаж — наиболее ответственный элемент этого комплекса мероприятий, так как помимо основного назначения он служит гарантией от последствий всякого рода ошибок, неизбежных в начальный период эксплуатации системы и ведения сельского хозяйства на орошаемых землях.

Основное назначение дренажа в Голодной степи — удерживать грунтовые воды на таком уровне, чтобы при орошении не создавалось условий для вторичного засоления. В проекте Средазгипроводхлопка предусматривается удерживать уровень грунтовых вод в 2,2—2,8 м от поверхности, что должно обеспечить сероземно-луговой процесс почвообразования и получение высоких урожаев при экономном расходовании воды. Поэтому в Голодной степи горизонтальный закрытый дренаж закладывают на глубину 3—3,5 м, а глубина открытых коллекторов принимается равной 4—7 м.

Некоторые исследователи (Р. А. Алимов, Н. М. Решеткина) для центральной части Голодной степи, где почвы засолены лишь с глубины 1—2 м, рекомендуют сохранение естественного сероземного процесса почвообразования. Для этого необходимо при орошении удерживать грунтовые воды на глубине 10—15 м путем откачек из скважин вертикального дренажа. Производственные опыты в этом направлении уже ведутся.

В настоящее время основное внимание уделяется строительству горизонтального закрытого дренажа. В первый период освоения Голодной степи при ирригационном строительстве в совхозах № 4, 5 и 6 допущено немало ошибок. Дренаж укладывали редко — его удельная протяженность составляла всего лишь около

15 пог. м/га. К тому же темпы строительства дренажа резко отставали от темпов освоения. Отмечены недостатки в строительстве дрен, вызывавшиеся в той или иной степени типом дренажных труб, их укладкой, качеством фильтра, уплотнением обратной засыпки и др. Еще не была налажена эксплуатация построенной коллекторно-дренажной сети. В результате отдельные дрены плохо работали или выходили из строя, земли засолялись. В настоящее время густота дренажа составляет в среднем около 60 м/га.

Решение неясных вопросов с целью усовершенствования конструкции и качества строительства дренажа потребовало организации всесторонних исследований, которые уже в течение более 10 лет проводятся специалистами Голодностепстроя, Средазгипроводхлопка, ГСКБ по ирригации и многих институтов.

Правильное проектирование дренажа невозможно без достоверного почвенного и гидрогеологического обоснования. Поэтому особое значение имеют исследования почвогрунтов на большую глубину с помощью новых методов и современной аппаратуры такой, как скважинный нейтронный влагомер НИВ-1, скважинные и поверхностные гамма-плотномеры ГГП-1 и ПГП-1, анализаторы ионных подвижностей для быстрого определения минерализации грунтовых вод АИП-1 и АИП-2, винтовой штамп для производства интрометрических изучений прочности лессов и их просадочности, самоходная пенетрационно-каротажная установка «Всегингео» и др. Широкое применение этих приборов и установок позволило намного сократить сроки проведения исследований.

Разрабатываются и совершенствуются методы расчета закрытого горизонтального дренажа. Принятый расчет дренажа по методу водного баланса не учитывает особенностей перемещения солей в грунте. Поэтому важное значение имеет разработка методов расчета дренажа, основанных на водно-солевом балансе, которую ведут С. Ф. Аверьянов, Х. Якубов и др.

Объектами подробных исследований стали конструкция дренажа и технология его строительства. Первоначально конструкция дренажа принята на основании разработок опытно-мелиоративной станции в Голодной степи (ЦОМС) и Джафарханской ОМС в Азербайджане. До тех пор, пока не было организовано собственное производство гончарных труб, укладывали дренаж исключительно из перфорированных асбоцементных труб диаметром 140—290 мм и длиной 330 мм. Изучение работы дренажа из таких труб показало, что при простой их стыковке возможно расстройство дренажной линии в процессе эксплуатации (особенно в просадочных грунтах). Впоследствии перешли на укладку гончарных труб длиной 550 мм и стали применять трубы с раструбным соединением, которые выпускает Хавастский завод. Для строительства дренажа в Голодной степи использовались полиэтиленовые перфорированные трубы диаметром 100—120 мм, но они дороже гончарных. Их можно значительно удешевить,

уменьшив толщину стенки (что допускалось по условиям прочности). Однако поставку таких труб Голодностепстрою сократили.

В настоящее время ВНИИГиМом (В. А. Шрейдер, Э. М. Белогородский) исследуется возможность устройства в различных грунтах Голодной степи дренажа из пластмассовых труб, заложенных на глубине до 3,5 м. На основании полученных данных заводу будет дан обоснованный заказ на изготовление тонкостенных труб для дренажа в Голодной степи.

В результате исследований разработаны оптимальные конструкции и состав фильтрующей засыпки дренажных труб. Ведутся поиски рациональных способов уплотнения обратной засыпки.

Строительство дренажа в Голодной степи ведет Дренажстрой, которым за 8 лет построено более 5700 км дрен.

При глубоком залегании грунтовых вод строительство дренажа ведется с помощью дреноукладчиков Д—351, Д—301 и Д—251, разработанных Голодностепстроем и в дальнейшем усовершенствованных САНИИРИ. Эти машины отрывают траншеи глубиной до 3,5 м, шириной 0,6—0,8 м и укладывают дренажные трубы диаметром от 150 до 200 мм с одновременной засыпкой их песчано-гравийной смесью. Пути дреноукладчика планируют под заданный уклон скреперами Д—374 и бульдозерами, обратную засыпку дрены и «корыта» выполняет бульдозер. Трубы раскладываются по трассе и закладываются в подающий механизм дреноукладчика вручную: бункер периодически (через каждые 15—20 м) загружают песчано-гравийной смесью для фильтра, используя автосамосвалы. После прохода дреноукладчика монтируют колодцы и устья. Производительность дреноукладчика 8—12 пог. м дрены в час, стоимость 1 пог. м дрены 7—8 руб.

При близком к поверхности залегании грунтовых вод применяют так называемый способ «полки». В этом случае предварительно отрывается канал с устойчивыми откосами и уступом на одном из откосов выше уровня воды. После того, как по каналу сойдет избыточная вода, на полку вручную укладывают дрену. Стоимость одного пог. м дренажа, уложенного методом «полки», составляет 12—14 руб. (рис. 5).

До последнего времени трудоемкий и дорогой метод «полки» был единственно возможным при строительстве дренажа в перенасыщенных водой грунтах. Плохая водопроницаемость грунтов (коэффициент фильтрации меньше 0,4 м/сут) делала невозможным применение каких-либо других методов предварительного водопонижения (например, с помощью иглофильтров).

Большие преимущества сулит применение нового дреноукладчика конструкции ВНИИГиМ — БДМ—300 для бестраншейного строительства дренажа из пластмассовых труб с фильтром из капроновой ткани (Е. Д. Томин, В. Н. Буравцев и др.). Характерная особенность новой машины — пассивный рабочий орган

в виде ножа с плоской лобовой гранью, отрывающей щель на глубину до 3 м, в которую могут укладываться трубы диаметром до 100 мм. Большое потребное тяговое усилие (22—35 т) обеспечивается применением в качестве базовой машины трактора ДЭТ—250 с электрической трансмиссией, плавно регулирую-

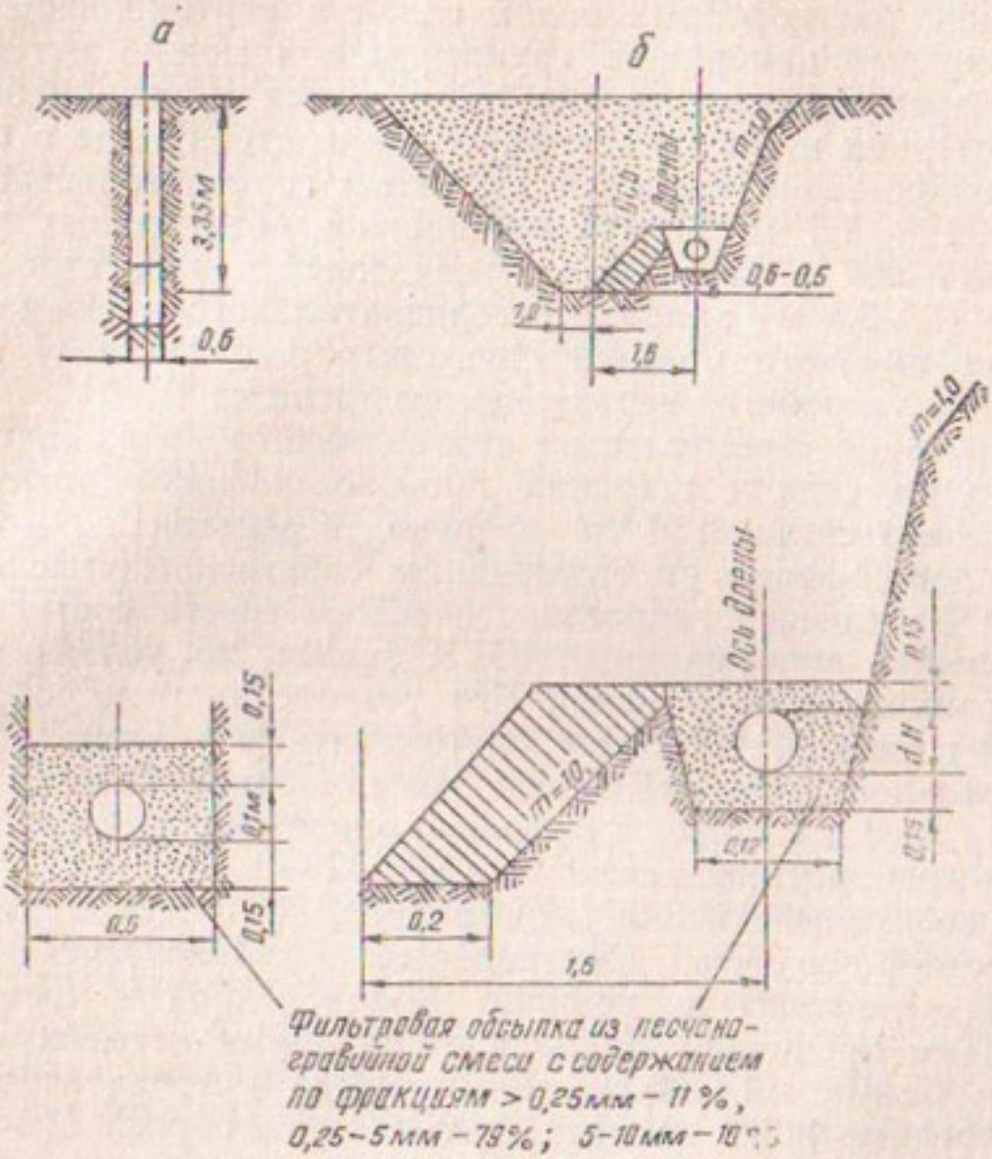


Рис. 5. Конструкция горизонтального закрытого дренажа:

а — при механизированной укладке в условиях глубокого залегания грунтовых вод, *б* — при устройстве открытым способом (метод «полки»).

щей скорость при изменении сопротивления грунта. На испытаниях в совхозе «Пахтакор» машина прокладывала дрены со скоростью до 300 м/ч. В первой половине 1970 г. с ее применением намечено построить в Голодной степи около 200 км дрен в условиях высокого стояния грунтовых вод и оплывающих грунтов.

В Голодной степи испытывается новый дреноукладчик, конструкция которого разработана САНИИРИ совместно с Голодностепстроем. Производительность этой машины, вырезающей в грунте щель шириной 15 см и укладывающей в нее пластмассовую трубу с фильтром из стеклоткани, достигает 200 м/смену. Нормальная работа и долговечность дренажа во многом зависят от

организации службы эксплуатации. К сожалению, мелиоративная служба совхозов недостаточно укомплектована квалифицированными кадрами.

Вследствие напорности грунтовых вод в почвогрунтах Голодной степи преобладает вертикальный водообмен и соответственно перемещение растворенных водой солей в вертикальном направлении. Понизить напорность грунтовых вод можно путем вертикального дренажа. Он широко применяется в старой зоне орошения (северная и северо-восточная части степи), где в свое время преимущественно строился открытый горизонтальный дренаж глубиною 1,5—2,5 м. При сложившихся объективных условиях заглубление его в настоящее время невозможно: строительство глубокого (3—3,5 м) закрытого горизонтального дренажа затруднено из-за высокого стояния грунтовых вод. Поэтому наиболее рационально устройство вертикального дренажа.

В новой зоне строительство вертикального дренажа пока еще не вышло из стадии широких производственных опытов, хотя уже построено свыше 170 и введено в действие 110 скважин. Средазгипроводхлопок по материалам собственных исследований и данным Узбекского гидрогеологического треста составил карту районирования подкомандных ЮГК земель по условиям применения вертикального дренажа. Его устройство целесообразно на 25% этой площади. Наиболее благоприятные условия сложились на Центральном массиве, в зоне командования Правой ветки и в совхозах № 8 и 9. Здесь с помощью одной скважины может быть улучшено мелиоративное состояние 57—124 га.

Вода, собираемая всеми видами дрен, поступает в разветвленную коллекторную сеть. Центральный Голодностепский коллектор (ЦГК) проходит по границе между старой и новой целинными зонами орошения. Он начинается двумя ветвями — Джетысайской и Баяутской. Принимая по пути к Арнасайскому понижению сбросные воды из катастрофического сброса Центральной ветки, ЦК-6, ЦК-7 и многих коллекторов, собирает дренажный сток с площади 335 тыс. га. Его дренажный расход 42 м³/с, пропускная способность концевого участка 90 м³/с.

Большинство коллекторов в старой и новой зонах орошения представляет глубокие (4—7 м) открытые каналы. Поддержание их в исправном состоянии требует хорошо налаженной механизированной службы эксплуатации, поскольку русла их зарастают камышом, откосы обваливаются и оползают. В новой зоне небольшие коллекторы выполняются в трубах диаметром до 400 мм. Уже построено более 124 км таких коллекторов. Строительство закрытой коллекторной сети вместо открытой способствует более надежной работе дренажа и повышает коэффициент земельного использования (кроме того, снижает эксплуатационные затраты и т. д.). Можно, однако, предполагать, что коллекторы с расходами более 2 м³/с будут и в дальнейшем строиться открытыми. Важнейшее условие их нормальной работы — недопущение боко-

вых размывов и оврагообразования при сбросе в них воды на участках с большими уклонами.

Промывка засоленных почв

Объем воды, необходимый для промывки, устанавливается экспериментально в зависимости от степени и характера засоления, уровня и минерализации грунтовых вод, составляет от 5 до 30 тыс. м³/га. Промывки нормой менее 5 тыс. м³ применяются на незасоленных и слабозасоленных почвах, где вода используется не столько для промывки, сколько для замочки и влагозарядки. Как показала практика, наиболее эффективно вести промывку прерывисто — нормами по 2—3 тыс. м³/га с интервалами 1—2 суток на легких и до 5 суток на тяжелых почвах в период наиболее глубокого залегания грунтовых вод (т. е. в осенне-зимний период). При промывке больших площадей в этот период трудно уложиться. Поэтому промывку ведут в течение года на фоне дренажа (постоянного и временного), обеспечивающего нужную скорость отвода промывных вод. В дополнение к постоянному дренажу при больших промывных нормах (10 тыс. м³/га) строится временный мелкий (0,8—1,0 м) открытый дренаж с расстоянием между дренами 25—30 м. Об эффективности промывки судят по снижению общего запаса вредных солей, содержания хлора (допустимым считается запас вредных солей, равный 0,3%, и хлора — 0,01% от веса почвы).

Исследованиями экспедиции ВНИИГиМа (В. И. Бобченко, А. Сидько, В. С. Макарова и др.), проводившимися в течение почти 6 лет в совхозах № 4, 5, 26 и «Пахтакор», установлено, что все разности засоленных почв Голодной степи, кроме исключительно тяжелых (с коэффициентом фильтрации менее 0,05 м/сут), занимающих незначительную площадь, могут быть рассолены с помощью капитальной промывки на фоне горизонтального дренажа.

Мелкий временный дренаж глубиною 0,8—1,0 м через 30 м оказался эффективным при промывках тяжелых почв с коэффициентом фильтрации 0,5—0,1 м/сут, а также при содержании в почвогрунтах слабопроницаемых гипсированных прослоек.

Плодородие промытых почв создается с помощью комплекса мер и, в первую очередь, внедрением севооборота с культурой многолетних трав, внесением повышенных доз минеральных удобрений и борьбой с сорной растительностью.

В совхозе № 4 ВНИИГиМ проводит опыты по промывке засоленных земель на фоне вертикального дренажа. Установлено, что в зависимости от дебита скважин, литологии и водно-физических свойств почвогрунтов с коэффициентами фильтрации 0,5—0,6 м/сут повышение скорости фильтрации, снижение уровней напорных и грунтовых вод и рассоление почвогрунтов наблюдаются в радиусе 200—300 м от скважины. Нарезка дополнительного мелкого горизонтального дренажа в зоне влияния скважины нецелесо-

образна, так как модули дренажного стока временных дрен здесь незначительны. На большем удалении от скважин необходимо предусматривать временный дренаж. Промывки засоленных земель в летний период при вертикальном дренаже (как и горизонтальном) целесообразно совмещать с возделыванием риса.

В отдельных местах Голодной степи (совхозы № 5, 26 и др.) на небольшой глубине (0,8—1,0 м) встречаются загипсированные прослойки, сильно затрудняющие производство промывок. В СоюзНИХИ разработан (В. М. Легостаев) способ разрушения этих прослоек мелкими взрывами (до 100 взрывов на 1 га).

Планировка поверхности орошаемых земель

Полив по бороздам длиной 400 м, принятый в качестве основного способа в Голодной степи, может быть осуществлен только на тщательно спланированной поверхности. От качества планировки зависит эффективность промывок засоленных земель. Она включается в состав строительных работ, однако одной строительной планировки в большинстве случаев недостаточно. Ее необходимо повторять перед промывкой и после нее до тех пор, пока поверхность поливных участков не стабилизируется и качество ее не будет отвечать требованиям полива. Объем планировок зависит от ряда факторов и при прочих равных условиях — от степени просадочности поверхности полей при замочке и уплотнения их под нагрузкой планирующих машин. Они учитываются в проекте, однако недостаточно точно. Поэтому повторными планировками зачастую приходится компенсировать неточность первоначального определения объемов работ.

Планировка производится скреперами Д-374 и длиннобазовыми планировщиками и ведется в направлении полива, совпадающем, как правило, с уклоном местности. Объем планировочных работ в среднем на гектар составляет около 600—800 м^3. Поверхность планируют под наклонную плоскость по квадратам площадью 10—20 га, без уступов в пределах планируемого участка. Планировку под топографическую линейчатую поверхность рекомендуется делать при уклонах более 0,002—0,005, когда она под наклонную плоскость вызывает значительное (>30%) увеличение объема работ (А. Н. Ляпин).

Следует отметить, что организация и качество планировочных работ в Голодной степи далеки от требуемого уровня. Планировке — важнейшему элементу мелиоративного комплекса — здесь должно быть уделено значительное внимание.

Особенности освоения целинных земель

Опыт орошения и освоения целинных земель Голодной степи подтвердил преимущества системы комплексного строительства и освоения земель, осуществляемых одной организацией. Освоением земель в совхозах ведает Управление освоения, подчиненное непосредственно начальнику Голодностепстроя. Деятельность

Управления направляется и курируется ведущими специалистами Главсредазирсовхозстроя.

На вновь орошаемых землях Голодной степи планируется создание 42 хлопководческих, 3 садово-виноградарских совхозов и одного крупного подсобного хозяйства. Каждому совхозу отведено 6—7 тыс. га пашни. В настоящее время уже действуют 18 хлопковых совхозов и 1 садово-виноградарский и ирригационно подготовлено 170 тыс. га целинных земель.

С начала строительства совхозы новой зоны узбекской части Голодной степи сдали государству 739 тыс. т хлопка-сырца и таджикской — 87. Действующие совхозы примерно на две трети окупили средства, затраченные на их создание.

Каждый совхоз делится на 3—4 агропроизводственных участка, площадью пашни 1500—2000 га. Земли участка поделены между полеводческими бригадами из расчета 150—200 га на каждую. Рабочий поселок совхоза с населением около 3,5 тыс. человек располагается в центре землепользования. В Голодной степи строятся поселки городского типа со всем необходимым для сельскохозяйственного производства и культурной жизни населения (включая школы, кинотеатры, клубы, детские и лечебные учреждения и т. д.).

С учетом климатических условий Голодной степи и традиционного уклада жизни местного населения совхозы в настоящее время застраиваются преимущественно одноэтажными двухквартирными домами со всеми бытовыми удобствами (газ, электричество, водопровод) и с приусадебными участками при них размером 0,08 га на каждую семью. К такому решению пришли уже в период строительства первых совхозов, убедившись в том, что строительство поселков из двухэтажных домов с приусадебными участками, вынесенными за пределы поселка, создало много серьезных неудобств для населения и осложнило набор рабочей силы для совхозов. Потребность населения совхозов в молоке и других продуктах животноводства удовлетворяется за счет содержания в каждом совхозе стада крупного рогатого скота (до 800 голов). Рабочие совхоза имеют возможность содержать собственных коров.

Основное направление совхозов Голодной степи — хлопководство. Посевы хлопчатника занимают 70—75% площади пашни, люцерны — 25—30%. Люцерна, шабдар, ячмень, сорго, травы играют роль культур-освоителей и высеваются на засоленных землях после их промывки. В современных условиях на борьбу с сорняками, полив и сбор урожая падает свыше 75% трудовых затрат. В ближайшей перспективе намечается добиться полной механизации всех процессов возделывания и уборки хлопка-сырца и нераскрывшихся коробочек. Уже сейчас удельная мощность тракторного парка составляет 107 л. с. на 100 га и 7 л. с. на каждого рабочего. Благодаря химическому обезлистванию хлопчатника с помощью гербицида «каторан» в 1968 г. на половине всей

занятой посевами хлопчатника площади Голодной степи уборка урожая была механизирована на 78,8%.

Сложность природных условий, отдельные недостатки строительства и организационные неполадки являются источником многих трудностей, с которыми приходится сталкиваться при освоении земель Голодной степи. Общими усилиями работников совхозов и строителей все помехи постепенно устраняются. Совхозы с каждым годом расширяют посевные площади, добиваются роста урожаев и культуры орошаемого земледелия (табл. 2).

Опыт освоения Голодной степи показал, что первоначальные сроки подготовки к сельскохозяйственному использованию целинных земель, особенно засоленных и требующих промывок, короткие и поэтому фактически не могли быть выдержаны. Реальной оценке времени, необходимого для завершения цикла работ по освоению, мешало отсутствие опыта производства этих работ в таких огромных масштабах. Одного стремления подготовить как можно больше земель под посевы хлопчатника недостаточно. При недостаточно налаженной организации отмечено отставание выполнения таких важных работ, как совхозное строительство, устройство дренажа, планировка поверхности, проведение промывок и т. д. Это обстоятельство, усиленное рядом объективных причин, — недостаточной изученностью природных условий и недоучетом их в проекте (например, при определении скорости подъема грунтовых вод), недостатком опыта строительства и т. д., имело в ряде случаев тяжелые последствия. Через 2—3 года эксплуатации мелиоративное состояние освоенных земель ухудшалось, возникала необходимость в производстве тех самых работ, значение которых не было в свое время должным образом оценено, но в более трудных условиях.

В настоящее время положение значительно улучшилось благодаря мерам, принятым Голодностепстроем.

Накопленный опыт позволяет сделать следующие выводы относительно целесообразных проектных сроков освоения целинных земель. Земли можно считать освоенными после того, как завершены все виды строительства, проверены в действии оросительная и дренажная сети и устранены все выявленные недостатки, проведены промывки и закончена планировка поверхности, совхоз укомплектован кадрами рабочих и специалистов и, наконец, проведена одна ротация при 8- или 9-польном севообороте. С учетом необходимости опережения строительными работами начала освоения на 2 года совхоз должен быть готов к сдаче Министерству сельского хозяйства республики через 10—11 лет. Для сохранения заданной площади ежегодного ввода земель в сельскохозяйственный оборот необходимо, очевидно, одновременно начинать строительство большого числа совхозов.

Чем же особенно ценен для нас огромный опыт, накопленный в процессе орошения и освоения голодностепской целины. Прежде всего надо подчеркнуть, что комплексное строительство такого

масштаба на пустынных землях производилось впервые не только в отечественной, но и в мировой практике. Основой успеха здесь была широкая индустриализация и механизация всех видов работ, потребовавшая создания мощной строительной базы. Прокладка коммуникаций, строительство оросительной и дренаж-

Таблица 2

Освоение целинных земель Голодной степи

Показатель	1961 г.	1962 г.	1963 г.	1964 г.	1965 г.	1966 г.	1967 г.	1968 г.
Совхоз № 17								
Ирригационно подготовлено тыс. га	—	3,06	7,97	10,36	10,48	—	—	—
Занято хлопчатником, тыс. га	—	2,62	5,28	7,51	7,36	7,10	6,64	6,25
Валовой сбор хлопка-сырца, тыс. т	—	1,84	6,26	10,02	10,87	9,47	11,33	8,62
Урожай, ц/га	—	5,4	11,9	13,6	14,8	13,3	17,4	13,8
Совхоз № 26								
Ирригационно подготовлено, тыс. га	—	2,07	8,05	9,22	10,51	—	—	—
Занято хлопчатником, тыс. га	—	—	4,25	6,80	7,83	7,5	8,09	6,71
Валовой сбор хлопка-сырца, тыс. га	—	—	5,85	12,56	12,08	13,44	14,57	12,07
Урожай, ц/га	—	—	13,8	18,5	15,4	17,9	19,7	18,0
Совхоз № 6								
Ирригационно подготовлено, тыс. га	9,40	10,61	—	—	—	—	—	—
Занято хлопчатником, тыс. га	5,67	8,21	8,34	7,84	6,94	6,59	6,80	6,07
Валовой сбор хлопка-сырца, тыс. га	5,90	11,70	16,65	16,62	16,70	13,70	11,45	12,18
Урожай, ц/га	10,4	14,2	20,0	21,1	24,0	20,8	18,9	20,1
Совхоз № 28								
Ирригационно подготовлено, тыс. га	—	—	—	—	5,87	10,48	—	—
Занято хлопчатником, тыс. га	—	—	—	—	—	3,86	6,09	6,43
Валовой сбор хлопка-сырца, тыс. га	—	—	—	—	—	5,89	10,56	13,07
Урожай, ц/га	—	—	—	—	—	15,3	17,3	20,3

ной сети, строительство совхозов и освоение земель, увязанные между собой по срокам, проводились по единому генеральному плану, в который ежегодно вносились коррективы в зависимости от хода работ.

Особые природные условия, угроза засоления и заболачива-

ния поставили здесь особенно остро вопрос о применении наиболее прогрессивных способов орошения и новейшей поливной техники, поиске новых мер в области борьбы с фильтрацией из оросительной сети.

Однако многое из того, что известно в мировой практике и могло быть с успехом применено в Голодной степи (например, гибкие шланги, сифоны, бетоноукладчики, лотки, пластмассовые трубы и т. д.), не производилось отечественной промышленностью. Все это пришлось практически заново разрабатывать и изготавливать в местных условиях. Поэтому к началу освоения часть новых машин и оборудования находилась еще в стадии эксперимента или проходила производственную проверку. Между тем наступала пора готовить земли к посеву, проводить промывки и поливы. В этих условиях успех мог быть достигнут только ценой напряженного труда творческого коллектива научных работников, проектировщиков и строителей.

Впервые пришлось решать такие вопросы, связанные со строительством совхозов, как рациональный размер хлопкового совхоза (5 или 10 тыс. га), рациональная его планировка (с одной центральной усадьбой или с несколькими), севообороты, нормы нагрузки на одного рабочего, типы домов, размер и размещение приусадебных участков и другие.

Большая роль в орошении и освоении Голодной степи принадлежит научным организациям. Натурные исследования, проводимые Средазгипроводхлопком, САНИИРИ, СоюзНИХИ, ВНИИГиМом им. А. Н. Костякова и другими институтами совместно с Голодностепстроем, уточняют природную обстановку, позволяют корректировать проектные решения, помогают налаживать эксплуатацию оросительной и дренажной сети и в то же время обогащают мелиоративную науку фактическими данными, которые могут служить основой для широких обобщений и теоретических разработок. Повышению эффективности научных исследований и быстрейшему внедрению их в практику, несомненно, будет способствовать организация в Голодной степи Центральной научно-исследовательской станции.

Голодностепстрой, преодолев трудности первых лет, стал мощной строительной организацией, способной ежегодно вводить в сельхозоборот до 15—20 тыс. га. Его опыт привлечет внимание не только специалистов в нашей стране, но и за рубежом.

Название «Голодная степь» теперь уже не отвечает ее современному состоянию, но его надо сохранить навсегда в память о тяжелом прошлом степи и о подвиге людей, превращающих пустыню в цветущий край. Арабская пословица гласит, что каждая пустыня имеет свое будущее. Будущее Голодной степи уже определилось. Успешно претворяя в жизнь постановления партии и правительства по орошению и освоению Голодной степи, советские ирригаторы развивают наступление на пустыню, начатое по призыву В. И. Ленина, подписавшего в 1918 г. исторический декрет «Об организации оросительных работ в Туркестане».

ПРОБЛЕМА САРЕЗСКОГО ОЗЕРА[1]

Одной из острых проблем современного водного хозяйства, на протяжении последних 30 лет, беспокоящих не только гидротехников, но и широкий круг работников народного хозяйства Средней Азии, является проблема Сарезского озера. С одной стороны.— потенциальный источник дополнительного, хотя и разового водообеспечения в условиях дефицита водных ресурсов, с другой — огромное озеро, нависшее над всей долиной Амударьи и вызывающее беспокойство: не явится ли оно когда-нибудь источником катастрофы, как, например, в Индии или в США.

В. В. Пославский посвятил много времени изучению этого вопроса, он был инициатором и непосредственным участником экспедиции, которая в 1967 г. подвергла обследованию Сарезское озеро и Усойский завал. В. В. Пославский возглавил работу по моделированию сейсмического обвала в озеро в гидротехнической лаборатории ВНИИГиМа, подготовил наиболее подробный и обобщенный обзор по Сарезу, в котором гидротехники могут найти ответы на все интересующие их вопросы (прим. ред.).

Об одной катастрофе на Памире

«В ночь с 6 на 7 февраля (с 19 на 20 по н. с. В. П.) 1911 г. часов в 11 3/4 ночи люди Памирского поста (ныне г. Мургаб) были разбужены сильными подземными толчками: казалось, весь пост на какой-то тряской телеге повезли куда-то; одинаковое впечатление испытал Орошорский волостной правитель Кокан-бек, кочевавший тогда на восточном берегу озера Кара-Куля». Так писал в своей книге «Памирское землетрясение 1911 г.» член ВИГО полковник М. Чейкин. В это самое время в 120 км от Памирского поста в долине Мургаба, у таджикского кишлака Усой, в результате сильного девятибалльного землетрясения[2]

---

[1] «Гидротехника и мелиорация», 1968, № 3.

[2] По сведениям, полученным капитаном Г. А. Шпилько, в результате этого землетрясения погибло 835 человек, из них на Памире — 133, в т. ч. 54 жителя Усоя, а 702 человека — в Афганистане.

произошел грандиозный по своим масштабам обвал склона горы, возвышавшейся над долиной на 2—2,5 км.

На р. Мургабе в эту ночь была создана гигантская естественная плотина высотой до 800 м, длиной поперек долины до 3,2 км и объемом тела около 2,2 млрд. м³. Кишлак Усой со всеми жителями (54 человека) был полностью погребен завалом. Случайно в живых остались три жителя Усоя, пережившие землетрясение в кишлаке Сарез, слышавшие грохот обвала и видевшие плотную завесу пыли, стоявшую над кишлаком Усоем несколько дней. Через три дня им удалось добраться до места завала и увидеть нагромождение обломков скал на месте кишлака.

Какова же была общая продолжительность землетрясения, сильно ощущавшегося на Памирском посту? По свидетельству М. И. Чейкина, «время надо считать минутами, т. к. один из офицеров поста, читавший в кровати книгу, успел встать, одеться, выйти, распорядиться выводить лошадей из конюшни, затем вернуться опять к себе в комнату и сделать, на всякий случай, две папиросы, после чего колебания почвы прекратились. Нечего говорить, что висящие предметы качались, даже такие, как охотничьи ружья, висящие на широких ремнях, давали сильный размах».

От момента, когда произошел обвал, нас отделяет 56 лет. За это время на Усойском завале и Сарезском озере, несмотря на большие трудности пути, особенно в период до постройки Памирского тракта, побывало немало смелых исследователей. Собранные ими данные являются единственным источником для суждения о происшедшей катастрофе жизни Усойского завала и Сарезского озера.

В горах Памира и Тянь-Шаня много озер, образовавшихся от обрушения горных масс, большинство из них расположено высоко в горах, в труднодоступных для человека местах. За последние три года прорвались завальные плотины озера Иссык, расположенного недалеко от г. Алма-Аты, и озера в верховьях р. Исфайрамсай, в районе г. Ферганы. В результате в обоих случаях произошли наводнения, повлекшие человеческие жертвы и причинившие значительный ущерб хозяйствам. 24 апреля 1964 г. на р. Зарафшане, в месте слияния ее с Фандарьей, в 1 км выше селения Айни, произошел оползень левого берега объемом горной массы до 20 млн. м³, что привело к образованию озера объемом до 90 млн. м³. Угроза прорыва с тяжелыми последствиями была предотвращена благодаря большим усилиям водных работников, местного населения и воинских подразделений, боровшихся со стихией.

Сарезское озеро (рис. 1) — одно из крупнейших завальных озер мира, а Усойский завал — самый большой в нашу историческую эпоху. К. К. Щеткин в статье «Две загадки Усойского завала» приводит интересные данные, характеризующие завалы, происшедшие за последние столетия.

В связи с обвалом в долине р. Зарафшана (Айни) и прорывами двух озер в настоящее время начато систематическое обследование горных озер на территории Узбекистана и вновь возникла тревога за устойчивость Усойского завала, удерживающего массу воды объемом до 18 км³. Поэтому по предложению правительств Узбекской и Таджикской советских республик была создана Межведомственная комиссия по Сарезскому озеру в составе: Л. В. Дунин-Барковского (председатель), В. В. Пославского, С. А. Боровца, М. П. Кузьминова, Т. М. Мухамедова, В. Н. Рейзвих, Ю. А. Дьякова, М. В. Чуринова, Т. Г. Рауттян. Задача этой комиссии — оценить современное состояние завала и наметить программу исследований и наблюдений. Комиссия изучила материалы прежних лет и рекогносцировочного инженерно-геологического обследования завала и зоны озера, выполненного Управлением геологии Совета Министров Таджикской ССР и ВСЕГИНГЕО в июле 1967 г. и с 23 по 26 августа 1967 г. посетила место завала и участок озера между завалом и Ирхтским заливом.

	Год образования	*Объем обрушившейся массы, млн. м³*
Усой	1911	2200
Заилийский Алатау	1887	440
Гималаи	1893	300
Добрас (Альпы)	1348	50
Диабкере (Альпы)		50
Акджар (Тянь-Шань)	1887	40
Гольдау (Альпы)	1806	15
Айнинский (Зарафшан)*	1964	20
Коксу (Кашгария)	1878	12
Эльм (Альпы)	1881	10

* Добавлен автором.

Историческая справка. В 1883 г. Д. Л. Иванов прошел по дну той части долины Мургаба, где спустя 28 лет образовалось Сарезское озеро, и дал геологическую характеристику района. В 1889 г. Б. Л. Громбчевский посетил кишлак Сарез и определил некоторые высотные отметки местности. В 1900 г. Б. В. Станкевич прошел по тем же местам и дал описание маршрута. Из записей этих авторов следует, что участок Мургаба от устья р. Лянгар и далее вниз по реке труднопроходим. Река течет в глубоком ущелье. Кишлак Усой находился на правом берегу реки, на высокой террасе. Тропы шли в обход этого участка по левому берегу Мургаба, в стороне от него, и спускались к Мургабу несколько ниже кишлака Усой. Спуск представлял три ската, разделенные двумя плато, верхний — самый крутой. «Спустившись к Мургабу, мы очутились как бы на дне глубокого колодца: небольшая площадь на левом берегу Мургаба окружена с трех сторон очень высокими и почти отвесными утесами, на противоположном берегу высятся почти такие же отвесные кручи». В этом месте и

произошел в 1911 г. обвал, засыпавший кишлак Усой. Два плато на левом берегу, упоминаемые Б. В. Станкевичем, показаны на плане этого района, составленном И. А. Преображенским в 1915 г.

Начиная с 1911 г. завал и озеро заинтересовали многих исследователей.

М. И. Чейкин, работавший в то время на Памире, по-видимому, один из первых пролил свет на происшедшую катастрофу. Немецкий путешественник Арвед Шульц, посетивший эти места в

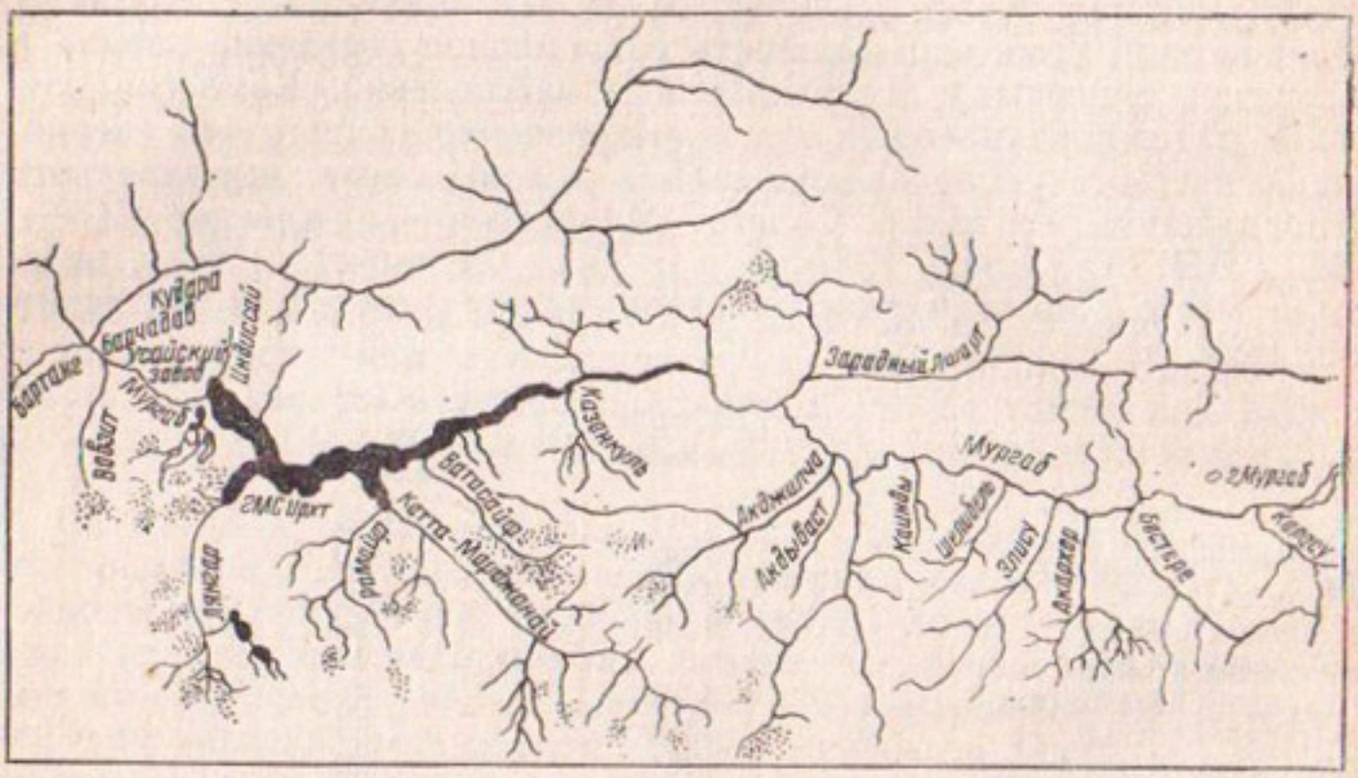


Рис. 1. Гидрогеографическая схема бассейна Сарезского озера.

1911 г., дал краткое описание завала. В декабре около кишлака Сарез по краям озера из воды виднелись верхушки деревьев.

В 1913 г. Д. Д. Букинич сделал тахеометрическую съемку завала и высказал первые предположения о возможности его прорыва.

В 1913 и 1914 гг. начальник Памирского отряда Г. А. Шпилько сделал съемку озера и завала, дал продольный профиль по дну долины, обнаружил (в 1914 г.) родники на теле завала. По мнению Г. А. Шпилько, «сарезское озеро не в состоянии ни прорвать, ни опрокинуть завал. Спуск озера начнется с просачивания воды, которая путем медленного размыва своего ложа превратится в более или менее спокойный сток сквозь завал». Этот прогноз Г. А. Шпилько оправдался.

В 1915 г. И. А. Преображенский провел геологическую съемку, исследовал состав завала, подготовил два топографических плана района до завала и после, определил объем и объяснил причины обвала, подготовленного водной эрозией. Он считал, что

достаточно было небольшого толчка, чтобы вся масса соскользнула по наклонной поверхности. Глубина озера достигала в то время 353 м. Общий дебит родников И. А. Преображенский оценил в 2 м³/с. Относительно опасности прорыва завала он поддержал мнение Г. А. Шпилько.

В 1923 г. Н. Л. Корженевский отметил повышение уровня и считал р. Мургаб ниже завала почти восстановленной.

В 1925 г. В. С. Колесников впервые обнаружил овраг (каньон), по которому текла уже река с расходом, близким по величине к расходу Мургаба.

В 1926 г. О. К. Ланге возглавил экспедицию (А. Н. Волков, Н. Ф. Тейхман и Т. М. Шеулов), которая сделала фототеодолитную съемку завала и выполнила ряд работ на озере и впадающих в него речках. Они считали, что фильтрация в форме потоков карстового типа повлечет за собою деформацию завала и продвижение головы каньона в сторону озера. Но для окончательных решений имеющихся данных недостаточно, необходимы систематические исследования.

В 1929—1934 гг. Таджикско-Памирской экспедицией (Г. Л. Юдин, Циммерман и П. П. Чуенко) составлены схематические геологические карты бассейна и берегов Сарезского озера. В 1932 г. Н. Караулов исследовал вопрос энергетического использования Сарезского озера. Он считал, что непосредственной угрозы для нижерасположенных долин завал не представляет и рекомендовал вести за ним систематические наблюдения.

В 1934 г. В. А. Афанасьев по инициативе НК РКИ СССР организовал экспедицию, в состав которой входили Т. М. Шеулов, Л. В. Дунин-Барковский, А. И. Тихомиров и др. Экспедиция обработала фототеодолитную съемку озера, определила скорость движения потока через завал (до 2,7 м/с). При этом установлено, что продвижение головы каньона в тело завала почти прекратилось, дно его несколько углубилось и появились два новых каньона, соединяющихся с основным несколько ниже его головы. Расход р. Мургаба увеличился до 80 м³/с, а уровень озера превысил максимальный (1926 г.) на 7,7 м. Участники экспедиции согласились с мнением Г. А. Шпилько и И. А. Преображенского об устойчивости завала.

В 1938 г. открыта гидрометеорологическая станция в Ирхтском заливе Сарезского озера. И. Е. Горшениным в 1943 г. проведена съемка озера. В 1939 г. гидролог А. А. Солдатов замерил скорость фильтрации воды, она оказалась меньшей (1,73 м/с), чем по измерениям 1934 г.

В 1946 г. В. В. Акуловым проведено геологическое и геоморфологическое картирование берегов озер Сарезского и Шадаукуль, а также обобщены все материалы, имевшиеся к тому времени по завалу и озеру. В. И. Рацек на основании материалов аэрофотосъемки и собственных фотоснимков пришел к выводу, что обвал встретил на своем пути хребет, служивший левым бере-

том р. Шадаудара, и обрушил его в реку, в результате чего образовалось озеро Шадаукуль. Он считал завал прочным и не допускал возможности его катастрофического прорыва водами озера.

В 1956 г. экспедиция МИСИ им. Куйбышева под руководством О. Ф. Васильева при участии А. Н. Марчука, Е. Н. Елизарова, П. М. Виссинг и др. обследовала завал и истоки Мургаба. С помощью тахеометрического хода с нивелировкой от уреза Сарезского озера (2. VIII) до головы каньона экспедиция установила кратчайшее расстояние между озером и выходом первых родников — около 1,5 км и разность их уровней — 146 м. О. Ф. Васильев считал, что опасность могут представлять лишь новые крупные обвалы в этом же месте или в озере. Фильтрационные расходы стабилизировались и их колебания следуют колебаниям уровня озера.

В 1957 г. Р. И. Селиванов и В. И. Андреев выполнили нивелировочный ход через пониженную часть завала. Процесс образования сквозной долины, по их мнению, растянется на многие сотни лет, развитие озера в проточное будет протекать спокойно, эволюционным путем.

В. Н. Рейзвих, неоднократно посещавший Усойский завал и изучавший элементы водного баланса Сарезского озера, в 1959 г. разработал этот баланс, использовав 20-летний цикл наблюдений.

Вопросы, возникавшие вокруг Усойского завала и Сарезского озера, обсуждали многие крупные ученые и исследователи — В. Н. Вебер, Л. С. Берг, К. И. Богданович, Д. И. Мушкетов, Д. Д. Букинич, Д. В. Наливкин, И. Л. Корженевский, О. К. Ланге, Н. Г. Малицкий, Б. Голицын, Н. А. Караулов, Л. А. Молчанов.

Об Усойском завале и Сарезском озере написано немало статей в трудах Географического общества и институтов, Памиро-Таджикской экспедиции 1929—1934 гг., в таких книгах, как «Путешествие по Памиру» И. Лукницкого (1955 г.), «Оледенение Памира» Р. Д. Забирова (1955 г.). Описывается катастрофа, обсуждаются причины, вызвавшие ее. По этому поводу высказываются соображения, делаются прогнозы о дальнейшем развитии фильтрации и деформации тела завала, о возможности новых обвалов, об опасности прорыва завала и катастрофических последствиях. При этом сообщается много интересных деталей и неизменно на протяжении уже более 50 лет все авторы отмечают крайнюю недостаточность сведений для достоверных прогнозов и подчеркивают необходимость постановки систематических работ по изучению озера и завала, организации стационарных наблюдений за ними.

Природные условия. Истоки рек Пянджа и Вахша, слияние которых образует Амударью, находятся на Памире, самой высокогорной части Советского Союза: «Горные поднятия Памира представляют систему мощных параллельных хребтов широтного направления, восточная половина которых как бы спаяна между собой на высоте 4 тыс. м днищами широких пологих долин

и бессточных котловин, образует Восточный Памир, а западные отделены друг от друга узкими глубокими долинами рек, впадающих в Пяндж на уровне 1600—1800 м. Система параллельных широтных хребтов в ряде случаев осложнена хребтами меридионального направления» (Забиров Р. Д. Оледенение Памира, 1955).

На Памире различают два типа хребтов: орографические, образовавшиеся в результате эрозии, и тектонические. Первые вытянуты в меридиональном направлении (Зулумарт, Академии наук, Сарыкол), вторые — в широтном (Заалайский, Рушанский, Язгулемский и др.).

Западный Памир расчленен глубокими речными долинами, над которыми хребты и пики возвышаются на 3—4 тыс. м при абсолютной отметке над уровнем моря 5—6 тыс. м. Высочайшие вершины (Пик Коммунизма — 7495 м, Гармо — 6595, Патхор — 6080 и Карла Маркса — 6726 м) располагаются примерно вдоль границы Западного и Восточного Памира.

Пяндж, начинаясь от слияния рек Памира и Вахандарьи, до выхода в долину у Чубека, проложил путь через высочайшие горные хребты (Ваханский, Шугнанский, Рушанский, Язгулемский, Ванчский, Дарвазский). На этом участке в Пяндж вливаются главные правые притоки: Гунт с Шахдарой (у г. Хорога), Бартанг (у г. Рушана), Язгулем и Ванч, самый многоводный из них — Бартанг. Это название он получил после слияния рек Мургаба и Кудары, теперь же Бартангом называют реку, вытекающую из Сарезского озера через Усойский завал.

Мургаб вытекает из Чокмоктикульских озер на территории Афганистана и до поста Памирского течет под названием Аксу, далее, до слияния с Кударой, носит таджикское название Мургаб. Кудара образуется слиянием двух рек — Танымас и Кукуйбель, питающихся ледниками хребтов Академии наук, Музкол и их отрогов.

Бартанг течет в глубоком узком ущелье, образованном с севера хребтами Язгулем и Музкол (после впадения р. Кудары) и их отрогами: с юга — хребтом Рушан, его продолжением Базардара и их отрогами. Ущелье Бартанга извилисто́е, с крутыми склонами, скалистыми в верхних частях, а ниже — покрыты каменными осыпями. Местами при впадении речек ущелье незначительно расширяется. Здесь располагаются небольшие таджикские селения.

Выше впадения Кудары по Мургабу располагались таджикские селения — Усой, Сарез и Ярхт, исчезнувшие при катастрофе в 1911 г. Это район крайних пределов земледелия. Долина Мургаба, подобно всем долинам Восточного Памира, пустынна, камениста, со скудной растительностью.

Вдоль южного склона западной части Музкольского хребта вытянулось Сарезское озеро. Этот склон имеет небольшую ширину — 5—6 км и довольно круто спускается к озеру. Максималь-

ные высоты достигают 5800—5900 м. К Сарезскому озеру с Музкольского хребта спускаются шесть крупных ледников, сходных с ледниками Сарезского хребта, расположенного с южной стороны озера. Эти ледники отличаются от ледников Западного и Восточного Памира, имеют сравнительно небольшие области питания, ширину 200—300 м, длину 2—3 км, уходят под толщу сплошного щебня. Щебневые потоки с погребенными концами ледников тянутся еще 3—4 км вниз, имеют достаточно большую крутизну и уходят под уровень Сарезского озера. Найти действительное положение конца ледника почти не удается. Такие ледники нигде не образуют поверхностных водотоков.

Во время землетрясения 1911 г. ледники хребтов, окаймляющих современное Сарезское озеро, были, вероятно, погребены мощной толщей щебня, предохранившего лед от дальнейшего таяния. Нередко погребенные участки таких ледников в 2—3 раза превышают открытые. Возможно, лед под мощной толщей щебня обладает самостоятельным движением, не имея достаточной энергии для переноса щебневого покрова. Длина открытых поверхностей этих ледников от 2 до 3 км, а вместе с погребенными концами — от 6 до 7 км. Общая площадь открытых частей шести ледников южного склона Музкольского хребта вдоль Сарезского озера 7,62 км^2. Снеговая граница проходит на высотах от 5000 до 5100 м.

С южной стороны Сарезского озера расположен Базардаринский хребет, отметки наивысших точек которого достигают более 5500 м (гора Лянгар). На северном склоне хребта тянутся отроги Сарезский с пиком Черный шпиль (5800 м), Караджилга с пиком Базар-Тепе (5880 м).

На Рушанском и Базардаринском хребтах зарегистрировано 245 ледников общей площадью 975 км^2, из которых на северный склон (бассейн Бартанга) приходится 193 ледника площадью 736 км^2. Из 7273 км^2 ледников, питающих Амударью, на долю Бартанга падает 1745 км^2, а Вахша — 3716.

Среднегодовые расходы р. Бартанга при впадении в Пяндж (пост у кишлака Шуджан) от 103 (1947 г.) до 154 м^3/с (1944 г.), сток в те же годы от 3,25 до 5,4 км^3. Максимальные расходы достигают 624 м^3/с (1950 г., август), а минимальные до 42 м^3/с (1947 г., апрель).

Климат. Единственная гидрометеостанция Ирхт, организованная в 1938 г., ведет наблюдения за основными элементами климата. Она расположена на правом берегу р. Лянгара при впадении ее в Ирхтский залив в 6 км от Сарезского озера. Поэтому ее данные неполностью характеризуют метеорологические условия главной долины между хребтами Музкол и Базардара, расположение Сарезского озера.

Количество осадков невелико, в среднем за 20 лет 137 мм/год. Наибольшее количество осадков (106 мм) выпадает с декабря по май, а в остальные месяцы (июнь — ноябрь) — 31 мм. Годовая

сумма осадков колеблется от 176 (1942 г.) до 89,6 мм (1940 г.). Сильные колебания осадков наблюдаются по месяцам. Так, в марте 1945 г. выпало 78,5 мм, а в 1940 г.—только 2. Снежный покров держится 4—5 мес., достигая высоты 60 см.

Для района Сарезского озера характерны продолжительная холодная зима и короткое прохладное лето. Морозы зимой достигают —32,4° (минимум), на озере Каракуль —40,5° и в г. Мургабе —42,5°. Летние температуры составляют 27° (максимум). Среднемноголетняя температура самого теплого месяца — июля +15,8°, а самого холодного — января —13,5°. Среднемноголетняя температура воздуха +1,0°. Число дней с морозом 205 (1942 г.) и 242 (1943 г.); дней без оттепели насчитывается 114.

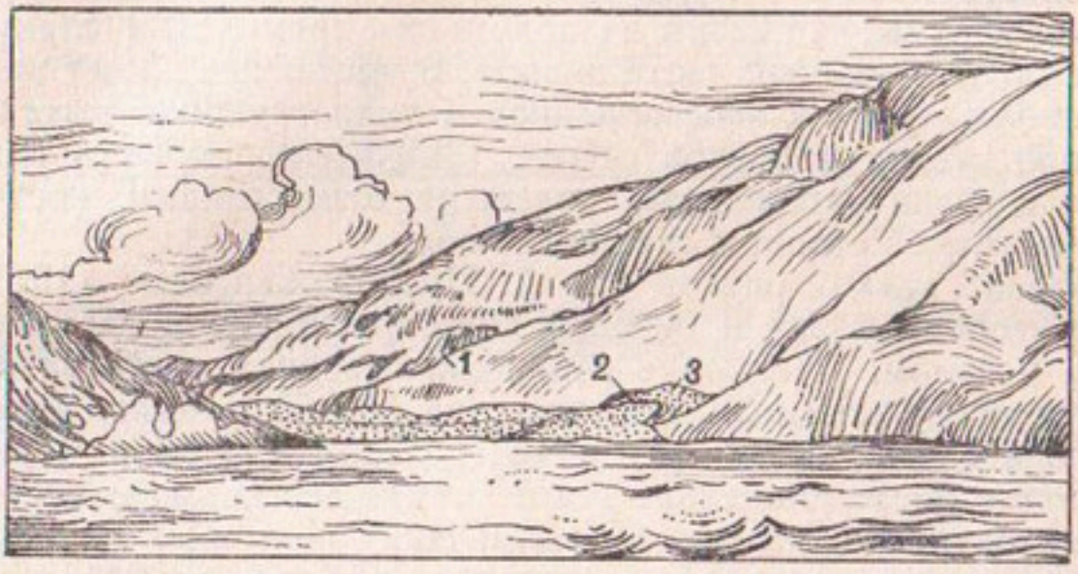


Рис. 2. Вид на завал со стороны Сарезского озера, с расстояния около 4 км.

1 — кремнистые и глинистые сланцы, *2* — плоскость обрушения, мраморы, доломиты, *3* — селевые выносы сая.

Озеро простирается с запада на восток, и ветры дуют в этом направлении. По долинам рек, впадающих в озеро, преобладают ветры южного направления. Волнение на озере порядка 1—2 балла, но иногда и больше, что не только затрудняет, но и делает опасным плавание по озеру в лодках.

Испарение — наиболее трудно учитываемый элемент водного баланса, так как ни одной из существующих формул не учитываются особенности испарения с водоемов, расположенных на высоте свыше 3000 м. Расчеты по формулам Зайкова и Давыдова дали величину испарения 891 и 1133 мм/год.

Усойский завал. На крутом склоне правого берега реки, подрезанном снизу, по тектонической зоне дробления, значительно ослабленной действием воды, произошло отчленение и оползание массива пород на площади около 4,5 км до 2,2 млрд. м^3. Сползший массив, перекрыв узкую в этом месте долину, уперся в ее противоположный борт. Здесь наблюдается

обратный уклон сместившихся пород, достигающий 30% и более (рис. 2). Дальше всего продвинулась восточная часть оползня, засыпавшая кишлак Усой.

В результате глубокого смещения по криволинейной поверхности в тыловой части образовалась депрессия, а тело завала с наиболее приподнятой центральной частью деформировалось, в результате чего на поверхности образовались цирки, воронки и ступенчатость массива породы часто с обратным уклоном поверхности.

Тело завала сложено в основном кремнистыми и глинисто-кремнистыми сланцами темно-серыми и черными. Узкую полосу в северной части завала занимают мраморы светло- и темно-серые и доломиты розоватого цвета с примесью гипсов. Среди сланцев вдоль южного края завала, в нижней его части, имеются речные гранитные валуны; брекчии из обломков кремнистых сланцев и другие породы в низовой части завала. В настоящее время на теле завала наблюдаются следы оползней в виде трещин, вытянутых понижений, стенок и бортов срыва. Значительная часть депрессии впоследствии заполнилась селевыми отложениями, поступившими с восточной стороны стенки отрыва.

Подробно завал описан И. А. Преображенским (1915 г.). Виды со стороны озера и низовой дают наглядное представление о завале в целом. Наиболее понижена северная часть завала с отметками поверхности 3272 м, всего на 50—60 м выше переменного уровня озера. Часть завала над озером и руслом Бартанга представляет нагромождение глыб темно-серых кремнистых и глинистых сланцев. Эта гряда, вытянутая примерно на 3,5 км с СВ на ЮЗ, имеет наивысшую отметку 3464 м (на 244 м выше уровня озера) и южной частью примыкает к коренному левому берегу долины.

Вдоль северного края нагромождены (ширина около 500 м) обломки доломитов, мраморов и гипса, выделяющихся белым цветом. Эти породы сравнительно легко выветриваются и рассыпаются в порошок на поверхности. Западная, низовая, часть завала сложена более мелким, чем основная гряда, обломочным материалом.

Горный склон правого берега долины, на котором произошел оползень, очень крутой. Пласты, наклоненные к юго-востоку, изогнуты вторичными складками с наклоном по оси в ту же сторону. Напротив завала в этом склоне имеется глубокая западина. По мнению К. К. Щеткина, в этом месте произошел вывал ядра синклинали, образовавшего завал. Главная причина огромных размеров завала — синклинальная структура области питания. Эта часть правого склона сложена, как отмечает И. А. Преображенский, доломитизированными мраморами и гипсами светло-желтого и светло-серого цвета, мощностью до 1500 м, покрытых сверху желто-красным пластом. Выше над этой толщей, в темных кремнистых сланцах и известняках высотою более 5000 м, распо-

ложены рядом два глубоко вдающихся в склон кара, на дне которых под обломочным материалом лежат ледники (языки их обнажены в виде отвесной стены). Талыми водами снега и этих ледников выработаны узкие и глубокие отвесные щели, которые ниже соединяются в одну большую щель. Обломочный материал, покрывающий ледники, с шумом падает вниз, вызывая облака пыли и производя впечатление обвалов. Из обломочного мате-

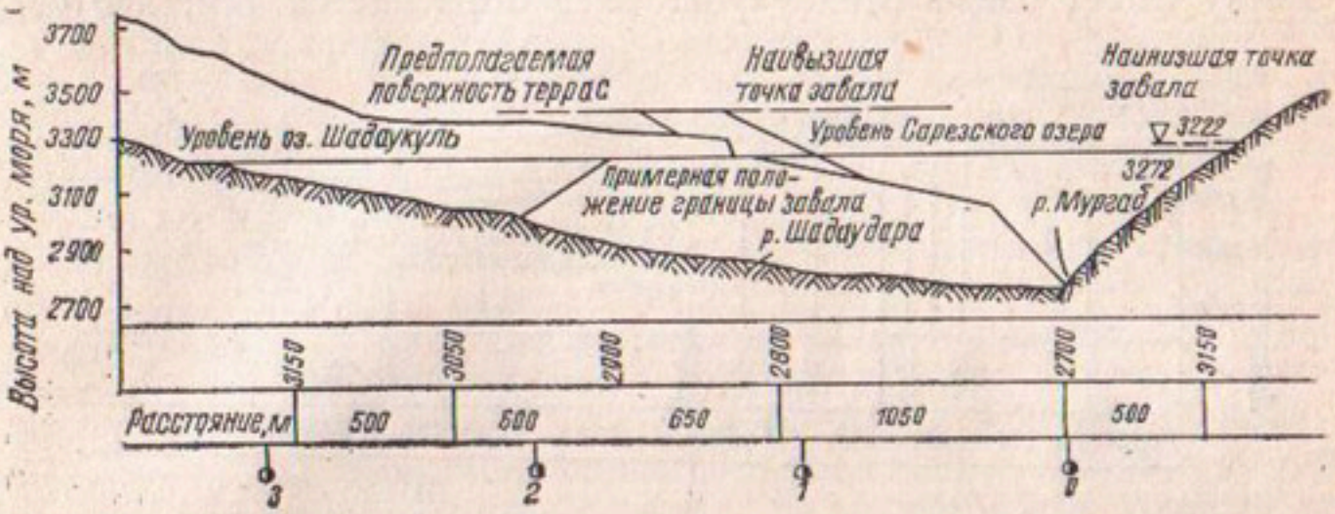


Рис 3. Совмещенные поперечные профили на левом берегу. Значительная масса обвала легла на конус выноса р. Шадаудара впереди террас.

риала на завале образовался конус выноса, прорезанный по краям оврагами. Основной овраг в то время имел ширину 80 м, а глубину — до 30 м.

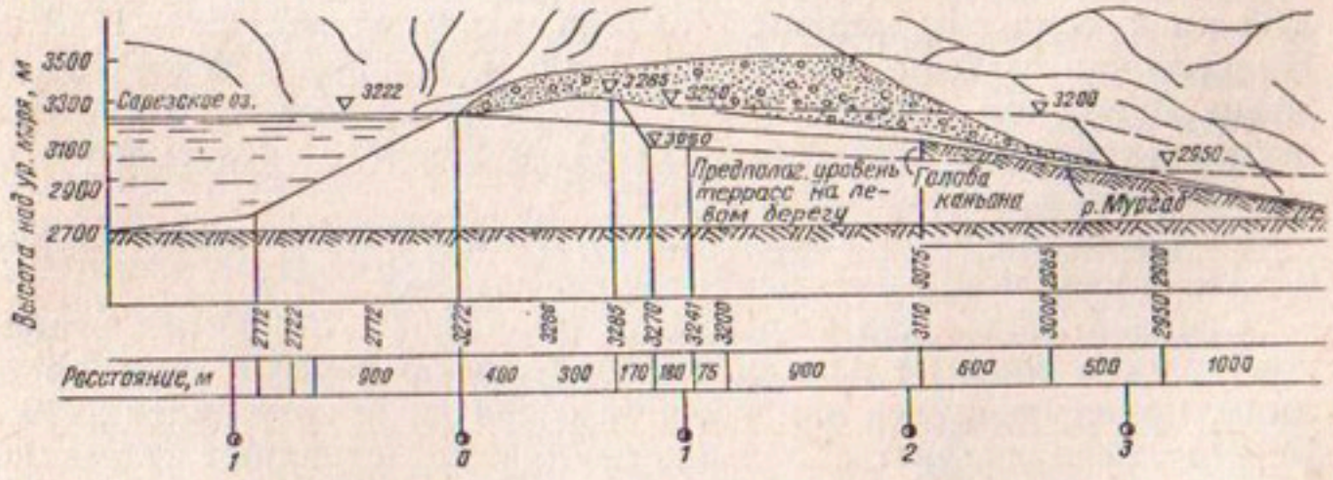


Рис. 4. Поперечный профиль через пониженную часть завала, далее вдоль подошвы главного хребта завала и по руслу р. Мургаба (Бартанг).

По границе завала с правой стороны, начиная от западины, стоит крутая стена сланцев, понижающихся к концу завала.

Используя данные И. А. Преображенского, О. Ф. Васильева и других исследователей, мы составили схематические поперечные профили, приведенные на рис. 3, 4. Значительная часть обвала заполнила конус выноса р. Шадаудара и легла на высокие террасы левого берега Мургаба. Эти террасы на левом берегу р. Шадаудара служат, по-видимому, надежным упором для распо-

ложенной перед ними части завала (рис. 5). Завал в целом как бы заклинен в узком ущелье Мургаба. Только этим можно объяснить высокое положение на теле завала многочисленных выходов воды. Нижняя половина завала, заполнившая узкое и глубокое ущелье Мургаба, по-видимому, сильно уплотнена и заилена и поэтому маловодопроницаема.

Сарезское озеро (название принято от затопленного кишлака). Отметка уровня 3222 м (август 1946 г.). Такую же отметку имеет озеро Шадаукуль. Это объясняется тем, что озера

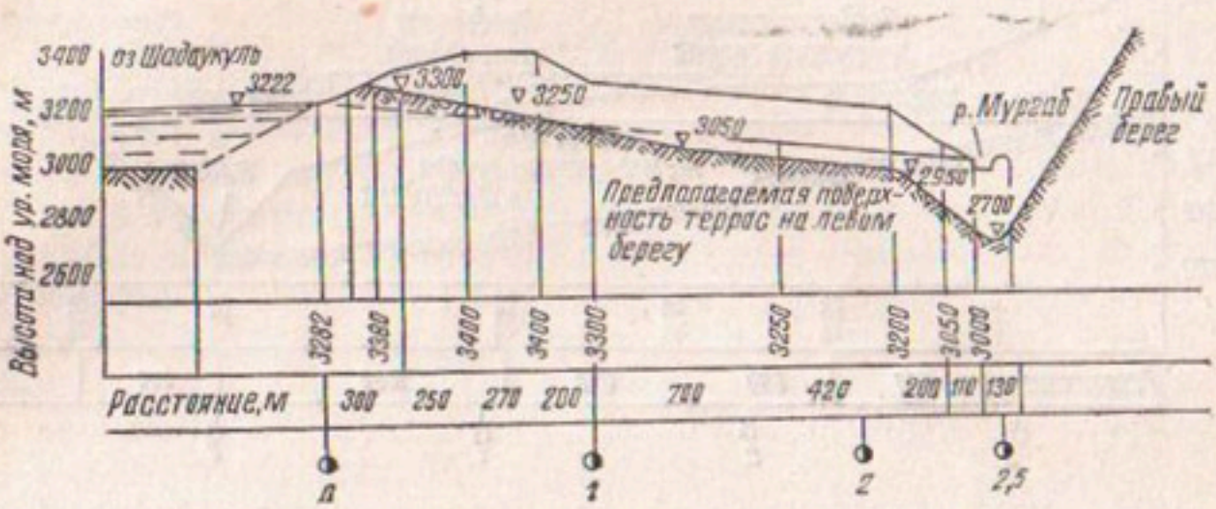


Рис. 5. Поперечный профиль через завал от озера Шадаукуль до р. Мургаба.

сообщаются водами, фильтрующимися через разделяющую их каменную перемычку.

Длина озера по оси 61 км, ширина в заливе Марджанай 3,38 км и немногим меньше у завала, в других местах — 1—2 км. Наибольшая глубина его у завала 505 м. Площадь 88 км², общая длина береговой линии 175 км. На озере имеется только один остров (против залива Марджанай), в 200 м от северного берега, 400×150 м. Объем воды 17 км³.

Озеро Шадаукуль имеет длину 3 км, наибольшую ширину 0,8 км, площадь 2,2 км², наибольшую глубину 240 м.

Средний уклон дна Сарезского озера 0,082. За 56 лет существования его воды не влияли на морфологию берегов, склонов долины, поднимающихся над уровнем озера на высоту более 2000 м. Берега озера скалисты, обрывисты или представляют громадные осыпи, уходящие вершинами к подножью обнаженных скалистых хребтов. Осыпи, подрезаемые волной, медленно сползают в озеро. Этому способствуют и талые воды, стекающие в озеро внутри осыпей. Особенно это характерно для южной части Музкольского хребта, по склонам которого обнаружены зоны с крупными цирками и карами на участке от залива Марджанай до завала.

Термический режим Сарезского озера в литературе освещен недостаточно. За температурой поверхностного слоя ведутся наблюдения только в Ирхтском заливе. Исследования распределения температур по глубине проведены на озере в 1943 г. И. Е. Горше-

нным и в 1946 г. В. В. Акуловым в 600 м к западу от Ирхтского залива. Минимальная температура на поверхности воды наблюдается в феврале под льдом 1,45°, максимальная — в августе 15,45°, абсолютный максимум 18,8° зарегистрирован 22. VIII.1950 г. Суточные колебания температуры отмечены на глубине до 20 м, сезонные — до 120 м, с увеличением глубины температура постепенно повышается и на глубине 440 м достигает 7,8°. Объяснения такому изменению температуры с глубиною пока не найдено. Отдельными исследователями высказываются различные предположения о влиянии мутных вод притоков (В. В. Акулов), содержании в воде озера химических веществ, имеющих в составе серу, и в глубинных частях озера тяжелой воды (В. Н. Рейзвих) и т. д. Этот вопрос требует, очевидно, специального изучения.

В начале декабря в заливах появляются забереги, сало, блинчатый лед. К концу месяца заливы замерзают, кроме мест впадения речек, а в середине января все озеро покрывается сплошным льдом. Толщина ледяного покрова к концу марта достигает 50—65 см. На открытой поверхности озера снеговой покров не держится. Под действием сильных ветров лед трескается и образуются труднопроходимые торосы. В марте, когда уровень озера понижается на 7—8 м, лед прогибается, трескается и часто затапливается водой. К концу апреля озеро освобождается от льда.

Геологическая характеристика и возможность новых обвалов. Сложное геологическое строение района Сарезского озера — результаты его бурного развития. Крупный Пшартский региональный тектонический разлом, от которого отходит большое число более мелких оперяющих — проходит вдоль озера по правому берегу и пересекает его между завалом и р. Лянгар. Породы смяты в сложные складки и разбиты многочисленными тектоническими трещинами. В районе озера развиты преимущественно песчаники, сланцы, реже — известняки, а также изверженные породы (гранитоиды), которые широко распространены на левом берегу, в некотором удалении от него, между реками Лянгар и Буздетырсай. Возраст пород — от нижнекаменноугольного до среднетриасового.

Район Сарезского озера находится в наиболее сейсмоактивной зоне Памира. С ним связаны все сильные из известных землетрясений с очагами в земной коре. Землетрясение 19 февраля 1911 г. имело магнитуду M=7,75. Повторяемость подобных землетрясений в этой зоне относительно высока (1 раз в 250 лет). Поэтому вероятность повторного землетрясения в районе озера не исключается.

Межведомственная комиссия, посетившая завал 23—26 августа 1967 г. на основании материалов прошлых исследований и рекогносцировочных инженерно-геологических обследований долины Сарезского озера и тела завала, выполненных организациями

Министерства геологии СССР (Таджикское геологическое управление, ВСЕГИНГЕО), так оценивает состояние склонов и возможность новых обвалов. «В верхнем бьефе берега Сарезского озера, непосредственно примыкающие к завалу имеют асимметричное строение. Северный склон крутизной до 40°, с небольшими перегибами поднимается до высоты 5500 м и более. Относительная высота склона 1500—2000 м. Верхняя часть склона почти отвесная, скалистая. На отдельных участках в понижениях имеются древние и современные морены. В средней части склона коренные породы прикрыты древними осыпями и делювиальными образованиями. Падение — от озера. По южному склону наблюдаются древние речные террасы, выровненные поверхности древних морен и троги. Максимальная относительная высота склонов, непосредственно примыкающих к озеру, 700—750 м. Падение пород — в сторону склона.

На северном склоне, к западу от р. Биромбанд, на абсолютных высотах 3800—4300 м на расстоянии 3—4 км прослеживается серия зияющих трещин почти меридионального простирания, кроме того, они имеются и ближе к завалу в загипсованных известняках. Северный склон озера очень ослаблен, и здесь возможны обрушения породы в виде оползней и обвалов, общим объемом сравнимые с Усойским завалом. Наиболее опасный участок примыкает к р. Биромбанд.

На участке левого примыкания, непосредственно у завала, наблюдается оползень-обвал протяженностью 3,5—4 км. Рядом с ним в настоящее время проходит трещина в 200—300 м от бровки склона, она прослеживается на расстоянии 2,5 км».

Приведенная выше характеристика состояния склонов свидетельствует о том, что развивающийся естественный процесс нарушения целостности, прочности и устойчивости склонов, особенно северного, протекает в условиях постоянного участия воды от тающих ледников и снегов, причем, как уже отмечалось, ледники на большей части длины уходят под мощные осыпи, ныне круто спускающиеся в озеро. И. А. Преображенский (1915 г.) считал, что обвал был подготовлен водами, которые, просачиваясь сверху через доломиты, известняки и гипсы, частично растворяя и ослабляя контакт с другими, более плотными и прочными породами (кремнистые сланцы), создали гигантскую поверхность, по ней при землетрясении произошло смещение горных пород (3—4 км), приведшее в результате к обвалу.

Обнаружение новых очагов возможных обвалов, по объему близких к Усойскому, требует неотложного проведения глубоких исследований и организации соответствующей службы наблюдений.

Что случится, если произойдет новый обвал.

На этот вопрос можно дать различные ответы, так как все зависит от того, на каком участке долины произойдет обвал (широком или узком, глубоком или мелком), от объема обвала, его

состава и геометрических размеров, типа перекрытия долины (полное или частичное), объема вытеснения воды и т. д.

Любой крупный обвал, подобный Усойскому, серьезно осложнит всю обстановку. В результате нового обвала озеро может быть разделено на два, переполнено нижнее озеро, и волна выплеснется на пониженную часть Усойского завала и даже разрушит его верхнюю часть. Если новый обвал произойдет в озеро вблизи от Усойского, то будут полностью нарушены условия оттока через него, и весь процесс формирования выходов воды через толщу нового и старого завалов начнется сначала.

Кроме того, следует иметь в виду, что сильное землетрясение может не только значительно уплотнить тело Усойского завала, но и распластать его, что приведет к уменьшению имеющихся в настоящее время запасов воды над уровнем озера. Поэтому снижение уровня Сарезского озера может исключить какую-либо опасность для расположенных ниже районов в случае повторных обвалов и землетрясений. Это мероприятие надо считать, пожалуй, наиболее реальным.

Уровни Сарезского озера и отток воды из него. Период с 1911 по 1938 г. можно охарактеризовать только по измерениям, проводившимся отдельными исследователями, которые посещали озеро летом. Начальник Памирского поста Г. А. Шпилько в 1913 г. не обнаружил на завале выходов воды с низовой его стороны, хотя глубина озера достигала уже 279 м, а длина — 28 км. В апреле 1914 г. он при вторичном обследовании завала обнаружил на его теле маленькие озерки.

В 1915 г. И. А. Преображенский зафиксировал расход воды через завал 2 м³/с у западного его конца на расстоянии 3,8 км от уреза озера. Уровень воды в озере к этому времени повысился на 73 м, а глубина его увеличилась до 352 м. С 1911 г. интенсивность повышения уровня в озере замедлилась, и в течение последующих 12 лет уровень воды в нем повышался в среднем на 10,5 м в год. В 1926 г. глубина озера достигла 477 м.

В последующие 20 лет среднее ежегодное повышение уровня озера уже не превышало 1,2 м и в 1946 г. глубина озера достигла 500 м. Максимальный уровень отмечен 11—13. IX. 1945 г. и 24. IX. 1941 г., минимальный — в мае 1941 г. «Разность между средними многолетними максимумами и минимумами составляет 7,5 при абсолютной амплитуде колебаний уровня 11,4 м»[3].

Наибольшее суточное повышение уровня 26 см. Относительная стабилизация уровня озера произошла уже в 1934—1946 гг., т. е. спустя 25—35 лет после образования завала. Стационарные наблюдения за уровнем озера на посту «Ирхт» пока не позволяют еще окончательно высказаться о закономерностях в колебаниях уровня в многолетнем разрезе. Надо учесть, что и сам за-

---

[3] Акулов В. В. История исследований и степень изученности Сарезского озера и Усойского завала (рукопись) 1967 г.

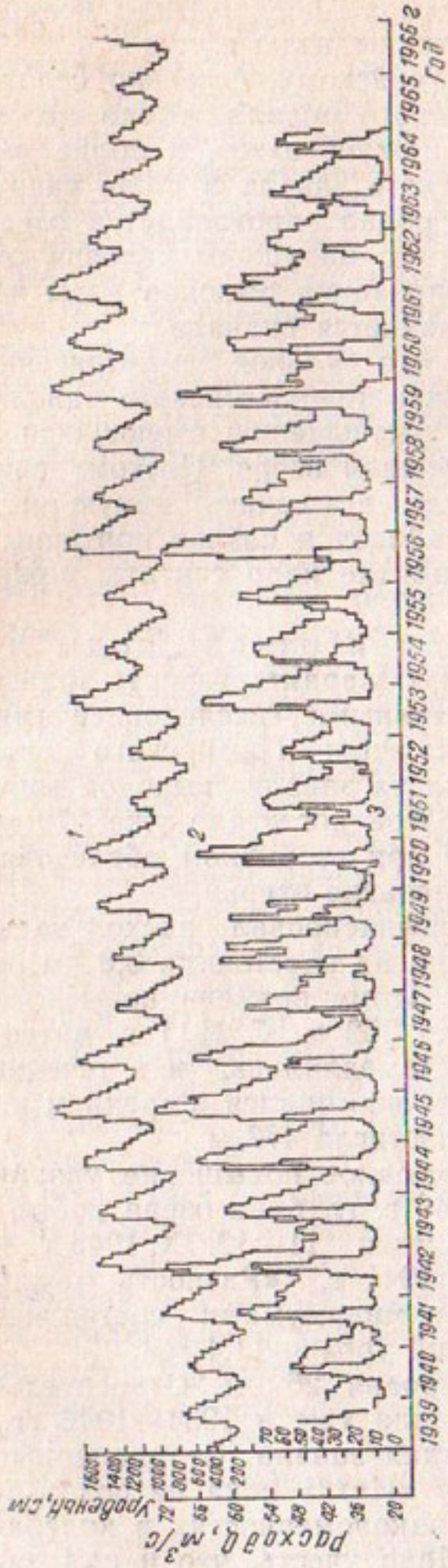


Рис. 6. Совмещенный график хода уровней воды Сарезского озера стока через завал и расходов воды р. Мургаба. у г. Мургаб.

1 — уровни Сарезского озера, *2* — расходы воды в р. Бартанг, у к. Барчадив, *3* — расходы воды в р. Мургаба у г. Мургаб.

вал претерпевает деформацию под влиянием фильтрующих через толщу завала вод при продолжающемся уплотнении обломочного материала тела завала от собственного веса. Поэтому и расходы воды, выходящей из завала, еще не стабилизировались и претерпевают изменения, сказывающиеся на колебаниях уровня озера. В. Н. Рейзвих указывает на общий подъем уровня озера с августа 1942 г., вызванный уплотнением завала.

Н. Л. Корженевский в 1923 г. отметил, что ниже завала уже текла река, расход которой такой же, как р. Мургаба до катастрофы. В августе 1926 г. замерен расход 70 м³/с (Ланге), в сентябре 1930 г.—50 (Родионов), в октябре 1932 г.—50 (Караулов), в сентябре 1934 г.—80 (Средазводпроиз). Наблюдения гидрометеостанции «Ирхт» показали, что августовские и сентябрьские расходы за многолетний период (1940—1954 гг.) изменялись от 50 до 75 м³/с, а в апреле — июне — от 32 до 45. На рис. 6 показан ход среднемесячных уровней воды в Сарезском озере и расходов р. Мургаба ниже завала (пост Барчадив) и выше озера у г. Мургаба.

Водный баланс. Общая водосборная площадь, отнесенная к створу Усойского завала на р. Мургабе, составляет 15775 км². Измерения притока воды в озеро производились только на р. Мургабе, в створе г. Мургаба (площадь водосбора 10300 км²) и на р. Лянгаре на гидрометеостан-

ции «Ирхт». Сток этих рек составил соответственно 14,8 и 3,28 м³/с. Сток в озеро, не учтенный постами с площади водосбора 5475 км², установлен по карте изолиний стока для Западного Памира (В. Л. Шульц) в размере 30 м³/с. Необходимо учесть, что р. Мургаб, берущая начало из Чокмактикульских озер в Афганистане, протекает около 180 км по высокогорным пустыням Восточного Памира, где теряет до 50% объема стока. Отток из озера происходит через Усойский завал и учитывается гидропостом у кишлака Барччадив, расположенного в 15 км ниже завала. Боковая приточность на этом участке незначительна, и сток наиболее крупного из саев — Вавзидсая — определен в 0,96 м³/с. Эта величина учтена в расчетах.

Водный баланс Сарезского озера за 1943—1964 гг., определенный В. Н. Рейзвихом на основе имеющихся ограниченных исходных данных, все же, по-видимому, достаточно близок к действительности.

Ниже приводим результаты расчетов водного баланса Сарезского озера

Приход	1530,17
осадки	10,55
Приток воды в озеро	1519,62
р. Мургаб	471,29
р. Лянгар	104,18
незамеренный	944,24
Расход	1541,17
испарение	86,49
сток из озера	1454,68
Уменьшение запасов воды	11,00

Запас воды в озере за 1943—1964 гг. уменьшился на 11 млн. м³, в июне — августе он увеличивался, в остальное время года происходит расходование водных запасов. В многоводном 1959 г. в озере аккумулировалось 220 млн. м³, в маловодном 1963 г., наоборот, сработалось 50 млн. м³ воды.

Родники на низовом откосе и продвижение головы каньона. При объезде завала в лодке в отдельных местах можно наблюдать, как вода с заметной для глаза скоростью (0,2—0,4 м/с) уходит меж крупных камней в глубь тела завала. Воды поступают в тело завала по всей площади, но с разной интенсивностью на его участках. О. Ф. Васильев, обследовавший завал в 1956 г., установил три участка с интенсивным поступлением воды: в бухте Соединения (вблизи правого берега), южнее ее на 500 м и южнее первого участка на 1100—1200 м. Каждый участок протяженностью несколько десятков метров.

Средняя скорость течения воды через завал определялась с помощью анилиновой краски. Экспедицией Средазводпроиза в 1934 г. установлена скорость 2,68 м/с, гидрологом А. А. Солдатовым — 1,73 м/с. Фактические скорости воды в теле завала должны быть большими, так как путь потока (вернее, большого числа

струй) в теле завала не является прямой линией, как это считалось при определении скорости.

Число родников, образующих ниже завала р. Бартанг, с каждым годом возрастало (от 2 в 1915 г. до 57 в 1939 г.). По-видимому, и места их выхода на завале менялись. Об этом, однако, не имеется точных данных: расходы отдельных родников и число их до настоящего времени не замеряли.

Измерить расходы родников трудно, так как все они и формирующаяся река имеют громадные уклоны, представляют бурлящие потоки, с шумом падающие среди камней и обломков скал по низовому откосу завала к его подошве. Важно заметить, что выходы крупных родников на левом берегу находятся примерно на одних и тех же отметках на протяжении около 1 км по реке, считая от головы каньона.

Выход родников по нивелировке, произведенной экспедицией МИСИ под руководством О. Ф. Васильева в 1956 г., отмечен на 146 м ниже уровня озера (2. VIII. 1956 г.), а по нивелировке, выполненной экспедицией Таджикской ССР по самой пониженной (северной) части Усойского завала, разность уровней озера и выхода родников определена (23. VIII. 1957 г.) в 161 м. Расхождение в 15 м может быть объяснено разницей уровней озера в начале и конце августа 1956—1957 гг. (в это время всегда происходит повышение уровня воды), а также различными местами взятия отметок воды в каньоне. Расстояние (по прямой) от уреза воды озера в бухте Соединения до родников в голове каньона составляет, по материалам О. Ф. Васильева, около 1500 м. Примерно такое же расстояние показывают Р. И. Селиванов и В. И. Андреев (профиль нижней части Усойского завала 1957 г.).

Таким образом, отток воды из озера в настоящее время происходит двумя путями: 1) в виде отдельных потоков, формирующихся внутри тела завала и движущихся в нем с большими скоростями (до 2,68 м/с) в основном в толще верхней части завала, сложенной из крупного обломочного материала, мощностью, по-видимому, не менее 200 м , считая от уровня озера; 2) в виде фильтрационных токов через нижнюю уплотненную часть завала и отдельные уплотненные, а также заиленные участки верхней части завала.

Осмотр потоков воды, выходящих из откоса, создает впечатление, что именно они играют главную роль в оттоке воды из озера, а не фильтрация, дающая, по-видимому, лишь небольшую часть общего расхода. Какое соотношение между этими двумя путями оттока воды и как оно изменяется с годами, определить нельзя, так как расход реки замерялся в 15 км ниже завала, у кишлака Барчадив, а расходы составляющих его потоков — выше поста и в пределах завала не замеряются. Поэтому прогнозировать, приведет ли все это спустя много десятков или сотен лет к спокойному поверхностному сливу озера, трудно. Нужно учесть, что наиболее пониженная часть завала еще возвышается над уровнем

озера на 50—60 м. Это очень благоприятный фактор, но он может легко отпасть, так как вероятность повторных обвалов в озеро не исключается.

И. А. Преображенский обнаружил первые выходы воды в 1915 г. на расстоянии 3800 м от уреза озера. В дальнейшем с увеличением напора появлялись все новые и новые выходы воды, повышался общий ее расход, формировалось русло возрожденной реки за счет разрушения, размыва и выноса наиболее слабых грунтов пониженной части низового откоса завала (мелкозем, мелкие камни, селевые выносы). Голова первоначального каньона, находившаяся на расстоянии 3,8 км от уреза озера, к 1956 г. переместилась вверх на 1,3 км, образовав на дне глубокого каньона, в каменистой части завала, современное русло реки с небольшой поймой, местами поросшей кустарником.

Отметим, что в разработке русла реки немаловажную роль играли весенние воды, стекавшие с крутых склонов правого берега и сносившие со склонов много мелкого материала, который заполнил пониженные места со стороны низового откоса. Современная (1967 г.) голова каньона врезалась в 35-метровую толщу отложений. Все выходы родников в голове каньона и ниже находятся в каменной части завала. Голова каньона, как свидетельствуют работники гидрометеостанции «Ирхт», уже 11 лет практически не перемещается, так как селевое русло в верхней части перепружено обвалившейся массой грунта, и вся вода попадает в такой же селевой овраг, впадающий в озеро, непосредственно у завала.

Голова каньона могла бы интенсивно перемещаться вверх только за счет поверхностных вод, которые проникали бы в толщу селевых отложений и разрушали их, а воды родников уносили бы продукты разрушения. Но селевой сай не действует, поэтому и движение головы каньона на какое-то время приостановилось. Голова каньона, если и будет снова перемещаться, то параллельно гребню завала, вдоль его низового откоса и только за счет размыва преимущественно селевых отложений. В. В. Акулов, пробывший около года на Ирхтской станции, предполагает, что «голова каньона находится в 400 м от пород, легко поддающихся водной эрозии. Это белая полоса гипсов и доломитизированных известняков, слагающих северную часть завала, и когда голова каньона врежется в эти легко разрушающиеся породы, скорость роста каньона может увеличиться».

Как легли обрушившиеся массы в тело завала, особенно в северной его части, предположить трудно. По внешнему осмотру и по фотоснимкам с вертолета, с озера и со стороны нижнего бьефа эта белая полоса гипса и доломитизированных известняков лежит на отметках значительно выше основной массы завала, образует на стыке с ним седловину (пониженную часть завала на севере) и налегает на откос части завала, сложенной из обломков кремнистых сланцев. По-видимому, при обвале они и легли на место раньше «доломитов, мраморов и гипсов». Поэтому наи-

более вероятно, что при продвижении головы каньона вверх его дно по-прежнему будет оставаться в прочной каменистой части завала.

По плану О. Ф. Васильева расстояние от головы до этой пониженной части завала составляет около 900 м. При уклоне 0,13 дно оврага окажется на 117 м выше, чем дно у места современного положения головы, т. е. на отметке 3193 м. Разница между наивысшим уровнем озера и дном предполагаемого нового местоположения головы каньона будет 29 м при расстоянии между урезом озера (залив Соединения) и головой оврага 1000 м.

Постепенное продвижение оврага вверх вдоль завала также усиливает фильтрацию в этой части завала, которая в настоящее время слаба из-за мощной толщи селевых отложений, и тем самым увеличивает общий расход из озера за счет частичной сработки его запасов, пока опять не наступит равновесие между приходом и расходом воды. При прочих одинаковых условиях наличие каньона как глубокого коллектора вдоль всего низового откоса завала, начиная от северной, наиболее узкой, и кончая южной, широкой, частью завала, может только привести к общему понижению уровня озера и уменьшению его объема. Величину того и другого в настоящее время трудно рассчитать.

Ориентировочный подсчет показал, что можно ожидать понижения уровня на 35 м и уменьшения объема воды в нем на 3 км^3.

Таким образом, продвижение головы каньона вверх на 900 м опасности для северной части завала не представляет, и если оно когда-либо произойдет, то уровень воды в озере понизится.

В дальнейшем при движении каньона фильтрационные воды озера участвовать в нем не будут, и формирование каньона будет зависеть только от селевых вод.

На протяжении более 50 лет отдельными исследователями, экспедициями и организациями изучались Усойский завал и Сарезское озеро, его берега и склоны гор. Несмотря на неполноту и некомплектность этих работ, они все же дают представление об общей картине катастрофы 1911 г., позволяют охарактеризовать, главным образом по внешним признакам, современное состояние завала и горных склонов, обращенных к озеру, судить о стабилизации режима уровней озера и режима р. Мургаба ниже завала и высказать соображения об устойчивости завала.

Межведомственная комиссия, изучившая имеющиеся материалы по завалу и озеру и посетившая в конце августа 1967 г. этот район, так ответила на волнующий всех вопрос о вероятности прорыва завала с катастрофическими последствиями для долин Бартанга, Пянджа и Амударьи.

1. Колебания уровня озера и расходов фильтрационных потоков, выходящих из завала, за последние годы стабилизировались, а продвижение головы каньона в сторону озера через тело завала практически прекратилось. Поэтому при сложившейся в настоящее время природной обстановке нет оснований опасаться непос-

редственного прорыва озера через завал из-за разрушения его фильтрационным потоком. Однако для того, чтобы можно было на длительный срок прогнозировать устойчивость завала в зависимости от развития фильтрации через его тело, необходимо провести исследования, указанные ниже.

2. Обследование берегов озера показало, что возможны обвалы склонов в объемах, превышающих объем Усойского завала (2,2 км^3). В результате такого обвала горизонт воды в озере может повыситься примерно на 50—60 м до уровня отметок гребня завала. Кроме того, при этом образуются волны (сейши) значительной высоты, которые выплеснутся на поверхность завала, имеющего ширину по верху более 1 км.

3. Для полной гарантии устойчивости завала при повторных обвалах в озеро в результате сильных землетрясений должны быть выполнены большие работы по дополнительному выпуску воды из озера, обеспечивающему снижение горизонтов воды в нем по крайней мере на 100—150 м. Подобные мероприятия целесообразно осуществлять при одновременном использовании гидравлической энергии р. Бартанга в районе Сарезского озера, где, по оценке Н. А. Караулова (1933 г.), может быть построена ГЭС мощностью до 800 тыс кВт.

Таким образом, главная опасность заключается в возможности новых обвалов, вероятность которых высока из-за большой сейсмичности этой зоны Памира. Уровень воды в озере на 100—150 м необходимо снизить. Нельзя быть спокойным за судьбу долин, лежащих ниже завала.

Накопленных данных далеко не достаточно для того, чтобы можно было с достоверностью прогнозировать дальнейшее развитие процессов фильтрации и деформации тела завала, продвижение головы каньона, повторение разрушительных землетрясений, устойчивость берегов озера и горных склонов, возможность новых обвалов и др.

Необходимо перейти от спорадических рекогносцировок к систематическим всесторонним исследованиям завала и зоны озера. Это чрезвычайно важно не только для того, чтобы правильно оценить вероятность возникновения катастрофических явлений на завале, губительных для нижерасположенных речных долин, но и для того, чтобы найти такое инженерное решение, которое позволило бы навсегда исключить возможность какой бы то ни было аварии на завале и использовать потенциальную энергию озера. В зависимости от протяженности тоннеля мощность ГЭС еще в 1933 г. оценена Н. А. Карауловым в 800 тыс. кВт. Энергоемкий потребитель в этой зоне в недалеком будущем может быть подготовлен.

Необходимо организовать и выполнить следующие работы:

изучить структуру тела завала, уделив особое внимание его северной части, наиболее слабой по мнению многих специалистов;

организовать наблюдения за деформацией завала под воздей-

ствием фильтрующих и текущих через него вод, установить постоянные створы для наблюдения за деформацией;

наблюдать за динамикой ручьев и родников, выходящих из завала, и формирующейся вдоль подошвы главного хребта завала р. Мургаба (Бартанга), с этой целью организовать систематические, не менее 5 раз в год, замеры расходов р. Мургаба в нескольких створах, начиная от головы каньона. Это позволит следить за изменением расходов воды, поступающей из завала в основное русло по участкам;

вести наблюдения за продвижением головы каньона вверх и установить участие в этом талых вод, стекающих со склонов, исследовать кольматирующее действие этих вод;

определить скорости движения потока через тело завала на разных глубинах вдоль фронта завала для установления, если это удастся, наиболее проницаемых зон в теле завала и выделения уплотненной, слабо фильтрующей части завала от той части, через которую поток проходит с большими (до 2,7 м/с) скоростями;

провести цикл наблюдений за расходами наиболее крупных притоков Мургаба, впадающих в Сарезское озеро на участке от г. Мургаба до завала, для уточнения незамеренной части водного баланса, составляющей 65% общего баланса;

изучить химический состав вод озера и вытекающих из завала ручьев, родников и основной реки, термический режим озера, испарение с его поверхности, осадки, режим уровней озера и связь этого режима с притоком и оттоком воды с учетом влияния на последний деформации завала;

провести сейсмические исследования района завала и озера;

обследовать правый склон гор в пределах завала и западину в склоне с крутым дном, почти отвесными стенками, в верхней части как бы образующими воронку, от конца которой спускается к завалу конус выноса (по этому концу стекают талые воды выше и ниже северной части главного хребта завала), обследовать южное примыкание завала к левобережным террасам и склону гор;

изучить склоны гор, окаймляющие озеро с юга и севера, с целью выявления участков, опасных в отношении образования новых обвалов в озеро, и установить за ними наблюдения;

изучить осыпи на склонах гор, периодически или постоянно сползающие в озеро под воздействием волны и колебаний уровня озера;

произвести повторный промер глубин озера, по возможности в прежних створах, и зафиксировать их, один раз в два года производить промеры по нескольким контрольным створам, расположенным в местах наиболее интенсивного движения осыпей.

Действующую с 1938 г. гидрометеостанцию, расположенную на берегу р. Лянгара при впадании ее в Ирхтский залив Сарезского озера, нужно значительно усилить для стационарных наблюдений

за режимом озера и реки, фильтрацией через завал, передвижением головы канала, промеров озера и т. д.

Инженерно-геологические и геофизические исследования тела завала и наблюдения за его деформацией, а также за состоянием горных склонов в местах возможных обвалов должны проводить геологические научные учреждения АН Таджикской ССР и Министерства геологии СССР.

Для исследований необходимо иметь хорошую топографическую основу, поэтому район завала и озера должен быть снят в масштабе 1:25000, а сам завал — в масштабе 1:10000. На этих планах должны быть показаны все створы, разбитые на завале и озере для производства различных замеров.

Очень важно определить мероприятия по снижению уровня озера и энергетическому его использованию. Для этого необходимо разработать технико-экономический доклад (ТЭД), опирающийся не только на материалы прошлых лет, но и на специальные исследования. Составление ТЭД следует поручить САО Гидропроекту, ведущему разработку генеральной схемы использования водных ресурсов Амударьи.

Учитывая большой комплекс научно-исследовательских работ, необходимость использования новейших приборов и методов исследований, сложность выполнения их в труднодоступных местах на высотах 3,5 тыс. м, общее руководство всеми научно-исследовательскими работами на Усойском завале и Сарезском озере следует поручить Академии наук СССР, в составе которой создается новый Институт водных проблем.

БОРЬБА С ПОТЕРЯМИ ВОДЫ ИЗ ОРОСИТЕЛЬНЫХ КАНАЛОВ ЗА РУБЕЖОМ И В СССР

Орошение земель во многих странах начинали с использования естественного стока рек и речек, а также поверхностного стока воды, накопленного в небольших прудах и на террасированных склонах. Для использования грунтовых вод строились кяризы и колодцы. Однако большая часть земель орошалась водою из рек. Сельское хозяйство зависело от режима рек, не всегда отвечающего потребностям растений в воде, особенно в странах, где климатические условия позволяют снимать в год два — три урожая. Население приспосабливало свои хозяйства к режиму рек. Там, где это было возможно, население дополняло речные воды грунтовыми, поднимая их на поля из колодцев, или поверхностными, задерживая сток в небольших водоемах. Так развивалось орошение в Средней Азии и на Кавказе, в Индии, Китае, Японии, Египте, Италии, Америке и других странах.

По мере роста населения увеличивались орошаемые площади главным образом за счет использования в критические периоды расходов рек, соответствующих годам, близким к среднемноголетним. Рост орошаемых площадей происходил в силу необходимости за счет снижения водообеспеченности. В то же время мелиоративное состояние многих земель ухудшалось, что требовало дополнительных расходов на промывки засоленных земель. В результате с наступлением маловодных лет наиболее важные культуры поливались недостаточно, а второстепенные оставались неполитыми и гибли. Иногда гибли почти все культуры. Все это создавало и создает до сих пор неустойчивость в сельском хозяйстве многих орошаемых районов. Для повышения водообеспеченности ныне действующих оросительных систем, создававшихся годами, десятками и даже сотнями лет, необходимо наряду с работами по регулированию стока рек и переброске воды из одного более многоводного или с иным режимом бассейна в другой вести на системах серьезные работы по повышению их КПД и переходу на более совершенные способы полива, позволяющие экономнее расходовать воду при поливе, значительно сократить потери воды на полях и улучшить мелиоративное состояние земель.

Если регулирование стока рек представляет собой крупные строительные работы, по окончании которых сразу появляется дополнительная вода для сельского хозяйства, энергетики, водоснабжения и других народнохозяйственных нужд (комплексные проблемы), то работы по повышению КПД оросительных систем — сложный комплекс разнообразных мероприятий, охватывающих многочисленные оросительные системы и хозяйства. Необходимо выполнить значительную часть работ этого комплекса, чтобы существенно поднять КПД систем и улучшить существующую технику полива или перейти на новую, более совершенную. Все эти работы чрезвычайно сложны и трудоемки, требуют современного технического оборудования и многих лет для осуществления при напряженных ежегодных планах. Поэтому каждую новую оросительную систему следует сразу строить более совершенной, а старые системы — всесторонне и планомерно из года в год улучшать и оснащать новой техникой.

Эти две группы мероприятий ни в коем случае нельзя противопоставлять друг другу, а надо развивать параллельно, взаимно увязывая их между собою.

Вопрос об экономном использовании воды сложен и многогранен. Решение его для многих районов неотложно и зависит не только от устранения потерь воды в разветвленной сети каналов на пути ее транспортирования от головных сооружений до полей, но в такой же, если не в большей степени, от высокой агротехники и техники поливов.

Потери воды, изъятой из источника для орошения, происходят, с одной стороны, из разветвленной сети постоянных оросительных каналов и с другой — на полях при поливе.

В первом случае потери зависят от технического состояния и оснащенности гидротехническими сооружениями постоянных каналов, организации и состояния служб эксплуатации, во втором — от спланированности полей, применяемой агротехники и техники полива. Природные условия и дисциплина при поливе в обоих случаях имеют большое значение.

В результате на оросительных системах потери воды складываются из:

а) потерь на фильтрацию и испарение из постоянных каналов;

б) потерь за счет утечки воды через регулирующие сооружения вследствие их несовершенства или неудовлетворительной эксплуатации;

в) потерь воды за счет работы каналов с подпорами или прогона по отдельным каналам излишних расходов только для поддержания в них рабочих горизонтов и последующего сброса (сюда не относятся сбросы транзитных расходов для работы ГЭС, для водоснабжения и т. д.) этих излишков из каналов;

г) потерь, связанных с работой каналов в зимнее время для подачи питьевой воды и воды для промывных поливов;

д) потерь за счет организационных неполадок в эксплуатации системы во время поливов;

е) потерь воды на поле во время полива, зависящих от применяемых способов полива и агротехники.

Если учесть все виды потерь на системе, включая потери на поле при поливе, то оказывается, что обычно лишь 30% воды, взятой в голове системы, используется для полива культур. Большая же часть воды по указанным выше причинам уходит в сбросы и на пополнение грунтовых вод, что при определенных гидрогеологических условиях приводит нередко к заболачиванию и засолению земель, и, как следствие, к снижению урожая.

Часть потерянных на оросительной системе вод при благоприятных условиях поступает в источник орошения в виде поверхностных сбросов и выклинивающихся подземных вод и образует так называемые возвратные воды. Они не потеряны для ирригации, если возможно вновь использовать их для орошения нижерасположенных земель, но для каждой системы потеряны и при недостатке в источнике — невосполнимы.

Потери имеют место на всех системах, но размеры их часто резко отличны на разных системах и даже на отдельных каналах одной и той же системы. Для большинства систем с нормально поставленной службой эксплуатации и водопользования все же наиболее характерны и наиболее велики потери воды на фильтрацию из каналов.

Намечая мероприятия по повышению КПД, необходимо предварительно тщательно исследовать систему, изучить ее водный баланс и установить главные причины низкого КПД. Только после этого можно приступить к устранению причин за счет сокращения длины действующих каналов и их шлюзования (водовыпуски, водомеры, перегораживающие сооружения и т. д.), путем устройства противофильтрационной одежды на каналах в наиболее неблагоприятных в отношении потерь воды районах или участках канала, а также налаживания водоснабжения населенных пунктов, не зависящего от работы каналов, и закрытия системы по возможности на весь вегетационный период. Одновременно должны быть проведены организационные меры, укрепляющие службу эксплуатации и дисциплину при использовании воды в хозяйствах.

Противофильтрационные одежды на каналах

В мировой практике применяются или проходят стадию широких производственных опытов следующие виды противофильтрационной одежды.

I. Группа бетонных и железобетонных одежд и конструкций: одежда из монолитного бетона и железобетона, укладываемая машинами и вручную; одежда из сборных плит, плиты без арматуры, армированные или напряженно армированные; одежда из высокопрочных мат из преднапряженного железобетона размерами 30×0,5 м и толщиной 3,5 см (Италия);

лотки полуциркульные диаметром до 5 м (Франция) и параболические на опорах, армированные и напряженно армированные, лотки и прямоугольные и трапецеидальные, полуциркульные из бетона и этернита (Болгария), укладываемые в земляное русло;

железобетонные трубы; монолитные неармированные бесшовные бетонные трубы диаметром до 1,22 м (США), укладываемые на месте специальной машиной.

II. Группа каменных и кирпичных одежд: мостовая из булыжного и рваного камня; лотки прямоугольного сечения из рваного камня на цементном или известковом растворах; кирпичная облицовка дна и откосов канала, кирпичные прямоугольные лотки; облицовка из кирпича или плитняка типа «Сэндвич» (Индия, Пакистан), состоящая из двух рядов этих материалов на растворе.

III. Группа одежд с применением асфальта: монолитная асфальтобетонная облицовка, укладываемая на месте с помощью машины; битумный погребенный (с защитным слоем грунта) экран, укладываемый на месте с помощью машины; асфальтовый экран из сборных элементов, уложенных на поверхности русла или погребенных; асфальтоторкрет, накладываемый с помощью асфальтопушки.

IV. Группа земляных одежд: земляные уплотненные экраны толстые и тонкие с защитным слоем и без него; глубокое уплотнение естественного грунта в русле канала;

бентонитовый экран (погребенный) с защитным слоем;

уплотненная смесь бентонита (5—25%) с грунтом, уложенным слоем толщиною 5—8 см с защитным слоем из грунта; кольматаж, как естественный процесс при мутной воде и как искусственный при необходимости создавать мутность;

выстилка грунтом ложа канала;

создание поверхностных и глубинных экранов путем улучшения грунтов с помощью различных сил, жидкого стекла и других вяжущих материалов, а также методом солонцевания и оглиения грунтов и т. д.

V. Группа одежд и конструкций из синтетических полимерных материалов:

полиэтиленовые, полихлорвиниловые и другие пленки, бутиловая резина для устройства экранов поверхностных и погребенных;

трубопроводы для транспорта воды из бутиловой резины, полиэтилена и других полимеров; трубопроводы с патрубками или отверстиями для подачи воды в борозды из бутиловой резины, полиэтилена и других полимеров.

Во многих странах широко поставлены испытания различных видов одежд. Ниже приводится относительная стоимость квадратного метра некоторых видов одежд (по американским данным). За 100% принята стоимость бетонной неармированной облицовки (1,35 доллара):

асфальтоторкрет при толщине 2,5—5 см	—186—264%
асфальтобетон толщиною 5—7,5 см	—112—123
бетонная одежда толщиною 4—9 см	—100—196
торкрет толщиною 2,5 см	—100—196
бентонитовые экраны (при механизации работ)	— 89
асфальтовый экран из рулонного материала	— 45—134
асфальтовый экран, уложенный на месте	— 38—134
земляные экраны	— 37—163
выстилка грунтом	— 18—22
кольматаж	— 13

По общему признанию, бетон и железобетон являются надежным и удобным материалом для устройства облицовки каналов в разнообразных климатических условиях.

Как видно из приведенных данных, стоимость большинства одежд ниже бетонной, но для многих материалов не настолько, чтобы оправдать снижение таких качеств, как долговечность, прочность и др. Поэтому бетонная одежда каналов остается по сей день самой распространенной, но поиски новых более дешевых и надежных облицовок продолжаются.

Ниже приведены методы борьбы с потерями воды из каналов в различных странах.

ИНДИЯ. Потери воды на фильтрацию, утечку и испарение в оросительных системах между головным водозабором и полями изменяются от 10 до 50%, иногда достигая 60% от водозабора в голове магистрального канала. На каналах, не особенно длинных, эти потери составляют около 20—25%. Естественно, относительные потери воды в новых и длинных каналах больше, чем в старых и коротких. Потери на испарение имеют существенное значение только для водохранилищ. Общие потери воды в распределительной сети и хозяйственных отводах иногда бывают равны, но в большинстве случаев больше потерь в магистральном канале и ветвях.

Еще в 1875 г. на Бари-Доабском канале, к тому времени эксплуатировавшемуся уже в течение 16—18 лет, потери в магистральном канале и ветвях составляли от 13,1 до 19,05% головного водозабора и в распределителях от 20 до 30%.

Кеннеди показал (1881 г.), что на каждые 10 куб. футов/с воды, поступающей в голову, примерно 47% теряется, из них 20% — в каналах и ветвях, 6 — в распределителях и 21 — в хозяйственных каналах, т. е. чистых потерь 47% воды. На Гангском канале общие потери воды составляли 44%, из них 15 — в магистральном канале и ветвях, 7 — в распределителях, 22 — в хозяйственных каналах. Аналогичные цифры получены в 1947 г. на каналах Бомбея.

Канфар Сеин в 1939 г. определил потери воды из магистральных каналов только Пенджаба без учета магистральных каналов системы Сетлендж Велли. Установлено, что эти потери достигали 52 м³/с. Если учесть потери магистральной системы Сетлендж Велли, то общие потери воды составляли 120 м³/с. Облицовка

только указанных выше магистральных каналов сохранит, по крайней мере, 86 м³/с в летний период и 49 м³/с в зимний.

Многолетний опыт индийских ирригаторов позволил им дать следующую оценку различным типам одежды каналов для борьбы с потерями:

а) бетонная одежда считается самой надежной и долговечной, но по сравнению с другими видами одежды наиболее дорогой;

б) одежды из земляных материалов относятся к дешевым, но непрочным;

в) одежды асфальтовые, кирпичные и каменные занимают промежуточное положение между первыми двумя.

Из жестких наиболее распространены одежды из двух рядов кирпича или плотняка с прослоем между ними цементного раствора толщиною до 2,5 см. Этот тип облицовки при одинаковой водонепроницаемости с бетонной одеждой дешевле в строительстве и эксплуатации, устраивается легко и быстро, без применения машин, с использованием большого количества имеющихся в стране свободных рабочих рук. Многочисленные швы в облицовке создают благоприятные условия для образования множества волосных трещин, что снижает повреждения облицовки от изменения температуры.

Опыты, проведенные ирригационно-исследовательским институтом в Пенджабе, показали, что местные добавки в виде мелкого помола обожженного известняка «канкар» и обожженного кирпича «сурхи» резко повышают водонепроницаемость бетона и снижают на 25—30% количество цемента на 1 м³ кладки. Эти добавки с успехом применяются на гидротехническом строительстве в Индии.

Поперечный профиль каналов обычно принимается трапецеидальным с криволинейными вставками у дна при переходе к откосам (рис. 1). Теоретически полуциркульное поперечное сечение наиболее экономично, так как для данной площади дает величину гидравлического радиуса и расхода при наименьшем смоченном периметре.

Однако редко удается практически использовать полуциркульный поперечный профиль для каналов в земле, с одной стороны, из-за высокого уровня грунтовых вод и, с другой, из-за необходимости иметь небольшие глубины в канале для обеспечения командования.

Откосы облицованных каналов в Индии применяются от 1 : 1 для каналов глубиной менее 3,3 м до 1,25 : 1 для каналов большей глубины. Запас в облицовке над максимальным горизонтом воды в канале принимается обычно 0,30 м при общем запасе до верха дамбы 1,20 м. В небольших каналах эти запасы берутся соответственно меньше.

Потери на фильтрацию в облицованных каналах уменьшаются в 4—5 раз по сравнению с земляными руслами, что позволяет увеличить за счет сбереженной воды орошаемую площадь.

ПАКИСТАН. В связи с развитием орошения в Западном Пакистане уровень грунтовых вод поднимается местами почти до поверхности земли, в результате чего не только ухудшается качество орошаемых земель, но и разрушается облицовка старых действующих каналов. С 1937 г. все новые каналы, строящиеся в Пакистане, облицовываются, причем тип облицовки принимается с учетом местных условий — наличия дешевых рабочих рук при высокой стоимости строительных материалов и машин.

На протяжении последних 15 лет неоднократно определялись потери воды в земляных каналах. Сведения, полученные по отдель-

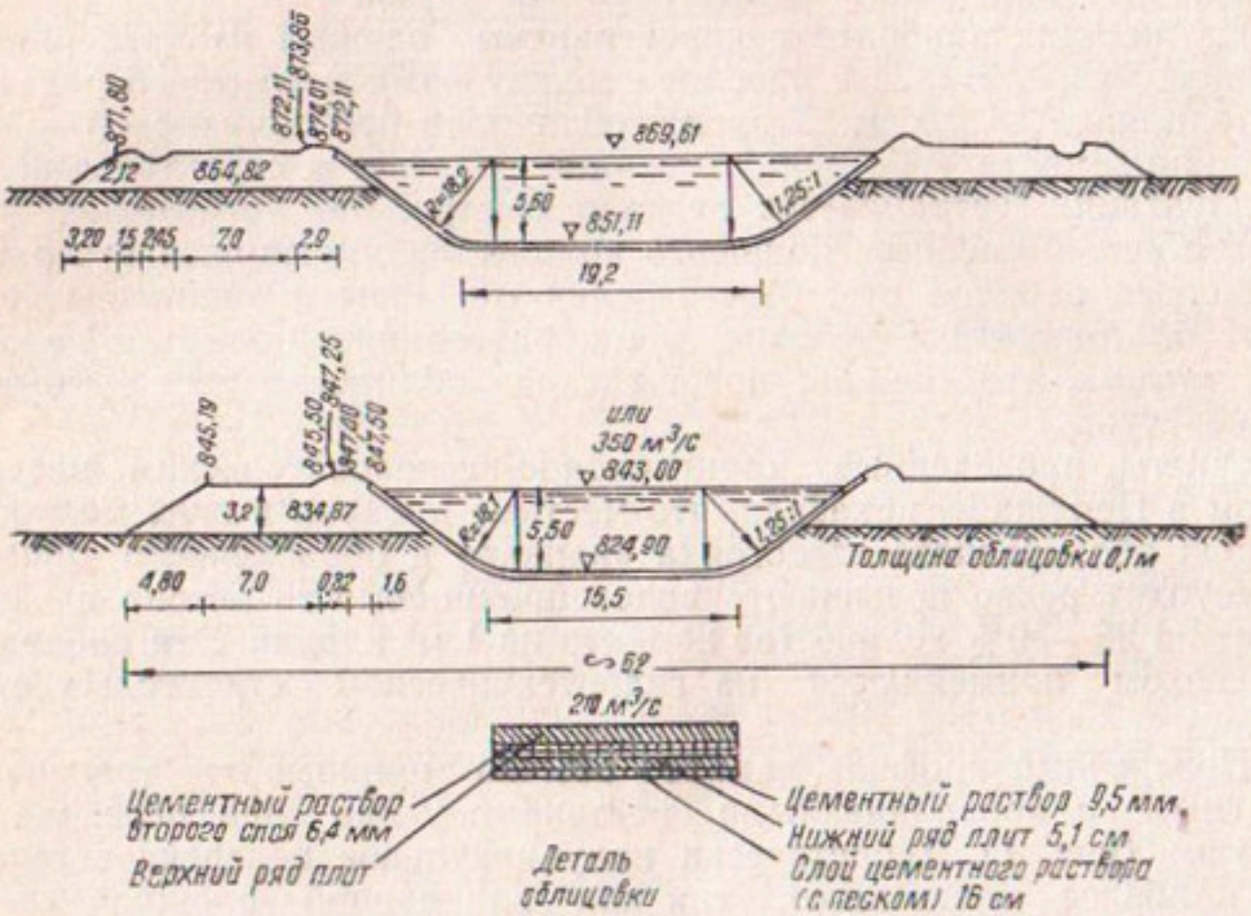


Рис. 1. Типовые сечения магистрального канала Бхакра на ПК 160.000 и 210.000.

ным каналам Пакистана, показывают широкий диапазон колебаний потерь воды с квадратного метра смоченной поверхности: с 4 до 20 куб. футов на 1 млн. кв футов, или от 1,25 до 6,25 л/с на 1 тыс. м². Эти колебания зависят не только от качества грунтов, в которых проходят каналы, но и от глубины воды в канале, естественного уклона поверхности грунтовых вод и разности уровней воды в канале и грунтовых вод.

При проектировании каналов обычно принимают потери в размере 8 куб. футов с каждого млн. кв. футов смоченной поверхности, или 2,5 л/с 1 тыс. м².

Ниже приведены некоторые данные о потерях воды на системах Верхне- и Нижнечинабского каналов, полученные Бленчем:

	Верхнечинабская система канала	*Нижнечинабская*
Общие потери, м³/с; %	33,0	64,0
Потери, м³/с (%)		
магистральный канал	15,8 (48,0)	9,2 (14)
ветви	1,20 (3,5)	30,0 (47)
распределительная сеть	7,7 (23,5)	13,6 (21,5)
хозяйственные отводы	8,3 (25,0)	11,2 (17,5)

Кангар анализировал данные за 8 лет (с 1935 по 1942 г.) и дал величины потерь, приведенные в табл. 1.

Таблица 1

Система канала	Расход, используемый в головах распределителей, м³/с	Потери, м³/с			
		магистральный канал и ветви, м³/с	распределитель, м³/с	хозяйственные отводы, м³/с	всего, м³/с
Нижнечинабадского		32,0	11,4	12,6	56,0
	193,0	16,6	5,4	6,5	23,0
Верхнечинабадского	66,0	4,6	3,7	3,6	11,9
		7,0	5,6	6,0	18
Нижнеджелюмского		9,5	3,5	4 4	17,4
	67,0	14,3	5,3	6,5	26
Верхнеджелюмского		3,7	1,5	2,0	12,2
	27,5	31,5	5,5	7,3	44

Надо отметить, что Бленч и Кангар подходили к оценке потерь по-разному, поэтому у них имеются расхождения в размерах потерь, особенно по Верхнечинабской системе. Бленч использовал надежные данные наблюдений, а Кангар определил потери путем фактического замера расходов по нескольким постам на системе данного канала.

Большие потери воды из необлицованных каналов затрудняют проведение всякого рода мелиоративных работ. Приходится понижать уровень грунтовых вод с помощью откачки их насосами. По наблюдениям Шарма, понижение уровня грунтовых вод вблизи канала усиливает фильтрацию из него по линейному закону. Это обстоятельство следует иметь в виду и учитывать. При сильно проницаемых грунтах, как это имело место при работах на массивах Чухаркана и Чаканвала, откачка из 22 колодцев 2,1 млн. грунтовой воды в месяц не дала никакого эффекта. Понятно, что без облицовки каналов решать мелиоративные задачи в этом районе так же, как и в других, невозможно.

Большие трудности возникают при устройстве облицовок на действующих каналах, так как последние бывают без воды слишком мало времени, и за этот срок невозможно выполнить работы. Кроме того, даже при осушенном канале высокий уровень стояния грунтовых вод мешает устройству облицовок.

Новые облицованные каналы, построенные в Пакистане, — Баллоки Суллейманки Линк с расходом около 430 м³/с и длиной около 120 км, Бомбанвала Бадиан Линк с расходом от 140 до 170 м³/с и длиной около 32 км, Тал с расходом от 170 до 280 м³/с и длиной около 193 км и Хавели с расходом до 140 м³/с и длиной около 62 км.

Все эти каналы облицованы кирпичом или плитняком, уложенным вручную, причем водонепроницаемость облицовки достигнута путем устройства слоя из цементного раствора между рядами кирпича. Только на первых 30 км канала Тал в виде исключения бы-

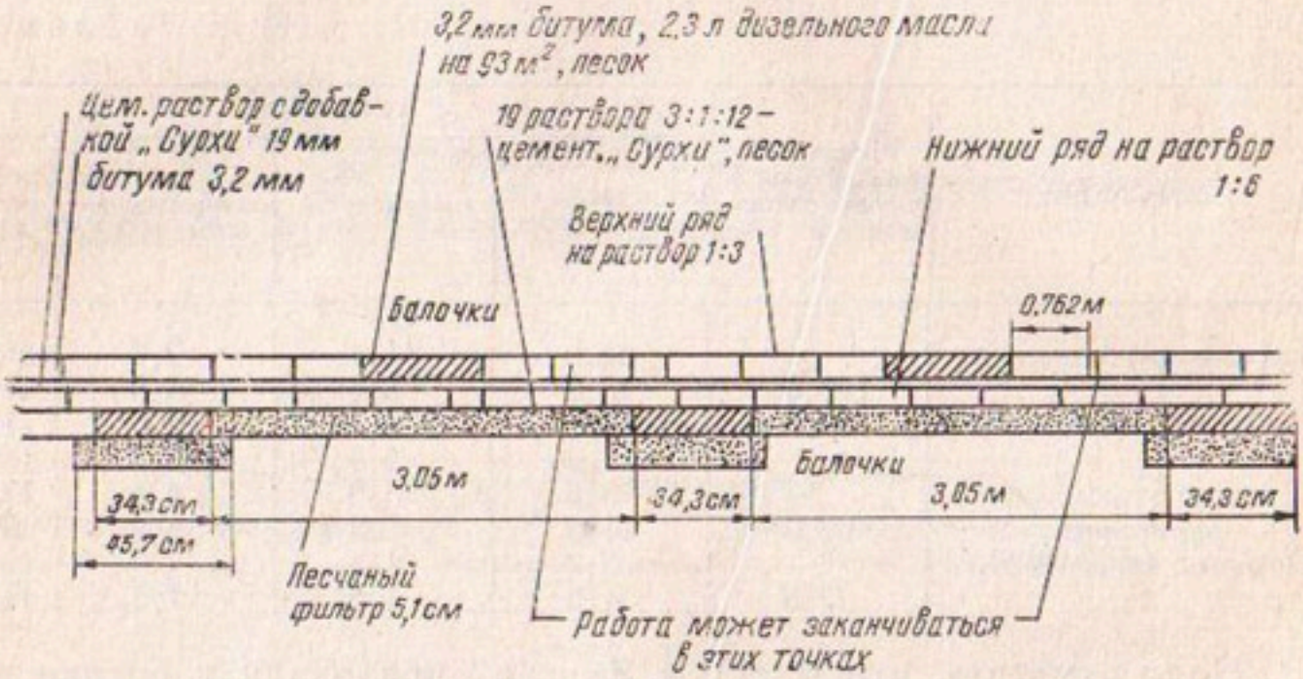


Рис. 2. Новая конструкция облицовки типа «сэндвич»

ла уложена бетонная облицовка толщиною 10 см и на канале Биканер, отошедшем к Индии, оказалось возможным сделать бетонную одежду, так как на месте имелся «канкар», который и использовали для приготовления бетона.

Еще в 1904 г. Кеннеди впервые предложил облицовать каналы распределительной и хозяйственной сети. Он произвел опыты с применением в качестве одежды промасленной бумаги, битума и других подобных материалов.

Новые успешные опыты были поставлены в 1925 г. на канале Биканер. Вследствие затруднений с бетоном разработали облицовку типа «сэндвич» (рис. 2), впервые примененную в 1937 г. на канале Хавели. Этот канал введен в эксплуатацию в 1939 г.

Наблюдения за стоянием грунтовых вод на канале Хавели и на распределителе Базира показали, что подъем уровня грунтовых вод при облицованном канале происходил со скоростью 0,1 фута (3 см) в год, в то время как в непосредственной близости с таким необлицованным каналом скорость подъема грунтовых вод составила 0,9 фута (28 см) в год. Таким образом, облицовка резко снизила подъем уровня грунтовых вод, но не устранила его полностью.

В Пакистане применяются различные типы облицовок каналов, но наиболее распространены облицовки из двух рядов кирпича на цементном растворе, слой которого имеет толщину до 2,5 см. Применяется также и бетонная облицовка. Для уменьшения водонепроницаемости бетона при его приготовлении обычно добавляется порошок «сурхи», представляющий мелко размолотый обожженный кирпич. Его добавляют вместо цемента (до 25—30%), что снижает температурный коэффициент, и бетонная кладка становится более солеустойчивой.

Ввиду того, что первоначальная конструкция облицовки типа «сэндвич» оказалась недостаточно водонепроницаемой, разработан новый тип облицовки, изготовление которой отличается тем, что поверхность слоя цементного раствора через 4 дня после его укладки прокрашивается дизельным маслом из расчета 1/2 галлона на 100 кв. футов поверхности (2 л на 10 м²). После этого накладывается слой битума толщиной 3,2 мм. Пока битум не остыл, поверх него распыляют сухой песок. В результате образуется битумная мастика. Следующий слой плит может быть уложен поверх этого битумного покрытия. Кроме того, здесь введены поперечные ребра через каждые 3,3 м по откосам и 7,6 м по дну для того, чтобы увеличить путь фильтрации в случае образования трещин в облицовке.

Для большей устойчивости облицовки перед ее укладкой необходимо спланировать и уплотнить откос и дно канала. Откосы должны быть не круче 1,5 : 1 в песчаных грунтах и 2 : 1 в более слабых. Откосы в последних укрепляются песчаным фильтром толщиною 5 см, для которого песок должен доставляться и укладываться во влажном состоянии.

Наряду с наиболее распространенными облицовками типа «сэндвич» и бетонными в Пакистане на распределителях ведутся производственные опыты с другими типами облицовок. На распределителе Фатех в Пенджабе устроена погребенная асфальтовая мембрана. Ложе канала вручную было заглублено на 45 см, затем уплотнено, стерилизовано во избежание прорастания дизельным маслом из расчета 0,5 л/м² и покрыто слоем битума. После охлаждения мембрану засыпали грунтом слоем 45 см. Этот тип противофильтрационной одежды признается весьма подходящим для малых каналов, так как позволяет в течение короткого срока, имеющегося в распоряжении эксплуатационного штата, сделать экран. Для малых же каналов рекомендуется одежда из смеси глины, пшеничной соломы и соды в пропорции на 100 куб. футов глины 500 футов соломы и 18 футов соды. Этот тип одежды считается весьма эффективным, но требует возобновления каждые два года. Полагают, что земледельцу устройство такой облицовки обходится в 50 рупий за милю при условии, что труд и материал — его собственные. Рекомендуется также глинизация ложа канала с последующим покрытием антифильтрационного глиняного слоя слоем ила толщиною 30 см. Фильтрация в этом случае снижается на 80%.

МЕКСИКА. Разветвленная сеть магистральных каналов, распределительных и более мелких отводов теряет значительное количество воды. Магистральные каналы длиною от 50 до 250 км, проходя на этом пути в разных грунтах, теряют в большинстве случаев в среднем до 13% воды. Очень часто потери в оросительной сети составляют от 35 до 50%. Помимо того, что теряется драгоценная влага, вдоль каналов образуются заболоченные территории, бесполезные для сельского хозяйства и трудно поддающиеся дренированию. Все это приводит к необходимости борьбы с потерями воды из каналов. Средства для борьбы с фильтрацией должны быть надежными и не требовать больших затрат на поддержание их в исправном состоянии в период эксплуатации канала.

В Мексике построено много каналов с бетонной одеждой, самый крупный из них Альто с расходом 110 м³/с. Опыт Мексики подтверждает целесообразность устройства бетонной одежды каналов. Сезонное колебание температуры незначительное: нет морозов и оттепели. Благодаря этому швы в бетонной облицовке делаются простыми: достаточно иметь продольные и поперечные надрезы на половину толщины облицовки с расстоянием между ними соответственно 2,65 и 3,90 м.

Бетонирование каналов ведется с помощью специальных машин, причем откосы и дно канала предварительно уплотняют и выравнивают. Эти машины, в отличие от известной машины Динглера, движутся только вдоль откоса по двум рельсам, уложенным на дне канала и на берме. Машина, идущая впереди, планирует откос; за ней по тем же рельсам движется бетоноукладочная машина, с помощью которой устраиваются также и швы. Дно бетонируется следом за откосами. Для предохранения свежеуложенного бетона от высыхания поверхность его покрывают особым белым составом. При этом не требуется дополнительного увлажнения бетона в течение 28 дней — периода набора прочности. Бетонировка канала длиною 100 км уменьшает потери почти в 8 раз.

Кроме магистральных, в Мексике бетонируются каналы распределительной сети, для которых толщина бетонной облицовки принимается обычно равной 7 см.

Мелкие оросительные каналы, пропускная способность которых обычно в 1,3—1,5 раза больше максимального расхода магистрального канала, теряют на проницаемых грунтах от 35 до 50% воды и причиняют тем самым большой вред сельскому хозяйству. Бетонная одежда мелких каналов значительно сокращает потери воды. Поэтому ширину каналов по верху можно сократить и тем самым резко уменьшить площадь отчуждения под каналы.

Водные ресурсы в Мексике настолько скудны, что их нельзя терять на фильтрацию. Таково мнение мексиканских гидротехников. Облицовка каналов бетоном полноценно решает задачу сохранения воды, является эффективной и долговечной. Хотя стоимость устройства облицованного канала в два раза дороже кана-

ла в земляном русле, все затраты окупаются последующим использованием сбереженной воды.

Гидротехники Мексики считают, что облицовка каналов должна включаться в состав проектов и при планировании ирригационного строительства учитываться наряду с планированием строительства водохранилища, водозаборных плотин, магистральных каналов для переброски воды и т. д. Такой метод планирования позволит более правильно решить комплекс вопросов. Затраты на облицовку каналов могут быть обоснованы существенным уменьшением капиталовложений на другие гидротехнические сооружения.

Даже когда ирригационный проект уже осуществлен, облицовка действующих каналов бетоном позволит расширить площади орошения на той или иной оросительной системе.

США. Оросительные системы США теряют значительную часть воды на пути ее от головных сооружений до полей. Тщательные измерения потерь воды на системах Идахо показали, например, что мелкие фермерские оросители, несущие менее 30 л/с воды на протяжении мили, могут терять половину расхода; каналы с расходами от 0,30 до 8,5 м³/с, проходя в грунтах разного сложения, могут терять на протяжении мили от 0,1 до 10,8% расхода.

Сброс слагается из воды, подаваемой для работы гидростанций, поддержания скоростей в канале во избежание заиления (Юма) и т. д. На некоторых системах излишний водозабор вызывается необходимостью подавать большие расходы, причем излишняя вода возвращается в источник, где снова забирается для орошения нижележащих площадей. В сброс не включаются расходы вод, используемые на промывку наносов у головных сооружений.

Природные и хозяйственные условия настолько разнообразны, что давать шаблонные рекомендации в отношении размеров потерь сбросов, потребления воды и т. д. для вновь проектируемых систем невозможно. Каждый новый проект представляет собою нечто новое, и правильные предложения можно сделать только на основе тщательного изучения всех местных условий (почвы, топография, гидрогеология, климат и т. д.).

Ниже приведены пределы колебаний различных показателей, характеризующих работу крупных оросительных систем на Западе США:

водозабор	—6—30 тыс. м³/га
потери в каналах	—15—40% от водозабора
сброс из каналов	— 5—35% от водозабора
подача на ферму	—30—70% от водозабора и 3—21 тыс. м³/га
сброс с полей	—5—10% от подачи
потери на фильтрацию	—5—60% от подачи
возвратные воды	—20—60% от водозабора
потребление	— 3—10 тыс. м³/га

Эти пределы не относятся к районам, где водные ресурсы скуд-

ны и где принимаются специальные меры для сбережения воды, как, например, в цитрусовых и фруктовых садах Калифорнии.

Кроме указанных выше потерь, при поливе часть воды уходит неиспользованной ниже корневой системы растений. Измерить эти потери в полевых условиях невозможно, о величине их можно судить только по опытам в лизиметрах диаметром 1,85 м, проведенным в Идахо и Юматилла. В заиленных почвах на глубокое просачивание терялось 12%, в супесчаных с крупным песком — до 25% воды. В обоих случаях в лизиметрах была посеяна люцерна.

В США еще в 20 и 30 годах нашего века велись противофильтрационные работы на оросительных каналах. По данным Израильсена, оросительные каналы на 30% их протяженности забетонированы.

В последние годы забетонировано 32 км ветки Коачелло Всеамериканского канала; на ряде объектов в штате Калифорния облицовано свыше 143 км каналов, торкретировано и асфальтировано около 50 км каналов в штате Вашингтон и т. д. Бетонная одежда получила широкое распространение и показала свою надежность. Однако этот тип одежды считается все же дорогим.

В 1946 г. была намечена программа работ по максимальному снижению потерь воды из каналов путем применения самых дешевых облицовок. В связи с этим создан специальный «Комитет по дешевым облицовкам».

Приведенные выше данные о потерях в каналах относятся к периоду 30 годов. Большой интерес представляют поздние сведения, помещенные в брошюре «Облицовка низкой стоимости», изданной в 1948 г. Установлено, что 1/3 всей воды, забираемой из рек Запада для орошения, теряется на переброске ее до фермерских хозяйств. Известно также, что в некоторых особых случаях эти потери достигают 60%. Из 17,6 млрд. м³ воды, забираемой для использования на 36 системах в течение 1946 г., примерно 37% потеряно на переброске. Более половины этого количества, или 23% от всей забранной воды в источнике, потеряно на фильтрацию из каналов и отводов, остальные 14% являются сбросом.

Американские инженеры считают, что ни один тип облицовки каналов не может быть универсальным, пригодным для всех мест и случаев. Грунты и климатические условия, материалы, масштаб работ и потребность в обслуживающем персонале, также, как и опыт местных подрядчиков и их компетенция в этом вопросе — все это важные факторы, влияющие на экономичность и срок службы одежды.

В США применяется много различных типов одежды, одни из них твердо вошли в практику, другие проходят широкую производственную проверку, третьи исследуются и т. д.

Таким образом, во всех зарубежных странах борьба с фильтрацией воды из каналов рассматривается как одна из проблем первостепенной важности. В одних случаях к этому побуждает общий

недостаток в стране воды и необходимость сберегать ее на пути пробега до полей; в других — тяжелое мелиоративное состояние земель, сложившееся с годами вследствие потерь воды из каналов, низкого уровня техники полива, неэкономного расходования воды на полях и т. д.; в-третьих, что является более общим,— это и то и другое вместе взятое.

В экономном отношении в воде нужаются страны и со скудными и с достаточными водными ресурсами. Поэтому наряду с облицовкой каналов в разных странах проводятся и другие строительные и организационные мероприятия, направленные на экономное использование воды.

Нельзя не отметить появления в последнее время экранов из полимерных материалов с защитным слоем из грунта, укладываемым поверх пленки. Такие экраны названы погребенными. В качестве материалов для экрана применяют полихлорвиниловые и полиэтиленовые пленки, стабилизованные сажей.

В Калифорнии (США) для поверхностных экранов некоторые специалисты рекомендуют применять пленку толщиною 0,10 мм, в результате чего пользоваться таким экраном можно 2—3 сезона при небольшом текущем ремонте. Другие предпочитают употреблять пленку толщиною 0,04 мм, но тогда экран можно использовать в течение только одного сезона. Фермеры считают выгодным делать экраны из пленок толщиной 0,025 мм при стоимости 1 м^2 пленки 5 центов. Некоторые инженеры считают необходимым механизировать процесс раскладки и уборки поверхностного экрана и повысить его световую стойкость, а также механическую прочность.

Для погребенных экранов берется более толстая пленка — 0,2 мм, причем с повышением качества пленки и улучшением техники ее укладки возможен переход к пленке толщиною 0,1—0,15 мм.

При строительстве канала с погребенным экраном необходимо учитывать величину коэффициента заложения откоса. В зарубежной практике отмечено, что иногда при значении коэффициента заложения 2,5—3 может происходить сползание защитного слоя.

Исследования Управления мелиорации США показали, что 60 видов пленки (продукция 15 фирм), пролежавшей 10 лет в грунте, оказались в отличном состоянии. Сопротивление пленки растяжению практически не уменьшилось. На этом основании в Управлении мелиорации США считают, что с появлением пленок нужного качества будет сделан еще один важный шаг вперед в деле снижения стоимости облицовки каналов.

По мнению крупного специалиста в области ирригации К. У. Рауритцена, полихлорвиниловыми и полиэтиленовыми пленками можно заменить асфальт в погребенных экранах. Первые пленки поддаются свариванию, склеиванию и наложению пластырей (заплат) с помощью растворителя, в то время как вторые можно только сваривать. Однако К. У. Рауритцен отмечает и недостат-

ки экранов из пленки: разжижение и смыв грунта защитного слоя, зарастание и трудность последующей очистки. Поэтому расчетную скорость воды в канале следует принимать в зависимости от качества грунта, из которого отсыпается защитный слой. Этот слой рекомендуется уплотнять, подсыпав к нему гравий, а также применять гербициды для борьбы с зарастанием.

В Калифорнии применялись пленки для устройства экранов на каналах 15 крупных ферм для орошения 80 тыс. га. Пленку владельцам ферм поставляли в виде полос шириной до 18,5 м; общий вес рулона или пачки не превышал 250 кг.

Устройство противофильтрационных экранов из пленок практикуется также в Италии, Марокко и других странах.

Для устройства противофильтрационных экранов на водоемах в настоящее время довольно широко применяются пластмассы. Так, в Италии с 1951 г. по май 1959 г. построено 1776 малых водохранилищ емкостью 68,6 млн. м³, которые при достаточно высоком коэффициенте полезного действия систем могут обеспечить орошение 36,8 тыс. га земель. Емкость отдельных водоемов колеблется от 10 до 500 тыс. м³. С мая 1959 г. для орошения 1329 тыс. га намечено дополнительно построить 85 тыс. водохранилищ объемом 3,163 млн. м³ с покрытием пленкой только тех участков чаш водохранилищ, где установлены фильтрующие грунты.

При устройстве экранов используют полиэтиленовую пленку толщиной 0,10—1,15 мм и полихлорвиниловую — 0,15—0,20 мм. Чтобы избежать зарастания водохранилищ растительностью и повысить стойкость экрана к световому воздействию, применяют черную пленку. Ложе выравнивают, покрывают слоем мягкого грунта и укатывают. Полотнища соединяют между собой липкой лентой или сваривают. Некоторые итальянские фирмы специализируются на выпуске сварочных машин для сварки полотнищ пленки.

В Канаде (Эдмонте) полиэтиленовая пленка применена при сооружении 2 водоемов емкостью 30 тыс. м³, в Чарлстоне — 20 тыс. м³ (здесь пленка покрыта слоем глины толщиной 12 см).

В США в 1960 г. вблизи Солтлейк-Сити построены 4 водоема, представляющие части напорной оросительной системы. Емкость водоемов 1200—24500 м³. Первые три водоема обошлись в 2,5 доллара за 1 м² поверхности водоема при стоимости 1 м² полихлорвиниловой пленки 47,4 цента, что составляет 19% полной стоимости защитной поверхности водоема. Сравнительно большая стоимость экрана в целом объясняется дальностью перевозки грунта для защитного слоя.

Для четвертого (самого большого) водоема стоимость 1 м² экрана составила 1,64 доллара при стоимости 1 м² полихлорвиниловой пленки 56 центов (34%). Экран резервуара образован четырьмя полотнищами, каждое размером 18,7×116 м. При укладке полотнищ сделано 350 пог. м швов. Эти швы выполнены внахлестку и закреплены специальным клеем. Водоемы прослужили 6 лет и, судя по состоянию пленки, будут служить еще многие годы.

При сравнительно малых объемах водоема применяется готовый мешок пленки, укладываемый в заранее подготовленный котлован. Каменные или бетонные резервуары оклеиваются (или выстилаются с необходимым закреплением) полихлорвиниловой пленкой толщиной 0,2 мм.

Используются пленки и для сбора дождевой воды в резервуары. Пленкой выстилается часть водосбора, ведущего к резервуару, что улучшает приток воды к последнему.

Борьба с потерями воды в СССР

Вопрос о КПД оросительных систем — один из самых важных и все еще недостаточно изученных. Принято считать, что на огромном большинстве систем КПД в среднем не превышает 0,5. Следовательно, половина воды, забираемой из источников орошения, теряется по пути к полю.

Потери воды в системах очень вредны, так как: 1) вызывают увеличение сечения каналов; 2) сокращают полезное потребление воды и возможные размеры орошаемых площадей; 3) являются одним из главных источников повышения уровня грунтовых вод на орошаемой площади, так как большая часть потерь происходит за счет фильтрации воды в грунт. Поэтому борьба с потерями и за повышение КПД оросительных систем — одна из основных задач правильной постановки орошения.

В 1967 г. Минводхозом СССР собраны данные о протяженности и обеспеченности противофильтрационной одежды оросительной сети по отдельным годам:

	Протяженность оросительных каналов, тыс км	*Протяженность каналов с одеждой*	
		тыс. км	%
1956 г.	317,9	1,313	0,4
1960 г.	311,0	3,050	1,0
1966 г.	326,8	15,994	4,9

До 1966 г. протяженность каналов с одеждой (% к общей протяженности) должна быть увеличена до 5,5 за счет зоны нового орошения Голодной степи. За 1967 г. протяженность облицованных каналов увеличится до 6,5—7%.

Представляют интерес сведения о коэффициенте полезного действия сети оросительных систем по республикам.

РСФСР. Потери воды во внутрихозяйственной сети не изучены. По межхозяйственной сети КПД в 1966 г. колебался по отдельным крупным районам от 0,44 до 0,80.

Украина. КПД межхозяйственных каналов от 0,78 (Ингулецкая система) до 0,88 (Криворожская система).

Узбекистан. КПД межхозяйственных каналов принимается в размере 0,78—0,79, но по внутрихозяйственным каналом потери не учитываются. Считается, что большие потери по внутрихозяйст-

венной сети требуют усиления работ по борьбе с фильтрацией, тем более, что в практике республики сложилась норма: каждая израсходованная на облицовку каналов тысяча кубометров бетона приводит к экономии 0,4—0,5 млн. м³ воды.

Казахстан. Среднее значение КПД межхозяйственных каналов 0,76. Учет воды по внутрихозяйственным каналам не ведется, КПД для них не определяется.

Грузия. КПД межхозяйственних каналов в среднем составляет 0,74, для систем на землях машинного орошения этот коэффициент выше. О КПД внутрихозяйственной сети сведений нет.

Азербайджан. Сведений о среднем значении КПД нет. В. Р. Волобуев при изучении орошаемых земель в число мероприятий по борьбе с засолением включил всемерное сокращение фильтрации, при этом борьба с потерями рекомендуется для всех мелиоративных районов Азербайджана, даже для благополучных по засолению.

Молдавия. Среднее значение КПД для государственных систем (65% орошаемой площади) в 1966 г. составляло 0,83. Однако КПД на системах с земляными каналами низок (Карагашская —0,5). На системах, где применяется полив дождеванием из закрытых трубопроводов, значение КПД приближается к единице.

Киргизия. В среднем по всем системам республики значение КПД равно 0,69 с колебаниями от 0,33 (Иссыккульский район) до 0,83 (система канала БЧК).

Таджикистан. Имеются сведения лишь по 77% орошаемой площади и то по межхозяйственной сети. Значение КПД колеблется даже в пределах одной группы систем: 0,40—0,78— по Пархарчубекской системе и 0,83—0,91— по системам Гиссарской долины.

Армения. В 1966 г. КПД систем в среднем составлял 0,55.

Туркмения. Здесь стоит отметить, что на прикопетдагских системах благодаря очень скромному дебиту источников началась в 20-х гг. бетонировка каналов для сбережения воды, полностью забираемой из маломощных источников. С поступлением «большой» воды из Каракумского канала перед облицовкой каналов ставится уже другая задача — не допускать на подкомандных площадях подъема уровня грунтовых вод.

В 1966 г. величина КПД оросительных систем по Туркмении составляла 0,75—0,80. При таком среднем значении КПД может возникнуть вопрос: откуда начинается счет потерям. Если счет начать с головы Каракумского канала, то вряд ли можно уложиться с потерями в 20—25%.

В Советском Союзе всегда придавалось большое значение борьбе с потерями воды на фильтрацию, но до последнего времени широкое применение находили только экраны из местных материалов, так как дефицит цемента длительное время препятствовал развитию бетонных облицовок каналов. Тем не менее имеет смысл остановиться на имеющемся положительном опыте антифильтрационных одежд на каналах.

Еще в 1928 г. в Узбекистане был забетонирован канал Янгидарган, на котором впервые в нашей стране осуществлено применение бетонной армированной облицовки.

Деривационный канал Чирчикских ГЭС построен в 1939 г., расход около 300 м³/с, на протяжении 25 км имеет железобетонную противофильтрационную одежду (здесь трасса канала проходит по крутому и высокому склону адыров, окаймляющих Чирчикскую долину). Чирчикский деривационный канал питает водою большую часть орошаемых земель Правобережья. Почти 20 лет этот канал нормально эксплуатируется.

В Грузии топографические и геологические условия в орошаемых районах сложны и разнообразны. Бетонные одежды применяются главным образом в тех случаях, когда проведение канала в земляном русле без облицовки невозможно из-за больших уклонов или вследствие суффозионно неустойчивых или сильно фильтрующих грунтов. Во всех этих случаях эксплуатация земляных каналов практически невозможна и их приходится облицовывать.

Стоимость капиталовложений на 1 га орошения колеблется в больших пределах — от 2—3 тыс. руб. для оросительных систем с каналами в земляных руслах до 10—11 тыс. руб. для систем, в которых каналы на 80—85% их длины имеют бетонную одежду.

На Мухранской оросительной системе, Нижне- и Верхнесамгорских системах и др. значительная часть каналов одета бетоном. На Самгорских оросительных системах должно быть забетонировано около 1500 км каналов из общей их протяженности 3500 км. В настоящее время забетонированы каналы длиной 36,3 км и введены в эксплуатацию Верхне- и Нижнесамгорские каналы на расходы соответственно 13 и 11 м³/с. Забетонировано 187 км распределителей и уложено 152 км трубопроводов из асбестоцементных труб.

На Самгорводстрое изготавливаются сборные бетонные полуциркульные лотки с внутренним диаметром 0,7; 0,9 и 1,10 м. Применение этих лотков дает экономию расходования цемента на 25% по сравнению с затратами на обычных каналах трапецеидального сечения. Для изготовления лотков, плит и мелких гидротехнических сооружений Самгорводстрой имеет специальный завод сборных конструкций.

На Самгорской системе должно быть орошено 80000 га дождеванием. Работы по подготовке системы к дождеванию сильно отстают от плана вследствие нехватки цемента, труб и дождевальной аппаратуры.

В Киргизии каналы, расположенные на конусах выноса, обычно доводили к полям не более трети расхода воды, забранного в источнике, теряя ее в пути — в широких, мелких и извилистых руслах. Гидротехники Киргизии выполнили большую работу по сбережению воды. На протяжении многих лет строятся каналы с облицовкой из булыжного камня, собираемого на месте работы. Для мощения применяется булыга крупнее 10 см, которая укладыва-

ется на гравийную подготовку толщиною 10—15 см. Вдоль основания откоса из более крупного камня укладываются бордюры для придания устойчивости откосу. Суглинистый экран под мостовой не нашел применения из-за высокой стоимости его устройства. Распространены искусственный и естественный кольматаж гравийной подготовки и так называемый «сетчатый экран». При этом типе экрана отмощенное русло тщательно расклинцовывают, после чего поверхность ложа засыпают смесью мелкого гравия с суглинком слоем толщиною 5—10 см. Путем пропуска небольших расходов воды смесь вмывается между булыгами, забивает все поры, укрепляет облицовку и делает ее водонепроницаемой. Результаты применения такого типа одежды вполне удовлетворительны, так как фильтрация сокращается в 5—7 раз. Всего в Киргизии выполнено около 476 км облицовок из булыжного камня. Этот вид одежды хорошо выдерживает большие скорости в каналах, идущих, как правило, по конусам выноса с большими уклонами.

Работы по устройству мостовой трудно поддаются механизации. Такие операции, как сбор камня, погрузка и укладка его выполняются всегда вручную. Этот вид одежды можно применять на каналах в Киргизии только в условиях, когда на месте производства земляных работ имеется необходимое количество булыжного камня. В Киргизии для облицовки каналов необходимо значительно расширить применение бетонных одежд.

В Азербайджане забетонирован Апшеронский канал на всем его протяжении. Головной расход канала 9,15 м³/с, предназначен для орошения 15,4 тыс. га земель на Апшеронском полуострове и снабжения водою промышленности г. Баку. Всего по каналу ежегодно подается 223 млн. м³ воды. Он проходит на протяжении 19 км в песчаных грунтах, 23,5 км — в суглинках и 29,5 км — в трещиноватых известняках.

Если не бетонировать канал, то потери воды составят 37,3 млн. м³, или 15,5% от расхода, забранного в голове. Учитывая, что стоимость 1 м³ воды обходится около 3 коп., стоимость ежегодно теряемой воды будет равна 1,12 млн. руб. Сбереженная вода позволяет дополнительно оросить на Апшероне 2800 га, в результате чего ежегодный доход от овощеводства и бахчеводства составит 19,6 млн. руб. Объем бетонных и железобетонных работ по облицовке Апшерона составляет 58,4 тыс. м³. Стоимость облицовки — 22,5 млн. руб., что окупается по существу за год.

В Таджикистане проводятся работы по орошению Дальверзинской степи, для чего строится Верхнедальверзинский канал. Холостая часть этого канала на отдельных, наиболее опасных участках бетонируется, причем откос левой дамбы облицовывается сборными плитами размером 3×1,5 м, толщиною 8—10 см. Бетонируются наиболее фильтрующие участки каналов, особенно те, в грунтах которых содержится довольно значительное скопление растворимого гипса.

На Украине построен канал Северный Донец — Донбасс с расходом 25 м³/с. Из 130 км общей длины 64,6 км приходится на открытый канал без облицовки и 35,8 км — на открытый облицованный, 25 км составляют дюкеры и напорные трубопроводы насосных станций и 4,6 км — закрытый канал. Облицовка принята на участках канала с коэффициентом фильтрации более 0,1 м/сут.

По проекту предусмотрена железобетонная облицовка, монолитная и сборная. Монолитная облицовка запроектирована из бетона марки 150 В4 М50 толщиною 10 см с одинарной арматурной сеткой с ячейками 15,15 см из стали 3 диаметром 9 мм.

Сборная облицовка (600×300×5) с противофильтрационным напряжением запроектирована из бетона марки 400 В4 М50. Облицовка имеет рабочую арматуру из проволоки диаметром 3 мм с пределом прочности 19 тыс. кг/см² и распределительную — из стали. Предварительное напряжение бетона 40 кг/см².

Сборная облицовка (500×300×7) железобетонная, напряженная, запроектирована из бетона марки 300 В4 М50 с арматурой из стали 3 диаметром 8 мм.

В АзНИИГиМе совместно с Кураараксводстроем в течение ряда лет проводили опыты с глубоким уплотнением грунтов для образования мощного экрана. Опыты завершились созданием совместно с ВНИИСтройдормашем ряда образцов специальных машин для глубокого уплотнения ложа канала и штампования мелких каналов.

Как показали 2—3-летние испытания, экран в виде уплотненного грунта толщиною от 0,5 до 1 м уменьшает фильтрацию в 10—20 раз по сравнению с фильтрацией из каналов в естественном неуплотненном грунте. Однако долговечность этих экранов не превышает 2—3 лет.

В последние годы в Узбекистане и Таджикистане благодаря деятельности Главголодностепстроя и связанных с ним проектных и научно-исследовательских институтов широко развернулись работы по борьбе с потерями воды в Голодной степи. Здесь большая часть оросительной межхозяйственной сети покрыта бетонной и железобетонной одеждой, а внутрихозяйственные распределители, включая участковые, делаются из железобетонных лотков или закрытых трубопроводов.

Впервые в нашей стране антифильтрационные работы получили огромное развитие благодаря созданию специальной базы индустрии, изготавливающей плиты для облицовки, лотки, трубопроводы общим объемом сотни тысяч кубометров железобетона в год. Здесь же творческое содружество с коллективом ученых позволило инженерам — новаторам ирригационного строительства — создать оригинальные конструкции сооружений на лотках, облицовок и т. д.

Уместно сопоставить значения КПД оросительных систем по республикам с теми его значениями, которые определены

ВНИИГиМом для систем Голодной степи (как для староорошаемой, так и для новой зоны орошения).

По ряду организационных причин к изготовлению предварительно напряженных плит долгое время не могли приступить. Поэтому с 1957 г. облицовку строят из монолитных и из ненапряженных сборных плит. Последние изготавливаются двух размеров — 300 × 300 × 8 и 300 × 400 × 8 заводами Донбасса. Кроме того, строителям разрешено делать монолитную облицовку толщиною 15 см без арматуры.

Облицовку укладывают на подготовку: монолитную — на песчаную, сборную — по проекту на песчаную, фактически же на щебеночную (5—25 мм). Это вызвано большим затруднением, встретившимся при укладке плит на мягкое песчаное основание, особенно при пригонке стыков. Дожди, размывая песок, делали основание неровным. Толщина подготовки принята 20 см в нижней и 40 см в верхней части откосов, где имеет место промерзание.

Для обеспечения водонепроницаемости швов применяется резина. В монолитной облицовке принят специальный профиль резины в виде ленты толщиною 2 мм, шириною 11,5 см с утолщениями по краям, в форме круга диаметром 20 мм. Для сборных плит применена резиновая лента шириною 15 см, которая с помощью клея № 88 наклеивается на швы. От вредного влияния солнечных лучей резиновая лента сверху защищается слоем цементного раствора.

Для староорошаемой зоны КПД определялся на основании анализа материалов, полученных от управления оросительной системы магистрального канала им. Кирова. Работа выполнялась в 1966 г. и повторно в 1967 г. Для новой зоны орошения на основании замеров потерь и анализа эксплуатационных данных в 1966 г. определен КПД системы совхоза № 7, а в 1967 г. — совхоза № 6.

С точки зрения сети, ее трассировки и выполнения, наличия на ней сооружений, а также условий для проведения планов водопользования система магистрального канала им. Кирова представляет собой вполне инженерную систему, построенную и оборудованную с учетом известных нам последствий дореволюционных попыток освоения Голодной степи.

Однако на старой голодностепской системе нет одежд на каналах, которые предохраняли бы их от фильтрации. Глубина залегания грунтовых вод (средняя за год 1,98 м) колеблется в зимний период от 2,24 до 2,55 м, а в вегетационный — от 1,74 до 1,79 м. В 1966 г. надлежало использовать по системе 224,3 тыс. га, использовано же было 215,7 тыс. га. Половина неиспользованной площади приходится на засоленные земли. Площадь сильно засоленных земель уменьшилась в 1966 г. вдвое по сравнению с предшествующим годом. Не касаясь вопроса об уровне использования оросительной воды, отметим что КПД системы в среднем за 4 года (1963—1966) составил 0,633 с колебаниями 0,623—0,650.

В результате больше одной трети воды, поступившей в голову системы, теряется и идет на пополнение запасов грунтовых вод.

Рассмотрим КПД оросительной сети на отдельных участках новой зоны орошения Голодной степи. В совхозе № 7 при общей площади 9320 га площадь посевов и посадок на год обследования составила 7644 га. Протяженность подводящих каналов 25,5 км; все эти каналы (за исключением участка 2,3 км) облицованы железобетонными плитами. Длина лотковых распределителей 182,14 км. Построенная в начальный период освоения новой зоны сеть в 1966 г. не лишена дефектов, устранение которых повысило бы коэффициент полезного действия сети совхоза. Так как определение размера потерь из лотковой сети с помощью вертушек невозможно, утечка из лотков учитывалась с помощью мерных сосудов. КПД системы совхоза № 7 определен в размере 0,93 против предусмотренного в проекте 0,85.

В совхозе № 6 (общая площадь 10613 га) на год обследования не использовалось 1269 га ирригационно подготовленных земель. Межхозяйственные распределители ЮР — 16 и ЮР — 17 протяженностью 29,3 км, из которых 29 км облицованы железобетонными плитами. Протяженность лотковых распределителей 135 км. Некоторые дефекты инженерной сети, на которые обращено внимание в совхозе № 7, имеются и здесь. И все же КПД оросительной системы совхоза составляет 0,87.

В Голодной степи впервые в нашей стране начаты работы по применению полимерных материалов как средств борьбы с потерями воды на фильтрацию. ВНИИГиМ исследует пленочные пластмассовые материалы для этой цели с 1954 г.

В 1958—1959 гг. в Голодной степи в хлопководческом совхозе «Дружба» построен канал длиной 800 м на расход 250 л/с с экраном из 4 видов материала (на отдельных участках): бризола[1] (толщиной 1,5 мм), полиэтилена (0,06—0,095 мм), полихлорвинила марки В — 118 (0,15—0,27 мм) и полиамида (0,07 мм). Последние три вида пленки были нестабилизированными, белыми.

Строительство канала с пленочным экраном осуществляли по так называемой траншейной схеме: пленку укладывали в подготовленную скрепером траншею, после чего ее засыпали с помощью бульдозера грунтом, вынутом из траншеи. Весной следующего года, после того как грунт в траншее самоуплотнился под действием времени и атмосферных осадков, по оси траншеи канавокопателем КМ — 1400 был нарезан канал нужного сечения. Откос 1 : 1 при общей глубине сечения 1,2 м уположился до 1,5 : 1. В нескольких местах произошли небольшие оползни, но в основном канал с экраном функционирует хорошо.

Проверка качества пленок, пролежавших в сильнозасоленном

---

[1] Бризол — битумно-резиновая изоляция. Основным исходным сырьем для него служат переработанные старые автопокрышки с добавлением битума. Материал разработан НИИ шинной промышленности (И. А. Шохин, Е. Я. Лапидус).

грунте пять лет, показала, что полиамидная пленка и в меньшей степени полихлорвиниловая потеряли эластичность, в то время как другие виды пленки сохранили ее в полной мере. В отдельных местах пленка повреждена растительностью; повреждений грызунами не обнаружено.

В 1960 г. в таджикской части Голодной степи построен участок канала ТМ — 1 с пленочным экраном длиной 1 км. В экран по периметрической схеме уложены (на откосы 1 : 2,5) стабилизированные пленки из полиэтилена, полихлорвинила и бризола. При строительстве использовали полиэтиленовую пленку толщиной 0,15 мм при ширине полосы 2,8 м, полихлорвиниловую соответственно 0,2—0,3 мм при 1,3 м, вулканизированный бризол 1 мм при 0,9 м. Полиэтиленовую и полихлорвиниловую пленки сваривали утюгами при температуре 210° со скоростью 0,7—0,4 м/мин. Из полиэтилена готовили полотнища $11 \times 50 = 550$ м², а из полихлорвинила — $11 \times 25 = 275$ м² весом 70—80 кг. Полосы бризола соединяли с помощью горячей битумной мастики на месте укладки.

В состав мастики входит битум марки БН — 4, в который добавляется резиновая крошка и соляровое масло — по 5% от веса битума. Сначала битум с крошкой варится в течение часа, затем после некоторого охлаждения в смесь добавляется соляровое масло.

Поверхность канала перед укладкой пленки стерилизовали (в данном случае имеется в виду уничтожение семян сорной растительности) эмульсией атразина из расчета 25 кг/га. На экран из полиэтиленовой пленки насыпали вручную мягкий грунт слоем 5 см и затем экскаватором Э—302 (обратная лопата) досыпали песчано-галечниковый грунт так, чтобы защитный слой достигал 30 см толщины. Этот слой не уплотняли.

Осмотр канала ТМ — 1, простоявшего по условиям строительства без воды две зимы и одно лето, показал, что защитный слой, самоуплотнившийся за это время, имеет хороший вид. Стада овец и коров, перегонявшиеся через канал, не нарушили откосов. Не повредил защитный слой пленки и неоднократный переход тракторов, за исключением одного случая, происшедшего зимой, когда грунт был мокрым. При подъеме по откосу трактор гусеницей сбросил вниз грунт защитного слоя и, обнажив пленку, порвал ее. В одном месте канал зарос кустами сорняка перекати-поле с мощным стержневым корнем. Корень одного из кустов, тянувшийся по поверхности пленки за влагой, которая скопилась на отдельных участках дна канала, все-таки пробил пленку в одном месте.

Весной селевые потоки в некоторых местах повредили левый откос канала. При ликвидации повреждений потребовалось восстановить только защитный слой. Значительно большие повреждения селевые воды нанесли соседнему, бетонированному участку канала ТМ—1, где пришлось менять плиты.

В поливной сезон 1962 г. началась эксплуатация канала. Зарастания канала сорняками не наблюдалось, защитный слой на откосах уплотнился, откосы сохранили первоначальное заложение. На дне канала грунт защитного слоя остался недостаточно уплотненным, так как отсутствие фильтрации через пленку замедлило процесс его самоуплотнения.

Следовательно, при устройстве экрана по периметрической схеме защитный слой по дну желательно уплотнять. Для уплотнения же грунта на откосах ввиду отсутствия соответствующих механизмов можно ограничиться периодическим наполнением и опорожнением канала.

В концевой части канала ТМ—1 (расход 1—1,5 м³/с) в 1962 г. Таджикцелинстрой построил погребенный экран на участке длиной 2,5 км. Стоимость всех работ по каналу, отнесенная к 1 м² смоченной поверхности (до отметки форсированного горизонта воды), составляла 2 руб. 12 коп., в том числе пленки (в виде готового полотнища) — 88 коп. и земляных работ с укладкой пленки — 1 руб. 24 к.

Весной 1962 г. в совхозе № 17 (Голодная степь) началось строительство каналов с погребенным экраном из полиэтиленовой пленки толщиной 0,2 мм. Каналы рассчитаны на пропуск 250—300 л/с воды.

Схему устройства экранов приняли траншейной: насыпка подушки — нарезка траншеи — укладка пленки — обратная засыпка — нарезка канала. Протяженность канала 17—V—13 — 3,9 км.

При насыпке подушки и обратной засыпке траншеи с уложенным экраном увлажнения и уплотнения грунта не производили. Канал нарезан канавокопателем «Бриско», дающим возможность строить каналы с полуторными откосами.

Во время полива канал необходимо было вводить в эксплуатацию, на нем построили 27 водовыпускных и 6 перегораживающих временных сооружений. Для замочки по каналу пропустили воду, после чего немедленно стали проводить поливы хлопчатника. Несмотря на то, что канал был недостроен, весь поливной сезон 1962 г. его эксплуатировали, в результате чего он получил большие повреждения. Так, на нижних 2,9 км, где располагались все временные сооружения, подмыты откосы во многих случаях с обнажением пленки, размыт нижний бьеф временных перегораживающих сооружений, неудачное выполнение которых и явилось в основном источником всех повреждений. На верхний километровый участок канала (транзитный) работа временных сооружений не повлияла.

По окончании поливов в совхозе № 17 приступили к ремонту канала 17—V—13 и к дальнейшему строительству каналов на заранее подготовленных подушках. Стоимость работ по каналу 17—V—13 (без сооружений), отнесенная к 1 м² смоченной поверхности, составила 2 руб., в том числе пленки (в полотнищах) —

88 коп., и земляных работ — 1 руб. 12 коп. по цене на пленку 1962 г.

Опыт эксплуатации канала 17—V—13 оказался весьма поучительным. Он подтвердил обоснованность высоких требований к обратной засыпке, которую необходимо производить послойно с уплотнением увлажненного грунта. Кроме того, выявлено, что в процессе эксплуатации канала нужно следить за уровнем воды, намеченным проектом, и не допускать переполнения канала при подпорах. Как и всякое другое сооружение, канал с пленочным экраном может быть введен в эксплуатацию только после предварительной подготовки (в данном случае замочки), опробования сооружений и надлежащего приема.

В 1963 г. в совхозе № 17 построены каналы с пленочным экраном общей протяженностью 19,2 км (ПР—1—4—1; 17—V—17; 17—V—20; 17—V—23 и др.), причем при строительстве и эксплуатации этих каналов учтены ошибки, допущенные в предшествующем году. Каналы работали удовлетворительно. Выборочная проверка, сделанная ВНИИГиМом на участках каналов длиной 3,9 км, показала полное отсутствие потерь на фильтрацию.

Экран без защитного слоя на каналах. В 1962 г. в совхозе «Дружба» проведен опыт по укладке пленки без защитного слоя. Каналы с расходом 250—300 л/с проложены в грунтах, сильно фильтровавшихся на отдельных участках; пропуск воды по этим участкам был сильно затруднен.

Полихлорвиниловую пленку коричневого цвета (в качестве стабилизатора использовали 3/4 окислов железа и 1/4 сажи) укладывали по периметру защищаемых участков каналов и выше горизонта воды заделывали в откосы дамбы. Поверхностные экраны, уложенные на отдельных участках каналов общей протяженностью 3,5 км, бесперебойно работали весь поливной сезон, и только в отдельных местах пленка была пробита камышом, выросшим на дне канала.

Текущий ремонт и общий срок службы каналов дадут возможность определить, насколько проделанный опыт оказался успешным.

Не следует пренебрегать уменьшением объема земляных работ по каналу при укладке на нем поверхностного экрана, значительно снижающего коэффициент шероховатости русла. Небольшой опыт, проведенный в совхозе «Дружба» в 1962 г., целесообразно повторить в большем масштабе.

Экран из пленки на крупных каналах. Возникает вопрос, нельзя ли применять противофильтрационные пленочные экраны на оросительных каналах большой пропускной способности. В качестве объекта для такого рода предварительных рассуждений можно принять Южно-Голодностепский канал (ЮГК).

Из общей протяженности выделяется канал первой очереди, имеющий по проекту длину 92,3 км. На всем протяжении канал

проходит в загипсированных супесях и суглинках мощностью 100—150 м.

По пропускной способности ЮГК разделен на 2 участка: I — от ПКО до ПК 624 с максимальным расходом воды в голове 300 и в конце 223 м³/с, II — от ПК 624 до ПК 923 соответственно 101 и 67 м³/с.

Согласно пределам, принятым для расчета, расходы воды будут увеличиваться с ростом орошаемых площадей. Однако канал работает в режиме подпора, и высокие горизонты воды в нем обеспечены уже с первого этапа его работы. Мутность воды, поступающей в канал, невелика: от 0 до 0,4 кг/м³, так как она осветляется в двух вышележащих водохранилищах.

Таким образом, может быть рассмотрен вариант комбинированного противофильтрационного экрана, в состав которого входит (по площади) на 2/3 экран из пленки, остальное занимает одежда из бетона.

В верхней части сечения канала, где может сказаться разрушительное действие волны, сорной растительности и колебаний горизонта, применение бетона вполне обоснованно. В нижней части сечения, всегда находящейся под водой, прочность и водонепроницаемость пленочного экрана, прикрытого защитным слоем грунта, представляются также достаточно надежными.

По ориентировочным подсчетам, стоимость комбинированной одежды для 1 очереди ЮГК (92,3 км) обойдется в 15 млн. руб., причем стоимость пленки принимается по фактической стоимости 1962 г. Бетонный вариант оценивается по тем же подсчетам в 43 млн. руб. В перспективе стоимость пленки, безусловно, будет снижаться. Более низкая стоимость комбинированного экрана (в 3 раза по сравнению с бетонным) дает основание рассматривать этот вариант облицовки наряду с другими возможными.

Устройство швов. Размеры полотнищ пленок, укладываемых на дне и бортах канала или водоема, не могут быть заранее заданы, а необходимые полотнища — выполнены без швов. В связи с этим химической промышленности предъявляются серьезные требования не только в отношении технических свойств пленки, но и ее размеров в расчете на наименьшее количество швов между полосами пленки.

Универсальным средством создания прочных швов между полосами полиэтиленовой или полихлорвиниловой пленки является сварка. Первоначально при строительстве экранов из пленки швы сваривали утюгами. Степень механизации, качество сварки, а главное быстрота ее при этом способе недостаточны.

В 1961 г. по техническим условиям ВНИИГиМ НИАТ запроектирована и на заводе изготовлена первая отечественная стационарная сварочная машина СПК — 2800. Она состоит из стола с транспортером для перемещения пленки, стойки с консолью, на которой крепится сварочная каретка, шкафа с приборами для регулирования режимов сварки. На каретке устанавливается

калорифер для подогрева воздуха, которым сваривается пленка, или излучатель, сваривающий ее инфракрасным излучением. Для сварки ИК-излучением служит силитовый стержень или спираль из специального сплава, заключенная в кварцевую трубку.

Основные технические данные сварочной машины СПК—2800 следующие: потребляемая мощность 2 кВт, напряжение питания 220в (двухфазного тока), напряжение на сварочной головке 36в, ток нагревателя калорифера 10—12 А, ток нагрева силитового стержня 15—20 А, расход воды при сварке ИК-излучением 40 л/ч, скорость сварки пленки в зависимости от толщины последней и способа сварки 0,6—5 м/мин. Свариваемость пленок зависит главным образом от чистоты поверхности пленки, длительности и условий хранения ее до сварки.

Так, полиэтиленовая пленка не должна храниться свыше 2 мес. в светлом помещении или 5—6 мес. — в темном. Полиэтиленовая и полихлорвиниловая пленки, стабилизированные сажей, лучше свариваются ИК-излучением, при этом скорость сварки может достигать 2 м/мин. При сварке внахлест прочность шва на сдвиг составляет 90—95% от прочности исходного материала. Светлая полиэтиленовая пленка хорошо сваривается горячим воздухом.

Проверка работы сварочной машины убедительно показала, что лучше всего для вновь полученной новой партии пленки, к которой обязательно должен быть приложен технический паспорт, проводить опытную сварку и в процессе ее устанавливать наилучший тип шва, способ сварки и режим его.

Параллельно с усовершенствованием стационарной сварочной машины, рассчитанной на работу в цехе, надо ускорить создание легкой, переносной машины для сварки полотнищ на месте их укладки. В равной мере перед химиками должна быть поставлена серьезная задача по созданию качественного клея (для строительства и ремонта экранов из пленки), не реагирующего на влагу и длительное пребывание в грунте, или липкой ленты с водостойким клеем.

Сохранность пленки в грунте. Дальнейшее расширение работ по применению пленочных экранов в противофильтрационных целях связано также с получением долговечной пленки. Для изучения долговечности пленок еще в 1958—1959 гг. ВНИИГиМ заложил в шурфы разных районов страны (с неодинаковыми почвенно-грунтовыми и климатическими условиями) различные пленочные материалы. В конце 1961 г. образцы пленок, вынутых из шурфов, подвергли физико-механическому анализу в НИИПластмасс. Проведенные испытания пленки показали следующее:

а) полиэтиленовая пленка (нестабилизированная, толщиной 0,06—0,085 мм) сохранилась в состоянии, весьма близком к тому, в котором была положена в шурф;

б) полихлорвиниловая (упаковочная марка В—118, нестабили-

зированная, толщиной 0,15—0,20; 0,19—0,27 мм) стала более жесткой, причем степень жесткости во влажном грунте меньше, чем в сухом;

в) полиамидная (нестабилизированная, толщиной 0,07 мм) осталась прозрачной и эластичной после хранения во влажном грунте; в сухом грунте стала жесткой;

г) бризол (толщиной 2 мм) во влажном грунте хорошо сохранил эластичность, менее эластичными стали образцы, хранившиеся в сухом грунте.

Таким образом, хранение в сухом грунте полихлорвиниловой и полиамидной пленок, а также бризола ведет к увеличению их жесткости, мало отражаясь на эластичности только полиэтиленовой пленки. Частичная потеря пленками эластичности не снижает свойства их водонепроницаемости. Последующие испытания покажут, в какой мере изменились физико-механические свойства пленок после длительного пребывания их в шурфах.

Особо следует остановиться на повреждении заложенных в шурфы образцов пленки грызунами и сорной растительностью. Все образцы сильно пострадали от водяных крыс в торфяно-болотной почве Московской области, сравнительно меньше в лугово-черноземной почве Якутии, в шурфах Средней Азии обнаружены отдельные мелкие повреждения той части образцов, которая была близка к дневной поверхности. В Московской области, Заволжье и Якутии на горизонте, близком к дневной поверхности, установлено прорастание пленок пыреем. Однако повреждений грызунами и землероями экранов на каналах и водоемах до сего времени не обнаружено.

Отмечено, что сорная растительность на этих каналах развивается значительно меньше, чем на каналах без экранов. Тем не менее в процессе эксплуатации каналы необходимо ежегодно очищать от сорной растительности, а с появлением в достаточных количествах гербицидов использовать их для стерилизации грунта в целях предупреждения роста сорняков.

Трубы из термопластических материалов. Оросительная система недалекого будущего представляется в виде системы без потерь на фильтрацию и испарение, подающей воду непосредственно в борозду или к дождевальному агрегату, с высоким коэффициентом земельного использования (КЗИ), автоматизированной и легко управляемой.

Исследования элементов закрытых оросительных систем ведут многие институты в различных орошаемых районах Советского Союза. В последние годы интересные работы проводит НИС ТСХА (Г. Ю. Шейкин, В. А. Сурин и др.) по применению закрытых трубопроводов из асбестоцементных и полиэтиленовых труб для подачи воды в борозды.

Для того, чтобы строить новые закрытые оросительные системы и перестранвать действующие, необходимы легкие, надежные и дешевые трубы с пропускной способностью, рассчитанной на

расход как распределителя, так и временного оросителя. Рассчитывать на получение необходимого количества металлических труб не приходится: нельзя также решить эту проблему только за счет железобетонных или асбестоцементных труб.

Применением новых полимерных материалов можно разрешить вопрос обеспечения ирригации нужным количеством труб. Водное хозяйство явится крупным потребителем труб из пластических материалов диаметром от 15 до 100 см.

Трубы, сделанные способом намотки. Изготовление полиэтиленовых и полихлорвиниловых труб ведется методом экструзии (литье под давлением). За рубежом этот метод освоен для труб диаметром до 400 мм. В СССР по этому способу стали выпускать трубы диаметром до 324 мм. Во ВНИИГиМе совместно с НИИПластмасс начали разработку технологии изготовления жестких труб большого диаметра (больше 400 мм). Так как методом экструзии трубы такого диаметра у нас пока не вырабатываются, то остановились на изготовлении труб из полиэтилена путем намотки (по спирали) на барабан горячей ленты полиэтилена, сваривающейся в процессе намотки под действием прижимного валика.

В 1960 г. с барабана с ручным приводом снят первый образец трубы диаметром 400 мм. Опыты показали, что исследования можно продолжить.

По техническому заданию ВНИИГиМа и по проекту, составленному ЦОКБ МСХ СССР, на Дмитриевском опорном пункте сотрудниками ВНИИГиМа выполнена специальная установка УНТ — 1, которая смонтирована на экспериментальной базе НИИПластмасс. Работа опытной установки синхронизирована с работой экструзионной машины. Одновременно с продолжающимся улучшением установки совместными усилиями отрабатывается технология изготовления труб. Получены опытные экземпляры труб диаметром 400 мм из ленты шириной 70 и толщиной 3 мм. Предварительные испытания показали хорошее качество сварного шва.

Труба подвергалась кратковременному давлению 4 атм, причем относительное увеличение диаметра трубы при таком давлении не превышало 3%.

Установка УНТ-1 была усовершенствована, что позволило получать трубу намоткой ленты шириной 140 мм при толщине от 3 до 6 мм. Опытные образцы труб также изготовлены.

Решающее значение для развития строительства закрытых оросительных систем будут иметь стоимость и вес труб из различных материалов для напоров, наиболее часто встречающихся в ирригации.

Глубокая разработка и использование пластмасс в сочетании с дальнейшим совершенствованием конструкций из бетона, железобетона, асбоцемента и других материалов сможет обеспечить технический прогресс в строительстве и эксплуатации ороситель-

ных систем и в создании новой поливной техники. Только при этом условии станут реальными быстрые темпы освоения крупных массивов нового орошения.

Использование в ирригации в больших масштабах новых конструкционных материалов и изделий из полимеров наряду с расширением применения «старых» материалов (армированный и другие виды бетона, асбестоцемент) позволит значительно ускорить строительство систем и освоение новых земель. Но сама система, конструкция оросительной и дренажной сети, ее густота, профиль, командование также существенно изменятся. Распределители, оросители до выводных борозд включительно предстанут в виде стационарных трубопроводов и лотков, переносных жестких и гибких трубопроводов и в виде каналов с водонепроницаемым экраном из пленки. Большие магистральные каналы, их ветви и крупные распределители, прокладываемые в фильтрующих грунтах, целесообразно оставить открытыми, с одеждой из бетона, асфальта или других материалов, а при наличии благоприятных условий — в сочетании с экраном из пленки. Широко будут применяться пластмассы для изготовления поливного инвентаря, водомерных устройств, исследовательского оборудования и аппаратуры.

В связи с этим надо серьезно подготовиться к своевременному пересмотру действующих технических условий и норм проектирования ирригационных систем, к созданию нового свода норм, рассчитанных на новые материалы, конструкции элементов системы, автоматизированные способы управления водой — оросительной и грунтовой. Одновременно с пересмотром норм придется не только пересмотреть действующие типовые проекты, но и значительно расширить их номенклатуру.

Особое место следует отвести опытному строительству, на основе которого должны проверяться и внедряться новые нормы проектирования, типовые проекты. Необходимо, чтобы опытно-строительные работы велись по особому плану и чтобы они находились постоянно в поле зрения и в непосредственном ведении руководителя водохозяйственной организации данной зоны.

Успешное развитие в СССР «большой» химии, промышленности синтетических, полимерных материалов предопределило новый этап в развитии орошаемого земледелия, мелиоративного строительства.

ИЗ ОПЫТА ОРОШЕНИЯ ЗА РУБЕЖОМ

Общие сведения

Поверхность земного шара равна 510 млн. м², из них суша составляет 29%, или 149 млн. м², и водная поверхность 71%, или 361 млн. м². По годовому количеству осадков суша распределяется следующим образом:

Области	*Осадки, мм*	%	*Площадь, млн. м²*
Засушливые	250	25	37,0
Полузасушливые	250—500	30	45,0
Полувлажные	500—1000	20	30,0
Влажные	1000—1500	11	16,3
Влажные	1500—2000	9	13,3
Очень влажные	2000	5	7,4
Всего		100	149,0

Более половины всей суши (55%) относится к засушливым и полузасушливым областям. Без искусственного орошения в этих областях вести сельское хозяйство или невозможно вовсе или нельзя создать крепкое устойчивое хозяйство. В большинстве полувлажных и влажных областей распределение осадков в течение года таково, что вслед за периодом обильных и даже чрезмерных осадков наступает засуха.

В настоящее время из всей возделываемой площади орошается только 12%. По продуктивности эти земли равноценны остальным 88% пахотной неорошаемой территории. Такую оценку производительности орошаемых земель дает Л. П. Прасолов. Эти данные свидетельствуют об огромном значении оросительных мероприятий в мировом сельском хозяйстве. Значение орошения и других видов мелиоративных работ с годами, несомненно, возрастет. В орошаемое земледелие будут вовлекаться все новые и новые площади не только в засушливых областях, но и во влажных, где или годовое распределение осадков не отвечает потребностям сельского хозяйства или периодически повторяющиеся засушливые годы не дают возможности полноценно использовать земли в сельском хозяйстве. Десятки миллионов гектаров земли во всех странах света заболочены или представляют собой болота, пока

также неиспользуемые в сельском хозяйстве. В некоторых засушливых странах такие болота только испаряют драгоценную воду, как например, болота Сэдд на Белом Ниле, в которых река теряет ежегодно до 14 млрд. $м^3$ воды, лишая этой воды поля феллахов в Египте.

Мелиоративные работы, особенно связанные с орошением, получили довольно значительное развитие во всех странах. В настоящее время дальнейшее развитие мелиоративных работ зависит от решения серьезных проблем по регулированию стока рек, требующих строительства крупных сооружений на реках. Они многоцелевые, так как с их помощью удовлетворяются требования гидроэнергетики, судоходства, орошения, мелиорации земель, борьбы с наводнениями, водоснабжения. Использование водных ресурсов стало делом большой государственной важности, поэтому во многих странах, помимо министерств или департаментов в составе того или иного министерства, руководящих водохозяйственным строительством и эксплуатацией, действуют специальные комитеты, планирующие и регулирующие вопросы использования в стране водных источников. В Китае существует Министерство водного хозяйства, в Индии — Министерство ирригации и энергетики, в США — Служба мелиорации в составе Министерства внутренних дел, в Японии — Комитет по ирригации и дренажу в Министерстве сельского и лесного хозяйства, а также Комитет по использованию водных ресурсов при Правительстве, в Мексике — Секретариат по водным ресурсам, в Египте — Управление ирригации при Министерстве общественных работ и т. д.

Несмотря на то, что условия орошения в различных странах довольно разнообразны, тем не менее имеется много общего во всех вопросах, с которыми приходится сталкиваться при проектировании, строительстве и эксплуатации оросительных систем, каналов, линейных сооружений, водозаборных плотин и водохранилищ. Заболачивание и засоление земель во многих странах приняло значительные размеры. О борьбе с потерями и экономном расходовании воды теперь говорят, пишут во многих странах — в США, Японии, Египте, Алжире и др. Многое делается в этом направлении, но мероприятия и, главное, масштабы их различны.

Проблема наносов общая для всех стран, для некоторых, особенно для таких, как Китай, Индия, Япония и др., пожалуй, одна из самых серьезных. От удачного ее решения во многом зависит не только успех работы оросительной системы и гидростанции, надежность защитных мероприятий от наводнений, но и в целом сельское хозяйство часто огромных районов.

Вопросы техники полива также общие для всех стран. Надо отметить, что даже в передовых странах, в которых сельское хозяйство хорошо механизировано, развитие техники полива значительно отстает от развития механизации сельскохозяйственных работ. Несомненно, это служит для многих стран препятствием для роста орошаемого земледелия.

Общее знакомство с зарубежным опытом и более подробное изучение отдельных наиболее близких и важных для нас вопросов и даже деталей того или иного сооружения или механизма позволит быстрее и лучше решать давно назревшие у нас в мелиорации задачи.

Ниже, по литературным данным, даются краткие сведения по отдельным, наиболее важным, с нашей точки зрения, вопросам ирригации за рубежом.

Техника полива

В целях облегчения труда поливальщика и повышения его продуктивности сделано недостаточно. Преобладает преимущественно ручной труд.

В США применяются следующие способы полива — по бороздам (furrow) для культур рядового посева: картофель, зерно, овощи, сады, хлопчатник и т. д., по небольшим засеваемым бороздам (corrigation) для сенокосов, пастбищ и низкорослых зерновых, напуском по полосам (border), затоплением и дождеванием.

Для бороздкового полива размеры борозд и расстояния между ними выбираются в зависимости от размеров созревшей культуры и условий орошаемой территории. Борозды обычно от 10 см шириной и 10 см глубиной до 45 см шириной и 20 см глубиной. Орошение по бороздам самое распространенное для хлопчатника, особенно на юго-западе. Между рядами хлопчатника принимают расстояние от 0,90 до 1,05 м с бороздами между ними. Некоторые фермеры на слабо проницаемых почвах применяют грядки с бороздой между каждой первой рядов хлопчатника. Длину борозд стремятся выдержать на поле примерно одинаковой и назначают ее сообразно с уклоном поверхности и строением почвы, руководствуясь при этом следующими данными:

Уклон, %	*Глинистые пески и супеси с крупнозернистым песком*	*Супеси*	*Заиленные суглинки*	*Глинистые суглинки*
0—2	75—120	90—2000	200—400	280—400
2—5	60—90	60—90	90—200	120—280
5—8	45—60	45—75	60—90	75—120
8—15	30—45	30—60	30—60	60—90

Для крутых уклонов расход в борозде принимается около 4 л/мин, или 0,056 л/с для того, чтобы обеспечить лучшее промачивание и уменьшить размыв. Для малых уклонов, большой длины борозды или при песчаных грунтах расход борозды принимают от 18 до 57 л/мин, или от 0,28 до 0,84 л/с.

Можно существенно уменьшить степень поглощения воды при движении ее в бороздах в некоторых песчанистых грунтах путем выравнивания и уплотнения борозд после культивации. Для этой цели применяется приспособление типа «торпедо», которое протаскивается по бороздам.

Для распределения воды по бороздам вода подается на повышенную часть поля небольшим каналом, лотком или трубопроводом, которые проводятся с малым уклоном. С помощью подпорного устройства уровень воды в канале поднимается и вода поступает в борозды через щитовые отверстия, трубки или сифоны. Некоторые фермеры предпочитают выпускать воду в борозды не непосредственно из оросителя, особенно при больших его размерах, а из вспомогательного параллельного ему канала или вы-

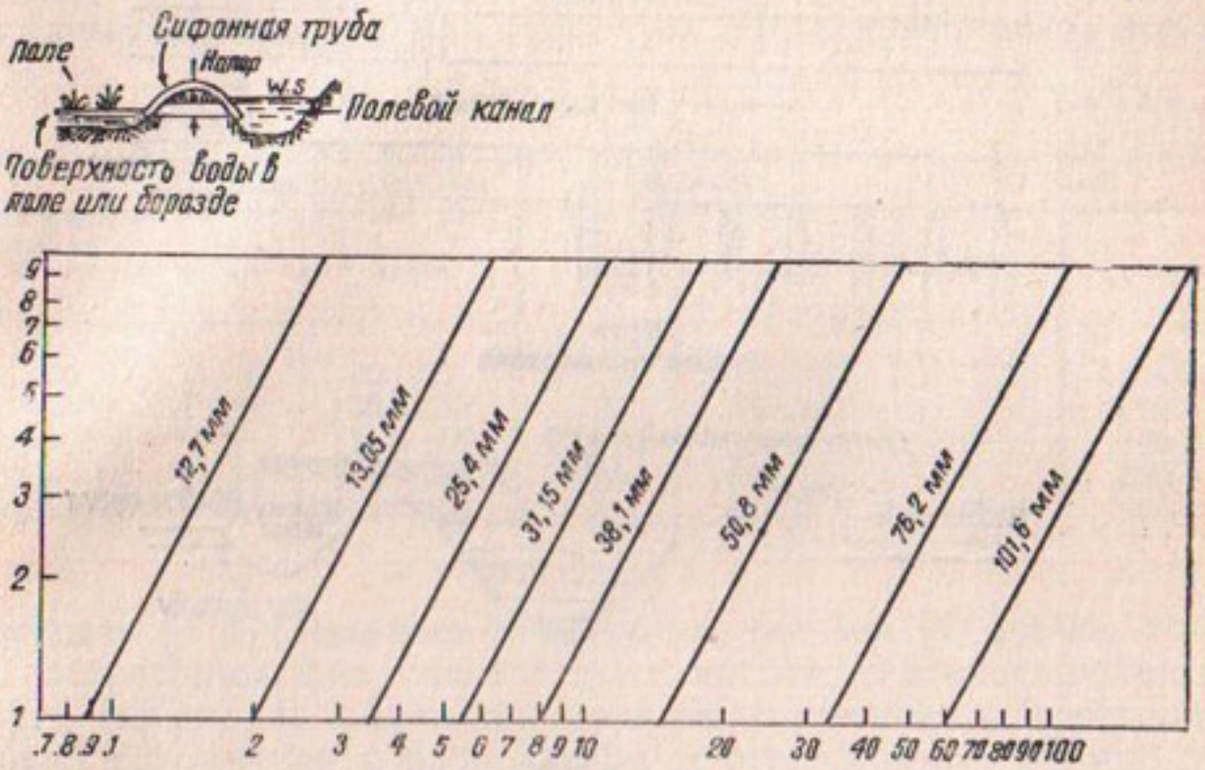


Рис. 1. При поливе по бороздам сахарной свеклы используются сифоны и подпорные сооружения из брезента. Расходы сифонов из металла и пластических материалов с концами квадратного сечения: диаметр сифонов от 12,7 до 101,6 мм.

равнивающего бассейна для того, чтобы избежать устройства многочисленных прорезей в дамбочке оросителя. Такие прорези в дамбочке возможно делать в хорошо задернованном оросителе. От размыва струей воды прорези рекомендуется защитить куском дерна или в крайнем случае грубой тканью, бумагой или каким-либо другим материалом. Иногда в целях экономии труда и средств в дамбочке оросителя закладывается одна трубка на две или три борозды и вода подается по очереди в каждую борозду. Так рекомендуется делать в случаях, если струя в каждой борозде регулируется один раз и затем не нарушается до конца орошения. На рис. 1, 2 показаны способы подачи воды в борозды.

Сифоны из резины, пластических материалов и алюминия диаметром от 12 до 100 мм стали очень популярны среди фермеров и получили большое распространение для подачи воды в борозды. Иногда применяются металлические или деревянные лотки, особенно при больших уклонах местности. В стенке лотка

устраиваются отверстия диаметром 2,5—3,75 см, прикрываемые щитками. При орошении некоторых садов вода подается по трубопроводу, уложенному в землю, к гидрантам, которые питают непосредственно группу борозд. Находят применение легкие переносные трубы, тоже имеющие отверстия со щитками. Они обычно

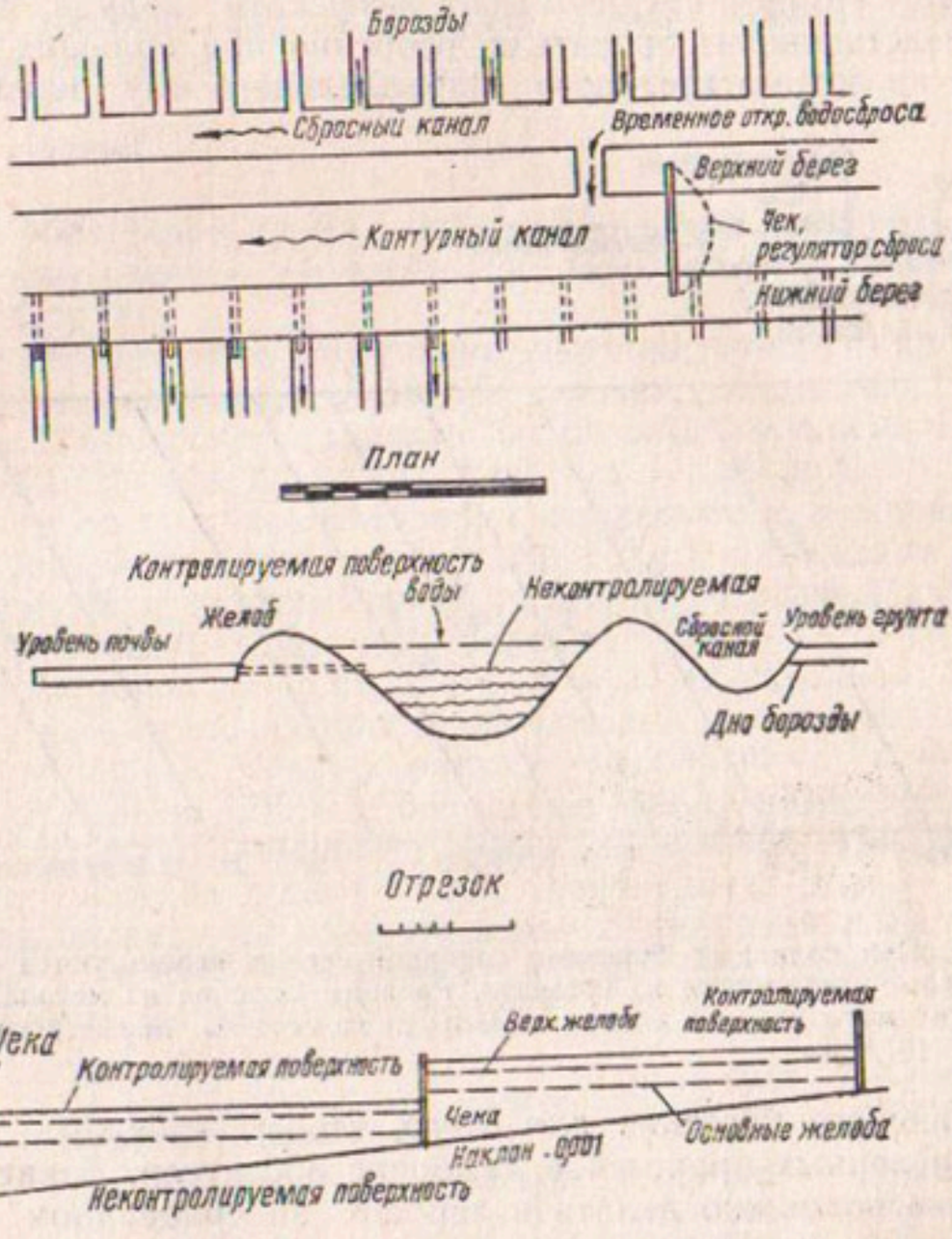


Рис. 2. Способы подачи воды в борозду.

используются в сочетании с подземной сетью трубопроводов и присоединяются к ним с помощью гидрантов. Вместо металлических применяются трубы из брезента.

Небольшие засеваемые борозды, применяемые преимущественно при поливе сенокосов, пастбищ и низкорослых зерновых, нарезаются в большинстве случаев на расстоянии от 45 до 90 см; для сравнительно непроницаемых грунтов, особенно на больших уклонах, расстояния сближаются до 35—40 см. Подача воды осуществляется так же, как и в обычные борозды.

Полив напуском по полосам применяется для сенокосов, пастбищ, зерновых и других культур. Уклон полос не должен превышать 0,02—0,03, лучшим считается 0,01. Поперечный уклон внутри полос не допускается. В некоторых случаях на почвах, образующих корку при высыхании, и на больших уклонах внутри полос между валиками устраивают борозды. Размеры полос приведены в табл. 1.

Воду на полосы из оросителя подают с помощью постоянных водовыпусков и перегораживающих сооружений или переносных, сделанных из металла или брезента. Последние рекомендуется

Таблица 1

Расход подаваемой воды на полосу, л/с	Песчаные суглинки		Заиленные		Глины	
	ширина	длина	ширина	длина	ширина	длина
30	6	60—90	7	94—155	8,5	15,5—220
30—60	9	100—135	10	150—220	11	190—250
60—120	11	135—155	11	155—220	145	190—285
120—180	12	170—190	14	200—250	17	230—375
180—247	20	190—220	20	250—375	20	375—425

применять на устоявшихся оросителях, так как на новых, только что построенных, они показали не вполне удовлетворительную работу. На рис. 1, 2 даны конструкции брезентовых перегораживающих сооружений с водосливами и отверстиями. Брезент должен быть на 40—60 см больше ширины поверхности воды в оросителе.

Полив затоплением применяется при ровном рельефе или очень тяжелых грунтах и главным образом при промывке засоленных земель.

Таким образом, в США широко применяются многочисленные приспособления, повышающие производительность труда при поливе по крайней мере в 1,5—2 раза. Наряду с этим до сих пор, по-видимому, распространена подача струи в борозды путем простого устройства прорези в дамбочке.

На огромных пространствах Юго-Восточной Азии и Среднего Востока, где на полях практически нет сельскохозяйственных машин и орудий, или они только начинают появляться, где мелкие делянки и нет недостатка в рабочей силе, вода на рисовые поля не всегда поступает самотеком, а в значительной своей части подается различными примитивными средствами, часто приводимыми в действие людьми. Это известные приспособления — нории, архимедовы винты, журавли, различные типы водоподъемных колес, приводимые в движение животными, водою, ветром и др. Эти приспособления в разных странах несколько отличаются по конструкции, материалу и названиям.

Все примитивные механизмы, сохранившие почти первозданный вид с далекого прошлого, отошли как массовое средство в область предания в нашей союзной практике, но самотечная подача воды в борозды осталась такой же, как была в начале развития советской ирригации.

Механизация сельского хозяйства в Советском Союзе опередила многие капиталистические страны, а техника полива отстает, особенно при освоении новых площадей. Поэтому следует детально изучить достигнутые успехи в этой области за рубежом и в ближайшие год—два ввести на наших орошаемых землях все простейшие приспособления, облегчающие труд поливальщика и делающие его более производительным.

Дождевание получает с каждым годом все большее и большее развитие во многих странах. В засушливых районах дождевание часто применяется как основной способ орошения, в полувлажных и даже влажных — как дополнительное средство увеличения урожайности культур.

В Италии при общей орошаемой площади 2 млн. га дождевание основной и единственный способ орошения. Каждая дождевальная установка орошает в среднем на севере 15,3 га, в центральной части — 18,9, на юге — 16 и на островах более 23 га. В Северной Италии имеются дождевальные установки, орошающие до 645 га.

Переносные трубопроводы делаются из скрученной стальной сварной ленты, алюминия и последнее время, пока в виде опыта, из пластмассы. Недостатком является их деформация под давлением. Применяются трубы диаметром 90—100 мм.

Для трубопроводов, укладываемых в землю, обычно используют трубы из этернита. При диаметре свыше 250 мм и для давления больше 15—20 атм применяются преимущественно стальные трубопроводы.

Первые дождевальные установки в США появились в долине Сакраменто, Калифорния. Благодаря быстрому усовершенствованию дождевальных аппаратов, появлению легких алюминиевых труб и высоко эффективных насосов, а также широкому распространению электроэнергии дождевание получило быстрое развитие, особенно после второй мировой войны. Об этом можно судить по количеству алюминиевых труб, проданных в 1953 г. фермерам — 11 тыс. т против 600—800 т после окончания войны. На ближайшие годы потребность в трубах определяется в 16 тыс. т, что при весе 1 м трубы 2—3 кг составит длину от 5 до 8 тыс. км.

Дождевание применимо на всех почвах в разных топографических условиях и для многих культур. Особенно желательно его применять на сильно проницаемых почвах с небольшим почвенным покровом, не допускающим проведения надлежащей планировки полей, на площадях с беспокойным рельефом и легко раз-

мываемыми почвами. Во всех этих случаях дождевание экономит воду и труд, сохраняет почву и повышает урожай.

Дождевальная система обычно проектируется с расчетом дать около 7,5 галлонов в минуту на акр, или 85 л/мин на га, за исключением особо засушливых районов с высокими температурами и сильными ветрами.

Вращающиеся насадки должны быть тщательно подобраны в соответствии с назначенной интенсивностью полива, расстоянием между насадками и давлением. В настоящее время стремятся

Таблица 2

Угодье	Прохладный климат		Умеренный		Жаркий	
	слой за сутки, мм	л/мин	слой за сутки, мм	л/мин	слой за сутки, мм	л/мин
Люцерна	3,8	27	5,1	3,6	6.4—7,7	45—55
Пастбища	3,1	22	4,1	29	5.1—6.4	36—45
Зерно	3.8	27	5.1	36	5,6	40
Картофель	2,5	19	3,1	22	3.6	25
Свекла	3,0	22	3,8	27	5,1	36
Сады, сбрасывающие листву	3,8	27	5,1	36	6,4	45
Сады с покровом	5,1	36	6,4	45	7,7	55

разместить насадки в прямоугольнике и обеспечить полное перекрытие струй в одном направлении. Максимальное расстояние между насадками в другом направлении должно обеспечить перекрытие не более 70% диаметра. Для систем с вращающимися насадками применяются напоры от 1 до 7 атм. На Тихоокеанском Северо-Западе расстояния между насадками на переносных линиях обычно принимают 40 фут, или 12, 25 м, и 60 фут, или 24,5 м между линиями труб. Более частое расположение насадок применяется в ветренных районах.

Отверстия в перфорированных трубах устраиваются через 0,6—1 м и располагаются обычно в 5 рядов на верхней половине трубы. Напоры обычно применяются от 0,5 до 1,5 атм, что позволяет охватить с одной установки полосу шириною от 8 до 16 м. Такие установки дают слой воды от 2,5 до 5 см/ч. Благодаря большой интенсивности дождя эти системы могут использоваться на почвах, обладающих соответствующей фильтрационной способностью.

Применяются также системы с трубами небольших диаметров с закрепленными насадками, расположенными только в одну линию на расстоянии около 1 м друг от друга. Труба устанавливается над поверхностью земли и приводится в колебательное движение механически или руками, очевидно, для лучшего разбрызгивания. Трубы устанавливаются на взаимном расстоянии 16 м, рабочий напор около 3,5 атм.

Дождевание продолжается от 2 до 3 или от 11 до 12 ч. Для

того, чтобы уложиться с поливом в рабочий график фермы, обычно применяется два способа: в первом — при поливе трубы перекладываются каждые 2—3 ч, во втором — 1—2 и в редких случаях 3 раза за 24 ч.

Для того, чтобы уменьшить затраты труда на перемещение труб, применяют большие насадки. Установка с одной — тремя насадками при напоре 7 атм и расходе от 900 до 2700 л/мин может полить с одной стоянки 0,4 га и более. Такие насадки устраиваются обычно на стояках, установленных на постоянных трубопроводах. Водопотребление в США рекомендуется определять по табл. 2.

Все данные табл. 2 необходимо разделить на КПД, который Служба сохранения почв США рекомендует устанавливать следующим образом:

а) 70% как исходную цифру для умеренной зоны;

б) до 80% для прибрежных площадей или для пояса туманов;

в) уменьшить до 60% для жаркого, сухого климата;

г) уменьшить проценты, указанные выше, для площадей, имеющих скорость ветра более 7,5 км/ч в период поливов, для каждых добавочных 7,5 км/ч следует вычесть 5%;

д) уменьшить исходные проценты эффективности при поливе на уклонах более 12% на 5% на каждые 5% увеличения уклона;

е) уменьшить исходный процент эффективности в том случае, когда нормы дождевания ниже минимальной, рекомендуемой для каждой климатической зоны.

Эксплуатационные расходы при орошении дождеванием все же выше, чем при самотечном, хотя для сравнения выбраны участки, по грунтовым и почвенным условиям неблагоприятные для самотечного орошения. Несмотря на это дождевание продолжает развиваться, хотя более высокая стоимость и является до известной степени сдерживающим фактором.

Во многих случаях невозможно орошать земли иначе, как только дождеванием — на песчаных грунтах, крутых склонах холмов и т. д. Дождевание значительно экономит воду, что является серьезным фактором для многих засушливых и даже полувлажных зон. Высокоценные культуры и луга, поливаемые дождеванием, оправдывают несколько повышенные по сравнению с самотечным орошением эксплуатационные расходы, и дождевание продолжает интенсивно внедряться. В бассейне р. Колумбия предполагается из миллиона акров, намеченных к орошению, 1/3, т. е. 330 тыс. акров, или 135 тыс. га, орошать дождеванием.

Создаются новые дождевальные машины. Компания «Vally Tanufacturand Co» изготавливает так называемый «Сельф Пропелд» — агрегат, который может орошать сразу площадь до 160 акров, или 65 га. Он состоит из отдельных элементов, в которые входит А-образная мачта на двух колесах. Мачты расставлены на расстоянии 30 км друг от друга. Вершины мачт расчленены, чем достигается их устойчивость. Трубопровод опирается на нижнюю

часть мачты на высоте 2 м над поверхностью земли, а в пролете поддерживается расчалками. Длина всего агрегата для полива площади 65 га равна 400 м. Трубопровод при движении агрегата идет поверх культур. Ширина обода колеса 15 см. Заминание культур незначительное — менее 1%, так как путь колеса по окружности всегда сохраняется одним и тем же.

Два колеса, на которые опирается мачта, ведущие. Колеса приводятся в движение гидравлическими цилиндрами, работающими водою, которая подается насосами в трубопроводы для полива. Насосы создают давление до 4 атм, которое в цилиндрах преобразуется до 200, чем обеспечивается перемещение агрегата вокруг центра поля. Для орошения 8 га требуется расход 0,45 м³/мин, для 65 га — 2,25. Интенсивность полива регулируется скоростью передвижения агрегата и количеством выливаемой в минуту воды.

Из-за разной окружной скорости насадок, размещенных на трубопроводе, размеры насадок градируются таким образом, чтобы интенсивность полива была одинаковой. На конце трубопровода помещается дальнеструйная насадка для того, чтобы полить углы поля.

Движение всех элементов агрегата выравнивается с помощью контрольных клапанов, действующих в случае изгиба трубопровода. На конце трубы крайнего элемента устанавливается клапан, регулирующий скорость передвижения. Агрегат так сконструирован, что в случае задержки в передвижении какого-либо элемента вся система выключается из работы автоматически. Легко перемещается с одного поля на другое. Для полива 16 га двое рабочих могут переместить его на другое поле меньше, чем за полдня. Ветер не вносит каких-либо серьезных помех в работу агрегата.

Фирма «W. R Amos Comp» рекламирует установки с вращающимися насадками (Roto—ram), низконапорные установки с перфорированными трубами (perf — o — rain), легкие простые соединения труб (ABC) и т. д.

Фирма Монтана в г. Сан-Франциско выпускает портативные дождевальные установки с легкими быстроразъемными алюминиевыми трубами, уложенными на землю; в дождевальном крыле просверлены мелкие отверстия, через которые выбрасываются струи; установка работает под напором до 1 атм.

Фирма «R. M. Wado Co» в г. Портланд штата Орегон изготавливает дождевальные установки, состоящие из труб на колесах; трубы соединяются быстроразъемными муфтами. Передвижение производится трактором, который тянет весь агрегат под углом 45° к его оси, благодаря чему трубопровод перемещается параллельно самому себе и вдоль оси. С гидрантом подземной сети установка соединяется вспомогательным трубопроводом.

В недалеком будущем дождевание наряду с иными видами механизации полива должно получить и у нас широкое распро-

странение, особенно на новых системах. Некоторые из них можно специально запроектировать под орошение дождеванием.

Использование подземных вод для орошения

Орошение подземными водами, добытыми из обычных колодцев или системы подземных галерей — «кяризов» — практикуется во многих засушливых районах различных стран с давних времен. В отдельных местах подземные воды служили единственным источником воды, в некоторых же — дополнением к поверхностным водам, когда в засушливые годы этих вод не хватало.

В Индии орошение из колодцев в долине Ганга ведется уже на протяжении, по-видимому, не одной сотни лет и в настоящее время достигло большого развития. Свыше 5 млн. га орошается подземными водами. На смену неглубоким колодцам, из которых вода поднималась мускульной силой человека — обычный журавель «Deneli» и простой блок «Rati» или с помощью животного — большая бадья Churus и «персидское колесо», пришли современные трубчатые колодцы с новейшей водоподъемной техникой. В штате Уттар-Прадеш построена крупнейшая в мире система, питающаяся исключительно подземными водами. Около 2 тыс. колодцев дают расход до 80 $м^3/с$, что позволяет орошать площадь около 320 тыс. га. Опыт эксплуатации системы в течение 10 лет не показал какого-либо истощения запасов подземных вод. Последние пополняются за счет осадков, выпадающих в этом районе до 700 мм/год.

Орошение подземными водами широко распространено во многих странах мира, особенно, где дешевая электроэнергия. В Италии в долине р. По построено несколько десятков тысяч артезианских скважин, с помощью которых орошаются индивидуальные хозяйства в периоды недостатка поверхностных вод.

Во Франции, Алжире, Японии, США и т. д. использование подземных вод для орошения с каждым годом возрастает. В США в 1950 г. подземными водами орошалось почти 30% всех орошаемых площадей, в то время как в 1940 г. — всего только около 12%. Такой быстрый рост объясняется тем, что некоторый застой в крупном ирригационном строительстве вследствие войны вызвал активность отдельных фермерских хозяйств, построивших за этот период тысячи трубчатых колодцев.

Большие успехи в деле глубокого бурения на воду, усовершенствование глубинных погружных насосов и развитие гидроэнергетики в значительной мере способствовали быстрому росту использования подземных вод для орошения.

Интенсивное использование подземных вод вызвало местами сильное истощение их запасов, сопровождаемое резким понижением уровня (на 20—30 м). Геологическая служба занята в настоящее время изучением этой проблемы, охватившей значительные районы в Техасе, Новой Мексике, Аризоне и Калифорнии.

В Новой Мексике отмечено истощение артезианского бассейна Росуелл, запасы которого фермеры считали неистощимыми. Уже в 1925 г. многие специальные самоизливающиеся скважины истощились. Колодцы и фермы, стоившие около 5 млн. долларов, были оставлены. Регулирование вопросов использования подземных вод было поручено соответствующему штату. К 1941 г. запасы подземных вод значительно пополнились, после чего их снова начали усиленно эксплуатировать.

Западный бассейн, расположенный к юго-западу от г. Лос-Анджелеса. в 1945 г. дал около 110 млн. м³ воды, практически в 2 раза больше поступающей в него пресной воды. Уровень подземных вод упал ниже уровня океана, что вызвало наступление соленой океанской воды на Западный бассейн со скоростью около 100 м/год. Около 30 млн. м³ соленой воды ежегодно могло поступать к востоку в район, откуда производится водоснабжение городов, промышленности, а также обеспечиваются водою орошаемые земли. В одном месте соленая вода заполнила 3-километровую полосу вдоль побережья.

Уменьшением откачки восстановить запасы пресной воды в бассейне невозможно, так как такой прием непременно вызовет сокращение притока пресных вод с северо-востока. Поэтому необходимо искусственным путем пополнять запасы пресной воды вдоль побережья и поддерживать на низком уровне зеркало грунтовых вод в северо-восточном углу бассейна с тем, чтобы обеспечить непрерывное пополнение путем подтока воды со стороны главного прибрежного бассейна.

В Техасе южнее Амарилло на Высоких равнинах в 1934 г. орошалось из 300 колодцев около 6,5 тыс. га. В 1947 г. площадь орошения достигла 407 тыс. га, в связи с чем число колодцев возросло до 10 тыс. шт. В течение 1947 г. около 900 млн. м³ воды откачено из подземного бассейна при пополнении его в среднем не более 60 млн. м³/год. Такой рост орошения вызвал быстрое истощение запасов и резкое снижение уровня подземных вод. Высокие равнины представляют собою огромный скальный щит, покрытый сверху песком и гравием, в которых заключены тысячелетние запасы воды. Этот большой подземный бассейн начал истощаться из-за того, что пополнение его водою происходило в 15 раз меньшими объемами по сравнению с откачиваемыми. Очевидно, дальнейшая эксплуатация этого бассейна, связанная с экономическим развитием Высоких равнин в Техасе, требует принятия мер, которые или ограничили бы размеры использования подземных вод или обеспечили бы пополнение их запасов за счет других поверхностных источников.

Таким образом, зарубежный опыт показывает, с одной стороны, масштабы использования подземных вод для орошения, с другой — предупреждает нас о необходимости сообразовать использование подземных вод с их запасами и источниками пополнения.

Это позволит на базе подземных вод создавать устойчивые хозяйства.

Современные методы гидрогеологических исследований дают возможность быстро и надежно определить запасы подземных вод.

Опыт орошения подземными водами в США, Индии, Италии и применяемое для этого оборудование должны быть нами всесторонне изучены и получены наиболее совершенные образцы оборудования.

В Советском Союзе использование подземных вод для орошения практикуется разрозненно и в небольших масштабах. Потребность же в использовании подземной воды для некоторых районов орошения очень большая. Большинство предгорных районов имеют хорошие земли для орошения и почти не имеют или имеют, но довольно скудные запасы поверхностных вод, например, Ферганская, Зарафшанская, Чуйская, Чирчикская, Куринская долины и др., предгорья Копет-Дага, Крымских гор и т. д.

Необходимо обратить внимание на новый метод добычи подземных вод, получивший за последние годы развитие в США и известный здесь как метод Рэнни, а также в Швейцарии как метод Фельмана. При этом методе из вертикальной шахты пробуриваются в водоносном пласте горизонтальные колодцы-фильтры, по которым вода поступает в шахту, откуда уже откачивается насосами.

По сравнению с вертикальными колодцами новые с горизонтальными фильтрами более производительны, горизонтальный фильтр всегда погружен в воду; благодаря распространению его влияния на большую площадь уровень грунтовых вод обычно понижается незначительно и появление местных осадок грунта исключается. Входные скорости при поступлении воды в фильтры малы, что позволяет применять колодцы с горизонтальными фильтрами в мелкозернистых грунтах. Применение нового метода значительно облегчилось введением труб длиною свыше 100 м. Это усовершенствование также позволило увеличить дебит существующих колодцев. Опыт постройки колодцев нового типа показал весьма хорошие результаты работы и экономичность при эксплуатации. Рекомендуется применять такие колодцы и для ирригации. В Ежегоднике по ирригации и дренажу за 1953 г. приводятся два примера. В Берне в 1947 г. построены 4 колодца такого типа, дающие 6,7 м^3/мин, в то время, как первоначальным проектом предполагалось получить только 4,5 м^3/мин из 24 вертикальных колодцев. В Милане построены 3 колодца, каждый из них имеет от 765 до 920 м горизонтальных фильтров на глубине 46 м.

Следует отметить, что методом горизонтального бурения пользуются при прокладке подземного кабеля и труб.

Дренаж при освоении заболоченных и засоленных земель в орошаемых районах

Большинство стран с орошаемым земледелием — США, Индия, Египет, Австралия, Италия, Франция и др. — ведут довольно большие мелиоративные работы для того, чтобы изжить накопившиеся годами в орошаемом земледелии недостатки, повлекшие за собой заболачивание и засоление определенной части орошаемых площадей. С одной стороны, недоучет при строительстве и эксплуатации систем, а также в сельскохозяйственном производстве гидрогеологических условий орошаемого района, с другой — несовершенство оросительной и дренажной сети — основные причины создавшегося тяжелого мелиоративного состояния земель в некоторых орошаемых районах.

При изучении вторичного засоления почв Египта под влиянием оросительных и подземных вод доктором Мустафой Эль Габали (Александрия) выделены следующие зоны:

1) южная и средняя части дельты, где под влиянием аллювиальных почв сравнительно неглубоко залегают слабоминерализованные грунтовые воды; орошение проводится водой Нила;

2) северная дельта и район озер, где на площадях с неглубоким залеганием высокоминерализованных грунтовых вод развиты сильнозасоленные аллювиальные почвы, орошение ведется водой Нила и дренажной;

3) земли пустыни (Вади — Эль — Натрун) и др., орошаемые артезианскими пресными и минерализованными водами.

Земли южной и средней дельты орошаются водами Нила уже не менее 5 тыс. лет. За последние 60 лет с переходом на постоянное орошение стали проявляться засолонцевание и засоление почв. Минерализация грунтовых вод в этой зоне составляет 0,5—2 г/л. Преобладают соли HCO_3 и Na^+, содержащиеся в воде Нила.

Подача воды на поля в соответствии с потребностью и частота поливов определяют влияние режима орошения на засоление. Если дренаж обеспечивает глубокое проникновение воды в почву и для орошения подается достаточное ее количество, то воды Нила не будут повышать засоления почв.

Гидростатическое давление вод Нила, а также в крупных каналах в паводки вызывает подъем уровня грунтовых вод на орошаемых землях. В почвенных условиях дельты при существующей практике орошения следует строить дренажные системы из расчета отвода излишка оросительных вод максимум через 48—72 ч после полива. При глубоком заложении дрен и значительном расстоянии между ними для отвода избыточной оросительной воды требуется больше времени. Рекомендуется строить горизонтальный закрытый и вертикальный дренаж глубиною около 30 м. Полевые дрены следует устраивать глубиною 1,25 м с расстоянием между ними 25 м. Глубина главных дрен 2,5—3 м.

В северной дельте и озерном районе грунтовые воды сильно минерализованы (20—100 г/л), причем хлористый натрий составляет 70% общего содержания солей. Грунтовые воды обычно находятся на глубине 0,80 м от поверхности земли и местами достигают самой поверхности (район озер Абис и Идку близ Александрии).

Вновь осваиваемые земли по проекту «Абис» в районе озера Марьют имеют поверхность ниже уровня моря. Минерализация здесь 40—80 г/л. Полевые дрены глубиной 0,90 м строятся на расстоянии одна от другой 20 м, главные дрены — 400 м. Поверхность подвергают планировке и производят промывку земель большими нормами — до 34 тыс. $м^3$/га. Наличие прослоек с высокой водопроницаемостью ускорило процесс промывки.

Мелиорация земель в районе оз. Идку встречает большие трудности, так как почвы здесь тяжелоглинистые, отсутствуют проницаемые прослойки и минерализация грунтовых вод достигает 90 г/л. После откачки поверхностных вод проложены дрены глубиною 0,80 м через 20 м, главные дрены — глубиной 1,5 м через каждые 400 м. Промывка велась водой, содержащей 2—3 г/л солей, в течение 11 лет. В результате только 10% земель были относительно промыты. Доктор Эль Габали приходит к заключению, что мелиорация земель в районе оз. Идку с использованием минерализованных вод (2—3 г/л) для промывки на фоне мелкого дренажа в тяжелых глинистых грунтах практически не дала никакого эффекта. Рекомендуется заглубить главные дрены до 3 м, ввести в почву гипс и применять для промывки менее минерализованные воды. В озерной зоне дельты земель, подобных землям Идку, очевидно, много и рассоление их представляет большие трудности.

В настоящее время в ОАР осваиваются земли западной пустыни и ряда оазисов — Эль — Харга, Дахла, Фарафра, Бахария, Вади Натрун, тянущихся параллельно Нилу на значительном удалении от него. Новая провинция Ат — Тахрир заново создается на пустынных землях с подачей на орошаемые массивы нильской воды насосными станциями. В отдельных местах на побережье Средиземного моря используются подземные воды, часто сильноминерализованные, артезианские термальные воды с глубин 600—800 м (Эль — Харга).

Доктор Эль Габали отмечает, что «во многих пустынных районах Египта засоление почв развивается и в случае глубокого залегания подземных вод». В качестве примера приводится Вади Натрун (в 100 км к северу от Каира) и Бург эль Араб (на побережье в 40 км к западу от Александрии). Хотя подземные воды Вади Натрун слабо минерализованы (0,3—0,7 г/л), но они содержат много солей HCO_3, что приводит к солонцеванию почв. В районе Бург эль Араб засоление произошло вследствие того, что полив в течение 30 лет осуществлялся водой, содержащей от 2 до 11 г/л солей. Эль Габали рекомендует в этом случае производить

промывку на фоне мелкого дренажа и при невысокой проницаемости почв перед промывкой производить глубокую вспашку.

Министерства ирригации, сельского хозяйства и аграрной реформы ОАР серьезное внимание придают развитию дренажа на орошаемых землях. В настоящее время существует разветвленная сеть дренажных каналов — полевые дрены, дренажные каналы, ветви и главные дрены (коллекторы), уносящие дренажные воды за пределы орошаемой территории в море или в прибрежные озера.

Наибольшее развитие дренажные системы получили в дельте Нила, в северной части, и в Среднем Египте (ниже Асиута). Северная часть дельты наиболее остро нуждается в строительстве дрен и промывках. (В южной части дельты в силу ее высотного положения раньше не считали обязательным строительство настоящей дренажной системы). В северной части построено несколько самотечных дрен, которые в 1927 г. были реконструированы и дополнены дренажными ветвями. Позднее пришли к заключению о необходимости построить здесь насосные станции для обеспечения нужного дренирования площадей. Решено было строить насосные станции в конце дренажных ветвей, обслуживающих определенную зону, и перекачивать воду в главную дрену, которая должна уже самотеком выводить дренажные воды в море.

В 1934 г. в дельте Нила построены 3 главные тепловые электростанции и 18 насосных станций, из них — в северо-западной дельте, 9 — в северной центральной, 4 — в западной. В 1949 г. в дельте Нила уже действовали 25 насосных станций и 3 электростанции, в Верхнем Египте — соответственно 14 и 2. В 1951 г. завершено строительство еще 13 дополнительных насосных станций в дельте и в Верхнем Египте. Таким образом, в настоящее время в ОАР работают на перекачке дренажных вод 52 насосные станции.

В 1954 г. построены 2 главных электростанции в дельте, одна в г. Даманхур, другая в г. Талки, взамен трех устаревших в 1930 г. В Верхнем Египте реконструирована электростанция Идфу и создана новая в Нага Хаммади с целью компенсировать недостаточную мощность ГЭС в период паводков.

В современных условиях в ОАР планируется электрификация всей страны на базе электроэнергии новой Асуанской ГЭС. В связи с этим предполагается широко использовать перекачку дренажных вод даже в тех зонах, где вода по дренам отводится самотеком. Это позволит интенсифицировать дренирование земель, понизить уровень грунтовых вод и тем самым повысить урожаи сельскохозяйственных культур.

С 1958 г. в ОАР проводится новая политика в отношении дренажа. Предполагается реконструировать главные дренажные системы с таким расчетом, чтобы обеспечить среднюю глубину полевых дрен 1,25 м. Намечено также реконструировать главные

самотечные дрены, обновить некоторые из действующих дренажных станций и построить новые.

Еще в 1941 г. предполагалось заменить открытый дренаж закрытым, что должно было дать для сельского хозяйства дополнительно около 12% площадей. В дельте построена система закрытого дренажа на площади 20 тыс. га, которая вполне себя оправдала. Поэтому в 1956 г. принят закон, по которому выполнение закрытого полевого дренажа должно осуществляться за счет государства на условиях возврата затраченных средств землевладельцами в течение 20 лет. Анализ статистических данных по губернаторству Мануфия (дельта) показывает, что на площадях, имеющих закрытый дренаж, урожаи повысились на 50%.

Генеральным планом мелиоративных работ принято обеспечить дренажем все земли постоянного (круглогодового) орошения. Для этого необходимо построить дополнительные насосные станции, реконструировать существующие межхозяйственные (общественные) дрены в соответствии с требованиями новой политики в области дренажа. Стоимость этих работ оценивается в 210 млн. египетских фунтов.

За пятилетие (1961—1965 гг.) затрачено 20 млн. египетских фунтов на строительство насосных станций и углубление межхозяйственных дрен для улучшения мелиоративных условий на площади 970 тыс. га и 10 млн. египетских фунтов — на строительство закрытого дренажа на площади 126 тыс. га.

В ОАР эксплуатируется (по данным за 1962 г.) около 22 тыс. км каналов и 12 тыс. км дрен. Дренажные насосные станции обслуживают около 420 тыс. га земель в дельте и 84 тыс. га в Верхнем Египте. В ближайшем будущем на машинный подъем дренажной воды дополнительно переводятся 420 тыс. га в дельте и 210 тыс. га в Египте. За эти работы с землевладельцев не взимается платы.

В США 25% орошаемых земель нуждаются в мелиорации.

Впервые еще в 1902 г. в отчетах по проектам в Аризоне, Орегоне, Идахо и других западных штатах было обращено внимание на проблему дренажа. Земли заболачивались в результате фильтрации из каналов, поэтому первые меры были направлены на уменьшение этих потерь. Некоторые земли заболачивались из-за неумелого пользования водой, что обычно совпадало с неблагоприятными условиями для естественного дренажа. На нескольких из самых ранних оросительных системах большой процент земель вышел из строя из-за заболачивания и заселения.

В 1911 г. Бюро мелиораций установило первую большую программу дренажных работ. К 1922 г. дренажные работы выполнены на 17 из 25 оросительных систем, на которых построено около 2400 км глубоких открытых дрен. В те годы осуществление такого объема работ расценивалось как большой успех. Дренажные работы продолжали активно развиваться до 1931 г. К этому времени построено около 4700 км дрен. С тех пор темпы строитель-

ства дренажа снизились и почти замерли в период Второй мировой войны. После войны благодаря усилившемуся спросу на продукты сельского хозяйства фермеры вновь начали вовлекать в орошение новые земли, ранее считавшиеся непригодными для орошения без дренажа.

Нельзя упрощать решение вопросов с устройством дренажа, так как каждый новый проект должен учесть совокупность обстоятельств и условий, не повторявшихся ранее. Мелиоративные работы распространены в проектах бассейна р. Миссури. Фермеры, не будучи хорошо знакомы с пользой от ирригации и дренажа, в период достаточных осадков теряют интерес к своим ирригационным и дренажным устройствам, часто не поддерживают их в хорошем состоянии и неподготовленными встречают засушливый год.

Типичными являются некоторые из орошаемых земель в Техасе, Оклахоме, Канзасе, Небраске, Северной и Южной Дакоте. Многие земли в северной части этой полосы, проходящей через центр США, ледникового происхождения. Почвы часто очень плотные, слабопроницаемые, соленые грунтовые воды близко залегают к поверхности в естественном состоянии. Земли, расположенные в широких речных долинах и затапливаемые паводками, с первого взгляда кажутся весьма подходящими для земледелия, но в действительности на этих землях могут быть тяжелые почвы, слабая дренирующая способность подстилающих грунтов и плохие условия отвода дренажной воды. В южной части этой же полосы нормальное количество осадков является сравнительно высоким, рельеф относительно ровный и реки спокойные. Уровень грунтовых вод часто стоит довольно высоко и для отвода грунтовых вод приходится строить перекачечные насосные станции, так как самотеком сбросить воду невозможно. Все это увеличивает первоначальную стоимость проекта, так как в дополнение к стоимости орошения и дренажных работ приходится включать стоимость мероприятий по отводу поверхностных вод и по защите от паводков.

В последние годы значительное развитие получили мелиоративные работы на землях, расположенных вдоль Мексиканского залива. Условия здесь сложные из-за малого уклона местности (0,0002) и потоков, медленно текущих на всем протяжении. Требуется непрерывное поддержание естественных и искусственных русл, сильно зарастающих растительностью. Среднегодовое количество осадков в этих районах около 1250 мм, интенсивность штормовых ливней достигает 500 мм/сут. Несмотря на большие трудности, ряд осуществленных проектов показал большую доходность, оправдав затраченные средства.

Значительно сложнее оценить положительное влияние орошения в районах, расположенных между сухими и влажными зонами по сравнению с засушливыми штатами. Периодические засухи не только расшатывают экономику фермеров, но вызывают даже

значительное их переселение в другие места; все это вредно отражается на общем благосостоянии населения. В этих местах устойчивое сельское хозяйство возможно только на базе орошения и проведения необходимых при этом дренажных мероприятий.

Теперь на вопросы дренажа обращают самое серьезное внимание при рассмотрении в Бюро мелиораций сельскохозяйственной части многоцелевых (комплексных) проектов. Предварительно проводятся весьма тщательные полевые и лабораторные обследования и изучение земель и оценивается каждый раз их дренирующая способность. Последняя является важным признаком в классификации земель. В инженерной части проекта глубины заложения дрен и расстояния между дренами устанавливаются по формулам, которые до сих пор несовершенны. Поэтому приходится руководствоваться опытом, выбирая аналог по многим подходящим признакам. Таким образом, одна из важнейших задач инженерной стороны дела — необходимость обогатить наши знания в области дренажа и продвинуть методы расчета дренажных систем с тем, чтобы меньше прибегать к правилу «большого пальца» (rules of thumb). К. Р. Майерхофер отмечает: «Мы уверены, что при орошении земель в засушливых районах дренаж будет иметь первостепенное значение. Редко можно встретить среди земель, возможных к орошению, земли с хорошими природными дренажными условиями, поэтому мы вправе предполагать, что развитие орошения в широких масштабах, намечаемое в недалеком будущем, обязательно будет осуществляться совместно с дренажными мероприятиями, подобными тем, которые всегда сопутствуют ирригации».

Из этого краткого обзора видно, как много неожиданных неприятностей обрушивалось в разное время на орошаемое земледелие США вследствие недоучета необходимости проведения одновременно с орошением мелиоративных мероприятий в объемах, соответствующих местным условиям, и насколько в настоящее время придается большое значение и предъявляются большие требования к мелиоративным исследованиям при орошении.

Приводим по сводному тому ценза орошения 1950 г. площади дренажных систем, построенных в 17 Западных Штатах.

	1920 г.	*1930 г.*	*1940 г.*	*1950 г.*
Площади дренированных земель, тыс. га	537	1387	1287	1655
Площади, нуждающиеся в дренаже, тыс. га	588	478	332	675

Наибольший рост, как уже указывалось выше, произошел между 20 и 30 годами. За последнее десятилетие прирост площадей с искусственным дренажем составил 369 тыс. га, но и количество земель, нуждающихся в дренаже, возросло настолько же.

Последнее указывает на продолжающийся рост заболачивания и засоления земель.

Не всегда удавалось с помощью открытых коллекторов эффективно решать поставленную задачу, поэтому в орошаемом земледелии все большее значение приобретал закрытый горизонтальный дренаж, а с развитием электрификации орошаемых районов — вертикальный, впервые примененный в США в Калифорнии. В настоящее время в США закрытый горизонтальный и вертикальный дренаж получил большое распространение и показал высокую эффективность. К сожалению, теоретическая сторона дела остается пока еще недостаточно разработанной и при проектировании приходится опираться на эксперимент или искать какой-либо аналог.

Более 1,5 млн. га земель здесь нуждаются в мелиорации. Во многих районах грунтовые воды до орошения стояли на глубине 12—25 м, а в результате недоучета свойств грунтов и расточительства в использовании воды уровень грунтовых вод поднялся настолько, что произошло заболачивание и засоление земель.

Открытые дрены не дали нужного эффекта. Ирригаторы долины р. Солт еще в 1915 г. предложили понижать уровень грунтовых вод путем откачки глубинных вод. С большим трудом, преодолев сомнения в успехе этого дела, все же было построено несколько колодцев, якобы для орошения. Откачка показала большую эффективность в понижении уровня грунтовых вод. За короткое время этот метод понижения быстро распространился в ирригационные округи Торлок, Модесто, Меред, Фрескин и Южный Сан-Джоакин. Уже в 1924 г. в долине р. Сан-Джоакин действовало до 200 глубинных колодцев. «Ночь, нависшая над проблемой дренажа в долине Сан-Джоакин и подвергшая всех в отчаяние, сменилась оптимизмом». Так характеризует действие вертикального дренажа Вальтер В. Уир, член «ASAE» в статье «Дренаж в Калифорнии», напечатанной в журнале «Agricultural Engineering», июль 1954 г. Вскоре было доказано, что вертикальный дренаж помимо того, что понижает уровень грунтовых вод, позволяет использовать эти воды для орошения. С того времени только в долине Сан-Джоакин построено 60 тыс. колодцев и уровень грунтовых вод понизился и удерживается ниже критической глубины. Дренажные колодцы должны работать непрерывно в течение 180 дней в году.

Как показал опыт Калифорнии и Аризоны, вертикальный дренаж в ряде районов дал настолько благоприятные результаты, что считается теперь во многих случаях наиболее эффективным средством для понижения уровня грунтовых вод. В подтверждение этого Израильсен приводит опыт ирригационного округа Модесто, где вертикальный дренаж является не только самым приемлемым методом понижения уровня грунтовых вод, но также и методом, самоокупающим все расходы. Оборудование для вер-

тикального дренажа изготавливается многими фирмами, рекламирующими свою продукцию на страницах разных журналов.

Применение закрытого горизонтального дренажа в Калифорнии носило спорадический характер, по-видимому, потому, что при этом решались только вопросы отвода воды с больших территорий и не касались дренажа на фермерских хозяйствах. Интересным и поучительным примером может служить Имперская долина в низовьях р. Колорадо. В 1912 г. после постройки там канала, который увеличил орошаемую площадь примерно на 1/3, произошел резкий подъем уровня грунтовых вод и как следствие засоление земель между каналом и р. Аламо. Начался дренажный ажиотаж. Имперский ирригационный округ объединил отдельных строителей и развернул в Имперской долине дренажные работы в большом масштабе. Строились преимущественно открытые дрены глубиною от 3 до 3,7 м. Были выпущены специальные бонны на сумму в несколько миллионов долларов для финансирования этих работ. В результате построили свыше 2 тыс. км открытых дрен, каждая ферма получила свою дрену глубиною 2,5 м.

Наибольшие затруднения с дренажем продолжали оставаться в Имперской долине дольше, чем в других районах. Закрытые дрены не получили развития, а вертикальный дренаж, благодаря геологическим условиям долины (мощные аллювиальные отложения), не давал эффекта.

Только в 1940 г. исследовательский отдел «Службы сохранения почв» (Soil Conservansy Service) начал серьезные работы по изучению дренажа, которые велись в течение 10 лет специальным комитетом. Более 100 тыс. долларов израсходовано на эти исследования. В результате для Имперской долины, в которой в настоящее время орошается площадь около 420 тыс. га, составлена большая программа дренажных работ. Осуществление ее дало, как сообщает Вальтер В. Уир, замечательные результаты. В течение 5—6 лет построено более 6750 км закрытых дрен. В 1952 г. сделано около 1200 км дрен, что дает в среднем за год 3,35 км дрен в сутки.

На укладке дрен в Имперской долине работали 6 машин. Стоимость дренажа составила 85 долларов на акр, или 212 долларов на га. Фермеры покрывали эти расходы в течение года за счет увеличения сельскохозяйственной продукции.

Успех с горизонтальным закрытым дренажом вызвал большой интерес к нему и в других районах. В долине Сакраменто построили несколько дренажных систем с глубокими закрытыми дренами. Существующие правила, касающиеся заложения дрен и расстояний между ними, а также расходы дрен Вальтера В. Уир рекомендует пересмотреть. Он указывает, что в Имперской долине дренажные системы проектировались обычно на расход 1/3 куб. фута в секунду на милю дрены, или 6,3 л/с/км, в результате чего дрены делались диаметром 4, 6 и 8, или округленно 10, 15 и 20 см. Для одной из дренажных систем, расположенной вдоль р. Сакра-

мento, принят расход 4 куб. футов в секунду на милю дрены, или 76 л/с/км, т. е. в 12 раз больше, чем в Имперской долине. Дрены закладывались на глубину 3—3,7 м.

Новая дренажная машина, работающая в Имперской долине, может делать дренаж глубиною 2,5 м. С задней стороны режущего механизма консоль длиною 1,85 м поддерживает траншею открытой до тех пор, пока дрена не будет уложена на дно траншеи и засыпана.

Укладчик дрены помещается на той же консоли. Специальный механизм действует автоматически, выстилая предварительно дно траншеи гравием, укладывая затем дрену на дно траншеи, оборачивая стыки дрен бумагой и обсыпая уложенные дрены гравием. Траншея засыпается машиной после ее прохода.

В Имперской долине, где больше, чем где бы то ни было в Калифорнии, ведутся дренажные работы, предприятия, изготавливающие дренажные трубы, не продают их по отдельности фермерам, а продают законченные дренажные системы.

Заканчивая свою статью о дренаже в Калифорнии, Вальтер В. Уир считает, что использование закрытых дрен фермерами означает новый этап в развитии мелиоративной практики.

Конференция по ирригации и дренажу, созванная в Париже в 1954 г. Международной комиссией по ирригации и дренажу, обсуждала мелиоративные вопросы. Представители Индии (Бахтчария), Египта (Хаммад), Австралии (Данг) докладывали об эффективном действии закрытого горизонтального и вертикального дренажа. Они считают, что экстенсивный открытый дренаж не может решить проблемы понижения уровня грунтовых вод в орошаемых районах и освоения засоленных земель, в большинстве случаев эта проблема может быть решена с помощью достаточно интенсивного закрытого дренажа. В Австралии построена система закрытого дренажа Ред Клиффс (Виктория) на площади 13 тыс. га. В докладах указывалось, что в благоприятных гидрогеологических условиях вертикальный дренаж имеет ряд преимуществ перед горизонтальным закрытым: откаченная из трубчатых колодцев вода полностью используется для орошения.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие отв. редактора 5
К вопросу о взвешивающей способности потока в условиях низовьев Амударьи 10
Земляные плотины 32
Реконструкция и повышение водообеспеченности оросительных систем Средней Азии 72
Главный Туркменский канал Амударья — Красноводск 116
Голодная степь — школа передового опыта орошения и освоения пустынных земель 128
Проблема Сарезского озера 155
Борьба с потерями воды из оросительных каналов за рубежом и в СССР. 178
Из опыта орошения за рубежом 208

Виктор Васильевич Пославский

ПРОБЛЕМЫ ОРОШЕНИЯ В СРЕДНЕЙ АЗИИ. ИЗБРАННЫЕ ТРУДЫ

Утверждено к печати Ученым советом САНИИРИ и Бюро Отделения механики и процессов управления АН УзССР

Редактор *Р. Е. Рубан*
Художник *Е. И. Владимиров*
Технический редактор *Р. К. Лушникова*
Корректор *М. А. Саттарова*

ИБ № 2345

Сдано в набор 19.11.83. Подписано к печати 5.01.84. Р08017. Формат 60×90¹/₁₆. Бумага типографская № 1. Гарнитура литературная. Печать высокая. Усл. печ. л. 14,5. Уч.-изд. л. 15,6. Тираж 1000. Заказ 245. Цена 2 р. 70 к.

Адрес Издательства «Фан» УзССР, 700047. Ташкент, ул. Гоголя, 70.
Типография Изд-ва «Фан», Ташкент, проспект М. Горького, 79.