АКАДЕМИЯ НАУК ТУРКМЕНСКОЙ ССР
ИНСТИТУТ ВОДНЫХ ПРОБЛЕМ И ГИДРОТЕХНИКИ

Л. М. ГРИНБЕРГ

КАРАКУМСКИЙ КАНАЛ

ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК ТУРКМЕНСКОЙ ССР
АШХАБАД 1963

ТҮРКМЕНИСТАН ССР ЫЛЫМЛАР АКАДЕМИЯСЫ
СУВ ПРОБЛЕМАЛАРЫ ВЕ ГИДРОТЕХНИКА ИНСТИТУТЫ

Л. М. ГРИНБЕРГ

ГАРАГУМ КАНАЛЫ

ТҮРКМЕНИСТАН ССР ЫЛЫМЛАР АКАДЕМИЯСЫНЫҢ НЕШИРЯТЫ
АШГАБАТ 1963

ПРЕДИСЛОВИЕ

Выполняя решения XXII съезда КПСС, наметившего грандиозную программу развития сельского хозяйства в нашей стране, трудящиеся Туркменистана проводят большую работу, направленную на значительное расширение сельскохозяйственного производства и, в первую очередь, его основной отрасли — хлопководства.

В Туркменской ССР имеется свыше 3 млн. га земель, годных для сельскохозяйственного освоения, но не орошаемых из-за недостатка воды, хотя Туркменистан обладает значительными водными ресурсами, крайне неравномерно распределенными по его территории. В то время как на северо-востоке республики протекает самая большая в Средней Азии река Аму-Дарья, воды которой используются для орошения всего лишь на 20%, южные и юго-западные районы лишены сколько-нибудь значительных водных источников. Протекающие здесь реки Мургаб, Теджен и Атрек маловодны, и сток их уже полностью используется для орошения.

Переброска воды из Аму-Дарьи с помощью канала через песчаную пустыню Юго-Восточных Кара-Кумов в маловодные районы Марыйского и Тедженского оазисов и дальше на запад вдоль Копет-Дага решает проблему освоения больших массивов пустующих земель и позволяет намного расширить сельскохозяйственное производство Туркменистана, превратить его в основную базу тонковолокнистого хлопководства.

До сих пор в гидротехнической практике не было опыта переброски больших масс воды на значительные расстояния через песчаные пустыни, подобные Кара-Кумам. Впервые это осуществлено в Советском Союзе.

Никита Сергеевич Хрущев, посетивший Туркменистан в октябре 1962 г., назвал Каракумский канал гордостью народа, гордостью труда и человеческого разума.

Настоящая работа является первой попыткой обобщения опыта строительства Каракумского канала, представляюще-

го большой производственный и научный интерес. Этот опыт, как пример решения проблемы освоения пустынных просторов, может быть использован и за пределами Средней Азии. За последнее время в журналах и газетах довольно часто стали появляться краткие сообщения, связанные со строительством Каракумского канала, однако систематизированного изложения всей Каракумской проблемы еще не было.

Автор в течение ряда лет был связан с работами по проектированию и строительству Каракумского канала, что дало ему возможность обобщить опыт его сооружения. При строительстве Каракумского канала основное внимание было уделено механизации трудоемких земляных работ, имевших решающее значение в условиях песчаной пустыни, при полном бездорожье и отсутствии на протяжении сотен километров населенных пунктов. Кроме того, в работе освещены исторические предпосылки строительства Каракумского канала, его народнохозяйственное значение для Туркменистана и проектные положения первой, второй и третьей очередей. Такой состав материала объясняет несколько неоднородный характер изложения.

Рассматривая Каракумскую проблему, автор считал целесообразным представить материал в разрезе каждой очереди строительства в отдельности с тем, чтобы воссоздать картину этой величественной стройки во времени. При таком изложении не удалось избежать некоторых повторений.

Наиболее сложные задачи, которые пришлось разрешать проектировщикам и строителям при сооружении Каракумского канала, возникали на участке Аму-Дарья — Мургаб. По этой причине основное внимание автором уделено рассмотрению вопросов, непосредственно связанных с первой очередью строительства канала.

Автор сознает, что настоящая работа, рассчитанная как на специалистов ирригаторов, так и на читателей, интересующихся Каракумской проблемой, не лишена недостатков, и поэтому он с благодарностью примет все замечания и учтет их в дальнейшей работе по систематизации и освещению опыта строительства Каракумского канала.

Глава I

ИСТОРИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ СТРОИТЕЛЬСТВА КАРАКУМСКОГО КАНАЛА И ЕГО НАРОДНОХОЗЯЙСТВЕННОЕ ЗНАЧЕНИЕ

Обзор развития орошения в Туркменистане

Возникновение ирригации и орошаемого земледелия в Туркменистане относится к далекому историческому прошлому. Еще задолго до нашей эры здесь существовала земледельческая культура и искусственное орошение. Найденные в курганах Анау (к востоку от Ашхабада) следы древней материальной культуры свидетельствуют о том, что еще 5 тысяч лет назад в предгорьях Копет-Дага селились племена охотников, применявшие орошение в самых примитивных формах.

Непрерывно развиваясь вместе со сменой общественно-экономических формаций, искусство орошения претерпевало значительные изменения, которые удается проследить по сохранившимся памятникам старины. Разбросанные в долинах Мургаба и Атрека, в долине древнего Окса (Аму-Дарья), в предгорьях Туркмено-Хорасанской возвышенности развалины населенных пунктов и крупных ирригационных систем свидетельствуют о глубокой древности ирригации.

К началу II тысячелетия до н. э. относится расцвет города Мары и Мургабского оазиса, оросительная система которого была доведена в то время до совершенства. Известно, что арабы в VII—IX вв. н. э. перенимали от коренного населения Туркменистана ирригационное искусство, вывозя из Мерва в различные районы Мессопотамии и Египта опытных мастеров. До наших дней сохранились развалины древней крепости Шейх-Мансур (к северу от Мары), вокруг которой имеются остатки некогда обширной водной магистрали с

сетью ирригационных каналов, орошавших огромные площади земель.

Одновременно с древним Мервом на огромном пространстве между Сары-Камышской впадиной и нынешним Куня-Ургенчем существовала высокоразвитая культура. В то время этот оазис был известен под именем Хорезма, где, по утверждению историков, поливное земледелие процветало уже за 1200 лет до н. э. Следы грандиозных магистральных каналов, водных узлов, плотин и даже распределительной сети простираются далеко в глубь Кара-Кумов, за 100—150 км от современной поймы Аму-Дарьи. Мощные водные тракты Лаузан, Шамрад и Сипай-Яб орошали высокоплодородные поля урочища Уаза, считавшегося в свое время одним из богатейших оазисов Туркмении.

В 1220 г. н. э., когда Хорезм достиг наивысшего могущества и процветания, в него вторглись монгольские орды и до основания разрушили его древнюю столицу Гургандж.

Такому же разграблению подвергся и Мургабский оазис, уничтожена была его ирригационная система, стерт с лица земли и город Мерв — едва ли не первый в мире культурный центр того времени. В течение двух лет завоеватели покорили Туркменистан и уничтожили культурные сокровища туркменских оазисов. Сравнивались с землей города и населенные пункты, разрушались ирригационные сооружения, погибало культурное наследие многих веков.

Древний Мерв с его оазисом почти в течение двух столетий не мог оправиться и восстановить свое прежнее значение, только в 1409 г. была восстановлена Султанбентская плотина, построенная в XII в. султаном Санджаром, и кое-как приведена в порядок оросительная система оазиса. Во время владычества Тимуридов в XV в. оросительная система Мургабской долины была расширена и улучшена. Уже в этот период отмечается сравнительно высокая техника регулирования водного стока и водопользования. В XVII и XVIII вв. новому опустошению подвергалась как Мургабская оросительная система, так и сам город Мерв. Нормальная жизнь Мервского оазиса была нарушена. Население когда-то многолюдного Мерва стало резко сокращаться, и к началу XIX в. остатки этого населения были вынуждены оставить насиженные места и переселиться к руслу Мургаба, где и ныне стоит современный Мары. Неоднократно разрушавшиеся ирригационные сооружения восстанавливались только частично.

В конце XIX в. Туркмения была присоединена к царской России. И хотя это присоединение преследовало чисто колониальные цели, для туркменского народа оно было исторически прогрессивным явлением, так как сближение с русским

народом не могло не сказаться на ускорении разложения патриархально-родовой замкнутости, существовавшей здесь на протяжении веков. Однако при господстве российских капиталистов стремление туркменского народа восстановить ирригационные системы упиралось в недостаток средств, а порою встречало прямой запрет проводить восстановительные работы.

Ирригационные системы не были даже обеспечены надлежащим инженерно-техническим руководством. Организация борьбы с водной стихией была возложена на мирабов, не имевших необходимых технических знаний и назначаемых по принципу благонадежности. На все ирригационные системы Закаспийского края царское правительство сочло необходимым иметь только одного инженера и около 10 техников. Этот персонал имел возможность заниматься лишь регистрацией важнейших событий и только изредка участвовал в разрешении водных споров. Практически содержанием этого персонала царское правительство ограничивало вложения в ирригацию, затрачивая большие средства только на создание инженерной ирригационной системы для Байрам-Алийского имения, принадлежащего лично императору. В целом же для улучшения системы ирригации население Туркменистана не получало ни финансовой, ни технической помощи. Был установлен порядок, по которому водные системы передавались в руки местных феодалов, причем контроль за деятельностью последних был возложен на чиновников и полицию. Такая система «обслуживания» ирригации не требовала больших затрат, так как вся тяжесть ирригационных работ возлагалась на трудящиеся массы дехканства, которые лишь за право получать воду и не умереть с голода несли на своих плечах всю тяжесть каторжного труда, связанного с поддержанием ирригационных систем и выведением воды на поля.

Только после победы Великой Октябрьской социалистической революции, особенно после образования Туркменской Советской Социалистической Республики и проведения аграрной реформы, стал возможным непрерывный подъем ирригационного дела в республике. По инициативе В. И. Ленина, придававшего огромное значение орошению в засушливых районах СССР, Советское правительство 17 мая 1918 г. издало исторический Декрет об ассигновании 50 млн. руб. на оросительные работы в Туркестане и 14 февраля 1923 г. Декрет о восстановлении ирригационных систем в Туркестанской республике.

Еще в 1921 г. в письме к коммунистам Кавказа В. И. Ленин писал: «Орошение больше всего нужно и боль-

ше всего пересоздаст край, возродит его, похоронит прошлое, укрепит переход к социализму»*.

До революции водное хозяйство Туркмении было приспособлено к мелкому индивидуальному землепользованию при почти полном отсутствии в сети гидротехнических сооружений. В Чарджоуской и Ташаузской областях действовало свыше 20 тыс. примитивных водоподъемных устройств—чигарей. Вода в системы ежегодно поступала только с апреля, при высоких горизонтах в реке, а в конце августа или начале сентября вместе со спадом горизонтов поступление воды в каналы прекращалось.

За годы Советской власти Туркменистан добился огромных успехов в развитии орошения. С 1925 до 1962 г. капитальные вложения в ирригационные мероприятия составили свыше 2 млрд. руб. Вместо сотен родовых примитивных каналов на Аму-Дарье построены крупные инженерные системы: Таш-Сакинская, Куль-Арыкская, Саятская, Карабекаульская, Ходжамбасская, Совет-Ябская и др.

За эти же годы на реках Мургаб и Теджен сооружено 7 водохранилищ емкостью 830 млн. м^3, 4 подпорных плотины, 600 км магистральных каналов; на оросительных системах республики построено 4500 различных гидротехнических сооружений.

В предгорных районах Копет-Дага облицовано бетоном 260 км каналов, построено более 300 скважин с механическим водоподъемом, что позволило использовать в этих маловодных районах дополнительные водные ресурсы. В целях улучшения мелиоративного состояния земель построено около 1600 км коллекторной и дренажной сети, а для предотвращения затопления посевов возведены противопаводковые дамбы общим протяжением 586 км. С 1954 г. начато практическое решение сложной проблемы переброски воды из Аму-Дарьи в маловодные районы Мургабского оазиса путем осуществления строительства крупнейшего объекта республики — строительства Каракумского канала.

В результате водохозяйственного строительства и переустройства существующей ирригационной сети коэффициент полезного действия оросительных систем повысился с 0,25—0,35 в 1925 г. до 0,55 в 1961 г. В настоящее время 95% работ по очистке каналов от наносов выполняется механизированным способом, что позволило высвободить десятки тысяч колхозников для сельскохозяйственного производства. В результате этих мероприятий площадь орошаемых земель увели-

---

* В. И. Ленин. Соч., т. 32, стр. 297.

чилась в 1961 г. по сравнению с 1925 г. на 210 тыс. га, в том числе под посевы хлопчатника на 164 тыс. га. Все это способствовало выдвижению Туркменской ССР в одну из основных баз по производству тонковолокнистого хлопка в СССР.

Исследования и изыскания в бассейне Аму-Дарьи

Аму-Дарья — самая большая река Средней Азии, с давних времен привлекающая внимание исследователей. Однако до середины XIX в. эти исследования, основанные на глазомерных наблюдениях, не давали точных данных о реке и о ее бассейне, занимающей значительную часть территории Средней Азии. Только во второй половине XIX в. в результате научных исследований, основанных на инструментальных съемках, появились достоверные данные. Идея переброски амударьинских вод в маловодные южные и западные районы Туркменистана возникла свыше трех столетий назад и, живя в народе, передавалась от поколения к поколению.

По свидетельству исторических документов, еще в 1713 г. по поручению туркменских старейшин Ходжа Непес — передовой для своего времени человек — отправился в Петербург просить у Петра Первого защиты от хивинских ханов. Он сообщил царю, что Аму-Дарья прежде текла в Каспийское море, но хивинский хан, перегородив русло, направил ее в Аральское море. Ходжа Непес просил Петра Первого помочь туркменам перекопать плотину и возвратить Аму-Дарью в прежнее русло. Сообщение Ходжа Непеса заинтересовало Петра Первого, и в Хиву была снаряжена экспедиция Бековича-Черкасского для осмотра течения реки и, «ежели возможно, оную воду обратить в старый ток». Но члены экспедиции трагически погибли, не выполнив своей миссии: в 1717 г. по приказу Хивинского хана Ширгази все участники экспедиции были убиты.

Первые научно поставленные исследования в целях улучшения прежних и создания новых водных путей от Аму-Дарьи к Аральскому и Каспийскому морям были проведены в 1848—1849 гг. капитаном Бутаковым.

После вхождения Хивинского ханства в Российскую империю (1873 г.) открылись широкие возможности для изучения бассейна Аму-Дарьи и решения вопросов, связанных с переброской ее вод в южные и западные районы Туркменистана. В этот период здесь работали Урундарьинская экспедиция и отряд Каульбарса, обследовавшие и изучившие дельту Аму-Дарьи.

Много труда в изучение амударьинской проблемы вложено известной экспедицией А. И. Глуховского, в течение четы-

рех лет (1879—1883 гг.) проводившей исследования и изыскания в Западных Кара-Кумах, особенно детальные в дельте Аму-Дарьи, в Сарыкамышской котловине и по Узбою. Эта экспедиция выполнила нивелировку на площади свыше 5 тыс. км и съемки на 3 млн. га. После обработки исследовательских и изыскательских материалов А. И. Глуховской составил проект постройки судоходного канала от Аму-Дарьи до Каспийского моря в двух вариантах: путем затопления Сарыкамышской впадины и в обход ее. Автор проекта планировал использование будущей магистрали для освоения 700 тыс. га новых земель.

Хотя проект А. И. Глуховского был отвергнут царским правительством как нерентабельный, он получил широкую известность в России и за границей и привлек к себе внимание многих инженеров-ирригаторов. Идея переброски амударьинских вод на юг и запад Туркмении стала выдвигаться все настойчивее потому, что в начале XIX столетия в правящих кругах России возникло стремление решить хлопковую проблему путем увеличения посевов хлопка в Средней Азии. При изыскании новых земель Аму-Дарья не могла не привлечь внимания, тем более, что этот огромный водный источник использовался для орошения менее чем на 20%.

Уже в 90-х годах было установлено, что в Мургабский и Тедженский оазисы, располагающие большими массивами пустующих земель, вода из Аму-Дарьи может быть подана через Келифский Узбой без возведения плотины на реке. Впервые район Келифского Узбоя изучался в 1906—1907 гг. экспедицией, возглавлявшейся инженером М. Н. Ермолаевым. Изысканиями в Юго-Восточных Кара-Кумах от Аму-Дарьи до Мургаба она стремилась определить трассу канала вдоль Келифского Узбоя для переброски амударьинской воды в Мервский и Тедженский оазисы. Задача состояла в том, чтобы найти в безводной пустыне трассу, которая по возможности не пересекалась бы ни поперечными грядами песков, ни большими барханами. Требовалось отыскать для ложа канала грунты с наименьшей фильтрацией и выбрать участки в песках, где уже имелись готовые для русла впадины Келифского Узбоя. Ставилась также задача—найти кратчайшую дорогу от предполагаемого канала к землям, благоприятным для разведения хлопчатника. Параллельно с гидротехническими изысканиями М. Н. Ермолаева агроном Студенов проанализировал почвенные образцы каракумских песков и провел сравнение их с землями Мургабского оазиса. В результате своих исследований и изысканий М. Н. Ермолаев предложил проект сооружения канала от Аму-Дарьи до Мургаба.

В 1908 г. в долине Мургаба инженером И. Карк были произведены исследования долины и наносов, а также химический состав воды р. Мургаб. В том же 1908 г. комиссия по расширению хлопководства при Московском биржевом комитете организовала экспедицию в Восточные Кара-Кумы, в которой участвовал агроном А. Е. Любченко. Экспедиция эта сделала описание пути, провела нивелировки, почвенные исследования и осмотрела сухие русла Келифского Узбоя.

Разноречивые данные относительно Каракумской пустыни, полученные М. Н. Ермолаевым и экспедицией Московского биржевого комитета, побудили последний организовать в 1911 г. на частные средства новую экспедицию под руководством инженера Б. Х. Шлегеля. Последняя должна была вторично обследовать возможности отвода воды из Аму-Дарьи в Мервский и Тедженский оазисы и орошения этими водами близлежащих земель и выяснить культуры, пригодные для посева на землях, подлежащих орошению. Качество нивелировки и съемки, выполненных этой экспедицией от селения Бассага на Аму-Дарье до станции Анненково, выше, чем у предыдущих изыскателей.

По этому же маршруту агрономом Ф. И. Левченко проведены обстоятельные почвенные исследования, изучены грунтовые воды и растительность. В отчете Ф. И. Левченко (1912) подробно описан Келифский Узбой, который в 1911 г. был совершенно сух, несмотря на то, что в мае 1908 г. он был заполнен водами афганской р. Балх.

В 1912 г., на основе данных М. Н. Ермолаева о возможностях орошения в Юго-Восточных Кара-Кумах, американцем Гаммондом были организованы изыскания, в которых участвовали ирригатор Девис и агроном Мекки, а также русские инженеры и техники. Цель экспедиции Гаммонда— найти в Восточных Кара-Кумах пригодные к орошению земли площадью не менее 350 тыс. га. Материалы этих изысканий были увезены в Америку и русским специалистам мало известны.

Кроме перечисленных работ, в Восточных Кара-Кумах перед первой мировой войной и частично во время нее бывшим Отделом земельных улучшений проводились отдельные рекогносцировки и обследования, касавшиеся главным образом полосы вдоль Аму-Дарьи от Бассага до Керки. В тот же период произвел рекогносцировочный объезд вдоль Афганской границы до Мургаба инженер-агроном Д. Д. Букинич. Параллельно с гидротехническими изысканиями почвенные обследования вели агрономы Студенов и Сазонов.

В низовьях Аму-Дарьи наиболее значительные изыскания проведены в текущем столетии бывшим Отделом земельных

улучшений. В 1910—1912 гг. выполнены нивелировочные работы по Аму-Дарье от Чарджоу вниз до Аральского моря и вверх до Термеза. В низовьях Аму-Дарьи на левом берегу в 1913—1915 гг. в целях орошения проводились изыскания под руководством инженера Н. В. Мастицкого, а на правом берегу в 1913—1917 гг.—инженером-агрономом В. В. Цинзерлингом. Изучение почв проводил почвовед Н. А. Димо. Гидротехнические изыскания Н. В. Мастицкого и почвенные исследования Н. А. Димо дали полную картину этого района. Наряду с прекрасными почвенными и климатическими условиями здесь оказалась готовая сеть больших и малых сухих оросительных каналов; из них ближайшие к Аму-Дарье Сипай-Яб и Шах-Мурад охватывают площадь около 140 тыс. га.

В 1910 г. по инициативе В. Г. Глушкова была организована гидрометрическая часть Отдела земельных улучшений, публиковавшая «Отчеты гидрометрической части в Туркестанском крае» и «Бюллетени» (1912—1917 гг.). На Аму-Дарье были основаны гидрометрические пункты: в Чарджоу (1913 г.), Керки (1910 г.), Термезе (1913 г.) и др., на которых производились наблюдения над горизонтом воды, определялись расходы воды, ее химический состав, содержание наносов и т. д. Пункты эти, впоследствии преобразованные в гидрометрические станции, работают до сих пор.

В последнее время многочисленные изыскания в целях использования амударьинских вод для орошения проведены в Хорезмском оазисе, Куня-Дарьинском районе и Юго-Восточных Кара-Кумах.

Предложения по переброске амударьинских вод в Мургабский и Тедженский оазисы

Проекты использования вод Аму-Дарьи для орошения можно разделить на две группы: варианты проведения воды каналом через Каракумскую пустыню и варианты больших оросительных каналов в дельте Аму-Дарьи. Наибольшее число проектов и предложений предусматривает переброску вод Аму-Дарьи в Мургабский и Тедженский оазисы для целей орошения. Остановимся лишь на тех проектах, по которым выполнены соответствующие изыскания и на основе которых были рекомендованы те или иные конкретные предложения.

Первый по времени проект составлен в 1908 г. инженером М. Н. Ермолаевым, протрассировавшим канал от Кизыл-Аяка на Аму-Дарье до Мургаба (рис. 1). По проекту М. Н. Ермолаева намечалось использование Келифского Узбоя на протяжении 26 км с созданием там водохранилища на

200 млн. м³. Так как М. Н. Ермолаев стремился охватить каналом все земли Марыйского оазиса, то канал трассировался с малым уклоном (0,00004), чтобы пересечь р. Мургаб как можно выше. Однако, несмотря на заданные малые уклоны канала, М. Н. Ермолаев подошел к Мургабу ниже Каушут-Бента, примерно на 20 км выше гор. Мары, и не выполнил задачи по охвату проектируемым каналом всех

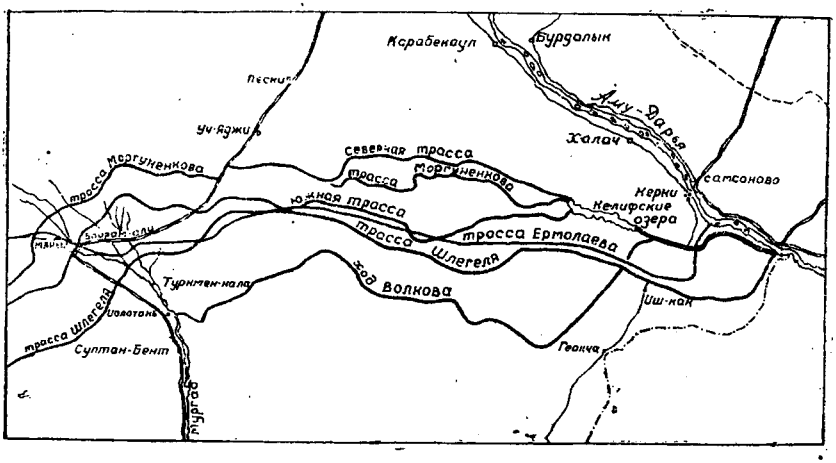


Рис. 1. Различные варианты трасс Каракумского канала.

земель Марыйского оазиса, включая и те, что к тому времени орошались. На 45-м километре от головы канал по проекту М. Н. Ермолаева покидает русло Келифского Узбоя, поворачивает на юг и проходит вдоль левого его берега по каракумской песчано-бугристой барханной степи вплоть до Марыйского оазиса. До р. Мургаб длина канала намечалась в 341 км, до Теджена—492 км. За Мургабом М. Н. Ермолаев канала специально не трассировал, а полагал сбросить воду в одно из старых русел Мургаба вдоль железной дороги, подходивших к р. Теджен в районе старой Карры-Бентской плотины.

На старом русле между Мургабом и Тедженом М. Н. Ермолаев столкнулся с большим падением местности в сторону Теджена, что вызвало необходимость запроектировать 4 перепада. Орошаемая площадь в бассейнах Мургаба и Теджена составляла по проекту 170 тыс. десятин.

Основные элементы канала по проекту М. Н. Ермолаева были следующими: расход в голове — 190 м³/сек., ширина по дну — 62 м, глубина — 2 м; расход воды между Мурга-

бом и Тедженом — 59 м³/сек., объем земляных работ — 83 млн. м³.

Заслуживает внимания проект Б. Х. Шлегеля (1912 г.), проведшего изыскания в Восточных Кара-Кумах с теми же целями, что и М. Н. Ермолаев, но более детально. В отличие от проекта М. Н. Ермолаева Б. Х. Шлегель наметил голову канала из Аму-Дарьи у кишлака Бассага.

Он наметил трассу канала до Келифского Узбоя, прорезая на протяжении 14 км высокую песчаную гряду с глубиной выемки до 12 м, и дальше до Мургаба примерно в тех же условиях, что и М. Н. Ермолаев, но несколько южнее; у р. Мургаб обе трассы сходились. Б. Х. Шлегель придал каналу уклон 0,00006. Длина канала составила до Мургаба 370 км, до Теджена, к которому Б. Х. Шлегель подошел на 45 км выше железнодорожного моста, 475 км. Ширина канала по дну в голове составляла 170 и глубина 3,4 м. Максимальный головной расход установлен в 416 м³/сек., расход при впадении в р. Теджен — 112 м³/сек. По проекту Б. Х. Шлегеля предполагалось оросить 340 тыс. десятин, в том числе 60 тыс. десятин в районе песчано-глинистой равнины (Обручевская степь), 180 тыс. десятин на Мургабе и 100 тыс. десятин на Теджене. Количество земляных работ по строительству канала было исчислено в 38 млн. куб. саженей (367 млн. м³).

Были и другие предложения по переброске амударьинских вод через Юго-Восточные Кара-Кумы, но все они выдвигались без предварительных изысканий и лишь развивали идеи М. Н. Ермолаева и Б. Х. Шлегеля, изменяя длину канала и размеры подлежащих орошению каналом площадей. Наиболее интересен из них проект Транскаспийского канала Г. К. Ризенкампфа (1921 г.). Сопоставляя итоги работы различных экспедиций, он предложил заложить голову канала у слияния рек Вахш и Пяндж с расходом из Аму-Дарьи 189 саж.³ и орошением около 2 млн. десятин земли, в том числе 300 тыс. десятин в Афганистане, 130 тыс. десятин в Кара-Кумах, все земли Мургаба, Теджена и Копет-Дага, вплоть до Атрека и Гюргена. Трасса Транскаспийского канала (рис. 2) в верхней своей части проходит на протяжении 8 км по спокойному рельефу берега Аму-Дарьи, пересекает большую р. Кундуз-Дарью, гряды прибрежных барханных песков, северные склоны холмов Афганистана и реки Хулум, Балх, Сары-пуль, Андхой и выходит к Кара-Кумам. Пройдя по Каракумской пустыне, трасса прорезает р. Мургаб выше Казыклы-Бентской плотины, а р. Теджен у Серахса. От Серахса трасса идет по склону и восточным отрогам Копет-Дага, пересекает железную дорогу у Душака, Каахка, Гяурса, Ашхабада, Кизыл-Арвата и Узун-Су, откуда одна

оросительная ветвь направляется к Гюргену, а другая, судоходная, на запад к Красноводску. Общая длина канала превышает 1500 км. Ширину по дну в голове Г. К. Ризенкампф предлагал 360 м, причем вместо обычного русла канала планировалось такое сечение, при котором основной расход воды должен был проходить между двумя параллельными земляными валами с горизонтом воды на 3,2 м выше поверхности земли. Объем земляных работ Г. К. Ризенкампф определил в 350—400 млн. м³ «...без каких-либо особо сложных и дорогих искусственных сооружений на канале».

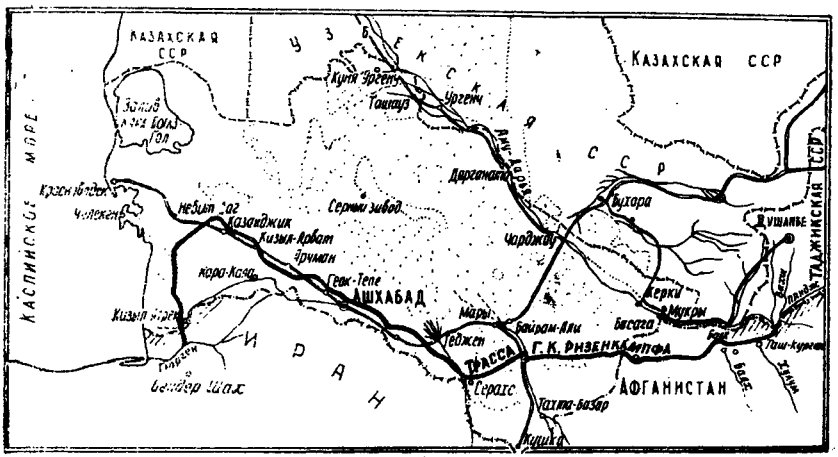


Рис. 2. Схема Транскаспийского канала Г. К. Ризенкампфа.

Несмотря на то, что предложения и выводы Г. К. Ризенкампфа о строительстве Транскаспийского канала были весьма обнадеживающими, его идея не встретила поддержки русских инженеров (Ф. П. Моргуненкова, В. В. Цинзерлинга, Волкова), считавших, что осуществить водозабор из Аму-Дарьи с расходом 189 саж.³ (2832 м³/сек.) без устройства водохранилища нельзя и орошать все земли в среднем и нижнем течениях реки не представляется возможным. Кроме того, канал шириной в 340 м с насыпными дамбами в песках и особенно на предгорных участках, где поперечный уклон весьма велик и составляет в отдельных местах 0,1—0,15, окажется практически непригодным к эксплуатации. На трассе то и дело встречаются места, где превышение одного берега над другим достигает 100 м, между тем объем земляных работ установлен автором всего 350—400 млн. м³, что ниже фактического по меньшей мере в 5 раз.

Кроме того, в случае прорыва на таком канале (большой реке, много большей Сыр-Дарьи при среднем паводке) его нельзя будет ликвидировать, не прекратив подачу воды в голове или не сбросив воду в Келифский Узбой. Ни Мургаб, ни Теджен не смогут принять такого количества воды. Прекращение же подачи воды по каналу длиной 1500 км, на заполнение емкости которого требуется свыше 6 месяцев, означает по существу срыв вегетационных поливов и гибель посевов.

Над проверкой положений Г. К. Ризенкампфа работало несколько экспедиций. Одной из них руководил опытный и энергичный инженер Волков. Результаты его изысканий не подтвердили выводов Г. К. Ризенкампфа, и после долгих поисков Волков убедился, что по заданному Г. К. Ризенкампфом маршруту местность сильно изрезана песчаными холмами, буграми, низинами и что вести канал по этому направлению невозможно.

В 1924—1926 гг. над проблемой переброски амударьинских вод работал талантливый инженер-гидротехник Ф. М. Моргуненков, под общим руководством которого проведены расширенные изыскания. Основной идеей его проектной схемы явилось использование для пропуска воды в пустыню цепи естественных понижений Келифского Узбоя, тянущихся до железной дороги Ашхабад—Ташкент.

В отличие от М. Н. Ермолаева и Б. Х. Шлегеля, Ф. П. Моргуненков, предлагая использовать русло Келифского Узбоя в качестве подводящего канала на протяжении около 200 км, считал, что воду из Аму-Дарьи с водозабором у Кизыл-Аяка можно с небольшими затратами пропустить до Учаджинского разветвления Келифского Узбоя. Он полагал, что это устраняет главную трудность—каракумские пески. От Учаджинского разветвления к Мургабу М. Н. Ермолаев выводил канал ниже гор. Мары, а от Мургаба до Теджена предлагал трассировать канал либо по варианту М. Н. Ермолаева, используя староречье Мургаба вдоль железной дороги к Карры-Бентскому узлу, либо малыми уклонами, пересекая железную дорогу, провести канал к р. Теджен примерно в ту же точку, куда пришел со своей трассой Б. Х. Шлегель.

Преимущество схемы Ф. П. Моргуненкова заключалось в том, что на значительном протяжении трасса канала проходит в громадном естественном русле Келифского Узбоя, способном принять до 1000 м³/сек. воды. Вода из этого русла никуда прорваться не может (кроме репетекского русла), так как по направлению к Келифскому Узбою с юга на север имеется общий уклон местности, а с севера выходы прикрыты барханными цепями.

В результате изысканий, проведенных под руководством Ф. П. Моргуненкова, выдвинуто и осуществлено предложение устроить из Бассага-Керкинского оросительного канала сброс части воды в Келифский Узбой с целью опытного обводнения последнего. Опыт этот дал положительные результаты. Несмотря на то, что вода подавалась по сбросу нерегулярно, она прошла по цепи озер Узбоя на много десятков километров в глубь пустыни и возродила в этом районе жизнь. Ф. П. Моргуненков был одним из инициаторов строительства этого сброса, осуществленного в 1927 г.

С 1940 г. в соответствии с постановлением правительства Союза ССР «О мерах по дальнейшему подъему сельского хозяйства и в особенности хлопка советских длинноволокнистых сортов в Туркменской ССР» Туркменская контора по водохозяйственному проектированию и изысканиям (Туркменводпроиз) организовала дальнейшие проектные разработки проблемы строительства Каракумского канала. Коллектив Туркменводпроиза (главный инженер проекта И. В. Болтенков), обобщив накопленные материалы по выбору трасс канала, предложил так называемый «Южный вариант», который и был утвержден для первой очереди Каракумского канала. Рассматривался также вариант северной трассы, предложенный в нескольких подвариантах. Основная цель «Северного варианта» заключалась в стремлении использовать под канал Келифский Узбой или целиком, или в большой степени, нежели это предусматривает проект южной трассы. По «Северному варианту» Келифский Узбой оставался преимущественно слева, то есть к югу от Каракумского канала, а в южном варианте — наоборот, справа, к северу.

Оба варианта были поставлены в одинаковые условия с использованием одних и тех же материалов, и преимущества по объемам работ и по гидротехническим условиям эксплуатации канала оказались на стороне южного варианта. Так как северная трасса выходит в дельту Мургаба и Теджена значительно ниже и ограничивает охват земель, уже имеющих оросительную сеть, то, учитывая необходимость развития новой сети, перемещения населения и т. п., предпочтение было отдано южной трассе.

Для сравнения вариантов трасс различных авторов с учетом опыта сброса воды из Бассага-Керкинского канала по Келифскому Узбою все данные предшествовавших работ обобщены и проанализированы с целью технико-экономического сравнения отдельных предложений. В табл. 1 приводятся основные результаты этого сопоставления. Из этой таблицы усматривается преимущество южной трассы, заключающихся в максимальном охвате в перспективе орошаемых

Таблица 1

Технико-экономические показатели различных вариантов трассы Каракумского канала

Наименование вариантов	Место водозабора	Длина трассы (км)		Площади нетто ниже трассы канала (тыс. га)			Объемы работ (тыс. м³)		Длина участков, высоких дамб, выше 5 м (км)
		до Мургаба	до Теджена	без мелиорации и с легкими мелиорациями	существующего орошения	возможные приросты	выемки	насыпи	
Южный	Бассага	437	607	742	91	651	80000	12800	8,0
Северный	»	444	609	672	64,5	607,5	110983	13531	12,2
Трасса М. Н. Ермолаева	Кизыл-Аяк	341	492	725	100	625	147745	26174	65,0
Трасса Ф. П. Моргуненкова	»	407	573	702	56	646	90140	20271	15,0
Трасса Ф. П. Моргуненкова	Бассага	441	608	722	68	654	81712	31513	15,0
Трасса Б. Х. Шлегеля	»	470	475	990	124	866	338000	—	—

площадей по Мургабу и Теджену, в минимальном объеме земляных работ по выемке, и особенно по насыпи, и в минимальной длине участков высоких дамб.



Рис. 3. Общая схема Каракумского канала.

В 1947 г. проектное задание первой очереди Каракумского канала, составленное Туркменводпроизом, было утверждено Советом Министров СССР, а в 1952 г. Министерством хлопководства СССР утвержден технический проект строительства первой очереди Каракумского канала Аму-Дарья—Мургаб. Одновременно с техническим проектом разработана схема перспективного развития Каракумского канала при бесплотинном водозаборе из Аму-Дарьи (рис. 3).

Народнохозяйственное значение Каракумского канала

Трудно переоценить значение Каракумского канала для развития производительных сил Туркменской ССР. Этот канал решает комплекс экономических задач: орошение и обводнение земель, водоснабжение промышленных и сельскохозяйственных районов, развитие перерабатывающей промышленности, создание водного пути и др.

В 1959 г. строительство первой очереди канала было завершено, и амударьинская вода пришла в Мургабский оазис. Это позволило уже в 1960 г. оросить 55 тыс. га новых земель в Марыйской области, где выращиваются ценнейшие тонковолокнистые сорта хлопчатника. В ближайшие годы здесь будет освоено около 100 тыс. га целинных массивов и площадь поливных земель увеличится более чем вдвое.

Мургабский оазис — богатейший климатический район Советского Союза. По богатству солнечного тепла и света он может соперничать с наиболее теплыми странами мира— Абиссинией и Египтом. Вегетационный период отличается здесь значительной продолжительностью — до восьми месяцев, а средние температуры самых теплых месяцев июня, июля и августа выше, чем в Ялте, на 5—6°. Это имеет весьма важное значение для получения высоких и устойчивых урожаев хлопка, который именно в эти месяцы проходит основные фазы своего развития.

Из тонковолокнистого хлопчатника Мургабской долины наша промышленность изготавливает лучшие хлопчатобумажные ткани. Здесь, на Мургабе, туркменскими селекционерами выведены отечественные сорта тонковолокнистого хлопка, которые значительно превосходят по качеству волокна и урожайности известные египетские сорта.

В 1961 г. в Мургабском оазисе тонковолокнистые сорта хлопчатника возделывались уже на площади 87 тыс. га. Значительно расширились посевы кукурузы и других культур. Если в 1953 г. в Мургабе было всего 100 га кукурузы, то в 1961 г. она выращивалась на 7 тыс. га, а к концу семилетки под нее будет отведено более 30 тыс. га. Как и в большинстве

районов Туркмении, в этом оазисе получают в год по два урожая зеленой массы кукурузы с початками в молочно-восковой спелости.

Каракумский канал позволяет также во много раз увеличить площади под садами и виноградниками — важными отраслями сельского хозяйства республики, развитие которых сдерживалось из-за недостатка поливной воды. На поливных землях в зоне канала закладываются крупные плантации шелковицы и полезащитные лесные полосы.

От Каракумского канала возьмут свое начало обводнительные каналы и водопроводы, которые позволят сбводнить в пустыне около 5 млн. га пастбищ. Наряду с этим в деле дальнейшего устойчивого развития животноводства важное значение приобретут участки выборочного орошения, создаваемые для выращивания кормовых культур. В результате существенно увеличатся запасы высокопродуктивных кормов, недостаток которых наносит большой ущерб животноводческим хозяйствам.

Быстрый рост производства растениеводческой и животноводческой продукции в зоне Каракумского канала будет способствовать бурному развитию промышленности Марыйской области. Семилетним планом предусматривается построить здесь хлопкоочистительные заводы, мощную тепловую электростанцию и ряд предприятий легкой промышленности. Исключительно трудным делом в песках являлась перевозка грузов. Новая судоходная водная магистраль разрешит этот вопрос. Водным путем доставляются теперь на отгонные пастбища корма и вывозится животноводческая продукция.

Опыт, накопленный при сооружении первой очереди Каракумского канала в специфических условиях пустыни, позволил в 1960 г. в рекордно-короткий срок, за семь месяцев, построить вторую очередь канала на участке Мургаб—Теджен протяженностью 140 км. Вторая очередь канала открыла возможность орошения на первом этапе 45 тыс. га новых земель, расположенных в дельте р. Теджен. За семилетие орошаемая площадь в Тедженском оазисе возрастет до 104 тыс. га, причем посевы будут надежно обеспечены водой и избавлены от тяжелых последствий часто повторяющихся маловодий р. Теджен. Производство хлопка в этом оазисе увеличится до 100 тыс. т, капитальные затраты, вложенные в строительство второй очереди канала, окупятся менее чем за три года. Что касается свободных земельных фондов, пригодных для сельскохозяйственного освоения, то они в Тедженском оазисе составляют около 500 тыс. га, из них свыше 70 тыс. га имеют ирригационную сеть и не требуют больших планировочных работ.

В 1962 г. за восемь месяцев были выполнены работы по сооружению пионерного канала третьей очереди — Теджен—Ашхабад длиной 256 км. Общая длина канала от р. Аму-Дарьи до Ашхабада составляет около 800 км. Это самый длинный оросительный канал в Советском Союзе и один из крупнейших в мире.

Водами третьей очереди канала будет орошено 30 тыс. га новых земель, и на значительной площади улучшится водообеспеченность. В Центральных Кара-Кумах будет обводнено свыше 2 млн. га пастбищ и создан водный путь от Аму-Дарьи до Ашхабада. Сооружение пионерного канала третьей очереди разрешило очень важную задачу водоснабжения г. Ашхабада.

Большое значение будет иметь третья очередь канала для Прикопетдага. Каахкинский и Геок-Тепинский районы станут крупными производителями тонковолокнистого хлопка.

В недалеком будущем амударьинская вода оросит юго-западные районы республики, где будет создана новая хлопковая база Туркменистана. В этих районах, особенно в Приатрекской их части, очень благоприятные климатические условия и для выращивания большинства субтропических культур, под которые можно будет отвести большие площади, чем в настоящее время под ними занято во всей Средней Азии. Общая площадь орошения из Каракумского канала к 1980 г. будет доведена до 600 тыс. га, что почти в полтора раза больше площади орошаемых в настоящее время в Туркменской ССР земель.

Увеличение производства сельскохозяйственной продукции послужит основой для еще более мощного развития легкой и пищевой промышленности. В зоне Каракумского канала и больших водохранилищ, созданных в связи с его строительством, возникнут рыбные хозяйства и новые районы промысловой охоты.

Кроме задач развития орошения, исключительно важное значение для бурно развивающейся там нефтяной, газовой и химической промышленности приобретает пропуск воды Аму-Дарьи в Западные Кара-Кумы.

Наряду с этим транспортное освоение канала позволит осуществить транзитное водное соединение реки Аму-Дарьи с Каспийским морем и единой глубоководной системой внутренних водных путей Европейской части СССР.

Создание Каракумского канала от Аму-Дарьи до Каспийского моря протяженностью 1445 км знаменует собой беспримерное по своим масштабам преобразование природы в необъятной пустыне на благо советского человека.

Глава II

ПЕРВАЯ ОЧЕРЕДЬ КАРАКУМСКОГО КАНАЛА

(Аму-Дарья—Мургаб)

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПРОЕКТА ПЕРВОЙ ОЧЕРЕДИ КАРАКУМСКОГО КАНАЛА

Природные условия зоны канала

Туркменская ССР занимает юго-западную часть Средней Азии между Аму-Дарьей и Каспийским морем.

Значительную часть территории Туркменистана занимает пустыня Кара-Кумы (350 тыс. км^2, или 72% общей площади республики) — крупнейшая пустыня СССР и четвертая по размерам в мире.

Рельеф района расположения трассы Каракумского канала в общих чертах равнинный, с общим понижением с юга на север и с юго-востока на северо-запад. По трассе первой очереди канала выделяется шесть характерных участков рельефа: долина Аму-Дарьи, приамударьинская барханная полоса, шоровые впадины Келифского Узбоя, песчано-глинистая равнина, песчаная пустыня Юго-Восточных Кара-Кумов, долина и дельта р. Мургаб.

Аллювиальная долина Аму-Дарьи шириной до 3 км имеет ясно выраженные пойменную и надпойменную террасы с возвышением второй над первой на 1,0—1,5 м и над меженным горизонтом Аму-Дарьи на 2,5—3,0 м. Микрорельеф обеих террас характеризуется наличием многочисленных действующих и древних протоков, а также заброшенной и современной ирригационной сети. Земли надпойменной террасы используются под поливное сельское хозяйство.

Трасса Каракумского канала, используя русло существующего Бассага-Керкинского канала, проходит по надпоймен-

ной террасе, по границе ее с барханными песками приамударьинской полосы. Средний уклон долины 0,00022.

В приамударьинскую барханную полосу канал вступает с 31-го километра трассы, резко меняя направление с запада на юго-юго-запад. Барханы и бугры эолового происхождения слабо закреплены растительностью. Трасса проходит по руслу Келифского сброса, а на спрямленных участках — по бугристым пескам.

В полосу шоровых впадин Келифского Узбоя Каракумский канал вступает с 38-го километра трассы. Цепь впадин Келифского Узбоя тянется широким и глубоким руслом в северо-западном направлении, причем впадины и озера разных очертаний и форм отделены друг от друга песчаными пересыпями, прорезающими небольшие протоки.

Цепь шоровых впадин отделяет приамударьинскую барханную полосу от песчано-глинистой равнины, поэтому литологическое сложение берегов Узбоя различно. Правый борт — это слабозакрепленные песчаные гряды и барханы, левый — сравнительно плоская равнина аллювиального происхождения, прикрытая плащом эоловых песков, всхолмленных непосредственно у Узбоя.

Песчано-глинистая равнина, в которую канал вступает со 110-го километра, представляет слабоволнистую поверхность с небольшим уклоном на запад и северо-запад, с редкими буграми незакрепленных песков, солончаков и такыров. В конце песчано-глинистой равнины со 160-го километра слабоволнистая поверхность постепенно переходит в мелкокотловинную с разностью высоких и низких отметок рельефа в пределах 5—6 м.

Участок песчаной пустыни от 185-го до 307-го километра трассы по рельефным условиям наиболее трудный. Здесь рельеф сильно и резко расчленен и имеет характер в начале бугристо-котловинный, переходящий затем в бугристо-грядовый. Высота барханов на этом участке достигает 25 м. Общее направление уклона отмечается с юго-востока, от предгорий Карабиля, на северо-запад и север.

С 307-го километра трасса входит в область долин и дельты Мургаба. До 339-го километра аллювиально-дельтовые отложения прикрыты плащом песчаных эоловых отложений, имеющих мелкогрядовый ячеистый рельеф. От 339-го километра мургабская дельта представляет плоско-выпуклый конус с вершиной вблизи города Иолотани и широким основанием, расходящийся в стороны на северо-восток и запад-северо-запад. Микрорельеф дельты характеризуется наличием действующих и заброшенных оросительных каналов, вносящих волнистость в продольный профиль трассы.

Климат. Району расположения трассы Каракумского канала характерны все основные черты континентального и сухого климата: жаркое лето, суровая для данных широт зима, небольшое количество осадков, сухость воздуха и малая облачность. Максимальная температура в тени 47—49°, на солнце же температура достигает 75—80°. В зимнее время масса холодного воздуха, не встречая существенных преград, свободно проникает в Туркменистан из северных областей СССР. Поэтому в отдельные годы морозы на трассе канала доходят до 24°.

В табл. 2 приведены данные наблюдений температуры воздуха на ближайших метеорологических станциях.

Таблица 2

Температура воздуха в зоне первой очереди Каракумского канала

Месяц	Среднемесячная температура за многолетний период			
	Керки	Репетек	Байрам-Али	Уч-Аджи
I	2,1	0,4	0,6	0,9
II	5,4	4,0	3,9	4,0
III	11,1	9,8	9,8	9,7
IV	17,6	17,1	17,0	17,8
V	24,5	23,9	23,2	24,1
VI	28,3	29,7	28,2	30,4
VII	30,0	32,2	30,0	32,6
VIII	28,0	29,5	28,1	29,4
IX	22,5	23,0	22,3	21,0
X	16,0	15,2	15,0	15,1
XI	10,0	8,2	8,5	8,1
XII	5,1	3,3	3,6	2,7
Среднее	16,7	16,4	15,8	16,4

Обилие тепла и света в соответствующие периоды года, обусловленное географическим положением территории, составляет одно из ценных достоинств климата зоны влияния Каракумского канала.

Большое значение для развития сельского хозяйства и особенно хлопководства в районах, подкомандных Каракумскому каналу, имеет то обстоятельство, что число безморозных дней составляет в среднем 210, что превышает число безморозных дней в Ферганской долине и в других хлопковых районах СССР. По многолетним данным в зоне канала первые осенние заморозки начинаются в среднем 18—25 октября,

а последние весенние заморозки заканчиваются 18—25 марта. В отдельные годы продолжительность безморозного периода достигает 297 дней. Сумма температур вегетационного периода в среднем равна 4000—5000°.

Так как для различных сортов хлопчатника необходимая сумма температур за вегетационный период лежит в пределах всего 3200—4000°, то по климатическим условиям район Каракумского канала — наиболее подходящая зона для выращивания ценных сортов советского тонковолокнистого хлопка.

Годовое количество осадков колеблется здесь в пределах 100—170 мм. Число дней с осадками в Керки 42, в Мары — 36, в Иолотани — 45. Наибольшее количество осадков выпадает зимой и осенью. Влажность воздуха весьма низка, относительная средняя годовая влажность в Байрам-Али 45%, в Уч-Аджи — 50%, в Репетеке — 37% и в Керки — 51%. Испарение с водной поверхности колеблется в пределах 2000—3000 мм/год с максимумом в июле 400—500 мм.

Преобладающими являются ветры северо-западного направления в зимнее время и юго-восточного в летнее. Во время ветра гребни песчаных барханов «дымятся». При большой скорости ветра поднимается песчаная буря, масса песка взлетает высоко в воздух и, постепенно падая, сменяется новыми песчаными тучами. Сумма скоростей ветра более 5 м/сек. колеблется в пределах: зимой 500 и летом 1000.

Ввиду непостоянства направления ветров в пустыне Кара-Кумы передвижение барханов в зоне канала совершается сравнительно медленно: за год бархан может передвинуться на 20—30 м, и очень редко это передвижение бывает более быстрым.

Почвы. Зона Каракумского канала охватывает почвы юго-восточной группы районов Туркменской ССР, включающей бассейны рек Мургаба, Теджена и среднее течение Аму-Дарьи (Чарджоуская область).

В Мургабском оазисе почвы сложены аллювиальными и ирригационными наносами, чередующимися местами с грядовыми и бугристыми песками. Основными почвами Мургабского бассейна, используемыми в земледелии, являются культурно-поливные. Характерным признаком последних является однообразная серая окраска, распространяющаяся на глубину 1—2 м и обусловленная агроирригационными наносами. Культурно-поливные почвы—главный земельный фонд Мургабского оазиса. В небольших размерах осваиваются также луговые и такыровидные почвы.

Почвы долины и дельты Теджена сформированы из суглинистых и супесчаных аллювиальных отложений, а в некоторых местах — из древних коренных пород.

Культурные земли среднего течения Аму-Дарьи расположены в основном на левобережье. Земледелие ведется здесь на культурно-поливных и лугово-орошаемых почвах. Пойма реки занята молодыми аллювиально-луговыми (тугайными) и болотными почвами. В долине Аму-Дарьи большую площадь занимают земли вторичного засоления.

Помимо площадей современного орошения, в зоне влияния Каракумского канала может быт введено в сельскохозяйственный оборот дополнительно до 500 тыс. га целинных земель.

Наиболее крупные земельные массивы, возможные под орошение из Каракумского канала, расположены в долинах рек Мургаба и Теджена. По климатическим и почвенным условиям эти земли наиболее благоприятны для хлопководства.

Водные ресурсы. В районе Каракумского канала протекают Аму-Дарья, Мургаб и Теджен.

Аму-Дарья — самая многоводная артерия Средней Азии. Река протекает вдоль восточной границы Туркменской ССР на протяжении 600 км. Она берет начало в ледниках Гиндукуша, у перевала Бахджир, на высоте около 5000 м над ур. м. Истоком ее служит небольшая горная речка Вахджир (в нижнем течении — Вахан-Дарья), которая, соединившись с реками Памир, Гунт, Мургаб и Ванч, образует р. Пяндж. После выхода на равнину Пяндж принимает воды р. Вахш и получает название Аму-Дарья. Вахш с Пянджем дают 80% общего стока реки. Более 1000 км Аму-Дарья протекает по горным ущельям и теснинам, имея в этой части течения падение в среднем 5,75 м на 1 км.

На всем остальном протяжении русло Аму-Дарьи сложено легкими грунтами новейшего аллювиального образования со средним падением 0,28 м на 1 км. Характерные признаки реки — неустойчивость русла и большая мутность потока. Русло Аму-Дарьи непрерывно деформируется и блуждает в пределах поймы, при этом чаще наблюдается размыв правого берега и намыв левого. Среднее насыщение взвешенных и донных наносов превышает 0,45% по объему; наивысший предел насыщения приходится на апрель. По насыщенности наносами Аму-Дарья в 2—3 раза превышает известную своей мутностью р. Нил. Среднегодовой сток наносов составляет у гор. Керки 200 млн. т, у гор. Нукуса — 120 млн. т.

Наносы Аму-Дарьи содержат фосфорную кислоту, калий и много извести. При орошении амударьинской водой в течение года на один гектар почвы поступает из воды 1720 кг извести, 491 кг калия и 44 г фосфорной кислоты. Таким образом, амударьинская вода не только орошает, но и удобряет почву.

Неустойчивость речного русла создает серьезные затруд-

нения в эксплуатации ирригационных систем. Размыв береговой полосы приводит к нарушению головного водозабора, разрушению каналов, уносу сооружений и жилых построек, а намыв отмелей оставляет каналы без воды. В обоих случаях для поддержания ирригации требуются большие регулировочные работы.

Гидрологический режим Аму-Дарьи относится к смешанному типу ледниково-снегового питания и близок к оросительным потребностям хлопчатника и других летних культур.

Распределение стока воды по сезонам (в % от годового стока) по Керкинскому гидропосту характеризуется следующим образом: зима (декабрь—февраль)—10%, весна (март—май) — 39%, лето (июнь—август) — 33%, осень (сентябрь—ноябрь) — 18%.

Аму-Дарья имеет два паводка: весенний — апрельский и летний—июльский. Первый возникает в результате таяния снегов в предгорьях Памира, а второй связан с таянием ледников.

Сток Аму-Дарьи характерен значительными колебаниями расходов. Самые низкие расходы наблюдаются в декабре—январе и составляют 600—1700 м³/сек. Наивысший расход приходится на июль. Максимальный июльский расход зарегистрирован в 1926 г. (11000 м³/сек.). Среднегодовые расходы колеблются от 2000 м³/сек. у Керки до 1560 м³/сек. у Нукуса.

Аму-Дарья бесполезно сбрасывает большую часть воды в Аральское море (в среднем около 42 км³); из ее общих ресурсов на орошение используется не более 20%. Отделённые от западных и юго-западных районов мощной полосой песчаной пустыни воды Аму-Дарьи фактически не использовались для ирригационных целей в этих маловодных районах, особенно нуждающихся в орошении.

Река Мургаб берет начало на северных склонах Паропамиза; из общего ее протяжения в 852 км на территорию Туркменистана приходится 350 км. Мургаб относится к рекам снегового питания при небольшом участии родникового. На территории СССР Мургаб принимает два притока — Кашан в районе Тахта-Базара и Кушку у селения Таш-Кепри.

Среднемноголетний расход р. Мургаб 51 м³/сек, при годовом стоке 1600 млн. м³. Максимальные расходы обычно бывают в апреле и мае, минимальные — в августе и сентябре. В особо многоводные годы паводковые расходы достигают 400 м³/сек., при минимальных около 15 м³/сек. Средний паводковый расход — 200 м³/сек.

В отличие от Аму-Дарьи режим водоносности р. Мургаб не соответствует оросительным потребностям сельскохозяйственных культур: хлопчатника, люцерны и др. Распределе-

ние стока по сезонам (по Тахта-Базарскому гидропосту) составляет: зима (декабрь—февраль) — 15% от годового стока, весна (март—май) — 46%, лето (июнь—август) — 23%, осень (сентябрь—ноябрь) — 16%. Для регулирования стока на Мургабе построено 5 водохранилищ, общая емкость которых в настоящее время составляет 400 млн. м³. Воды Мургаба отлагают в водохранилища в год около 6 млн. м³ наносов, при этом наименьшая мутность наблюдается в сентябре—январе и наибольшая — в апреле—мае.

Река Теджен берет начало в горном хребте Сефид-Кух в Афганистане. В верхнем и среднем течении она носит название Гери-Руд. После принятия у Пуль-и-Хатума левого притока Кешеф-Руд, река получает название Теджен. За пределами Советского Союза Теджен орошает до 100 тыс. га в долине Герата — важнейшем оазисе Афганистана. Длина реки 1124 км. Одна треть ее находится на территории Туркменистана. На территории ТССР Теджен орошает земли Серахского, Тедженского и Кировского районов. Так же, как у р. Мургаб, воды Теджена полностью разбираются на орошение, и только в период больших паводков вода сбрасывается в пустыню по староречьям. Обычно поступление воды по р. Теджен начинается в ноябре—декабре, при этом до марта расходы нарастают медленно. В марте—апреле, реже в мае, наблюдается непродолжительный паводок снегового происхождения, после которого сток резко падает и к июлю полностью прекращается.

Устойчивое орошение и возделывание хлопчатника на р. Теджен стали возможными после постройки в 1950 г. первого Тедженского водохранилища. В настоящее время закончено строительство еще двух водохранилищ — второго Тедженского и Хор-Хорского.

Общая схема канала

В первоначальной общей схеме Каракумского канала при бесплотинном водозаборе из Аму-Дарьи предусмотрены три очереди строительства: первая—до Мургаба, вторая—до Теджена и третья — подача воды в Копетдагские районы до станции Арчман. Для регулирования свободного стока схема предусматривала строительство трех водохранилищ на канале: Захметского, Тедженского и Копет-Дагского. Основные показатели канала приводятся в табл. 3.

Размер водозабора третьей очереди (350 м³/сек.) считался предельным для бесплотинного водозабора.

В настоящее время проектный институт Туркменгипроводхоз пересматривает общую схему Каракумского канала: ме-

Таблица 3

Основные показатели первоначальной схемы Каракумского канала

Очередь строительства	Протяженность канала (км)	Головной водозабор ($м^3$/сек.)	Орошаемая площадь (тыс. га)
Первая	396	130	107
Вторая	532	250	302
Третья	930	350	450

няется местоположение водохранилищ, перераспределяются площади орошаемых земель по очередям с учетом того, что Каракумский канал при полном завершении (1445 км) будет орошать всю южную часть республики — долины Мургаба и Теджена, предгорья Копет-Дага, долину Атрека и промышленные районы Западного Туркменистана.

Решение этой задачи предусматривается выполнить путем продолжения Каракумского канала от Ашхабада до Казанджика. Далее от Казанджика намечаются две ветви: северная — к орошаемым землям Больших Балхан и к промышленным городам Западного Туркменистана и южная — к районам субтропиков в долине Атрека и к предгорьям западного склона Копет-Дага. Осуществление работ по новой схеме создаст возможность орошать из Каракумского канала 600 тыс. га, то есть почти в полтора раза больше, чем орошается в настоящее время на территории Туркменской ССР.

Из общего количества земель, пригодных к сельскохозяйственному освоению в зоне влияния Каракумского канала, 2240 тыс. га, использовалось под орошение 70 тыс. га, или около 3%. Столь незначительное использование земельного фонда объясняется крайне неравномерным распределением водных ресурсов, что видно из данных среднемноголетнего стока воды (млн. $м^3$) по основным рекам республики (табл. 4).

Водные ресурсы Аму-Дарьи в 20 раз превышают ресурсы всех водных источников, находящихся на территории Туркменистана, основные же земельные фонды, пригодные к сельскохозяйственному освоению, находятся в бассейнах рек Мургаба, Теджена и в предгорной равнине Копет-Дага.

Следует отметить, что водосборные площади рек Мургаба и Теджена находятся в Иране и Афганистане, и при дальнейшем развитии орошения в этих странах может сократиться количество воды, поступающей по этим рекам. Поэтому переброска амударьинской воды по Каракумскому каналу в маловодные районы республики является важнейшей задачей дальнейшего развития орошения в Туркменистане.

Таблица 4

Основные водные источники в зоне Каракумского канала

Наименование источников	Среднемноголетний сток (млн. м³)	В процентах от суммарного стока всех источников (68220 млн. м³)
Аму-Дарья	65000	95,3
Мургаб	1600	2,3
Теджен	700	1,0
Другие речки и источники	920	1,4
Всего	68220	100,0

Характеристика трассы канала первой очереди

Каракумский канал берет начало на левом берегу Аму-Дарьи у селения Бассага, против железнодорожной станции Мукры (рис. 4).

Общая длина канала от Аму-Дарьи до р. Мургаб 396 км, из них 250 км проходят по безводной песчаной пустыне Юго-Восточных Кара-Кумов. Сложность проектирования и строительства Каракумского канала заключалась в преодолении трудностей этого участка трассы с его холмистым рельефом и тяжелыми инженерно-геологическими, гидрогеологическими и климатическими условиями. При проектировании канала на этом участке необходимо было решить ряд сложных задач: выбор направления трассы, расчет фильтрационных потерь, защита канала от ветроэрозии, организация строительства, метод производства строительных работ и т. д.

Головной водозабор в канал осуществляется двумя подводящими каналами, соединяющимися у головного сооружения.

В головах подводящих каналов для уменьшения поступления наносов из Аму-Дарьи в канал запроектирована установка струенаправляющих систем М. В. Потапова, разработанная Всесоюзным научно-исследовательским институтом гидротехники и мелиорации (ВНИИГиМ).

Кроме подводящих каналов, запроектирован третий — судоходный со шлюзом.

Основным недостатком такого водозабора является небольшое расстояние между подводящими каналами (400 м), что при отходе стержня реки угрожает одновременно обеим головам и не обеспечивает площади, необходимой для складирования наносов, удаляемых при механизированной очистке. В связи с этим в процессе строительства исключен сред-

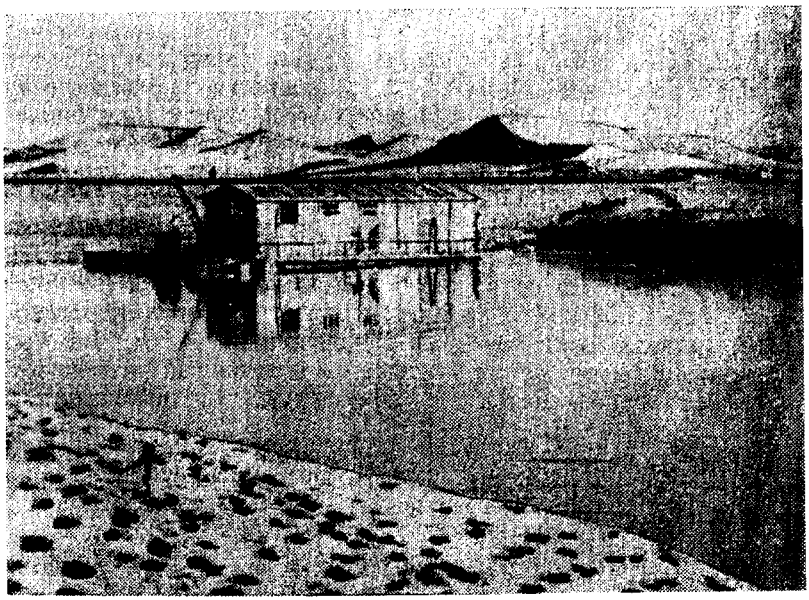


Рис. 4. Здесь берет начало Каракумский канал.

ний подводящий канал и фронт водозабора увеличен до 800 м. Кроме того, отсутствие в составе водозаборного узла сбросного канала не позволяет регулировать мутность в подводящих каналах и производить в них гидравлическую промывку наносов. В проекте же принята следующая схема управления наносами, поступающими в систему из реки. В подводящих каналах выпадает часть наиболее крупных наносов, очистка которых производится механическим путем — электроземлесосами. Основная масса наносов транспортируется по каналу до Келифского Узбоя, где запроектирован отстойник озерного типа. Общий объем наносов, поступающих в систему за год, 8300 тыс. м^3, из них в подводящих каналах осаждается 1700 тыс. м^3.

От головного сооружения трасса Каракумского канала предусмотрена с использованием русла магистрального Бассага-Керкинского канала на протяжении 30 км и далее русла Келифского сброса. На озерном участке канал протрассирован по шоровым впадинам и протокам Келифского Узбоя, при этом цепь озер используется в качестве естественного от-

стойника. Большое озеро создается за счет обвалования шоров Келифского Узбоя.

Наиболее высокие участки дамб предусматривалось крепить каменной отмосткой на слое гравия. В начале озерной части канала техническим проектом предусматривалось строительство перепада и судоходного шлюза. Необходимость устройства перепада диктовалась наличием значительных естественных уклонов в начальной части озерного участка, которые без устройства перепада привели бы к размыву канала выше озер и снижению командного горизонта в районе водозаборного сооружения Бассага-Керкинской системы. Ниже перепада для создания условий судоходства предусмотрены прорези между озерами общей длиной 14 км. При проектировании сооружения учитывался возможный размыв русла ниже перепада вследствие допущенных в прорезях размывающих скоростей.

В процессе рабочего проектирования в технический проект озерного участка внесены значительные изменения, вызванные рядом соображений, главные из которых следующие.

1. С целью ускорения строительства канала крайне желательно было уменьшить объем тяжелых работ по устройству дамб обвалования озера. Так как на первые 10—15 лет эксплуатации канала не требуется столь значительной емкости озер для складирования наносов, было сочтено целесообразным отключить наиболее крупное из них — Караметниязское, с наибольшим объемом дамб обвалования (1800 тыс. м^3), наибольшей их высотой и наиболее трудными условиями их возведения (сыпучие пески, бездорожье). Топографические условия для отключения озера Карамет-Нияз оказались благоприятными. При этом улучшились условия эксплуатации и уменьшились потери на фильтрацию и испарение.

2. В процессе строительства канала возникли серьезные трудности при разработке прорезей ниже перепада в условиях тяжелых грунтов, сплошь поросших кустарником и камышом. Отсутствие соответствующих машин сделало устройство прорезей дорогостоящим и почти невозможным делом, если учесть к тому же сжатые сроки строительства.

3. Крепление дамб усложнялось трудностью доставки к месту работ материалов и необходимостью одновременного возведения дамб, так как горизонты в озере должны были расти по мере строительства дамб.

Эти соображения привели к необходимости отключить из озерной части канала шор Карамет-Нияз и обойти его каналом, что дало уменьшение объема земляных работ, так как отключились наиболее высокие дамбы и заменить каменное

крепление дамб выположенными откосами с выполнением их способом гидромеханизации.

При выходе из озер канал вступает в песчаную пустыню и проходит по песчано-глинистой равнине со сравнительно спокойным рельефом. Грунты песчаные и супесчаные с прослоями глин и суглинков. Грунтовые воды сильно минерализованы и залегают на глубине 16—18 м.

В конце песчано-глинистой равнины со 160-го километра слабоволнистая поверхность постепенно переходит в мелкокотловинную; со 170-го километра амплитуда форм рельефа увеличивается до 5—6 м, а со 180-го — трасса пролегает в наиболее тяжелых рельефных условиях пустыни (рис. 5).

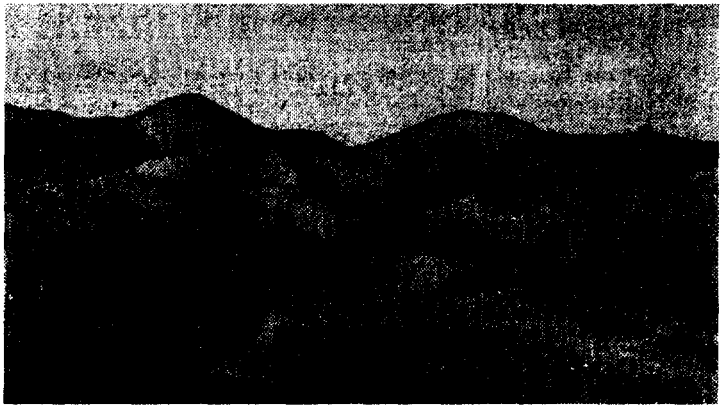


Рис. 5. Юго-Восточные Кара-Кумы. Здесь прошла трасса канала.

Рельеф здесь сильно и резко расчленен, имеет бугристо-котловинный и бугристо-грядовый характер. Разность отметок 25 м и более. Выемки достигают 17, а насыпи 10 м.

Для сокращения объема земляных работ и уменьшения высоты насыпей при трассировании канала использованы естественные лощины, котловины и ямы, вследствие чего канал представляет собой чередование разливов и озер с искусственными прорезями. Некоторые разливы имеют площадь несколько квадратных километров. Дамбы обвалования, как правило, находятся в стороне от канала, проходя по наиболее повышенным точкам рельефа и ограничивая разливы.

У 301-го километра трасса канала вступает в рав-

Таблица 5

Характеристика физических свойств грунтов по трассе первой очереди Каракумского канала

Участок канала	Преобладающий грунт на участке в зоне прохождения канала	Физические показатели							
		Удельный вес (тыс. м³)	Объемный вес (тыс. м³)		Пористость (%)		Угол естественного откоса (градусы)		Угол внутреннего трения (градусы)
			в естественном состоянии	в уплотненном состоянии	в естественном состоянии	в уплотненном состоянии	под водой	сухой	
I участок (7—110 км)	Супесь легкая	2,20	1,47	1,57	45,6	44,0	32,0	—	—
Использованные русла Бассага-Керкинского канала	Супесь тяжелая	2,68	1,55	1,64	44,0	42,2	—	—	—
	Песок мелкозернистый	2,65	1,55	1,66	41,5	37,5	32,0	—	—
Келифский сброс	Песок очень мелкозернистый	2,70	1,50	1,65	44,5	30,0	26,0	33,3	—
Шоровые понижения Келифского Узбоя	Песок тонкозернистый	2,70	1,52	1,65	43,8	39,0	—	—	—
	Песок очень мелкозернистый	2,65	1,50	1,65	43,5	38,0	—	—	—
	Песок мелко- тонкозернистый	2,65	1,52	1,65	42,8	33,0	—	—	—
II участок (110—192 км)	Мелко- и тонкозернистые пески	2,71	1,52	1,66	44,0	39,0	25,0	33,3	25,3
Песчано-глинистая равнина	Лёссовидная пылеватая супесь	2,65	1,47	1,60	44,6	39,7	24,0	32,0	—
	Песок тонкозернистый пылеватый	2,70	1,52	1,65	43,8	38,8	27,8	34,5	—
III участок (192—307 км)	Пески тонкозернистые (сред. водохранилища)	2,70	1,50	1,63	44,5	39,8	24,5	32,8	—
Песчаная пустыня с резко выраженным рельефом	Пески тонкозернистые	2,70	1,56	1,66	44,2	38,6	24,0	33,0	—
	Супесь пылеватая	2,68	1,47	1,60	45,2	40,4	26,0	33,5	29,0
	Пески мелко- и тонкозернистые	2,71	1,55	1,65	43,0	39,5	24,0	33,0	—
IV участок (307—391 км)	Пески тонкозернистые	2,70	1,53	1,63	43,4	39,8	25,7	32,0	—
Плоская равнина дельты р. Мургаба	Супесь легкая	2,66	1,50	1,57	44,5	42,0	26,0	32,0	25,5
	Легкие суглинки	2,65	1,47	1,57	44,5	40,8	28,0	35,0	10,2
	Пылеватая супесь	2,70	1,50	1,60	44,5	40,8	24,7	32,0	—
	Легкий суглинок	2,65	1,48	1,58	45,4	41,4	—	—	13,5

нину древней дельты р. Мургаб, пересекая на 313-м километре у станции Захмет Ашхабадскую железную дорогу.

С 350-го километра вода из канала забирается на орошение. На 391-м километре в 4 км от гор. Мары канал включается в р. Мургаб. Трасса на этом участке проходит в аллювиальных отложениях древней дельты, представленных в основном супесями и суглинками.

Характеристика грунтов по отдельным участкам трассы первой очереди канала приведена в табл. 5.

Проведенные по трассе канала гидрогеологические исследования позволили выделить шесть гидрогеологических районов, отличающихся друг от друга глубиной подземных вод, степенью их минерализации и коэффициентом фильтрации водоносных пород. Результаты этих исследований сведены в табл. 6.

Таблица 6

Гидрогеологическая характеристика трассы канала

Наименование гидрогеологического района	Характеристика грунтов водоносной толщи	Глубина подземных вод (м)	Минерализация грунтовых вод (г/л)	Коэффициент фильтрации (м/сут.)
Первый район—Приамударьинская полоса	Серые аллювиальные пески с редкими и маломощными линзами супесей и глин	3—5	1,4	10—30
Второй район—Келифский Узбой	Серые и желтые аллювиальные пески с прослоями глин	0—4	10,0	10—16
Третий район — Обручевская степь и переходный к песчаной пустыне участок	Сильно пылеватые супеси и пылеватые пески	11—21	25—40	0,5—1,0
Четвертый район — песчаная пустыня до Кара-Беленда	Пылеватая супесь и пески	16—31	13	1,5—2,0
Пятый район—Бугристог, ядовые пески	Пески с прослоями глин	20—36	2—10	0,5—3,0
Шестой район — Мургабская дельта	Супеси, глины, пылеватые супеси	15 - 30	10—39	0,2—1,0

Режим работы канала, фильтрационные потери и гидравлические расчеты

Учитывая специфические условия прохождения трассы в каракумских песках, в проекте предусматривается круглогодичный режим работы канала. Это обеспечивает судоходство и устраняет необходимость сработки огромной емкости канала (370 млн. м³), неизбежной при перерыве в его работе (заполнение этой емкости в период нарастания расхода потребовало бы дополнительного водозабора, особенно сложного при низких горизонтах воды в реке).

Кроме того, в фильтрационном отношении полное осушение канала нежелательно, так как в песчаной пустыне будут происходить увеличенные потери в период заполнения канала и ухудшится устойчивость его берегов. Постоянный пропуск воды положительно скажется на устойчивости откосов канала, ремонт которых является трудным и дорогостоящим мероприятием.

Фильтрационные расчеты. Так как канал проходит на значительной длине по песчаной пустыне с глубоким залеганием грунтовых вод, расчеты потерь на фильтрацию имели решающее значение и им в проекте уделено большое внимание.

Расчетные формулы, обычно используемые при проектировании для вычисления фильтрационных потерь из каналов, относятся, главным образом, к так называемому установившемуся режиму работы канала и фильтрации из него. Для Каракумского канала с его специфическими гидрогеологическими условиями такой расчет нельзя было применить, так как установившийся режим будет в нем иметь место лишь спустя ряд лет.

На участке канала в безводной песчаной пустыне протяженностью свыше 250 км фильтрационные потери и режим грунтовых вод взаимодействуют. На определенной стадии на фильтрацию оказывают влияние растительность, поселяющаяся около канала, а также условия рельефа, увеличивающие фильтрацию за счет испарения грунтового потока в низинах и транспирации зеленой растительностью.

Необходимо было прежде всего выяснить ход фильтрационных потерь во времени. В связи с этим фильтрация из канала рассматривалась как динамический процесс, развивающийся в сложных, неоднородных и изменяющихся гидрогеологических условиях, и в зависимости от этих условий, а также от размеров и форм канала вся трасса канала была разделена на 10 фильтрационных участков.

На участке песчаной пустыни основным методом расчета потерь был метод непосредственного графоаналитического

численного интегрирования дифференциальных уравнений в конечных разностях, разработанный д-ром с.-х. наук А. Т. Морозовым (1952).

В общей схеме метода А. Т. Морозова процесс фильтрации рассматривается для трех стадий:

1. Начальная.
2. Собственно неустановившийся режим фильтрации.
3. Установившийся режим фильтрации.

Стадия начальной фильтрации из Каракумского канала будет продолжаться от момента пуска воды в канал до момента подъема грунтовых вод вблизи канала. На этой стадии будут насыщаться водой сухие песчаные грунты, в которых проложен канал. Стадия закончится, когда поднимающиеся около канала грунтовые воды начнут снижать фильтрационные потери из него.

Схема фильтрации в 1-й стадии показана на рис. 6а. (Цифры I и II на чертеже относятся к объемам грунта, насыщенным водой в первые и вторые сутки с начала фильтрации).

На второй стадии собственно неустановившейся фильтрации, следующей за первой, будет оформляться фильтрационный поток, питающийся фильтрационными потерями из канала и взаимодействующий с бытовым грунтовым потоком (или бассейном грунтовых вод). По мере изменения расходов фильтрационного потока и поднятия соответствующей ему депрессионной кривой будут изменяться потери из канала. Начало второй стадии схематично показано на рис. 6б.

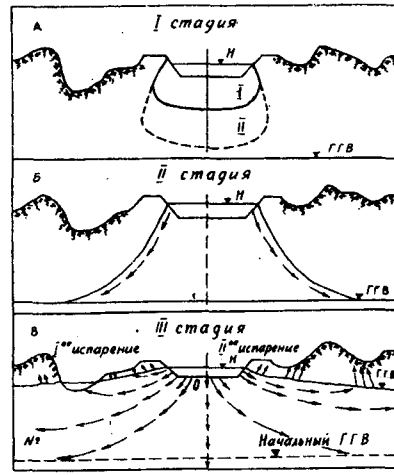


Рис. 6. Расчетная схема потерь на фильтрацию по методу А. Т. Морозова.

Зона растекания фильтрационных вод вначале очень ограничена и близка к зоне насыщения грунта за первую стадию. Третья стадия установившегося режима фильтрации будет иметь место, когда депрессионная кривая стабилизируется, если при этом станут стабильными другие условия фильтрации, а именно: 1) заиленность ложа канала; 2) сработка грунтовых вод около канала за счет: а) испарения с мест выхода грунтовых вод в пони-

жения рельефа (на рис. 6в испарение I), б) транспирации растениями, использующими грунтовые воды (на рис. 6в зоны транспирации показаны как испарение II).

Третья стадия выделяется в значительной степени условно, так как из-за сезонных колебаний условий фильтрации установившийся режим не может быть осуществлен полностью; так, летом, когда испарение достигает максимума, грунтовые воды должны снижаться, уклоны их увеличиваться и потери расти и т.д. Кроме того, процессы заиления канала будут длительными (будут продолжаться многие годы), обусловливая в свою очередь изменение депрессионных кривых, потерь на фильтрацию и т. д.

Однако, выделяя третью стадию, практически можно пренебречь указанными изменениями или колебаниями потерь.

При установившемся режиме фильтрационные потери в конечном итоге идут на испарение и транспирацию со всей широкой полосы с высоко поднявшимися водами и частично на питание бытового потока грунтовых вод. Таким образом, в последней стадии потери на фильтрацию, с одной стороны, и расходы на испарение и транспирацию с зеркала грунтовых вод, с другой, уравновешиваются.

Однако эта стадия может наступить только через несколько десятилетий, поэтому в проекте расчет произведен для периода в 2—4 года (для разных участков канала) с момента пуска воды. К концу этого периода изменения в положении депрессионной кривой становятся сравнительно малозаметными.

В основу расчета фильтрационных потерь из Каракумского канала была положена модель фильтрации с подпором, связывающая фильтрацию с режимом оттока грунтовых вод. А. Т. Морозовым были применены уравнения неустановившегося движения, связывающие изменения расхода вдоль потока со скоростью подъема уровня грунтовых вод (расчеты были произведены с помощью гидромеханических сеток, строящихся для отдельных моментов периода фильтрации, включая начальный с соблюдением условия ортогональности сетки в пределах однородной среды. Вообще же грунт принимается неоднородным, а на границах участков с разными коэффициентами фильтрации соблюдается условие равенства расходов. Задача решалась как плоская).

В соответствии с фильтрационными свойствами грунтов канал на протяжении 207 км, считая от Келифского водохранилища (здесь канал проходит в условиях, наиболее тяжелых по условиям фильтрации), разбит на 4 участка. Для каждого из них принята меняющаяся по вертикали величина коэффициента фильтрации, наименьшее значение которого

определено в 0,026 м/сут., а наибольшее в 4 м/сут. В расчет введена толща грунта различной водопроницаемости до глубины 150—200 м от поверхности.

В проекте рассчитано то положение депрессионной линии, которое она займет по прошествии 1,2 и т. д. дней до 750—1500 суток с момента пуска воды на участок. Для этих же периодов вычислен размер потерь, равных, например, для IV участка по истечении одного дня 141 м³/сек., а по истечении 1500 дней 14,2 м³/сек. Таким образом, коэффициент полезного действия канала на протяжении 207 км составит через один год 0,07, через два года — 0,38, через четыре года — 0,46, через семь лет — 0,54, через 40—60 лет — 0,76.

Заиление, если оно сильное, может уменьшить потери до 25%; слабое и среднее заиление уменьшает потери лишь на 1,5—2,5%. Испарение с зеркала фильтрационного потока влияет на размер потерь в обратную сторону, увеличивая их на 2—3% к концу 3—5 года работы канала.

По проекту потери из Келифского водохранилища на фильтрацию составляют на погонный километр длины: 0,233 м³/сек. в первый год и 0,086 м³/сек. в четвертый год. Измеренные в 1941 г. потери из Келифского Узбоя по удельной величине равны потерям, предположенным на второй год работы водохранилища.

Фильтрационные расчеты по методу А. Т. Морозова дали возможность определить динамику фильтрационных потерь во времени и изменение гидрогеологических условий полосы вдоль канала. Кроме того, в проекте сделаны проверочные расчеты по формулам С. Ф. Аверьянова (1950), исходившего из тех же принципиальных установок, что и А. Т. Морозов. Проверка по этим расчетам показала довольно хорошую сходимость результатов.

По другим участкам канала, где имела место установившаяся фильтрация, применялись формулы В. В. Ведерникова (1939) для двусторонней подпорной фильтрации. На участках трассы, проходящих по существующим водотокам, использованы данные фактических потерь.

Общая величина потерь на фильтрацию составляет 37,6 м³/сек., или 29% от головного водозабора. Величина потерь на испарение принята, исходя из годовой нормы, равной 2200 мм, а максимальная месячная — 400 мм.

Общая площадь зеркала воды по Каракумскому каналу 117,0 км², в том числе по озерам Келифского Узбоя 82,0 км². Общая сумма испарения по каналу в летний период 17,5 м³/сек., в том числе по Келифским озерам 12,2 м³/сек.

Общая величина потерь на фильтрацию и испарение по ка-

налу 55,16 м³/сек., (максимум) при водозаборе 130 м³/сек. и 41,5 м³/сек. (минимум) при водозаборе 65 м³/сек.

Точность произведенных в проекте расчетов по потерям оценивается в 10%.

В табл. 7 приведены общие потери в целом по каналу первой очереди.

Гидравлические расчеты. В силу различных топографических условий прохождения трассы и проектных мероприятий гидравлические условия работы канала в отдельных местах резко различны. Естественные разливы и озера обусловливают ненормальный режим работы канала, а на некоторых участках из-за допущенных размывов русла или заиления — неустановившийся режим.

Участок от Аму-Дарьи до озерной части нагружен наносами, поэтому гидравлические элементы приняты из условия транспортирующей способности потока с расчетом осаждения наносов в Келифских озерах. Уклон канала на этом участке 0,00012.

В пределах озерной части будут иметь место руслофильтрующие процессы, вызванные отложениями наносов и размывами прорезей между озерами. На участке ниже озер будет пропускаться осветленная вода, поэтому скорости и уклон запроектированы минимальными. От озерной части до р. Мургаб уклон дна канала и дамб запроектирован 0,000055—0,000065.

Таблица 7

Общие потери воды в Каракумском канале первой очереди

Наименование показателей	При расходах (м³/сек.)		
	максимальных	расчетных	минимальных
Расходы в голове канала	130,50	101,71	65,64
Расходы по водовыделам	75,35	56,71	24,16
Потери на фильтрацию	37,62	37,62	37,62
Потери на испарение	17,54	7,38	3,86
Общие потери	55,16	45,00	41,48
Расход в конце канала	28,98	22,50	12,40
Коэффициент полезного действия канала (КПД)	0,55	0,56	0,37

На участке песчаной пустыни благодаря наличию разливов и озер площади живых сечений изменяются в пределах от 150 до 1000 м². Разнообразие форм, размеров и глубины разливов создает сложный, неравномерный режим работы

расчеты которого проведены по схеме речных русел пойменного типа; при этом в разливах выделены главное русло-фарватер, создаваемый прилегающими прорезями, и пойма — боковые части разливов. Коэффициент шероховатости назначался по данным М. Ф. Срибного, при этом учитывались неизбежное зарастание разливов, конфигурация их, глубина и относительное участие в общем движении потока. Первоначально размер прорезей был назначен по уклону дна без учета наличия разливов. Полученный результат показал, что для того, чтобы кривую свободной поверхности приблизить к первоначально запроектированной линии горизонта, необходимо сужение прорезей.

Благодаря наличию разливов получены уклоны свободной поверхности в прорезях значительно большие, чем уклон дна. Так, при уклоне дна 0,000055 уклон свободной поверхности, осредненный для группы прорезей, на участке от 233-го до 263-го километра равен 0,00011. Расчетные средневзвешенные уклоны свободной поверхности колеблются в пределах 0,000074—0,00011 при уклоне дна 0,000055—0,000065.

Форма сечения канала принята полигональной, близкой к параболической. Величина откосов определялась условиями статистической устойчивости. При этом учитывалась необходимость максимального приближения запроектированной формы канала к фактически установившейся в процессе производства работ на других каналах с учетом судоходства. Сечение канала запроектировано с тремя уполаживающими откосами, величина которых для связных грунтов равна 1:4,1:3, 1:2, а для песчаных 1:5; 1:4, 1:2,5. Для первого профиля изломы расположены на высоте 0,75 и 2,0 м от дна канала, для второго профиля — на высоте 1,0 и 2,5 м.

По принятым сечениям методом круглоцилиндрических поверхностей скольжения произведены многочисленные расчеты устойчивости.

Максимальное наполнение в канале принято для приамударьинского (0—50 км) и мургабского (341—350 км) участков 3,5 м, а для участка песчаной пустыни — 4,5—4,2 м.

Характеристика основных гидравлических элементов Каракумского канала первой очереди приведена в табл. 8.

Сечение канала и размещение дамб планировались с учетом перспективного уширения и углубления канала. Уширение предполагалось только в левую сторону, поэтому правая дамба проектировалась постоянной, с учетом последующего повышения горизонта в канале. Высокие дамбы возводятся сразу на пропуск перспективных расходов.

Сбросные каналы. На всем протяжении запроектировано пять сбросных каналов. Назначение их — сброс излишних

расходов и освобождение участков канала от воды в случае аварий. Все сбросные каналы протрассированы в правую сторону канала в направлении общего уклона местности. Расстояние между сбросами принято в среднем 50 км с учетом быстрого осушения и наполнения канала при аварии и ремонте и сохранения судоходных глубин на участках между сбросами.

Таблица 8

Гидравлические элементы Каракумского канала первой очереди

Участок канала	Уклон	Ширина (м)		Наполнение (м)	Скорость (м/сек.)		
		по дну	по зеркалу воды		максимальная	минимальная	максимальный расход ($м^3$/сек.)
Верхний—до озер	0,00012	28—23	48—43	3,55	0,97	0,90	104—130
От конца озер до 178-го километра	0,00005	15	47	4,50	0,60	0,57	85,5
От 178-го до 350-го километра	0,000055—0,00006	11—6	40—35	4,17—4,40	0,68—0,80	0,65—0,76	83—59
От 350-го до 391-го километра	0,000065	9—6	30—25	3,63	0,64	0,57	44—34

Расчетный расход сбросных каналов принят равным половине перспективного расхода (при Q=350 $м^3$/сек.) с учетом того, что одновременно будут работать два сброса. Величины расчетного расхода приняты по сбросам № 1, 2, 3—150 $м^3$/сек., № 4—144 $м^3$/сек. и № 5—135 $м^3$/сек.

С целью сокращения объема земляных работ по сбросным каналам при назначении поперечных сечений каналов и их продольных уклонов величина проектируемых скоростей не ограничивалась скоростями, допускаемыми на размыв. В проекте допущены естественный размыв и формирование русел сбросов до предельных устойчивых размеров и высотного положения. В соответствии с этим проектирование сбросных каналов разбивалось на два этапа.

Первый этап — проектирование пионерного канала для пропуска полного расхода первой очереди при минимально возможных размерах сечения, минимальной разности бьефов (50 см) и высотного положения сбросного тракта из условий минимума земляных работ.

Второй этап — расчеты гидравлических элементов размытого устойчивого русла, необходимые для установления горизонтов в нижнем бьефе сбросного сооружения.

Расчеты произведены, исходя из условий:

а) достижения потоком устойчивой ширины русла при параболической его форме, определяемой по формуле С. Т. Алтунина

$$\beta = \rho \cdot \frac{Q^{0,5}}{J^{0,2}};$$

б) достижения потоком предельной скорости на размыв русла, определяемой формулой

$$V = k V_0 R^{\alpha}.$$

При совместном решении двух уравнений получена расчетная формула

$$B = \frac{Q}{1,2 \cdot V_0 \cdot A^{m(\alpha+1)}},$$

где

$$A = \frac{0,9 \cdot Q^{0,5} \cdot n^{0,4}}{v_0^{0,6} \cdot \rho};$$

$$\frac{1}{m} = 0,6\alpha + 1,267;$$

$\rho = 1,1—1,3$ (по С. Т. Алтунину);

V_0 — допускаемая скорость на размыв при R=1;

α — коэффициент, учитывающий грунты ложа, равный 0,33—0,50.

В результате расчета получены уклоны свободной поверхности в пионерной траншее 0,00195—0,00018 при скоростях течения от 0,91 до 3,50 м/сек. Уклоны размытого русла равны 0,00015—0,00024 при скоростях 0,8—0,9 м/сек. Максимальная величина перепада в горизонтах магистрального канала и размытого русла на сбросе № 1 — 2,43 м, № 2 — 4,64 м, № 3 — 4,01 м, № 4 — 4,17 м и сбросе № 5 — 3,39 м.

В местах расположения сбросных каналов запроектированы перегораживающие и сбросные сооружения. На узловом сооружении № 1 предусмотрен шлюз; на всех остальных сооружениях для создания условий судоходства перегораживающие сооружения запроектированы с судоходными пролетами, поскольку разность бьефов на них на первой очереди не превышает 5 см.

Помимо узловых сооружений, на канале запроектированы: перепад, два железнодорожных, три автомобильных моста и

---

* С. А. Алтунин. Регулирование русел. Сельхозгиз, 1956.

переходное сооружение через Джарский сброс. Запроектировано также 10 паромных переправ, 5 пристаней, 3 погрузочно-разгрузочные площадки и 15 боковых выпусков для орошения. Все мосты и транзитные сооружения запроектированы судоходными с высотным габаритом над максимальным горизонтом воды 6 м.

Проектом предусмотрены пескоукрепительные и фитомелиоративные работы. Закреплению подлежат дамбы, резервы, кавальеры, разливы пульпы и пути транспорта. Для этой цели предусматривалось устройство механических защит в виде параллельных рядов, перпендикулярных направлению главных действующих ветров при расстоянии между ними 2, 3 и 4 м или в виде клеток размером 1×1; 2×2; 3×3 м; глинование песков, битумная пленка, закрепление песков растительностью. Общая площадь, подлежащая защите, 1950 га.

Фитомелиоративные работы проводятся вдоль канала на полосе шириной 100 м. Вдоль всего канала с правой его стороны запроектировано создание защитной высокоствольной лесной полосы шириной 60 м. Общая площадь высокоствольных насаждений 2400 га, 460 га из них намечено орошать дождеванием. Рекомендуемые для выращивания породы деревьев: петта, лох, гребенщик, тал, туранга, карагач, айлант, шелковица и акация белая. Вследствие перспективного уширения канала в левую сторону насаждения здесь не проектировались.

Для нормальной эксплуатации канала предусмотрены телефонная линия и эксплуатационная грунтовая дорога. Длина линии связи 450 км. Проектом намечались 3 эксплуатационных участка с управлением в гор. Мары (временно в Карамет-Ниязе). Первый эксплуатационный участок — головной, включающий русло Аму-Дарьи до 110-го километра; второй участок — от 110-го до 300-го километра; третий участок — от 300-го километра до р. Мургаб.

Организация строительства и способы производства работ

Объем работ по проекту. Общий объем земляных работ по каналу 53,5 млн. м³, в том числе насыпи—17,3 млн м³. Кроме того, по гидротехническим сооружениям выемка 771 и насыпь 1100 тыс.м³.

Объем работ по сооружениям следующий:

Бетонные и железобетонные	— 47,5 тыс. м³
Свайные	— 981 м³
Шпунтовые	— 6700 м²
Габионная кладка	—29600 м³
Металлоконструкции	— 1370 т
Каменная отмостка и подготовка	— 42,0 тыс. м³

Общий срок строительных работ пять лет, из них первые два года на вспомогательные и основные работы на участке до 105-го километра, обеспечивающие пропуск воды ниже 105-го километра.

Проектом предусматривалась максимальная механизация земляных работ со следующей нагрузкой на отдельные типы машин:

Бульдозеры	Д-157	— 5184,0 тыс. м³,	или	9,6 %
Скреперы	Д-147	—21797,0 „	„	40,6 „
Экскаваторы однокубовые		— 5092,0 „	„	9,7 „
Землесосы		—21270,0 „	„	39,6 „
Вручную		— 194,9 „	„	0,5 „

Организация работ на территории безводной пустыни предусматривала разработку канала в два приема. В первый прием с левой стороны роется пионерный канал шириной по дну 9,0 м (его дно выше проектного на 2,5 м), с правой стороны для формирования откосов отрывается канал шириной 2,6 м. Разработка этих каналов ведется сухопутными снарядами.

Во второй прием производится разработка профиля канала землесосами до проектных размеров. По мере окончания строительства пионерного канала сухопутные снаряды переходят на следующий участок, а на законченный участок пропускается вода для работ на нем землесосов. Длина участка пионерного канала зависит от проницаемости грунтов. На участках с малой проницаемостью грунтов она принята 12—15 км, а на участках с большой проницаемостью 4,25—8,5 км. Таким образом, на участке песчаной пустыни разработка канала принята так называемым мокрым способом, при котором воду строители ведут за собой.

На участке канала от станции Захмет до Мургаба земляные работы выполняются сухопутными снарядами, так как здесь возможна организация водоснабжения из каналов Мургабской системы.

По трассе запроектировано строительство рабочих поселков; общий объем зданий 268 тыс. м³. Предусмотрен крупный поселок Карамет-Нияз на 3600 человек с жилой площадью 18 500 м². Рабочие поселки запроектированы в Мукры, Захмете, Керки и на 365-м километре трассы, каждый из них на 300 человек. Предусмотрено строительство жилых брандвахт, больниц, клубов и магазинов.

На станции Мукры запланирована организация перевалочной базы с подъездными путями и судоходным затоном. В Мукры грузы, поступающие по железной дороге, погружаются на баржи и через подводящие каналы и шлюз на головном сооружении доставляются по трассе канала к объектам

строительства. В Мукры осуществляются первичная обработка древесины и изготовление опалубки и столярных изделий.

Для ремонта строительных механизмов были запроектированы две крупные ремонтно-механические мастерские в Мары и Керки, три плавучие мастерские и 8 передвижных мастерских на прицепах.

На строительство канала предусматривалось большое число механизмов: 26 экскаваторов, 104 скрепера, 86 бульдозеров, 25 землесосов, 1400 автомобилей разных марок, 30 специальных автомобилей (поливочные, санитарные, автобусы), 72 стотонные баржи, 7 брандвахт по 30 человек, 40 катеров и 107 тракторов. Полная стоимость строительства с учетом льготных коэффициентов на пустынные условия работ утверждена в сумме 88,7 млн. руб.*

ОПЫТ СТРОИТЕЛЬСТВА КАРАКУМСКОГО КАНАЛА

Подготовительные работы

Необходимость освоения в короткий срок огромной территории вдоль трассы канала, отсутствие налаженных транспортных путей, источников энергоснабжения, подготовленной поблизости базы нерудных материалов, ремонтных предприятий и жилого фонда—все это создавало большие трудности в организации строительства и требовало проведения больших подготовительных работ. В связи с этим в 1952 г. было создано Управление строительством Каракумского канала — Каракумводстрой, разместившееся в гор. Керки и находившееся в подчинении Главводстроя Министерства хлопководства СССР, а впоследствии Министерства сельского хозяйства СССР.

В целях более интенсивного развития работ по строительству канала в 1954 г. в соответствии с Постановлением Совета Министров СССР при Министерстве водного хозяйства Туркменской ССР был организован Трест по водохозяйственному строительству в республике — Туркменгидрострой в гор. Мары. Туркменгидрострой должен был подрядным способом осуществлять строительство Каракумского канала. При тресте для руководства работами на канале было организовано два управления: Керкинское, осуществлявшее работы в районе головного водозабора на Аму-Дарье до 240-го километра трассы, и Марыйское СМУ с общим фронтом работ в 160 км — от 240-го километра до р. Мургаб. В состав строительных управлений входили строительно-монтажные конторы, подразделявшиеся на строительные участки.

* Здесь и далее в тексте масштаб цен новый, установленный с 1 января 1960 г.

В 1956 г. для выполнения работ по гидромеханизации на правах субподрядной организации был дополнительно организован среднеазиатский участок Трансгидростроя Министерства транспорного строительства СССР, выполнявший главным образом работы по строительству подводящих каналов от Аму-Дарьи до головного сооружения (4 км) и по очистке от наносов этих подводящих каналов в период строительства. Помимо работ на Каракумском канале, участок гидромеханизации Трансгидростроя намывал плотину Сары-Язынского водохранилища на р. Мургаб и плотину второго Тедженского водохранилища на р. Теджен.

К началу работ строительство не располагало достаточной базой и специализированными заводами для ремонта строительных машин и оборудования, вследствие чего оно вынуждено было создавать свои ремонтные предприятия (за исключением переданного строительству Чарджоуского ремонтно-экскаваторного завода).

Трасса канала не была заселена, поэтому приходилось строить рабочие и эксплуатационные поселки на весь состав рабочих.

Ремонтно-механическая база. На строительстве Каракумского канала работал большой парк строительных и транспортных машин, а также было использовано оборудование подсобных предприятий. Для ремонта техники в период подготовительных работ и в процессе строительства создана крупная ремонтно-механическая база: Чарджоуский ремонтно-экскаваторный завод, Керкинский и Марыйский ремонтно-механические заводы.

Чарджоуский ремонтно-экскаваторный завод обеспечивал капитальный ремонт экскаваторов (емкостью ковша от 0,5 м³ и выше), капитальный ремонт дизелей Д-6 и Д-12, изготовление тяжелых металлоконструкций (от 0,8 т и выше каждая), чугунного, стального и цветного литья, крупногабаритных, массовых запасных частей к землеройным машинам.

Марыйский ремонтно-механический завод занимался капитальным ремонтом тракторов С-80 и дизельмоторов к ним, прицепной и навесной тракторной землеройной техники, строительных машин и мелких электростанций, изготовлением малогабаритных металлоконструкций.

Керкинский ремонтно-механический завод осуществлял капитальный ремонт автомобилей, автотракторных двигателей, строительных машин, электрооборудования (электромоторы, генераторы, трансформаторы) и изготавливал запасные части.

На всех ремонтно-механических предприятиях треста Туркменгидрострой насчитывалось 125 металлорежущих станков

и 12 единиц кузнечно-прессового оборудования. Стоимость работ, выполненных всеми ремонтно-механическими предприятиями с начала строительства первой очереди Каракумского канала, составила свыше 8 млн. руб. Наивысшей производительности ремонтные предприятия достигли в 1959 г. (2,6 млн. руб. за год).

Дорожное строительство. За период строительства первой очереди Каракумского канала на строительные площадки было завезено свыше 5 млн. т. грузов, поступивших к объектам строительства железной дорогой водным и автомобильным транспортом. Для доставки грузов водным путем на станции Мукры построен затон с судоходным каналом в Аму-Дарью. Грузы, прибывавшие на станцию Мукры, подавались по специально построенной ветке к затону, откуда перегружались на баржи и по Аму-Дарье подавались на стройплощадки.

Из автомобильных дорог самой крупной является дорога вдоль трассы Каракумского канала. На протяжении всего периода строительства эта дорога была труднопроходимой на песчаном участке от 170-го до 325-го километра. Гравийное покрытие дорога получила на участке от гор. Мары до Джарского сброса; в 1959 г. эта дорога, как инспекторская, покрыта гравием до 5 гидроузла.

Карьерное хозяйство. Для снабжения строительства камнем, щебнем, гравием и песком эксплуатировались четыре карьера: Калаиморский, удаленный от строительных площадок на 130—220 км, Фирюзинский — на 400 км, Келифский — на 90—270 км и Каушутский — на 100 км. Основным карьером, обеспечивавшим свыше 50% всей потребности в нерудных материалах, являлся Келифский.

Все четыре карьера были механизированы и начали функционировать: Келифский — с 1957 г., Калаиморский — с начала строительства, Каушутский — с 1956 г. и Фирюзинский — с 1957 г. Камнедробильное хозяйство функционировало лишь на головном участке и обслуживало строительство головного сооружения и шлюза на 4-м километре.

Электроснабжение строительных объектов Каракумского канала обеспечивалось следующим образом:

1. Головной участок — энергопоездом мощностью 4000 и резервной дизельной электростанцией мощностью 400 квт.

2. Поселок Эсплуатация—передвижной электростанцией общей мощностью 96 квт.

3. Намыв дамб в районе Келифских озер — плавучей электростанцией мощностью 500 квт.

4. Строительство гидроузла № 1 на 105-м километре — стационарными электростанциями общей мощностью 540 квт.

(на водоотлив из котлована быстротока на этом строительстве потребовалась мощность около 320 квт.).

5. Расширение и углубление канала на участке от 120-го до 140-го километра — плавучей электростанцией мощностью 1500 квт., причем работы выполнялись здесь тремя электрическими шагающими экскаваторами типа ЭШ-1 (с емкостью ковша в 3,4 м³).

6. Поселок Карамет-Нияз—стационарной электростанцией мощностью 290 квт.

7. Строительство второго гидроузла — плавучей электростанцией мощностью 1500 квт.

8. Строительство третьего гидроузла — дизельной электростанцией общей мощностью 224 квт.

9. Строительство четвертого гидроузла—дизельной электростанцией общей мощностью 250 квт.

10. Строительство пятого гидроузла и участка канала от 305-го до 275-го километра энергопоездом мощностью 1000 квт., установленным в Захмете. На этом участке канала работали четыре однокубовых экскаватора типа Э-1003.

11. Строительство железнодорожного и автогужевого мостов в районе Захмета — энергопоездом 1000 квт.

12. Строительство гидросооружения Джар — дизельной электростанцией мощностью 1020 квт., построенной в районе 65 разъезда Ашхабадской железной дороги. Электростанция снабжала электроэнергией деревообделочный комбинат и бетонный завод треста Туркменгидрострой, расположенные в районе 65-го разъезда.

Электроснабжение ремонтных заводов треста Туркменгидрострой обеспечивалось стационарными дизельными электростанциями общей мощностью 1755 квт.

Максимальное суточное потребление электроэнергии составляло 77100 квт.

В 1955—1956 гг. в эксплуатацию введены высоковольтные линии электропередач длиной 18 км от энергопоезда на головном участке и длиной 33 км от энергопоезда в Захмете до трассы канала. В 1957 г. построена линия электропередач длиной 13 км от ДЭС 65 разъезда до строительства гидросооружения Джар.

Всего на строительстве первой очереди Каракумского канала проведено 72 км воздушных линий электропередач напряжением 6—35 кв. и 84 км низковольтных линий.

На строительстве Каракумского канала применены передвижные кабельные линии электропередачи напряжением 6 кв., обеспечивающие передачу электроэнергии от плавучих электростанций к электрическим земснарядам и шагающим экска-

ваторам. Передвижные кабельные линии с учетом эксплуатационных затрат оказались в 3—4 раза дешевле строительства воздушных линий электропередач. Для монтажа кабельных линий применялся кабель марки ГТШ-6 кв. Длина кабельных линий составляет 3,5 км, что позволяло одновременно подключить 4—5 экскаваторов и земснарядов. Соединение отдельных кусков кабеля осуществлялось кабельными коробками, соединявшимися между собой тросом, к которому прикреплялся кабель. При передвижении такой линии с помощью трактора кабель, находящийся на земле, не подвергался растягивающим усилиям.

Плавучие электростанции облегчали (без особых затрат) передислоцирование источников электрической энергии по мере разработки отдельных участков канала вместе с земснарядами и экскаваторами.

При строительстве электростанции на головном участке канала строителям пришлось решать задачу по перевозке энергопоезда от станции Мукры через Аму-Дарью. В состав энергопоезда входит 6 железнодорожных вагонов по 6 и 7 осей каждый. Перевозка энергопоезда осуществлена без демонтажа на барже грузоподъемностью 500 т. По палубному настилу баржи был установлен рельсовый путь, на который накатывались вагоны энергопоезда. Береговой рельсовый путь шарнирно соединен с рельсами баржи специальным мостиком. Шарнирные соединения обеспечили накатку вагонов энергопоезда при положении баржи на плаву.

Оба энергопоезда работали на дешевом топливе — мазуте, что сокращало эксплуатационные расходы.

Временная связь. Основными видами связи на строительстве канала являлись телефонная проволочная и радиосвязь, соединявшие трест Туркменгидрострой с управленяими, конторами и участками. Всего построено 420 км воздушных линий связи, смонтировано 8 телефонных и 10 радиостанций, 12 радиотрансляционных узлов.

Вместе с подготовительными мероприятиями, имевшими большое значение для успешного строительства, велась большая работа по созданию коллектива строителей и по подготовке кадров. *Подготовка кадров массовых профессий* (плотников, арматурщиков, бетонщиков, каменщиков, штукатуров и др.) проводилась без отрыва от производства, непосредственно на строительстве. Работа по повышению квалификации инженерно-технических работников без отрыва от производства также проводилась на строительстве канала и гидротехнических сооружений.

Объем работ и характеристика района строительства

Выполненные на строительстве Каракумского канала строительно-монтажные работы во много раз превосходят по объему и темпам ранее выполненные работы на других объектах водохозяйственного строительства в Туркменской ССР.

Строительство канала велось одновременно по всему фронту протяженностью 400 км, из них более 250 км по безводной песчаной пустыне Юго-Восточных Кара-Кумов.

Основные объемы работ, выполненных на Каракумском канале первой очереди с начала строительства по 1 января 1960 г., приведены в табл. 9.

Таблица 9

Основные объемы работ, выполненные на строительстве первой очереди Каракумского канала

Наименование работ	Единица измерения	Объем работ	
		по проекту	фактически выполнено
Земляные	млн. м³	53,5	103,6*
Бетонные и железобетонные	тыс. м³	47,5	52,0
Каменная отмостка и габионная кладка	»	71,6	63,0
Металлоконструкции	т	1370	1410

* Включая повторные объемы работ по перемещению грунта.

В отношении транспортных связей на отдельных участках строительства сложились различные условия. В самых благоприятных находились объекты канала и сооружения на участке от Аму-Дарьи до Келифских озер с восточной стороны и на участке от Мургаба до станции Захмет с западной. Оба эти участка расположены на небольшом расстоянии от железных дорог и водных путей, вблизи которых размещались перевалочные базы стройматериалов, оборудования и механизмов.

Техническая оснащенность строительства. Строительство Каракумского канала было оснащено мощной строительной техникой, оборудованием и транспортом, позволившими механизировать почти на 100% все трудоемкие работы (за исключением погрузочно-разгрузочных). Незначительный объем немеханизированных работ приходился на зачистку котлованов и на бетонировку сооружений с объемом работ менее 100 м³, но они не превышали 1% от объема всех выполненных работ.

Оснащенность строительства Каракумского канала основными механизмами на 1 января 1960 г. характеризуется табл. 10.

Сроки окончания работ по отдельным участкам определялись необходимостью быстрейшего продвижения воды по каналу с тем, чтобы в 1959 г. довести амударьинскую воду до Мургабского оазиса.

Основные работы по строительству первой очереди Каракумского канала закончены в срок (в 1959 г.).

Таблица 10

Характеристика механизмов, работавших на строительстве первой очереди Каракумского канала

Наименование машин и оборудования	Число единиц
Экскаваторы одноковшовые общей емкостью ковшей 45 м³	52
В том числе:	
Эш-1 с ковшом 3,4 м³	3
Э-2001 с ковшом 2 м³	2
прочие одноковшовые емкостью ковша 1 м³	23
одноковшовые емкостью ковша 0,75 и 0,5 м³	24
Скреперы с ковшом 6 м³	62
Бульдозеры на тракторе С-80	120
Тракторы транспортные различной мощности	289
Землесосные снаряды	63
В том числе:	
300—400	1
100—35	4
НЗ-8	56
сормовские	2
Автомобили грузовые	338
В том числе автосамосвалы	161
Насосы различной производительности	51
Катки самоходные, моторные и кулачковые	32
Теплоходы, баржи, катера	89
В том числе:	
теплоходы 450 л. с.	5
катера ВМК и „Заря"	40
самоходные баржи 5—20 т	6
„ „ 40—500 т	38

Организация и механизация земляных работ

В строительстве крупных оросительных каналов главное место занимают земляные работы. При сооружении Каракумского канала стоимость земляных работ составила 70% общей стоимости всех работ, а в их механизации был сделан шаг

вперед по сравнению с прежними гидротехническими стройками. Если на канале Москва—Волга земляные работы были механизированы на 45,1%; а на Волго-Донском имени В. И. Ленина 97,9%, то на Каракумском канале на 99,8%. В настоящей работе большое внимание уделено анализу механизации трудоемких земляных работ. Это вызвано тем, что строительство Каракумского канала осуществлялось в условиях песчаной пустыни при полном бездорожье и отсутствии на протяжении 300 км населенных пунктов. Кроме того, строительство велось при остром недостатке воды на производственно-технические и хозяйственно-бытовые нужды. Сухой, без осадков период года длится здесь с апреля по декабрь, а выпадающие в зимний период незначительные осадки просачиваются в грунт на глубину не более 20—25 см.

Вопросам водоснабжения в течение всего периода строительства уделялось должное внимание. К производственным участкам вода подвозилась в автоцистернах или там, где дороги были непригодны для проезда автомашин, тракторами в емкостях, установленных на прицепах.

В летний период (со второй половины мая до конца сентября) с 12 до 17 час., когда температура воздуха и песка достигала 45° в тени и 80° на солнце, землеройные машины не могли работать. Северо-западные и юго-восточные ветры часто поднимали в воздух тучи пыли, которая проникала в рабочие части машин, в связи с чем возникала необходимость в профилактических мероприятиях по уходу за машинами, не предусмотренных инструкциями, а также быстро иссушали из почвы влагу, накопившуюся в период выпадения атмосферных осадков. Запыленность воздуха, вызываемая землеройными машинами, усугубляла положение, и трущиеся узлы и детали машин подвергались преждевременному износу.

Общая схема организации работ, принятая на строительстве. Как уже указывалось, строительство Каракумского канала велось одновременно со стороны Аму-Дарьи (восточный участок) и со стороны Мургаба (западный участок). На восточном участке работы осуществляло Керкинское управление Каракумводстрой через свои строительно-монтажные конторы и стройучастки, а на западном — Марыйское строительно-монтажное управление. Границей между ними служил 224-й километр трассы канала.

На восточном участке строители вели воду за собой, используя ее для производственных и бытовых нужд, а также для обеспечения работ по гидромеханизации. Водный тракт использовался так же, как транспортная артерия. Такая организация работ позволила также осуществлять непрерывную замочку канала и насыщение подстилающих грунтов до го-

ризонта грунтовых вод. Эти изменения гидрогеологических условий трассы, проходящей в песках с грунтовыми водами, залегающими на глубине до 40 м, уже в процессе строительства уменьшили последующие потери из канала на фильтрацию, что позволило сразу же после окончания строительства ввести его в эксплуатацию.

На западном участке земляные работы выполнялись исключительно землеройными машинами, главным образом экскаваторами, с последующим перемещением отвалов в кавальер бульдозерами.

На восточном участке была принята следующая организация земляных работ по отдельным участкам канала. Два подводящих и один судоходный канал выполнены с помощью скреперов, бульдозеров и землесосов. Бульдозерами и скреперами разрабатывались верхние слои грунта на глубину, допускаемую горизонтом грунтовых вод, с перемещением грунта в приканальные дамбы. Нижние слои до проектных размеров разрабатывались дизельными земснарядами типа НЗ-8 и электрическими земснарядами 10—35, ЗГМ-I, питавшимися электроэнергией от плавучей электростанции мощностью 1500 квт.

От головного сооружения на протяжении 30-ти км трасса канала совмещена с Бассага-Керкинским каналом. Техническим проектом, наряду с уширением и углублением этого канала, предусматривалось его частичное спрямление путем последовательных уширений отдельных участков левого и правого бортов канала. В процессе строительства решено было правую сторону канала не уширять, чтобы не нарушать существующей дамбы действующего Бассага-Керкинского канала и не ухудшать мелиоративного состояния правобережных земель Кизыл-Аякского района, а ограничиться усилением и выполаживанием с помощью бульдозеров откосов дамб до проектных размеров. Уширение левой стороны канала проводилось в два этапа: в первый этап —шестикубовыми скреперами на глубину, допускаемую горизонтом грунтовых вод, и во второй этап — до проектных сечений землесосами НЗ-8, а на участках с более тяжелыми грунтами (загипсованные супеси и тяжелые суглинки) землесосами типа «Сормовский», оборудованными фрезерными рыхлителями.

На этом участке земляные работы выполнялись в условиях действующего Бассага-Керкинского канала. Вследствие того, что от уреза воды кривая горизонта грунтовых вод круто опускалась вниз, представлялась возможность выполнить значительные объемы работ скреперами ниже горизонта воды в действующем канале. Во избежание затопления забоев

водой из Бассага-Керкинского канала между последним и забоем оставалась перемычка, которая в последующем разрабатывалась землесосами при доработке канала до проектных сечений.

Пульпа сбрасывалась на левую сторону Бассага-Керкинского канала — границу культурной полосы и пустыни. Осветленная вода в канал не отводилась, что привело к резкому подъему уровня грунтовых вод на правой стороне канала, к которой вплотную прилегают орошаемые земли колхозов Керкинского района. Это обстоятельство потребовало строительства отсечного коллектора.

Принятая схема организации работ по уширению действующего Бассага-Керкинского канала страдала существенным недостатком. На уширенных участках из-за уменьшения скоростей воды и транспортирующей способности потока отлагалось большое количество наносов. За два года работ по уширению Бассага-Керкинского канала в нем отложилось 1020 тыс. м^3 наносов, которые в последующем пришлось добирать в порядке эксплуатационных мероприятий. Кроме того, наличие такого заиления резко сказалось на пропускной способности этого участка.

Учитывая, что для последующих очередей строительства канала придется вновь уширять участок от водозабора до Келифских озер, целесообразно производить это уширение не сразу по всему проектному сечению, а последовательными этапами на полную глубину, что исключит отложение наносов в строительный период. Кроме того, в процессе такой разработки, очевидно, будет происходить и гидравлический размыв на уширяемых участках с отложением материалов размыва в Келифских озерах.

Участок канала от 30-го до 50-го километра, трасса которого совмещена с направлением сброса Бассага-Керкинского канала, сложенный в пределах глубины разработки пестрым напластованием пород в виде песков, загипсованных супесей, суглинков и глин, вырыт в легких грунтах землесосами НЗ-8, а в тяжелых — скреперами и экскаваторами до горизонта грунтовых вод и землесосами «Сормовский» ниже их.

Некоторые участки канала с преобладанием тяжелых суглинков и глин полностью разрабатывались кубовыми экскаваторами Э-1004 с двойной перекидкой грунта. Отсыпка дамб выполнена скреперами.

Строительство дамб обвалования Келифских озер

Дамбы обвалования Келифских озер и приканальные дамбы являются ответственными земляными сооружениями Каракумского канала. Возведение их в условиях песчаной пустыни

из местных материалов — тонко- и мелкозернистых барханных песков, а иногда легких супесей — при отсутствии опыта строительства в подобных условиях качественных насыпей представляет большой интерес как с производственной, так и с научной точки зрения.

Как уже указывалось, трасса канала от 50-го до 105-го километра проходит по естественным впадинам и озерам Келифского Узбоя, используемым как емкости для аккумулирования наносов. В последние годы от периодического сброса воды из Бассага-Керкинского канала в Келифском Узбое образовалась цепь озер.

В целях поддержания проектных горизонтов воды в пониженных местах бортов Келифского Узбоя возведены дамбы обвалования, образовавшие замкнутый огромный водоем. Для уменьшения объема земляных работ максимально использовались барханные возвышенности и отдельные холмы, также служившие бортами водоема, поэтому дамбы обвалования состоят из искусственных насыпей и естественных барханов и возвышенностей. Естественные барханы, вошедшие в борта водоема, имели коэффициент фильтрации значительно больший, чем искусственные дамбы, которые оказались менее устойчивыми и в процессе эксплуатации потребовали проведения мероприятий по их усилению. Эти обстоятельства необходимо учитывать при проектировании подобных сооружений.

Строительство Келифских дамб начато в 1954 г. Возведение их осуществлялось тремя способами: насыпкой скреперами, способом гидромеханизации — намывом, комбинированным способом, насыпкой первичной дамбы скреперами и последующим намывом напорного откоса землесосами.

Возведение дамб скреперами. В обычной гидротехнической практике возведения качественных насыпных дамб сухим способом применяется комплексная механизация, при которой отдельные виды работ выполняются разными типами машин. В условиях песчаной пустыни при большой разбросанности и протяженности работ однотипность машин имеет большое практическое значение, так как значительно облегчает и упрощает производство и организацию строительных работ.

На строительстве Каракумского канала широко применялись шестикубовые скреперы Д-147 и Д-222 на базе трактора С-80 и С-100, с помощью которых выполнялся весь комплекс работ по возведению качественных дамб Келифского Узбоя: разработка грунта, его транспортировка, укладка и уплотнение. Это стало возможным благодаря постепенному заполнению водой Келифских озер и отсыпке дамб в первую очередь на участках, имевших наиболее низкие отметки. Такая орга-

низация работ позволила создавать карьеры в некотором удалении от урезов воды с необходимой влажностью грунта, обеспечившей высокую производительность скреперного агрегата, и возведении дамб без дополнительного увлажнения при укладке грунта. Разработка грунта в карьере проводилась отдельными забоями, в которых грунт срезался скреперами послойно до глубины 2—2,5 м, что также давало возможность отсыпать в тело дажбы грунт с необходимой влажностью.

В начальный период строительства отсыпка грунта в тело дамбы производилась слоями 30—35 см. Но так как специального уплотнения грунта не производилось и оно осуществлялось самим скреперным агрегатом, то столь большая толщина отсыпки не обеспечивала требуемого качества работ. Лабораторными анализами установлено, что при слое отсыпаемого грунта в 35 см с естественной влажностью 8—10% уплотнение грунта оказывалось на 10—12% ниже проектной величины (1,45—1,50 т/м³, вместо 1,6—1,65 т/м³ по проекту).

В 1956 г. Среднеазиатский научно-исследовательский институт ирригации САНИИРИ (У. Ю. Пулатов, 1956) провел исследование методов и качества возведения Келифских дамб Каракумского канала. Этими исследованиями было установлено, что при отсыпке дамб скреперами без специальной укатки уплотнение грунта до проектного объемного веса гусеницами трактора и колесами груженого скрепера при соответствующей организации их движения достигалось при толщине слоя отсыпаемого грунта в 15 см и влажности 12%.

Движение скрепера по насыпи было организовано так, чтобы каждый отсыпанный слой покрывался следом агрегата. Для этого каждый последующий ход груженого скрепера направлялся так, чтобы гусеницы трактора и передние колеса скрепера проходили между следом задних колес предыдущего хода. Достаточное уплотнение достигалось еще и тем, что из-за больших удельных объемов и протяжений участков дамб груженые скреперы проходили по одному следу в среднем 6—8 раз.

Таким образом, опыт строительства дамб на Каракумском канале показал, что не следует пренебрегать уплотнением грунта скрепером, так как при соблюдении установленного порядка отсыпки грунта и движения скреперного агрегата можно исключить применение катков. При опытных водителях такая организация работ не снижает производительности машин.

Планировка откосов и гребня дамбы также выполнялась скрепером; последний транспортировался по дамбе с опущенным ковшом, нож которого находился на высоте 4—5 см от поверхности земли.

Исследования САНИИРИ и данные лабораторных анализов позволяют сделать вывод что: 1) при возведении дамб скреперами насыпным способом выполнимы рекомендации технического проекта о доведении объемного веса скелета грунта, укладываемого в тело дамбы, до 1,60—1,65 т/м³ при весовой влажности 12%; 2) применение скреперов Д-147 и Д-222 на отсыпке дамб Келифских озер показало, что без специальной укатки проектная плотность грунта достигается при толщине отсыпаемого слоя в 15 см и соответствующем движении скреперного агрегата, при котором каждый новый след гусениц трактора и колес груженого скрепера перекрывал предыдущие ходы.

Возведение дамб способом гидромеханизации. Основные дамбы обвалования Келифского Узбоя возведены способом гидромеханизации — односторонним намывом, при котором сухой откос формировался обвалованием, а напорный — свободным стоком пульпы. Работы выполнялись дизельными землесосами ПКГ и ТМИР с насосами НЗ-8 и двигателями Д-6, электрическими земснарядами типа 100-35 и землесосами ЗГМ-1 (25% общего объема работ выполнены электрическими землесосами, а 75% — дизельными).

Подготовка и очистка основания дамб, а также работы по обвалованию производились бульдозерами Д-157 и Д-271. Очистка карьеров от растительности не производилась, так как после обрушения стенок забоя вся растительность всплывала на поверхность и не попадала во всасывающую трубу землесоса. Так как основными грунтами карьеров были мелкозернистые пески с малым содержанием связных грунтов, их разработка велась землесосными снарядами без рыхлителей, чему способствовала также большая глубина забоя, достигавшая 6 м и более. Транспортировка грунта к месту намыва осуществлялась по металлическим трубопроводам, а намыв грунта в тело дамбы — торцовым способом. Пульпа подавалась к торцу дамбы из трубопровода, проложенного по оси дамбы, причем подача ее осуществлялась как сосредоточенной струей через конец пульповода, так и через рассредоточенные по фронту концевой трубы пульповода выпуски в виде отверстий. С каждой установки концевой трубы пульповода намыв производился сразу на всю высоту ее установки, при этом напорный волноустойчивый откос дамбы образовывался естественным стоком пульпы, а сухой откос — путем обвалований, выполнявшихся бульдозером. Этим же бульдозером выполнялась планировка сухих откосов. Так как напорный откос дамбы образовывался естественным стоком пульпы, отстойниками в этом случае служили, как правило, сами обваловываемые озера, и только в тех случаях, когда

откос дамбы, в зависимости от размеров частиц намываемого грунта получался значительно положе проектного (с уклоном 1:25—1:30, что вело к завышению объема работ), отстойный прудок находился на самом откосе, откуда осветленная вода сбрасывалась обратно в озера. Устройство обвалований для прудков также выполнялось бульдозером С-80.

Объемный вес грунта, намытого в тело дамбы, составлял в среднем 1,50 т/м^3, причем по высоте и длине дамбы объемный вес не изменялся.

Комбинированный способ возведения дамб. По техническому проекту дамбы Келифских озер надлежало возвести насыпным укатанным способом с обжатым профилем (верховой откос 1:4, низовой 1:3) и крепленными откосами. Крепление верхового откоса запроектировано из каменной отмостки толщиной 20 см по слою гравийной подготовки такой же толщины. Низовые откосы предполагалось крепить при помощи растительного слоя грунта (толщиной 20 см) с посевом закрепляющих трав. В ходе строительства было принято решение отказаться от обжатого профиля дамб с крепленными откосами и перейти на выположенные откосы с заложением 1:10 без крепления. Такое решение диктовалось отсутствием в районе строительства материала для крепления верхового откоса и, главным образом, ненадежностью запроектированного крепления против воздействия ветровых и судоходных волн. Поэтому возведенные сухопутными механизмами дамбы с проектными откосами — верховой 1:4, низовой 1:3 — впоследствии усиливались способом гидромеханизации путем выполаживания верхового (мокрого) откоса. Необходимость в этом возникла в связи с тем, что к большинству построенных сухопутными механизмами дамб подошла вода, а работы по закреплению откосов мощением не были выполнены. Так называемый комбинированный способ возведения дамб заключался в том, что по первоначально отсыпанной скреперами дамбе укладывался пульповод, конец которого выводился в воду. Сосредоточенным способом через конец пульповода намывалась подводная часть откоса дамбы, пока намытый грунт не выступал над горизонтом воды на 0,5—0,7 м. После этого на намытом грунте устанавливался пульповод, из которого грунт подавался рассредоточенным намывом до проектной высоты. Откос при этом образовывался естественным стоком пульпы с уклоном 1:15—1:20 (вместо 1:10 по проекту). Отстойным прудком служил горизонт воды озер.

В процессе строительства САНИИРИ были проведены также исследования качества намываемых дамб и сделаны следующие выводы:

1. При возведении дамб намывом объемные веса скелета грунта находятся в пределах 1,50 т/м³ и не достигают проектной величины (1,60 т/м³) вследствие намыва из грунта мелких частиц, которыми в естественном залегании заполнены поры между песчаными фракциями.

2. Относительная плотность намытых песков имеет среднее значение и находится в пределах 0,33—0,67.

3. Крутизна откоса по длине намыва изменяется в зависимости от консистенции пульпы, крупности твердой составляющей, удельного расхода пульпы по фронту намыва и составляет уклон около 1:16 у вершины откоса и около 1:25 у подошвы.

Коэффициент фильтрации по длине откоса изменяется в пределах 1—8 м/сут.

Следует отметить, что земляные сооружения, выполненные на Каракумском канале способом гидромеханизации, по качеству выше насыпных.

На участке канала длиной 200 км от 105-го километра до станции Захмет (где практически решался успех всей стройки) была принята следующая организация производства земляных работ: на первых 15 км (105—120-й километры трассы) канал выполнен на полный проектный профиль скреперами и бульдозерами. От 120-го до 244-го километра сначала с помощью скреперов и бульдозеров строилась пионерная траншея, способная пропустить 6—8 м³/сек. воды, причем песчаные участки разрабатывались бульдозерами, а участки с более тяжелыми связными грунтами — скреперами траншейным способом. Вслед за сухопутными машинами в пионерную траншею пропускалась вода и вводились землесосы, углублявшие и уширявшие траншею до проектных размеров канала. Разработка канала землесосами велась с переборами по дну до 1 м в расчете на то, что недоборы, оставляемые землесосами на откосах канала, после их переформирования потоком заполнят объем переборов по дну.

На участке 122—139-й километры встретились загипсованные супеси и суглинки, не поддававшиеся разработке землесосами. Этот участок доработан до проектного сечения шагающими экскаваторами ЭШ-1 с емкостью ковша 3,4 м³. Участок канала от 191-го до 224-го километров трассы построен преимущественно на полный профиль способом гидравлического размыва с использованием энергии потока (описание этого способа см. на стр. 75). С 244-го до станции Захмет разработка выемок канала осуществлялась экскаваторами Э-1003 и Э-1004 (рис. 7) при емкости ковша 1 м³ с перемещением отвалов в кавальеры бульдозерами на тракторах С-80. Сечение канала, имевшее глубину выемки до 7 м, строи-

лось сразу на полный профиль. При выемках более 7 м экскаваторами строилась пионерная траншея с последующей доработкой на полный профиль землесосами. На участках, где канал проходил в насыпи, приканальные дамбы возводились бульдозерами с заложением откосов 1:4. В процессе эксплуатации такие откосы оказались неустойчивыми, что вызвало необходимость выполаживания их до величины заложения 1:8; материалом для дамб служили тонко- и мелкозернистые пески. В процессе эксплуатации канала откосы всех дамб переформировались. С 304-го километра трассы до р. Мургаб канал строился скреперами и экскаваторами.



Рис. 7. Разработка Захметского участка канала электрическими экскаваторами.

Строительство пионерной траншеи

В восточной зоне строительства канала наибольший интерес представляют работы по строительству пионерной траншеи с помощью скреперов и, главным образом, бульдозеров. Участок канала от 105-го до 120-го километра выполнен на полный профиль в период с сентября 1954 г. по сентябрь 1955 г. В октябре 1955 г. по этому 15-километровому участку была пущена вода.

Техническим проектом строительства предусматривался следующий метод работы. Для отряда землесосов, дорабатывавших сечение канала на полный профиль, скреперы и бульдозеры осуществляли строительство пионерной траншеи участками длиной от 4,25 до 8,0 км (способными пропустить

расход воды до 16,0 м³/сек.) с оставлением при этом недобора до проектной отметки дна канала в 2,5 м. В конце пионерной траншеи предусматривалась плавучая насосная станция, от которой по трубам ∅=8″ (с числом ниток до 5) планировалась подача воды к следующему участку длиной до 8 км для увлажнения сухого песчаного грунта, разрабатываемого скреперами и бульдозерами в забоях пионерной траншеи. Из-за отсутствия необходимого количества труб эта схема не была осуществлена. Было решено до 250-го километра строить скреперами и бульдозерами (без увлажнения грунта) пионерную траншею, способную пропускать расходы порядка 6—8 м³/сек.

Первоначально сечение пионерной траншеи, выполнявшейся строительством, не учитывало специфики скреперных и бульдозерных работ. Принятая малая ширина траншеи по дну (всего 3,0 м с крутым правым откосом 1:1,5 и левым параболическим откосом 1:2,5, 1:4,5) не позволяла эффективно использовать прицепные механизмы. Кроме того, устраивались выезды через каждые 50 м, что отнимало до 30% времени работы скреперов. Дальность перемещения грунта составляла 100—150 м. Основной недостаток такой организации работ состоял в трудности отделки левого откоса при наборе грунта скрепером сверху вниз, так как недостаточная ширина траншеи по дну затрудняла разворот скрепера и возвращение его в исходное положение на левый откос; кроме того, при этом получался сильный боковой износ катков и гусениц тракторов, постоянно работавших в наклонном положении (отработка левого откоса велась при движении скрепера по диагонали). Все это приводило к низкой выработке скреперов (не более 15 м³/час); среднемесячная выработка на один скрепер, работавший на отделке откосов, составляла всего 4—5 тыс. м³, тогда как на выемке грунта из пионерной траншеи она достигала 16 тыс. м³ в месяц.

Недостатки скреперных работ при 3-метровой ширине по дну пионерной траншеи побудили строителей искать такую организацию работ, при которой достигалась бы основная цель—ускорение продвижения воды вперед. Была предложена схема работ, при которой ширина по дну пионерной траншеи доводилась до 16 м с недобором в 2 м до проектной отметки дна. При такой схеме скреперный агрегат мог свободно отрабатывать откосы, так как 16-метровая ширина дна позволяла скреперу разворачиваться для возвращения в исходное положение. По этой схеме пионерная траншея построена от 124-го до 144-го километра. Основной ее недостаток в том, что оставляемые 2-метровые недоборы не позволяли пропускать по пионерной траншее воду из Келифских озер из-за отстава-

ния строительства дамб обвалования. Это обстоятельство привело к мысли добирать перед пуском воды в пионерную траншею 2-метровые недоборы по дну скреперами, хотя это и являлось очень трудоемкой и малопроизводительной работой. Предпринимались попытки применить другие схемы производства работ на пионерной траншее, но все они имели те же недостатки, что и предыдущие схемы, так как основная трудность заключалась в том, что пионерная траншея сооружалась с левой стороны канала, а грунт перемещался на правую сторону (это основное условие проекта производства работ, предусматривавшего при последующих очередях строительства канала уширение русла только влево, правая же сторона уширению не подлежала).

Левый откос пионерной траншеи оставался на первую очередь канала постоянным, и его отработка по проекту отнимала (из-за малой ширины самой пионерной траншеи) много времени. При ширине траншеи по дну в 16 м затраты времени на отделку левого откоса сокращались в 4 раза и составляли 10% от общего времени выполнения траншеи, но последующее углубление 2-метрового недобора увеличивало непроизводительную трату времени, что вынудило искать более рациональный способ производства работ. После ряда проб была принята ширина траншеи по дну, равная 8 м без недоборов. При этом вследствие загипсованности грунта (на отдельных участках траншеи) во время производства работ образовывались почти вертикальные стенки. Выезды стали устраивать не через 50, а через 100 м, причем на каждом выезде работало 2 скрепера с предельным расстоянием забоя от выездов 50 м. При такой схеме работ (рис. 8) два скреперных агрегата одновременно приступали к разработке грунта с места будущего выезда и продольными ходами рыли котлован, входящий в состав траншеи, до проектного дна, после чего каждый из них отрабатывал свой 50-метровый участок, по окончании которого переходил на следующий выезд. Образовавшаяся при такой схеме работ перемычка в траншее, служившая частью выезда, снималась скреперным агрегатом, вывозившим грунт через соседний выезд. Практика показала, что наибольшая производительность скреперного агрегата достигалась при уклоне выезда не выше 1:7 и при работе трактора-тягача на третьей скорости. В результате проведения этих мероприятий выработка скреперов повысилась до 30 м³/час.

Со 160-го километра на трассе канала появились сухие барханные пески, и производство работ скреперами оказалось невозможным. Наполнение ковшей скреперов резко ухудшилось. Вместо 6,0 м³ они набирали не более 3,0 м³ грунта, а в отвал доставляли 1,0—1,2 м³ грунта. Исключительно текучий

сухой барханный песок просачивался (вытекал) через все неплотности между заслонкой и днищем скрепера. Кроме того, было установлено, что по барханным пескам трактор-тягач может тянуть только незагруженный скрепер с предельным уклоном 1:6. Попытки заполнить скреперный ковш приводили к необходимости дополнительно подключать к скреперу трактор-тягач, при помощи которого скрепер выбирался из выем-

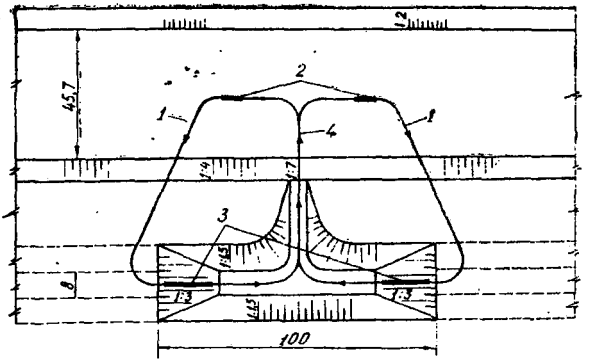


Рис. 8. Схема разработки пионерной траншеи скреперами. 1—длина холостого хода; 2—длина разгрузки (6 м); 3—длина набора—20 м; 4—длина груженого хода.

ки. Но и при этих условиях в отвал доставлялось не выше 1,8 м³ грунта вместо 6, причем наблюдались сильная пробуксовка и рывки тракторов, приводившие к деформации скрепера, к обрыву передков, исключавшие в некоторых случаях возможность восстановления. Все это приводило к длительным простоям скреперного парка и его неудовлетворительной производительности. Месячная выработка скрепера при работе в барханных песках не превышала 6 тыс. м³. В связи с этим строители отказались от скреперов и перешли на работу с бульдозерами. Скреперы продолжали использовать там, где подстилающий слой представлял влажный суглинок; в этом случае скрепер, набирая грунт сверху вниз, выбирал нижний слой влажного грунта, служивший как бы пробкой, препятствовавшей вытеканию песка из скреперного ковша.

Все это позволяет сделать вывод, что при разработке сухих барханных песков производительность скреперного агрегата снижается в 2—3 раза, и поэтому использование его в условиях песчаной пустыни при отсутствии достаточного количества воды для увлажнения грунтов нецелесообразно. Скрепер может быть рекомендован для разработки выемок и отсыпки дамб из глинистых, суглинистых и достаточно увлажненных песчаных грунтов.

Работа бульдозеров

Применение высокопроизводительной машины при строительстве пионерной траншеи, от которой зависело продвижение амударьинской воды, имело решающее значение. Важно было, чтобы в условиях барханных песков эта машина выполняла весь технологический процесс возведения пионерной траншеи, так как однотипность машин намного упрощает в этих условиях организацию и производство строительных работ. Такой машиной на строительстве Каракумского канала в сыпучих мелкопесчаных грунтах оказался бульдозер Д-157 и Д-271 на тракторе С-80 и С-100.

Строительство пионерной траншеи в барханных песках с помощью бульдозеров осуществлялось двумя способами: траншейным и траншейно-комбинированным. При траншейном способе бульдозер нарезает на участке длиной 50—60 м ряд траншей перпендикулярно оси канала. Глубина этих траншей, как правило, не превышает высоты трактора, а ширина равна ширине отвала бульдозерного ножа. Между траншеями оставлялись перемычки (гребешки), ширина которых в зависимости от физических свойств грунта составляла 1—1,5 м. Наличие перемычек предотвращало потери грунта при перемещении его в отвал (рис. 9). После нарезки траншей первого яруса бульдозер производил обрушение перемычек с последующей вывозкой обрушенного грунта в отвал. Затем весь процесс возобновлялся на втором ярусе и т. д.

Работая этим способом, бульдозеры давали выработку до 50 м³ в час при дальности перемещения грунта 60 м, причем производительность бульдозера заметно менялась в зависимости от глубины выемки и величины заложения откосов пионерной траншеи.

Наблюдения и анализ работы бульдозеров на строительстве первой очереди Каракумского канала показали, что наиболее экономичные результаты получаются при следующих показателях: при разработке профиля канала с выемками до 3 м, заложение откосов должно быть не менее 1:3; при выемках от 3 до 8 м — не менее 1:4, свыше 8 м— 1:5. Во всех случаях ширина траншей (канала) по дну должна быть не менее 6—7 м.

По мере накопления опыта использования бульдозеров на строительстве канала траншейный способ разработки был усовершенствован и заменен наиболее производительным траншейно-комбинированным методом, при котором перемычки между траншеями разрушались бульдозерами, идущими параллельно оси канала. Грунт от перемычек не вывозился в отвал, а оставался в канале, так как последняя проходка

траншей делалась на глубину ниже отметки дна канала с таким расчетом, чтобы после обрушения перемычек их объем заполнял переборы до проектной отметки дна.

При глубине выемок до 5 м проектное сечение канала мало чем отличалось от фактически выполненного. Оно имело параболический профиль с откосами от 1:2,5 в нижней части сечения до 1:4,0 вверху. При выемках более глубоких (свыше 6 м) заложение откосов в верхней части канала увеличивалось до 1:5. Такие откосы при больших глубинах хотя и приводили к некоторому увеличению проектного сечения канала, но зато значительно увеличивали производительность бульдозера. Траншейно-комбинированный метод позволил довести

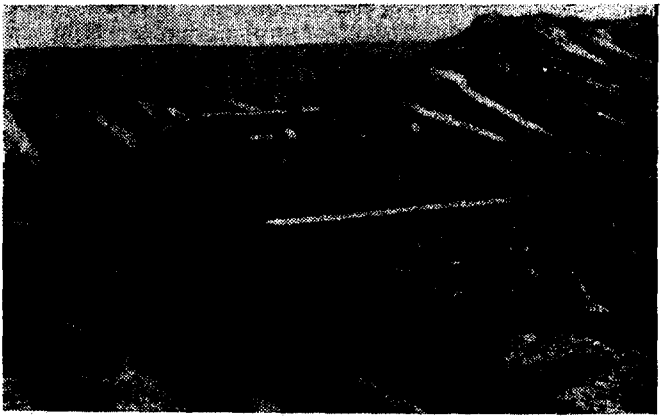


Рис. 9. Разработка песчаных участков Каракумского канала бульдозерами.

выработку бульдозеров в среднем до 70 м³ в час. Такое повышение производительности объясняется тем, что при траншейном методе разрушение и вывозка грунта перемычек, составлявшие всего 15% объема работ, занимали 25% времени, а при траншейно-комбинированном — не более 10%.

В табл. 11 приведены сравнительные показатели по разработке различными механизмами выемки глубиной 6 м на песчаном участке Каракумского канала.

Значительный интерес представляет использование бульдозеров на разработке в барханных песках выемок глубиной более 10 м. Опыта таких разработок бульдозерами не было, и рациональный метод производства этих работ найден экспериментальным путем на строительстве Каракумского канала. Вызывала сомнение возможность выталкивания грунта бульдозерами сразу на полную высоту (которая с учетом от-

валов достигала 22 м), и вначале глубокие выемки разрабатывались в два приема: первый прием — на глубину 5—6 м, причем заранее подготовлялась боковая пазуха, в которую затем укладывался весь грунт, вынимаемый из нижней части выемки. Впоследствии была установлена возможность транспортирования грунта по откосу бульдозером на полную высоту, после чего все глубокие выемки разрабатывались без устройства пазух, но с более пологим, чем предусматривалось проектом, откосом в верхней части канала. При этом качество выполненных работ выше, чем при использовании экскаваторов и землесосов.

Таблица 11

Производительность механизмов на разработке выемки в песчаных грунтах глубиной 6 м.

Механизмы	Количество занятых рабочих	Достигнутая производительность в месяц (тыс. м³)	Достигнутая производительность на одного рабочего в месяц (тыс. м³)
Бульдозер Д-157	2	25	12,5
Экскаватор Э-1004	6	25	4,2
Скрепер Д-222	2	6	3,0
Землесос НЗ-8	12	30	2,5
Землесос „Сормовский"	32	60	1,9

Если на первом этапе строительства в условиях песчаной пустыни бульдозеры Д-157 и Д-271 отрабатывали до капитального ремонта 1800—2000 час., то в последующем, по мере накопления опыта работы, это время достигало в аналогичных условиях 4000 час. А передовые бульдозеристы тт. Бачевский, Гайнулла Каримов и др. проработали на бульдозере с трактором С-80 без капитального ремонта 5400 моточасов и переместили за это время по 400 тыс. м³ грунта. Это было результатом проведения особых профилактических мероприятий, к числу которых относятся:

1. Более частая замена фильтров.
2. Увеличение площади теплоотдачи воды в системе охлаждения в летний период.
3. Фильтрование смазочного материала через капроновую ткань до заливки его в картер. Зимой для осаждения взвешенных частиц масло подогревалось.
4. Дополнительная изоляция отверстий для смазки (оборачиванием их тканью) с целью предупреждения попадания в них пыли и песка.

В результате этих мероприятий годовая выработка на работающий бульдозер в среднем достигала:

Для новых бульдозеров	— 250 тыс. м³
Для бульдозеров, прошедших первый капитальный ремонт	— 180 „
Для бульдозеров, прошедших второй и последующий капитальные ремонты	— 150 „

Следует отметить, что наряду с увеличением периода межкапитального ремонта по мере накопления опыта использования бульдозеров и выявления возможностей этой машины происходил устойчивый рост ее производительности. В табл. 12 приведены показатели работы бульдозеров, участвовавших в строительстве первой очереди Каракумского канала.

Таблица 12

Достигнутая производительность бульдозеров на строительстве первой очереди Каракумского канала

Показатели	Производительность бульдозеров на тракторах С-80 и С-100 по годам (тыс. м³)		
	1954—1956	1957—1958	1959
Директивная норма	50,0	60,0	80,0
Фактическая производительность	51,1	80,8	86,0
Выполнение нормы (в %)	102,3	134,7	107,0

Несмотря на то, что проектом организации работ по строительству первой очереди Каракумского канала бульдозерам отводилась роль вспомогательных механизмов, опыт строительства намного расширил значение бульдозера, сделав его ведущей землеройной машиной.

Если по проекту доля участия бульдозеров в выполнении объема земляных работ была принята 9,6%, то фактически она составила 36%. Значение бульдозера как высокоэффективной и экономичной машины особенно возрастает в условиях жаркого климата в сухих песчаных грунтах.

Это было учтено при составлении проекта второй и третьей очередей Каракумского канала, где более половины всего объема земляных работ отводилось выполнению бульдозерами.

Следует отметить, что доля участия бульдозеров на строительстве Каракумского канала значительно выше, чем на других крупных ирригационных стройках Советского Союза. Это видно из данных табл. 13.

Таблица 13

Участие различных механизмов в строительстве крупных каналов

Наименование строек	Время выполнения работ (годы)	Общий объем земляных работ (млн. м³)	В том числе выполнено от общего объема работ (в %)				
			бульдозерами	экскаваторами	скреперами	средствами гидромеханизации	вручную и малой механизацией
Каракумский канал первой очереди	1954—1960	103,6	36,0	13,5	14,2	36,2*	0,1
Канал им. Ленина	1949—1952	55,8	7,1	44,0	36,1	11,7	1,1
Канал им. Москвы	1931—1937	153,7	—	35,0	0,8	5,1	58,3
Волгодонстрой	1947—1952	194,3	9,5	30,5	23,4	27,5	2,1
Куйбышевгидрострой	1952—1957	138,1	15,6	21,8	3,9	53,8	0,1

* *Включая объем работ, выполненный гидравлическим размывом.*

Показатели стоимости земляных работ по различным типам землеройных машин, работавших на Каракумском канале, говорят, что при прочих равных условиях самой экономичной является бульдозерная разработка. В табл. 14 приведены сравнительные стоимости разработки 1 м³ профильной кубатуры различными механизмами на 30-километровом участке Каракумского канала (от 150-го до 180-го километра трассы).

Таблица 14

Стоимость разработки грунта различными механизмами на песчаном участке первой очереди Каракумского канала

Наименование механизмов	Выполненный объем (тыс. м³)	К общему объему (в %)	Стоимость 1 м³ (руб.)
Весь выполненный по участку объем	5584,3	100	0,49
В том числе:			
скреперами	569,8	10,3	0,30
бульдозерами	2296,2	41,1	0,24
земснарядами НЗ-8 „Сормовский"	2138,5	38,3	0,63
	579,8	10,3	1,11

Выводы

1. Опыт строительства Каракумского канала в специфических условиях песчаной пустыни показал, что бульдозер является высокоэффективной и экономичной машиной при производстве земляных работ по устройству каналов особенно в сухих песчаных грунтах.

2. Бульдозерная разработка каналов может конкурировать с другими землеройными машинами и в других условиях практически независима от глубины разработки при дальности перемещения грунта до 100 м.

3. В водохозяйственном строительстве буьдозер должен стать ведущей землеройной машиной, в связи с чем целесообразно в типовых технологических схемах производства земляных работ по устройству каналов значительно расширить область применения этой машины.

4. Изучение особенностей работы бульдозера на больших уклонах, а также дальнейшие поиски повышения производительности и улучшение эксплуатационных качеств бульдозера в этих условиях являются важнейшей задачей дальнейших исследований.

В процессе строительства Каракумского канала под руководством Бюро испытаний отдела главного конструктора по тракторостроению Челябинского тракторного завода проведены эксплуатационные испытания двух опытных тракторов С-80, приспособленных для работы в условиях пустыни, для сравнения их с тракторами С-80 серийного производства. Сравнительные испытания производились в две смены в основном с бульдозерным оборудованием и со скрепером на выемке грунта из русла канала. При работе трактора с бульдозером общий вес всей навесной системы составлял около 1700 кг, из них 1350—1400 кг приходилось на нож с рамой, а 300—350 кг — на лебедку.

За период испытаний отработано (час.):

Опытным трактором № 1	—1860
„ „ № 2	—1925
Серийным „	—1790

Производительность тракторов, прошедших испытания, приведена в табл. 15.

Расход дизельного топлива на один моточас работы трактора составлял 8,5—9,0 кг.

Результаты проведенных испытаний коротко сводятся к следующему:

Таблица 15

Сравнение производительности тракторов С-80, приспособленных для работ в условиях пустыни, с трактором С-80 серийного производства

Тип трактора	Выработка грунта по месяцам							
	Август		Сентябрь		Октябрь		Ноябрь	
	тыс. м³	часы	тыс. м³	часы	тыс. м³	часы	тыс. м³	часы
Опытный № 1	36,1	384	45,7	288	26,5	348	19,9	208
» № 2	56,5	384	31,6	240	35,2	244	24,8	304
Серийный	7,2	192	8,1	208	32,7	325	16,9	200

1. При работе трактора со скрепером на выемке грунта влажностью 10—12% сцепление серийных гусениц с почвой оказывается недостаточным только в период заполнения ковша грунтом, но, опуская или поднимая ковш, его можно регулировать. Однако в случае работы трактора со скрепером в сухих сыпучих грунтах сцепление недостаточно даже на опытных тракторах с гусеницами на уширенных башмаках.

2. В условиях строительства Каракумского канала с преобладанием песчаных и суглинистых грунтов различной плотности и влажности тракторы С-80 с гусеницами серийного производства обеспечивают эффективную высокопроизводительную работу как с навесным, так и с прицепным оборудованием.

3. Чистые исправные водяные радиаторы обеспечивают нормальный тепловой режим тракторного двигателя КДМ-46 на землеройных работах при температуре окружающего воздуха до 45°. Поэтому вместо увеличения площади теплоотдачи радиатора целесообразно обеспечивать постоянную техническую исправность серийных радиаторов.

4. Опорные катки и натяжные колеса на роликоподшипниках, установленные на опытных тракторах С-80, отработали по 4200—4945 час. при среднем сроке службы серийных 1000—1200 час.

5. Установкой на трактор дополнительного масляного бачка, обеспечивающего закрытую дозаправку дизель-мотора маслом при закрытом указателе уровня масла в картере дизель-мотора, достигается значительное увеличение срока службы коленчатого вала. Установка дополнительного бачка под капот двигателя желательна на всех машинах, используемых на гидротехническом строительстве в Средней Азии.

6. В условиях работ в пустыне заправка тракторов часто производится неотстоенным топливом. Применение дополнительного фильтра в отстойнике грубой очистки топлива значительно удлиняет срок службы основного фильтра.

Особые условия строительства канала, осуществляемого в условиях жаркого климата, при значительной запыленности воздуха, содержащего в пыли большое количество солей, вызывающих перегрев двигателей и преждевременный износ механизмов абразивным и химическим воздействиями, потребовали изменений в общепринятой системе технического ухода за тракторами С-80. Были сокращены сроки проведения технических уходов.

Техуход № 0 вместо 30 час. выполнялся через каждые 10 час. работы трактора; техуход № 1 — через 40 час. вместо 60, предусмотренных инструкцией; техуход № 2 — через 80 час. вместо установленных 120; техуход № 3—через 160 час. вместо предусмотренных 240; техуход № 5 — через 500—600 час. вместо 960—1000, предусмотренных инструкцией.

Сроки проведения отдельных операций, входящих в состав техуходов, еще более сокращены. Входящая в состав техухода № 0 очистка от пыли стеклянных стаканов воздухоочистителя производилась через 4—5 час., а в особо пыльных условиях через час. Промывка подшипников среднего диска в поддоне воздухоочистителя производилась 1—2 раза в смену (при ежемесячной промывке керосином поддона и сетки воздухоочистителя). Подшипники нижних катков тележки смазывались через 8 час., а в особо тяжелых условиях через час вместо 20 час., предусмотренных инструкцией. Средний ремонт тракторов при измененной системе технических уходов производился через 1600—2000 час., причем в дизелях новых тракторов достаточно было лишь заменить поршневые кольца и притирки клапанов.

Таким образом, изменение системы технических уходов за тракторами было направлено в основном на усиление контроля за состоянием масла и своевременную его замену, более частую замену фильтров и на обеспечение условий, предотвращающих попадание песчаной пыли в дизель. Описанная система техуходов обеспечила среднюю продолжительность работы тракторов до капитального ремонта 3700, а в отдельных случаях — 5000 час.

Использование экскаваторов

Как указано выше, в западной зоне строительства канал разрабатывался, главным образом, однокубовыми экскаваторами в комплексе с бульдозерами, транспортировавшими грунт из-под экскаватора в отвал. Опыт строительства показал, что экскаваторы при работе в барханных песках дают низкую производительность, главным образом, из-за неприспособленности стандартных ковшей-драглайн, которыми они

снабжены. Стандартные ковши теряют грунт при перемещении в отвал из-за «вытекания» песка в передней части ковша и через его заднюю стенку. Несмотря на то, что грунт набирается с «шапкой», к отвалу ковш приходит с коэффициентом наполнения всего в 0,6. В то же время опыт использования экскаваторов на канале подтвердил также возможность разработки легких песчаных грунтов с ковшами увеличенной емкости.

Строителями Каракумского канала были изготовлены к экскаваторам Э-1004 ковши увеличенной емкости, достигавшие 1,8 м³. При работе в песчаных грунтах они имели те же недостатки, которые имели место при работе со стандартными ковшами (коэффициент наполнения не превышал 0,6). Это происходило вследствие того, что соотношение основных размеров увеличенного ковша было принято таким же, как у заводских ковшей.

Вопросами повышения производительности экскаваторов-драглайнов при разработке песчаных грунтов в последнее время занимался ряд производственных и научных организаций. Наиболее полные исследования применительно к условиям песчаной пустыни выполнены Среднеазиатским научно-исследовательским институтом ирригации.

В 1956 г. отделом механизации САНИИРИ были проведены исследования ковша экскаватора-драглайн на строительстве Каракумского канала в барханных песках и в лабораторных условиях. Эти исследования, выполненные В. В. Федоровым (1956), показали:

1. Для нормальной работы экскаваторов-драглайнов в сухих песчаных грунтах вес ковша может быть в 2—3 раза меньше, чем это рекомендуется для тяжелых грунтов. По условиям прочности ковша его вес может быть снижен до 500—600 кг на 1 м³ емкости.

2. Несмотря на хорошее заполнение ковша при наборе, значительная часть грунта (до 40%) высыпается из ковша при отрыве груженого ковша от забоя и транспортировании на выгрузку, в результате чего коэффициент наполнения не превышает в среднем 0,78. Из-за вынужденного подтягивания заполненного ковша к наводке и потерь при транспортировании производительность экскаватора-драглайна при работе в сухих песчаных грунтах значительно ниже, чем при работе в нормальных грунтах 1-й категории.

3. Существенное влияние на наполнение ковша-драглайн оказывают его геометрическая форма, относительные размеры и угол наклона днища груженого ковша к горизонту при транспортировании. Ковши относительно низкие и длинные имеют больший коэффициент наполнения, чем короткие

и высокие. С увеличением отношения длины ковша к его высоте с 2 до 3 максимальное значение коэффициента наполнения ковша увеличивается от 0,85 до 0,96 (на 12,5%). Наращивание задней стенки ковша по высоте увеличивает его наполнение на 10%. Для каждого ковша в зависимости от соотношения его размеров существует определенный оптимальный угол наклона днища к горизонту, при котором наполнение становится максимальным. Применение для работы в сухих песчаных грунтах ковша-драглайн рациональной формы и придание ему правильного положения при транспортировании увеличивают наполнение ковша на 35—45%. Емкость сменного ковша-драглайн по сравнению с емкостью стандартного ковша может быть увеличена в среднем на 50%. В общей сложности за счет увеличения емкости ковша и степени его наполнения фактический объем грунта, транспортируемого ковшом из забоя в отвал за каждый рабочий цикл, а следовательно, и производительность экскаватора увеличиваются в среднем на 100%. В. В. Федоров рекомендует пользоваться следующими данными при выборе основных параметров сменных ковшей-драглайн:

1. Конструктивный вес корпуса сменного ковша, отнесенного к 1 м³ его емкости q=500—650 кг/м³.

2. Геометрические размеры ковша (м):

длина $l = 1{,}65 \sqrt[3]{q}$, ширина (средняя) $b = 1{,}10 \sqrt[3]{q}$, высота $h = 0{,}55 \sqrt[3]{q}$, где q — емкость сменного ковша.

Основные параметры сменного ковша-драглайн для работы экскаватора в сухих песчаных грунтах приведены в табл. 16.

Таблица 16

Основные параметры сменного ковша-драглайн для работы в сухих песчаных грунтах, по данным В. В. Федорова

Параметры ковшей	Единица измерения	Типы экскаваторов		
		Э-505	Э-854	Э-1004
Геометрическая емкость	м³	0,850	1,200	1,70
Вес корпуса	кг	560	675	860
Геометрические размеры:				
длина	м	1,550	1,750	1,92
ширина	»	1,050	1,170	1,32
высота	»	0,525	0,585	0,66
Высота задней стенки	»	0,875	0,885	0,98
Высота арки	»	0,280	0,30	0,36
Нормальный путь заполнения ковша (не менее)	»	3,0	3,50	4,00
Оптимальный угол наклона днища груженого ковша к горизонту при транспортировке	градусы	20	20	20

Исходя из рекомендации В. В. Федорова, был построен ковш емкостью 0,95 м³ для экскаватора-драглайн Э-505 и испытан на Захметском участке. Результаты испытаний приведены в табл. 17.

Таблица 17

Результаты испытаний стандартного и экспериментального ковшей-драглайн

Тип ковша и его емкость	Продолжительность набора грунта (сек.)	Объем (м³)			Коэффициент наполнения ковша
		грунта в ковше в плотном теле	разрыхленного грунта в ковше	в процентах к объему грунта в стандартном ковше	
Стандартный ковш Э-505 емкостью 0,6 м³	6,2	0,51	0,58	100	0,97
Экспериментальный ковш емкостью 0,95 м³	6,6	0,94	1,06	183	1,12

Из табл. 18 видно, что за счет замены ковша, построенного по параметрам В. В. Федорова, производительность экскаватора Э-505 увеличилась на 83%.

В западной зоне строительства отдельные участки канала проходили в насыпных дамбах, которые уплотнялись прицепными пятитонными кулачковыми катками Д-130А и в некоторых случаях (малонапорных дамб) тракторами С-80. Уплотнение только тракторами С-80, удельное давление которых на грунт составляет всего 0,48 кг/см², не давало надлежащего эффекта.

Приведенная в процессе строительства опытная укатка приканальных дамб в суглинистых грунтах прицепными кулачковыми катками и отдельно тракторами показала, что для получения проектной величины уплотнения (1,60 т/м³) потребовалось 11 проходок трактора при толщине отсыпаемого слоя в 20 см; в аналогичных условиях такая же плотность достигалась четырьмя проходками пятитонного кулачкового катка. При толщине отсыпаемого слоя больше 20 см тракторная укатка вообще не давала требуемого уплотнения, укаткой же прицепным кулачковым катком необходимое уплотнение достигалось при отсыпаемом слое в 35—40 см.

Разработка канала размывом

В процессе строительства пионерной траншеи на песчаном участке предпринимались попытки увеличить ее пропускную способность путем смыва грунта водой в имеющиеся по трас-

се канала естественные понижения местности, глубина которых доходила до 10 м. При этом была установлена эффективная работа перепадов, заключавшаяся в том, что незначительными расходами воды срабатывались значительные объемы грунта. Используя этот эффект, полученный за счет энергии потока воды, главный инженер СМУ гидромеханизации К. Е. Церетелли внедрил разработку пионерного канала гидравлическим размывом на полный проектный профиль на протяжении 51 км (со 193-го до 244-го километра). Лишь на отдельных участках общей длиной в 7 км вводились землесосы, дорабатывавшие канал до проектных размеров (в эти 7 км входит полуторакилометровый участок между 208—210 километрами трассы, проходящей в полувыемке-полунасыпи и разработанный сразу на полный профиль сухопутными механизмами при строительстве пионерной траншеи).

В гидротехнической практике строительство каналов путем саморазмыва при наличии соответствующих рельефных условий проводится не впервые. Саморазмывом был разработан Волго-Ахтубинский канал для удовлетворения нужд всех потребителей, которые ранее снабжались водой из р. Ахтубы, перекрытой земляной дамбой в связи со строительством Волжского гидроузла (И. А. Кузмин, 1960).

Об успешном саморазмыве отводящего тракта гидроэлектростанций в Узбекистане, произведенного при уклонах 0,0007—0,0008, и нарастающих расходах воды от 10 до 480 м³/сек., пишет А. А. Жимский (1952).

Саморазмывом при строительстве Саратовского гидроузла был построен временный канал для отвода паводковых вод из р. Сазанлей в Волгу (В. А. Чупрунов, 1960).

В практике водохозяйственного строительства Туркменской ССР саморазмыв канала в небольших объемах применялся при строительстве Кочербайского сброса на системе Совет-Яб (1946—1947 гг.), на строительстве отводящего канала второго Тедженского водохранилища (1960 г.) и на других объектах.

Однако наибольший практический интерес представляет опыт разработки пионерной траншеи при строительстве первой очереди Каракумского канала вершинными перепадами с использованием высотного положения местности и сбросом за пределы проектного сечения канала размываемого грунта, предложенный и внедренный К. Е. Церетелли.

Трасса канала, где был осуществлен саморазмыв (193—244 километры), проходит в наиболее тяжелых условиях песчаной пустыни с сильно и резко расчлененным рельефом бугристо-котловинного характера. Разность отметок достигает здесь 25 м, а глубина выемки в канале 17 м.

Метод производства работ гидроразмывом заключался в следующем. По трассе предполагаемого размыва выбирались естественные глубокие понижения и котловины, расположенные как по оси канала, так и по правую и левую стороны на расстоянии 50—60 м от оси с падением 3—12 м относительно проектной отметки дна канала. Таким образом, за счет разности высот местности создавались искусственные перепады. Бульдозерами строился пионерный канал небольшого сечения (равный по дну ширине бульдозерного ножа) и с недоборами в 2—3 м для пропуска расхода воды порядка 2—3 м³/сек. Пропускаемый в котловину сосредоточенный поток со скоростями 3—5 м/сек. возбуждал работу перепада, продвигавшегося вверх, унося с собой массу сработанного грунта до тех пор, пока горизонт воды в котловине не поднимался до горизонта воды в пионерной траншее, размеры которой увеличивались в зависимости от количества смытого грунта; объем последнего в свою очередь зависел от транспортирующей способности потока. По мере продвижения перепада вверх образовывалась глубокая, но сравнительно узкая траншея в виде быстротока (с уклоном дна в песчаных грунтах 0,002), уширявшаяся потоком воды. Затем пионерная траншея выше места образовавшегося быстротока перекрывалась земляной перемычкой, а вода из котловины при небольшом ее объеме в короткое время просачивалась в дно, сложенное песками, а при большом объеме сбрасывалась в близлежащие понижения. Такая операция повторялась до тех пор, пока пионерная траншея не превращалась в канал, близкий по размерам к проектному сечению. Наибольший эффект получался при размыве пионерной траншеи со сбросом размываемого грунта в глубокие (8—12 м) замкнутые котловины и понижения, расположенные вправо и влево от оси канала. Основное преимущество такой разработки заключалось в том, что грунт смывался за пределы будущего канала и не создавал отмелей по оси, что имело место при смыве в осевые понижения.

В отдельных случаях выбирались большие понижения (до 15 м ниже проектного дна канала) вдали от оси канала (до 200—300 м), причем эти понижения были незамкнутыми.

При использовании таких понижений предварительно по трассе пионерной траншеи выбирались в 4—5 км выше места незамкнутого понижения участка в глубокой выемке, где заранее намечалось перекрытие потока, и замкнутые понижения, куда отводилась вода в момент перекрытия потока. От пионерной траншеи до замкнутого понижения заранее разрабатывался небольшой канал, на котором впереди пионерной траншеи оставлялась перемычка (рис. 10). После того, как

пионерная траншея разрабатывалась до проектных размеров канала и наступал момент перекрытия потока, в целях сокращения скорости движения последнего, достигавшей 1,5 м/сек., и облегчения работ по его отключению использовались естественные водоуловители в виде небольших замкнутых котловин, расположенных выше места перекрытия, в которые отводилась основная часть расхода. Поток воды устремлялся в эти понижения, скорости у места перекрытия резко сокращались (до 0,1 м/сек.), а иногда поток полностью прекращался, что позволяло легко провести перекрытие устройством перемычки в образовавшемся русле канала. Отсыпка

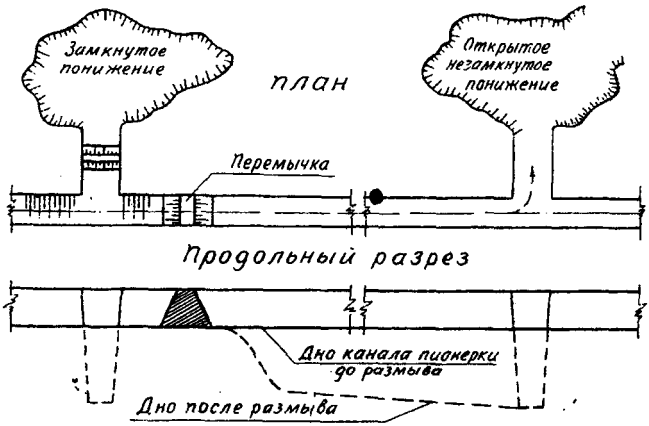


Рис. 10. Схема разработки пионерного канала размывом, с использованием незамкнутых понижений.

перемычки осуществлялась бульдозерами на тракторах С-80. Основное внимание обращалось на то, чтобы перемычка была отсыпана до того, как заполнятся замкнутые понижения. Для достижения еще большего эффекта предварительно снимался растительный слой разрабатываемого участка. Без этого интенсивность размыва пионерной траншеи была меньше в несколько раз, так как понижение наполнялось водой с малой консистенцией размываемого грунта и успевало заполниться намного раньше, чем происходил размыв пионерной траншеи.

В легко размываемых песчаных грунтах хороший эффект при гидроразмыве получен при начальном расходе 1,0 м³/сек. При этом кривая спада распространялась вверх на 1,0 — 1,5 км, образуя быстроток. В начале быстротока вода насыщалась грунтом на 4—5%, в среднем течении на 8—10%. В 300—400 м от перепада поток воды усиленно подрезал берега пионерной траншеи и насыщался грунтом на 25%. В са-

мом перепаде и в нижнем течении насыщение потока составляло 40%. Скорость продвижения перепада вверх достигала 150—200 м/час., в зависимости от расхода воды и величины перепада. При большом перепаде скорость продвижения увеличивалась и наоборот.

Проведенные наблюдения за размывом пионерной траншеи на 235 км при перепаде 11 м показали следующее: размыв 4 км участка продолжался 36 час. За это время было смыто за пределы канала 320 тыс. м³ грунта. Нарастание расхода воды составляло от 1 до 18 м³/сек. Особенно интенсивно проходил размыв в первые 23 часа за счет быстро продвигающегося вверх по течению перепада. Обрушение песчаных берегов происходило непрерывно на протяжении 900 м. Объем размываемого грунта нарастал пропорционально увеличению расхода воды. После 23 час. интенсивность размыва начала уменьшаться, и мутность потока составляла в начале размыва (у перепада) 16%, в 900 м вверх по течению 10%. Всего за 2,5 месяца разработки пионерного канала способом гидроразмыва выполнено 2,0 млн. м³, из них профильной 1,1 млн. м³. Сметная стоимость выполненных работ 700 тыс. руб., фактические затраты — 30 тыс. руб. Стоимость 1 м³ разработанного грунта (профильной кубатуры) 2,1 коп.

Выводы. Опыт строительства Каракумского канала показал, что при наличии воды разработка глубоких выемок в песчаных грунтах открытым потоком в естественные понижения местности дает большой экономический эффект и ускоряет работу. Этот опыт может быть использован при сооружении последующих очередей канала и при строительстве других оросительных каналов и коллекторов в аналогичных условиях.

Применение гидромеханизации

Гидромеханизация на строительстве Каракумского канала нашла широкое применение. Этим способом выполнено 36,5 млн. м³ (свыше 36% всего объема). В сооружении канала участвовало 63 землесосных снаряда, в том числе 56 марки НЗ-8, 4—100—35, 1—300—40 и 2 «Сормовских». Землесосы зарекомендовали себя высокопроизводительными машинами, весьма простыми в эксплуатации. Ими выполнялись следующие работы:

1. Головные подводящие каналы; здесь близость грунтовых вод и ширина канала до 50 м (при глубине 4 м) допускали выполнение работ только гидромеханизмами. Строительство подводящих каналов выполнялось в основном дизельными

земснарядами типа НЗ-8 и электрическим земснарядом 300—40 с помпой 20-НЗ.

2. Строительство качественных дамб обвалования с волноустойчивыми откосами в Келифских озерах, где наличие воды исключало использование других механизмов. На намыве дамб работали дизельные землесосы с земляными насосами НЗ-8.

3. Выполаживание и усиление откосов дамб Келифских озер.

4. Доведение до проектных размеров пионерной траншеи.

Роль землесосных снарядов особенно возросла при завершении работ, связанных с увеличением пропуска воды по каналу и формированием русла в песчаной зоне. К таким работам относятся выпрямление отдельных участков канала с радиусами закругления менее 150 м, на которых происходил особенно сильный размыв вогнутой стороны берега, поддержание судоходных глубин на песчаном участке канала, ремонтно-регулировочные работы по каналу, углубление канала при выходе из Келифских озер в целях борьбы с интенсивным зарастанием водной растительности.

В настоящее время землесосами выполняются все работы, связанные с механизированной очисткой головного участка канала от амударьинских наносов.

В условиях бесплотинного водозабора правильная организация работ по очистке от наносов каналов-отстойников имеет решающее значение в обеспечении требуемой пропускной способности головного участка в наиболее критический период — при низких горизонтах р. Аму-Дарьи.

В этой связи большой практический интерес представляет высокоэффективный способ производства работ, разработанный В. А. Туркс (1958) на основе многолетнего опыта борьбы с наносами в голове Ташсакинского канала в Южном Хорезме. Учитывая различную интенсивность заиления по длине отстойника, этот способ предусматривает необходимость поддержания равновеликих площадей живого сечения (расходных характеристик) на участке канала-отстойника путем подбора, исходя из производительности действующего парка землесосов и интенсивности осаждения наносов за некоторый расчетный период времени (практически один месяц). Такое мероприятие, заменяя очистку отстойника, позволяет уменьшить объем отложений насосов в головной части канала и увеличить пропускную способность.

При поперечной разработке рекомендуется применять траншейную проходку по оси канала-отстойника по возможности на полную глубину опускания сосуна. Это значительно увеличивает производительность земснаряда и в аллювиаль-

ных грунтах позволяет формировать относительно устойчивый, гидравлический наивыгоднейший профиль канала для пропуска расходов воды и наносов.

С уменьшением мощности парка земснарядов можно соответственно менять длину участков очистки и объем работ на 1 пог. м канала-отстойника (за счет ширины или глубины). Таким образом, участок очистки землесосами уподобится отстойнику, размеры которого меняются с течением времени.

Подбор длины участка работ и расстановку в забой землесосов В. А. Туркс рекомендует производить следующим образом. Из общего объема заиления головного участка канала, определяемого путем съемки в начале каждого месяца, вычитается объем возможной месячной производительности действующего парка землесосов. Разность объемов (избыточный объем) делится на общую длину заиленного участка, что дает средний объем избыточного заиления на 1 пог. м канала. Из продольного профиля канала по графе объемов заиления находился пикет, где объем заиления равен избыточному заилению на 1 пог. м канала. Этот пикет и определяет длину вышерасположенного участка, подлежащего очистке. Вычислив затем объем работ на каждом пикете как разность между объемом заиления и избыточным объемом назначают участки работ для каждого землесоса, исходя из его месячной производительности и технической характеристики.

Внедрение на Каракумском канале такого способа механизированной очистки позволит наиболее полно использовать мощность действующего парка землесосов для поддержания максимальной пропускной способности канала и сократит общий годовой объем наносов, подлежащих очистке.

Накопленный опыт применения гидромеханизации на строительстве Каракумского канала позволяет еще в большей мере использовать внутренние резервы, заложенные в гидромеханизации. Быстроходные двигатели ЗД-6 мощностью 150 л. с. с числом оборотов 1500 в мин., установленные на земснарядах НЗ-8, имеют малый межремонтный период (продолжительность работы этих дизелей до капитального ремонта не превышает 2,5 тыс. час.); следует заменить их двигателями тракторного типа, в частности, выпускаемыми в настоящее время дизелями КДМС-40 для тракторов мощностью 140 л. с. Для увеличения производительности земснарядов целесообразно заменить существующие земляные насосы НЗ-8 насосами 12НЗР-20 САНИИРИ. Для улучшения мобильности земснарядов надо использовать реактивную силу струи воды при его перемещении. Кроме того, для улучшения бытовых условий персонала, находящегося вдали

от населенных пунктов, желательно придать каждому земснаряду брандвахту для проживания в ней рабочих.

В настоящее время назрел вопрос создания высокопроизводительного земснаряда для разработки связных грунтов, так как при переходе с легких грунтов на связные производительность земснаряда падает в несколько раз. С 1960 г. над решением этой задачи работает Институт водных проблем и гидротехники АН ТССР. Разработанное Ф. Ш. Доктор (1962) вибрационно-всасывающее устройство, которым оборудуются земснаряды ЗРС-1 и 8РЗ4-М, повышает выработку на связных грунтах до 35—45 м³/час. Наряду с этим до серийного выпуска такой или иной конструкции высокопроизводительной машины целесообразно оборудовать имеющиеся земснаряды гидравлическими рыхлителями.

Выполнение перечисленных рекомендаций позволит успешнее использовать парк землесосных снарядов во время предстоящего уширения Каракумского канала и на последующих очередях его строительства.

Строительство гидротехнических сооружений

На первой очереди Каракумского канала возведено большое число гидротехнических и переходных сооружений, строительству которых предшествовал комплекс инженерно-геологических и гидрогеологических исследований, позволивших выявить физические свойства грунтов в основаниях сооружений и их фильтрационные свойства.

Все гидротехнические сооружения возведены из бетона с применением местных барханных песков. Чтобы получить бетон нужной марки, потребовалось увеличить на 30—40% расход цемента, но, учитывая тяжелые транспортные условия, увеличение расхода цемента экономически было оправдано. Барханные пески широко применялись и в гражданском строительстве при возведении в зоне песков фундаментов и стен жилых зданий, которые отливали из песчано-цементной смеси с расходом цемента 100—120 кг на 1 м³ бетона.

Вопрос использования в бетоне мелких барханных песков представляет большой практический интерес, так как из-за отсутствия в большинстве республик Средней Азии запасов песков нормальной крупности строители вынуждены применять в бетонах мелкие пески. Каракумские пески характеризуются очень мелким фракционным составом и значительной удельной поверхностью. Число частиц мельче 0,05 мм достигает 70%, а удельная поверхность — более 1200 см²/г.

В процессе сооружения первой очереди канала в научно-исследовательский институт по строительству (Москва) был послан вагон каракумского песка с целью выяснения некоторых вопросов, связанных с его использованием. Как сообщает проф. Б. Г. Скрамтаев (1961), проведенные исследования каракумских песков показали, что их применение дало снижение прочности бетона по сравнению с бетоном на москворецком песке. Чтобы применить каракумский песок и привести бетон к уровню прочности бетона на москворецком песке, потребовался перерасход цемента на 50%.

При строительстве сооружений широко применялась разборно-щитовая опалубка из обрезных досок толщиной 40—50 мм в виде инвентарных частей, обеспечивавших быструю установку и разборку и допускавших 3—4-кратную оборачиваемость. Разборно-щитовая опалубка состояла из набора щитов различных типоразмеров, принимавших в определенных комбинациях форму блоков возводимого сооружения.

Стационарная опалубка, изготовляющаяся в самом блоке, не применялась, так как ее установка связана с большими затратами времени и труда.

На строительстве отдельных сооружений применена опалубка из железобетонных плит-оболочек, резко сократившая потребность в лесоматериалах для опалубочных работ и оказавшаяся достаточно надежной защитной оболочкой сооружения.

Блоки армировались армоконструкциями, предварительно изготовленными на стройплощадках, что в 3—4 раза сокращало сроки подготовки блоков под укладку бетона.

На Каракумском канале впервые в практике гидротехнического строительства в Туркменистане широко использовался сборный железобетон. Сборные элементы сооружений изготовлялись на небольших полигонах, откуда автотранспортом доставлялись на строительную площадку, где монтировались с помощью кранов.

Строительство головного сооружения, шлюза и первого гидроузла производилось в условиях интенсивного притока грунтовых вод, в связи с чем для осушения котлованов и водопонижения использовались иглофильтровые установки ПВУ. Всего на первой очереди Каракумского канала в сооружения уложено 52 тыс. м³ бетона.

Головное сооружение состоит из двух регуляторов с самостоятельными подводящими каналами и общей сливной частью. Водобойные элементы сооружения выполнены в виде шестиочковых труб длиной 15,5 м, разделенных швами на двухочковые с погруженными затворами. Размер отверстия

в свету затворов 3,5×3 м. Для увеличения устойчивости труб сделана засыпка грунтом и устроена мостовая для проезда автотранспорта. С берегами трубы соединяются обратными железобетонными стенками. Плоские затворы сооружения имеют винтовые подъемники, приводимые в действие передвижным электрифицированным редуктором.

Понурная часть выполнена из габионной кладки толщиной 0,4 м и из армированного бетона, сливная часть—в виде бетонной плиты толщиной 1,3 м в начале и 0,5 м в конце.

Рисберма длиной 70 м закреплена габионами и имеет постоянное понижение к концевой части на 0,4 м, заканчиваясь габионным «фартуком», заглубленным на 1,5 м. Сооружение имеет две шпунтовые линии в начале и в конце трубы.

На строительстве головного сооружения требовалось понижение уровня грунтовых вод до 8 м, для чего были применены установки с так называемыми «легкими иглофильтрами». Установка этого типа имеет по сравнению с другим водопонизительным оборудованием ряд преимуществ: инвентарность оборудования, пригодного к использованию в различных гидрогеологических условиях, простота монтажа и возможность установки иглофильтров с помощью подмыва грунта водой; откачка одним насосным агрегатом, установленным на поверхности земли ряда мелких скважин; надежность и простота обслуживания установки в процессе эксплуатации и др.

Так как в основу работы установок с легкими иглофильтрами положен принцип поддержания в системе водопонижения постоянного разрежения глубина понижения уровня грунтовых вод от одной установки не превышала практически (в центре котлована) 4,5—5,0 м. Это вызывало необходимость установления иглофильтров в два яруса.

Судоходный шлюз соединен с Аму-Дарьей судоходным каналом. По конструкции он представляет жесткую железобетонную коробку с верхней и нижней головой. В шлюзовых головах расположены плоские сдвоенные затворы, поднимаемые вверх, и водопроводные галереи для наполнения и опорожнения камеры шлюза также с плоскими затворами. Шлюз, имеющий высотный габарит от максильмального горизонта до затвора 6 м обеспечивает пропуск судов и не рассчитан на подачу в магистральный канал дополнительных расходов воды.

Днище шлюза железобетонное и имеет толщину в головах 2,5 и в камере 1,2 м. Стенки камеры уголкового типа жестко заделаны в днище и имеют толщину у основания 0,80 и по верху 0,20 м.

В процессе строительства судоходного шлюза железобетонные пилоны заменены металлическими из некондиционных буровых труб. На рис. 11 показан общий вид судоходного шлюза.

При строительстве шлюза и головного сооружения для перевозки бетонной смеси использовались преимущественно самосвалы Зис-585 грузоподъемностью 3,5 т. От бетонного завода бетонная смесь перевозилась в автосамосвалах навалом и, как правило, выгружалась непосредственно в опалубку возводимой конструкции. В тех случаях, когда это было невозможно, ее подвозили на бортовых автомашинах бадьями, которые кранами подавались к месту укладки бетона. Для разравнивания и уплотнения бетонной смеси на всех сооружениях применялись электромеханические вибраторы И-18, И-22 и поверхностные (площадные) вибраторы И-7.



Рис. 11. Судоходный шлюза на Каракумском канале.

Водовыпуск в Бассага-Керкинский канал расположен на правом берегу Каракумского канала и построен в связи с использованием на протяжении 30 км верхнего участка Бассага-Керкинского канала под трассу Каракумского канала. Водовыпуск железобетонный и представляет собой шестиочковую трубу. Ширина каждого отверстия в свету 2,0 м, высота 2,4 м. Водобойная часть имеет грунтовую засыпку по верху трубы, приспособленную для проезда автотранспорта. Затворы плоские колесные с винтовыми подъемниками.

Узловое сооружение № 1 расположено при выходе канала из озера Час-Как. В состав узла входит выпуск в магистральный канал и выпуск в сброс, объединенные общим понуром. Рядом с узлом расположен судоходный шлюз, а по сбросному каналу сопрягающее сооружение — быстроток для сброса воды в низину-шор Карамет-Нияз. Основное назначение узло-

вого сооружения — выключение из работы участка канала до узла № 2 в случае аварии на этом участке, а также регулирование расходов, поступающих из Келифских озер в Каракумский канал.

Водовыпуск в магистральный канал трубчатый, шестиочковый, а в сброс — четырехочковый. Сооружения резрезаны конструктивными швами на двухочковые трубы, конструкция которых аналогична трубам на головном сооружении.

Понур сооружения общий для обоих водовыпусков. Он выполнен из габионной кладки и армобетонного крепления дна и откосов. Бетонное крепление разрезано швами на плиты размером 5×5 м. Сопряжение труб с откосами подводящего канала произведено с помощью контрфорсных подпорных стенок. Между перегораживающим и сбросным сооружениями расположена также контрфорсная стенка. Водобойная часть трубчатая. Размеры трубы у затворов 3,5×3,0 м, на выходе в нижний бьеф — 3,8×3,8 м. Трубы перегораживающего сооружения и выпуска в сброс имеют две линии шандорных заграждений со стороны верхнего и нижнего бьефов.

Сопрягающее сооружение расположено на сбросном канале, который впадает в понижение шора Карамет-Нияз, имеющего разность в отметках горизонтов около 10 м. Сооружение представляет собой быстроток прямоугольного сечения с искусственной шероховатостью и приподнятым порогом без щитовых устройств.

Понурная часть сооружения закреплена плитами из армированного бетона и имеет обратный к порогу сооружения уклон. Подпорные боковые стенки входной части уголкового типа с толщиной у основания 35 и по верху 20 см.

Тремя продольными ребрами высотой 1 м лоток по ширине разделен на 4 части и имеет ребра поперечной шероховатости сечением 25×25 см через 2 м. Разница отметок порога и дна нижнего бьефа 6,47 м. Лоток обратными стенками сопрягается с откосами рисбермы.

Судоходный шлюз по конструкции такой же, как и на головном участке, но пилоны для подъема щитов и плоские щиты заменены щитами конструкции инженера В. А. Анисимова.

Узловое сооружение № 2, расположенное на 182-м километре, состоит из перегораживающего, сбросного и сопрягающего на сбросном канале сооружений. Перегораживающее сооружение состоит из понура длиной 25,8 м, водобоя — 15,0 м и сливной части — 15,5 м. Водобойные элементы сооружения сделаны в виде шестиочковых труб с погружными затворами и судоходного пролета, представляющего собой неразрезную железобетонную коробку шириной 12,0 м, пере-

крываемую железобетонным щитом инженера В. А. Анисимова. Через судовой пролет построен подъемный мост (рис. 12). Порог судоходного пролета заложен на 1,0 м выше дна трубчатого выпуска. Отверстия выпуска перекрываются плоскими металлическими затворами с индивидуальными подъемниками, приводимыми в действие передвижным электрифицированным редуктором. Подпорные стенки в верхнем и нижнем бьефах контрфорсного типа выполнены из монолитного железобетона.

Сбросное сооружение, построенное на расход 150 м³/сек., имеет понур длиной 15,3 м, водобойную часть в виде четырехочковой трубы длиной 12,7 м одинакового сечения по всей длине и сливную часть в виде расширяющегося лотка длиной 25 м. Как и в перегораживающем сооружении, стенки лотка железобетонные монолитные контрфорсного типа.

Сопрягающее сооружение на сбросном канале № 2 построено в виде быстротока прямоугольного сечения с искусственной шероховатостью без щитовых устройств. По конструкции это сооружение такое же, как и сопрягающее сооружение на сбросном канале от узла № 1.

Узловое сооружение № 3 расположено на 256-м километре канала и состоит из перегораживающего и сбросного сооружений.



Рис. 12. Перегораживающее сооружение второго узла.

Перегораживающее сооружение в отличие от всех других открытого типа. Понур сооружения имеет длину 35 м, из них 15 м — габионное крепление. Водобойная часть длиной 14 м состоит из 3 открытых отверстий, 2 несудоходных и судоходного шириной 12 м каждое. Судоходное отверстие перекрывается плоским металлическим затвором, поднимающимся

при помощи передвигаемого на рельсах подъемника, откатываемого после подъема на берег.

Рисберма имеет общую длину 34 м, из них 15 м из армированного бетона и 19 м из армированных плит.

Сбросное сооружение по конструкции такое же, как на узле № 2, но вместо четырехочковой трубы из двух секций сделана трехочковая с одной секцией.

Узловое сооружение № 4, расположенное на 284-м километре, и № 5 — на 323-м километре состоят из перегораживающих и сбросных сооружений. На сбросном канале узла № 4 построено сопрягающее сооружение в виде быстротока, такое же, как на узлах № 1 и 2. В перегораживающих сооружениях имеются судоходные отверстия шириной 12 м, перекрываемые также железобетонными щитами системы инженера В. А. Анисимова.

Сооружение на пересечении канала с джарским сбросом расположено на 375-м километре. Сбросные расходы по Джару пропускаются в восьмиочковую железобетонную трубу

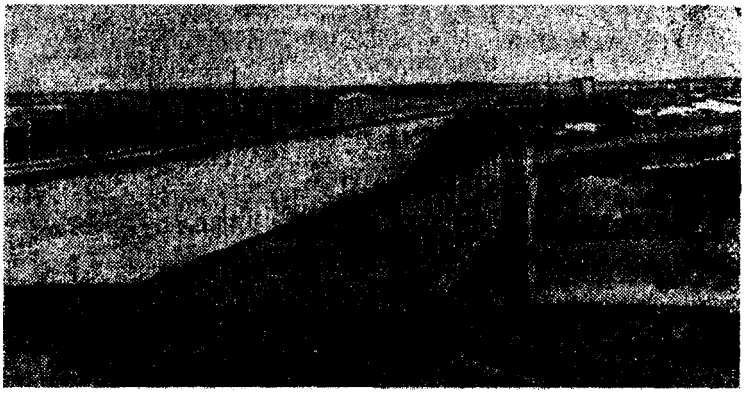


Рис. 13. Переходное сооружение Каракумского канала через Джарский сброс.

(Джар) размерами 3×3 м. Длина дюкера 24 м. Дно и откосы Джара на подходах к дюкеру закреплены армобетонными плитами с габионами на подготовке в виде обратного фильтра.

Переход магистрального канала через Джар осуществляется с помощью железобетонного лотка в виде неразрезной коробки прямоугольного сечения общей длиной 95 м. Средняя часть лотка длиной 27 м представляет собой одно целое с дюкером (рис. 13), верхняя и нижняя части лотка длиной

по 34 м каждая покоятся на грунте; ширина лотка 22 м, высота его стенок 5,5 м.

Для удержания грунта, на котором находятся верхняя и нижняя части лотка, от бокового выпирания в верхнем и нижнем бьефах дюкера устроены четыре устоя — ящики размерами в плане 7,4×7,4 м и высотой 4,9 м. Основания ящиков и дюкера ошпунтованы. Дно и откосы Каракумского канала на подходах к лотку закреплены армобетонными плитами длиной 10 м.

Чтобы исключить возможность случайных ударов, проходящих по каналу судов о тонкую стенку лотка, на всем его протяжении построены направляющие судоходные палы.

Из Каракумского канала в районе Мургабской дельты построены выпуска в колхозные и совхозные распределители. Перечень выпусков и их конструкция приводятся в табл. 18.

Таблица 18

Основные водовыделы, построенные из первой очереди Каракумского канала

Номер водовыдела и его местоположение	Наименование распределителей	Расход (м³/сек.)		Конструкция сооружений
		Первая очередь	Перспективный	
№ 15—373-й километр	Х—1 колхоза „Москва" Векиль-Базарского района	0,35	0,52	Две сборных железобетонных трубы 0,8х0,8 м
№ 14—369-й километр	Х—2 „	0,46	0,69	Одна сборная железобетонная труба 0,8 х 0,8 м
№ 13—363-й километр	Х—1 отделения № 2 совхоза № 2	1,66	2,36	„
№ 9—345-й километр	Х—1 совхоза № 1	0,89	1,18	Две сборные железобетонные трубы 1,25 х 1,25 м
№ 12—381-й километр	Межхозяйственный Ак-Бай Марыйского района	9,75	13,00	Шесть монолитных железобетонных труб 1,50 х 1,50 м
№ 10—349-й километр	МК—1 совхоза № 1	11,21	18,30	Четыре монолитные железобетонные трубы 1,50 х 1,50 м
№ 11—354-й километр	МК—3 совхозов № 2 и 3	9,66	12,92	Три монолитные железобетонные трубы

Как видно из этой таблицы, при всем разнообразии элементов сооружений конструкция их принята единой. Основная часть сооружений — прямоугольная неразрезная труба. Засыпка над ней придает сооружению устойчивость и одновременно служит проезжей частью моста. Длина труб определена из условия размещения проезжей части, тротуаров и служебного мостика.

Понур и выход из трубы сопрягаются с каналом сборными ныряющими стенками, дно из монолитного железобетона, сливная часть крепится сборными железобетонными плитами. Длина водобойной части принята из расчета размещения трех рядов гасителей и плавного расширения по дну до ширины отводящего канала. Гасители-ребра поставлены в разбежку под углом 45° к оси сооружения. Общая относительно большая длина непроницаемого флютбета позволила исключить шпунты. В понуре при наличии в основании песчаных и супесчаных грунтов сделана глинобитная подготовка по дну и откосам. Затворы плоские, скользящие. С целью обеспечения возможности для производства работ по возведению сооружений в условиях действующего Каракумского канала сооружения отстоят на 10 м от дамбы канала.

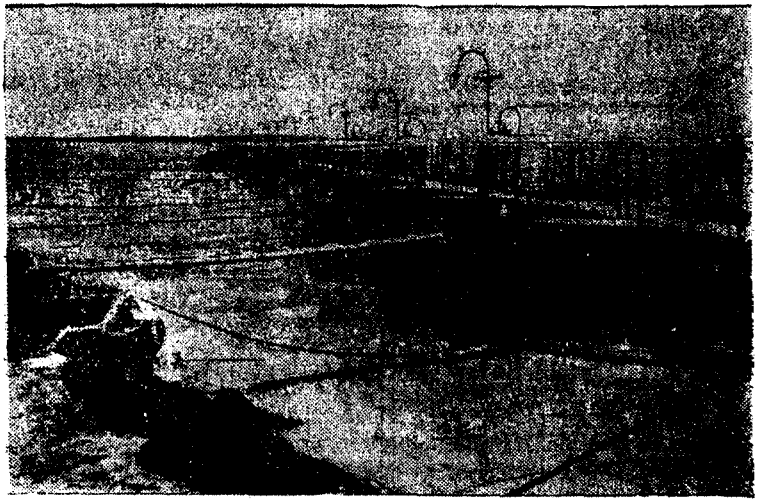


Рис. 14. Струенаправляющая система, установленная перед входом в Каракумский кинал.

Струенаправляющая система. В 1956—1957 гг. Всесоюзным научно-исследовательским институтом гидротехники и мелиорации проведены исследования в прибрежной полосе Аму-Дарьи, в районе водозабора в Каракумский канал, на

основании которых разработана струенаправляющая система новой конструкции с повышенной остойчивостью и меньшим расходом металла и затрат труда на сборку.

Струенаправляющая система, построенная в 1958 г., имеет общую длину 143 м и состоит из 11 секций по 13 м каждая. Секции имеют по 4 понтона, соединенных пространственной фермой (рис. 14). Система установлена перед входом в первый подводящий канал и, вступив в эксплуатацию 15 мая 1958 г., показала надежную устойчивость в работе, прочность и высокую маневренность. Она оказалась высокоэффективной в отношении защиты подводящих каналов от донных и крупных взвешенных наносов, что позволило сократить объем механизированной очистки с 1958 по 1961 г. около 1500 тыс. м^3 и сэкономить на очистке свыше 600 тыс. руб. Это позволило также производить водоподачу через первый подводящий канал в самый напряженный по заилению период (при мутности в реке 4—6 кг/м^3). Особенно эффективна работа струенаправляющих систем в голове Каракумского канала в период размыва берега Аму-Дарьи при дейгише, когда система предохраняет канал от заноса материалами размыва. Это подтверждается тем, что когда в июне 1958 г. система была выведена из рабочего положения, объем заиления первого подводящего канала увеличился за 8 дней на 110 тыс. м^3.

Глава III

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ КАРАКУМСКОГО КАНАЛА

Как уже отмечалось, в практике гидротехнического строительства не было еще опыта переброски больших масс воды на большие расстояния через песчаные пустыни, подобные Кара-Кумам. Тем более не было и опыта эксплуатации каналов, построенных в таких условиях.

Характерной особенностью Каракумского канала является то, что с самого начала строительства он находился в эксплуатации. Это связано со способом производства строительных работ, при котором вода непрерывно двигалась за строителями. Кроме того, совмещение на протяжении 30 км головной части канала с магистральным каналом действующей Бассага-Керкинской оросительной системы требовало управления всеми процессами эксплуатируемого оросительного канала. Эти, а также и другие особенности строительства Каракумского канала необходимо учитывать при дальнейшей эксплуатации канала для обеспечения его нормальной работы.

Руслоформирующие процессы

Специфическими условиями эксплуатации канала являются руслоформирующие процессы на песчаных участках его трассы (от 180-го до 304-го километра). При этом характер этих процессов в период строительства первой очереди канала (до 1960 г.) и в настоящее время несколько различен.

В строительный период на песчаных участках сразу же после пропуска воды происходили интенсивный размыв и обрушение откосов канала с тенденцией образования меандр. При неустойчивом фарватере все время наблюдалось образование перемещающихся плесов и перекатов. Подмыв откосов происходил на всем протяжении канала в песчаной

зоне. Самое большое обрушение, как правило, отмечалось на участках, где канал проходит в коренных берегах, в барханных прорезях и на входах и выходах озерных участков. Масса песка, попадая в канал в результате подмыва и обрушения берега, а также сносимая ветром, вызывала образование перекатов.

На участках перекатов из-за уменьшения глубины и увеличения скорости потока размыв откосов становился более значительным. Обрушение грунта давало новый материал для образования перекатов, что снова усиливало подмыв берега, и т. д. Русло канала приобретало обрывистые, крутые берега (рис. 15). В этих условиях масса грунта, образовавшаяся от размыва и обрушения, вызывала резкое уменьшение глубины канала у одного берега, что приводило к увеличению скоростей потока у противоположного берега, который вследствие этого начинал также подмываться и разрушаться. Новое обрушение в свою очередь изменяло направление потока к противоположному берегу и т. д.



Рис. 15. Обрушение берегов на песчаном участке Каракумского канала.

Эксплуатация канала показала, что боковой размыв усугубляется от действия судовой волны, так как введенное ограничение скорости судов, проходящих по каналу, не соблюдается.

Наибольшая высота волны (до 0,6 м) на Каракумском канале создается от прохода без прицепа катера БМК, движущегося со скоростью до 30 км/час. Такая волна вызывает деформацию откосов канала и выполаживание их до 1:10—1:12.

Суда с прицепами движутся по каналу со значительно меньшей скоростью — 7—10 км/час, причем прицеп выполняет роль гасителя волн. Изучением деформаций откосов прикана́льных дамб Каракумского канала от воздействия волны в 1958 г. занимался САНИИРИ. Исследования Х. Акмурадова (1960) показали, что при прохождении катера БМК со скоростью 15 км/час создавалась волна высотой 0,31 м, от воздействия которой на откосах канала, имевших заложение 1:8, еще происходил размыв, и лишь на участках с откосами 1:12 явного размыва не наблюдалось. Волны значительной высоты, особенно на разливах, образуются также и от действия ветра, скорость которого здесь иногда достигает 40 м/сек. На разливах откосы дамб от действия ветровой волны выполаживаются до 1:12, а в Келифских озерах — до 1:25—1:30.

Интенсивная деформация откосов и боковой размыв затрудняют судоходство по каналу и вызывают крупные дополнительные работы по расчистке его русла. Существенное влияние на объем очистных работ оказывает снос песка в канал ветром, так как в процессе строительства почвенный слой вдоль канала разрушен работавшими механизмами. Особенно значителен снос грунта ветром с правого берега, куда на ряде участков вынесен грунт при разработке ложа канала и где мероприятия по защите канала от песчаных заносов не проведены.

Наблюдения показали, что на ряде участков канала начало образованию перекатов положили именно те массы песка, которые осыпались при деформации невыровненных отвалов. Затем уже начинался обычный процесс подмыва и разрушения берегов, иногда сопровождаемый меандрированием русла. При этом выявилась следующая закономерность. При уклоне канала $>0{,}000055$ и скорости течения воды 0,70—0,75 м/сек. глубина в канале устанавливалась порядка 1,6—1,7 м, канал при этом разрабатывался в ширину. При уклоне же канала $<0{,}000055$ и скорости 0,40—0,50 м/сек. глубина сохранялась в пределах расчетной — 3,7 м.

Интересно отметить, что на песчаном участке канала первоначально приданные ему откосы после пропуска по каналу воды полностью переформировались, причем на отдельных участках канала с малым радиусом закругления это переформирование откосов сопровождалось явлением дейгиша. На прямых же участках профилированного канала дейгиша не наблюдалось.

С 1960 г. возникла необходимость в пропуске по каналу повышенных расходов (в 1960 г.—160 м³/сек. и в 1961 г. — 170 м³/сек.) вместо 130 м³/сек., предусмотренных проектом

первой очереди строительства. Пропуск увеличенных расходов вызвал повышенные скорости течения в канале, и размыв русла на криволинейных участках с малыми радиусами закругления стал проходить более интенсивно. Наряду с размывом русла и разработкой канала в ширину начали наблюдаться размыв дна и снижение проектных горизонтов на всем протяжении канала. Этот процесс иллюстрируется следующими цифрами (табл. 19).

Таблица 19

Расходы и горизонты воды на различных участках первой очереди Каракумского канала

Показатель	Участки канала						
	Верхний	Створ БКК	105-й километр	182-й километр	256-й километр	284-й километр	323-й километр
Проектные расходы м³/сек.	130,0	107,3	85,5	82,5	74,0	65,0	59,3
Проектные горизонты, м	51,57	47,81	36,81	32,53	28,48	27,16	24,74
Фактические расходы в июле 1960 г., м³/сек.	162,7	135,0	111,0	104,0	87,0	85,0	66,0
Фактические горизонты в июле 1960 г., м	51,91	47,23	36,71	32,29	28,82	27,13	24,18
Фактические расходы в июле 1961 г., м³/сек.	167,0	142,0	125,0	122,0	100,0	96,0	80,0
Фактические горизонты в июле 1961 г., м	51,86	47,03	36,80	32,18	28,82	27,18	24,48

На ряде участков фактические гидравлические элементы русла канала (уклоны водной поверхности, коэффициенты шероховатости) значительно отличаются от проектных. Накопленные данные по эксплуатации Каракумского канала позволяют внести обоснованные коррективы в проекты второй и последующих очередей канала.

Необходимо отметить, что на многих участках размыв русла канала является положительным фактором: он способствовал увеличению пропускной способности канала без выполнения существенных объемов работ. В то же время на ряде участков, особенно там, где канал проходит в насыпи (дамбах), разрушение берегов создает опасность прорыва дамбы с тяжелыми последствиями для орошаемых земель.

Опыт эксплуатации Каракумского канала заостряет вопрос об организации службы охраны и регулирования

пастьбы скота в зоне канала. В результате пастьбы скота проросшие травой пески Обручевской степи, прилегающие к каналу, превращаются в разбитые, а на некоторых участках даже в подвижные. Одновременно с фитомелиорацией песков необходимо установить полосы отчуждения с обеих сторон канала, а для водопоя скота — закрепленные скотопрогонные полосы.

Значительный интерес представляет переформирование откосов дамб Келифских озер под воздействием ветра, а также ветровой волны. Опыт эксплуатации дамб показал, что ветровой эрозии особенно подвержены дамбы, выполненные путем намыва землесосными снарядами и содержащие больше крупных частиц, чем естественные грунты у берегов озера, и участки дамб, построенные сухопутными механизмами.

В 1957 г. САНИИРИ провел исследование устойчивости неукрепленных откосов дамб Келифских озер. Им было сделано сопоставление величин заложения откосов, измеренных в натуре, с вычисленными по существующим формулам и даны рекомендации по расчету деформации неукрепленных откосов земляных сооружений, сложенных из несвязных грунтов. По данным САНИИРИ, воздействию наиболее высоких волн подвергаются дамбы, построенные на оз. Час-Кок, где расчетная высота ветровой волны достигает 1,26 м.

В целях борьбы с ветровой эрозией и влиянием ветровой волны строители выполняют большие работы по защитным мероприятиям, покрывая дамбы ветками саксаула. Для создания противоволновой защиты укладывают невысокий штабель саксаула шириной до 2 м вдоль дамб и под воду на глубину 0,5—0,7 м (саксаул тяжелее воды). Наблюдения показали, что такой вид противоволновой защиты, устроенной на большом протяжении из дешевых местных материалов, вполне себя оправдал. Закрепленные таким образом участки стали быстро зарастать камышом, что также способствовало повышению устойчивости дамб от разрушения ее волной.

Чтобы предотвратить разрушения дамб ветром, песчаные участки покрывали ветками саксаула слоем толщиной в 6—8 см. Эксплуатация дамб, защищенных таким способом, показала, что процесс выдувания песка сильно замедляется; верх дамбы сохраняет свой профиль, и создаются благоприятные условия для ее зарастания.

Существенное значение для создания нормальных условий эксплуатации канала имеют руслоформирующие процессы в Келифских озерах. Начиная с 1956 г. в них из-за интенсивного отложения наносов начали образовываться отмели и рукава, затрудняющие судоходство, а зарастание мелководий камышом повышает потери на испарение.

Характер заиления озер, подобных озерам на Каракумском канале, мало изучен. Поэтому большой практический и научный интерес представляют исследования, проведенные канд. техн. наук З. И. Шаровой (ВНИИГиМ) по руслоформированию озер и разработке методов расчета их заиления. Последнее особо важно в связи с необходимостью предотвратить дальнейший размыв русла канала выше Келифских озер, который уже привел к снижению горизонтов в районе выпуска в Бассага-Керкинский канал.

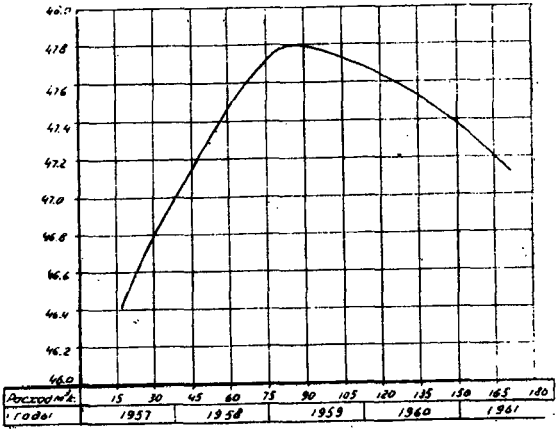


Рис. 16. Изменение горизонтов воды в Каракумском канале в районе выпуска БКК.

На рис. 16 приведен график изменения горизонтов воды в канале в зависимости от пропускаемых расходов в створе выпуска в БКК. Из графика видно, что несмотря на рост расходов, горизонты воды систематически понижаются, при этом размыв русла происходит главным образом в ширину. По данным исследований С. А. Аннаева (1962), ширина по зеркалу воды в створе выпуска в БКК была равна в 1958 г. — 34,5 м., в октябре 1960 г. — 49,5 м, а в декабре 1961 г. — 55,2 м. Размыв же в глубину русла канала за этот период незначителен. Аналогичная картина наблюдалась выше и ниже створа БКК до Келифских озер. Что касается транспортирующей способности потока, то она значительно больше средней мутности воды и постепенно возрастает по мере удаления от головного сооружения. Если в створе БКК наибольшая транспортирующая способность потока за 1959—1960 гг. составляла 5,22 кг/м³, то перед входом в озера — 9,92 кг/м³, или почти в два раза больше.

Для поддержания командных горизонтов первой очереди канала был запроектирован перепад у начала Келифских озер, но он не был построен: предполагалось, что размыв глинистых линз потребует длительного времени, в течение которого произойдет заиление озер, и надобность в перепаде отпадет. В действительности же опыт эксплуатации Каракумского канала показал, что процесс заиления озер протекает медленнее, чем размыв расположенного выше русла.

Процесс руслоформирования в озерах протекает следующим образом. Мутный поток, поступая из канала в сравнительно широкое и глубокое озеро, движется прямолинейно, постепенно расширяясь примерно под углом 30°. При расширении потока происходит резкое уменьшение скоростей, и основная масса наносов выпадает в начале озерного участка, образуя отмели в виде конусов выноса. Интенсивное отложение наносов наблюдается также по краям мутного потока и в зоне препятствий, встречающихся на пути (камыш, островки, берег и др.). В районе конуса выноса и около препятствий появляются отмели. Поток движется в обход этих отмелей, делая крутые повороты и создавая множество мелких протоков, которые образуют свои конуса выноса.

Однако основной поток, направление которого близко к направлению кратчайшего расстояния от входа до выхода из озера, протекает в пределах начальных границ растекания мутности, формируя по бокам отмели, постепенно переходящие в борта вновь образовавшегося русла.

По мере формирования русла уклон озера возрастает. Это приводит к повышению уровня воды в русле в начальной части озера, а следовательно, к перепаду между руслом и отмелями, еще не полностью заиленными. Кроме того, берега нового русла, сформированного при более низких горизонтах, становятся ниже горизонта воды, и часть потока уходит в сторону незаиленных участков озера, отлагая наносы сразу же около русла и в понижениях. В свою очередь уменьшение расхода основного потока приводит к сокращению его транспортирующей способности, и в русле начинается отложение наносов, образование перекатов, меандрирование, деление русла на рукава и т. д.

Все эти процессы, постепенно затухая, практически продолжаются до полного заиления озера и образования в нем русла, размеры которого удовлетворяют гидравлическому режиму движущегося потока.

Для определения времени заиления Келифских озер З. И. Шарова (1961) выделяет два периода: первый, когда происходит заиление озера в направлении основного потока и расчет ведется как для обычного отстойника с учетом рас-

ширения потока под углом 30°, и второй — когда основной объем озера заилен и на нем образовалось русло, но продолжается заиление оставшихся объемов. Второй период продолжается до тех пор, пока все озера, включая объемы, возникшие в результате подпора, не заилятся. Расчеты, выполненные по этой методике, показали, что полное заиление озер Келифского Узбоя произойдет в течение 20 лет.

Борьба с песчаными заносами

Опыт эксплуатации Каракумского канала показал, что в борьбе с песчаными заносами в условиях пустыни наиболее эффективной является система многорядных, полускрытых и параллельных защит, устанавливаемых перпендикулярно направлению господствующих ветров. Защиту такого типа устраивали с расстоянием между рядами 3—6 м, в зависимости от ветрового режима и наличия естественной растительности, которая в некоторой степени служит защитой от выдувания почвы и засыпки высеянных культур песком.

На предварительно спланированных песчаных отвалах канала, с правой его стороны, наиболее подверженной опасности засыпки летом, устанавливали полускрытые клеточные защитные устройства, что дало хорошие результаты. Они парализуют влияние ветра любого направления на движение песков; незначительное перемещение песка происходит только внутри клеток. Квадраты имеют стороны длиной 3 м, расположение клеток под углом 45° к оси канала, высота механических защит 25—30 см, толщина 7 см, глубина заложения 15—20 см.

Наряду с положительными результатами устройства механических защит при фитомелиорации песков на больших площадях, этот способ имеет и существенные недостатки. Основная цель устройства механических защит заключается в том, чтобы уменьшить скорость ветра у поверхности земли, прекратить перенос песка в потоке и предохранить посадки, посевы и всходы растительности от выдувания и заносов. При всей эффективности эта мера оказалась очень дорогой (1000—1200 руб. на закрепление одного гектара песков) и дает положительные результаты лишь при условии, когда механическими защитами покрывают значительную часть массива подвижных песков.

Кроме того, механизация фитомелиоративных работ почти не разработана, за исключением посева семян. Сложный рельеф барханных песков ограничивает механизацию работ по фитомелиорации, а наиболее трудоемкая работа — установка на подвижных песках механических защит — выполняется полностью вручную.

В связи с этим большой интерес вызывает метод безаккумуляционного переноса песков, разработанный в Институте геологии Академии наук Туркменской ССР А. И. Знаменским (1956). Сущность этого метода заключается в таком распределении земляных масс в процессе разработки канала, при котором создается незаносимое песком сечение канала. По такому методу в самом центре Юго-Восточных Кара-Кумов (262-й километр трассы) в барханном песке был построен опытный участок канала длиной 1 км. Он прошел двухгодичное (с момента окончания разработки канала до прихода воды) испытание и показал полную возможность практического применения метода безаккумуляционного переноса песков.

Наблюдения, проведенные на опытном участке канала, показали, что объем песка, занесенного на 1 пог. м его длины, в три раза меньше, чем объем песка, занесенного за то же время на опытных участках канала (контроль) в тех же условиях (табл. 20).

Таблица 20

Характеристика песчаных заносов на Каракумском канале

Участок канала	Длина (км)	Песчанные заносы					
		С апреля 1955 г. по август		С августа 1955г. по ноябрь 1956 г.		Всего с апреля 1955 г. по ноябрь 1956 г.	
		объем (тыс. м³)	в % от контрольного участка	объем (тыс. м³)	в % от контрольного участка	объем (тыс. м³)	в % от контрольного участка
Опытный	1,9	1270	32,3	2060	36,3	3330	34,5
Контрольный	1,0	3930	100,0	5690	100,0	9620	100,0

Условия переноса песка через русло сухого канала и те явления, которые при этом развиваются в пределах самого русла, сформулированы А. И. Знаменским следующим образом.

1. Если на горизонтальной поверхности построить русло, имеющее корытообразную или близкую к ней форму, то подъемная сила, образующаяся в ветровом потоке при обтекании этого русла, не зависит от ширины русла и одинакова для всех понижений, имеющих равную глубину.

2. Количество песка, проносящееся в ветровом потоке над корытообразным руслом в единицу времени (при одина-

ковых общих количествах песка, приносимых к понижению), не зависит от ширины русла и одинаково для всех понижений, имеющих одинаковую глубину.

3. Отношение подъемной силы корытообразных русел к количеству песка в потоке над ним в единицу времени не зависит от ширины русла и является постоянной величиной.

4. Наилучшим сечением русла, через которое проносится основное количество песка в потоке на безаккумуляционном режиме, является такое, у которого отношение ширины русла к его глубине лежит в пределах 2—6. У таких русел из общего количества песка, поступающего в потоке к бровке откоса, переносится через русло канала выше хорды 75—88% песка, ниже хорды — только 25%.

Следовательно, сам поперечный профиль канала вследствие развития подъемной силы при его обтекании способствует переносу песка в потоке на безаккумуляционном режиме.

Сравнивая два принципиально различных способа закрепления песков—способ механических защит и способ безаккумуляционного режима переноса песков, примененных на строительстве Каракумского канала, можно сделать следующие выводы.

1. При создании механических защит с посадками растений-псаммофитов образуется надежная защита канала от заноса песком, особенно после прорастания растительности. Защита такого рода может существовать затем без вмешательства человека, что является ее большим преимуществом. Значение защиты канала от песков, основанной на фитомелиорации, возрастает с проходом воды по каналу. В связи с этим целесообразно в широких масштабах провести опыты по приживаемости более требовательных к влаге растений.

Способ механической защиты с посевом псаммофитов дает, однако, положительные результаты только там, где имеются условия для приживаемости растений. Там же, где такие условия отсутствуют, подобная защита канала через три года полностью разрушается.

2. Способ безаккумуляционного переноса песков следует применять там, где механические способы защиты не дают нужного эффекта. Наилучший эффект от переноса песка при безаккумуляционном режиме получается на участках, где растения не развиваются, так как любая растительность будет нарушать ветровой режим и снижать положительные результаты этого способа. Ветры с часто меняющимися направлениями снижают результаты применения безаккумуляционного переноса песка.

3. Необходимо продолжить исследовательские работы по закреплению песков в зоне Каракумского канала. Результаты этих исследований будут представлять значительную

ценность для любого ирригационного строительства в условиях песчаных пустынь. Вместо различного рода механической защиты, устройство которой весьма трудоемко и обходится дорого, следует испытать, в частности, обычные песчаные валики, покрытые битумной пленкой.

Зарастание канала водной растительностью

В процессе строительства и эксплуатации Каракумского канала происходило интенсивное его зарастание на участках Келифских озер и при выходе из них (со 105-го до 174-го километра).

С зарастанием Келифских озер борьбы не велось, поскольку это явление не отражалось на ходе строительства и величине пропускаемого расхода воды. Совершенно иначе обстояло дело на участке канала ниже Келифских озер — со 105-го до 174-го километра. Здесь имелись благоприятные условия для развития погруженной водной растительности: пропуск в канал осветленной воды, взвешенные наносы которой отлагались в озерах, незначительные скорости потока (около 0,3 м/сек.) и небольшие глубины (до 3 м). Наибольшее распространение на этом участке канала получили рдесты гребенчатый и пронзеннолистный и уруть колосистая. Все эти виды водной растительности размножаются вегетативно, посредством корневища и стебля; для своего развития они должны достигать поверхности воды. Общая их биологическая особенность — быстрый рост (5—10 см в сутки).

Зарастание живого сечения канала водорослями приводило к резкому увеличению коэффициента шероховатости и, как следствие этого, к уменьшению пропускной способности канала. Исследования Г. Т. Лещинского и Б. Сапарова (1960) показали, что на участках канала, заросших погруженной растительностью, коэффициенты шероховатости значительно изменяются во времени в зависимости от фаз развития растительности и величины расхода воды. Так, в период максимального развития водной растительности (июнь—август) коэффициенты шероховатости русла канала почти в четыре раза превышали проектную величину и достигали значения 0,088. В наиболее холодный период года (ноябрь—февраль), когда вегетация водной растительности прекращается и она, отмирая, опускается на дно канала, коэффициенты шероховатости уменьшались до 0,03.

Борьбу с водной растительностью на канале вели двумя способами. По первому способу два трактора, находящиеся на противоположных сторонах канала, тянут трос волоком вниз или вверх по течению, причем у одного из тракторов свободный конец троса равен ширине канала. Двигаясь по

дну и откосам, трос захватывает водоросли и обрывает их. По мере захвата водорослей трос подтягивают на берег канала для очистки, при этом свободный конец троса перемещают для следующего хода тракторов и т. д. Очистку троса от водорослей производят также вручную, во время движения тракторов.

Для очистки канала можно пользоваться также косильным агрегатом, состоящим из понтона с установленными на нем лебедкой, блоком и рамой. К этой раме шарнирно прикреплен нож с шириной захвата 4 м.

Работа ведется следующим образом. Раму с ножом с помощью троса и лебедки опускают на дно. Агрегат, движимый катером БМК-90, перемещается вверх и вниз по течению и производит срезку водной растительности в канале.

Стоимость работ по очистке растительности за проходку одного километра канала первым способом 13,3 руб., а с помощью косильного агрегата — 40,0 руб.

Оба эти способа борьбы с водной растительностью весьма несовершенны. С 1958 г. ведутся исследования по созданию более эффективной машины по борьбе с растительностью на каналах. В настоящее время такая машина разработана Среднеазиатским научно-исследовательским институтом ирригации и успешно проходит производственные испытания.

Помимо механических мер Академия наук Туркменской ССР начиная с 1958 г. ведет успешные опыты по уничтожению водной растительности на Каракумском канале путем акклиматизации и размножения растительноядных рыб — белого амура и толстолобика.

Как показали наблюдения Д. С. Алиева, в водоемах Каракумского канала рыба белый амур использует в качестве пищи почти все виды мягкой и жесткой водной растительности. В одном из опытных водоемов (Карамет-Нияз) в 1961 г. были выпущены рыбы белый амур из расчета 30,6 кг на гектар водной поверхности. За 3,5 летних месяца водоем, в котором было около 12 тонн погруженной растительности (уруть колосистая), был полностью очищен от нее. Рыбопродуктивность этого водоема за это время значительно увеличилась. Акклиматизация белого амура дает большие перспективы в деле биомелиорации Каракумского канала.

С 1958 г. Туркменский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации (ТуркменНИИГиМ) ведет исследования по использованию гербицидов для борьбы с зарастанием в мелиоративных каналах. Для выявления эффективности различных доз препаратов производилось одно-, двух-

и трехкратное опрыскивание растительности за вегетацию в двух вариантах. В первом варианте в качестве растворителя бралась вода. Во втором варианте растворы, суспензии или эмульсии из отработанного автола наносились на поверхность растений из расчета 2000 л/га.

По данным исследований С. М. Паршутина (1961), дихлорфеноксиуксусная кислота (2,4-Д), дозами 25—50 кг/га и роданистый натрий дозами 25—100 кг/га не дают эффекта в уничтожении полупогруженной растительности.

Водные растворы роданистого натрия, мышьяковистокислого натрия и динитрофенола дозами, равными соответственно 600, 20—30 и 8—14 кг/га, оказывают на растительность слабое токсическое действие.

Удовлетворительные результаты получены от двух- и трехкратного опрыскивания мышьяковистокислым натрием в отработанном автоле с дозой 30 кг/га гербицида и 1500 кг/га автола. Однако применение его в борьбе с тростником и рогозом требует большого количества повторных обработок. Сильнее поражается водная растительность 10—12,5-процентным водным раствором трихлоруксусной кислоты и динетрофенолом в отработанном автоле с дозами 200—250 кг/га гербицида. Эти растворы уничтожают при однократной обработке 57—88% растений, при двухкратной 93—100% и при трехкратной обработке 95—100%.

Однако, как показали исследования С. М. Паршутина, несмотря на эффективность трихлоруксусной кислоты уничтоженная водная растительность через год—два появляется вновь. Кроме того, стоимость обработки одного гектара площади этим гербицидом высока — около 2 тыс. руб. При этом до 90% затрат приходится на стоимость гербицида, изготовляемого в лаборатории. Однако при промышленном производстве трихлоруксусной кислоты стоимость работ значительно сократится и этот способ сможет конкурировать с механическими способами борьбы*. Следует отметить, что в 1960 г. землесосами производилось углубление канала в среднем на 2 м на участке от 105-го до 121-го километра. Расчетная глубина канала на этом участке была доведена до 5,5 м, что уже в 1960 г. в значительной мере уменьшило зарастание его растительностью. В 1961 г. зарастания канала почти не происходило.

По данным Института зоологии и паразитологии АН Туркменской ССР, для борьбы с зарастанием канала на участке

---

* В зарубежной практике, и в частности в США, для борьбы с погруженными водными растениями успешно применили медный купорос, но это привело к гибели многих видов рыб и моллюсков, что в условиях Каракумского канала неприемлемо.

ниже озер необходимо углубить его до 5—5,5 м и увеличить мутность воды до величины не менее 0,1 кг/м³.

В связи с этим следует вновь рассмотреть вопрос о строительстве обводного канала на участке Келифских озер с пропуском по нему части расхода, что отмечалось в заключении ВНИИГиМ по проекту первой очереди канала.

Пропуск мутной воды ниже озер тем более целесообразен, что для последующих очередей Каракумского канала поперечное сечение канала в зоне действия судовой волны запроектировано с откосом 1:8, поэтому канал около 30% своей ширины будет находиться в условиях малых глубин, что благоприятствует зарастанию канала. Строительство обводного канала из-за трудности расчистки фарватера на этом участке решает проблему судоходства на участке Келифских озер, которое в настоящий момент осложнено, а также будет способствовать сокращению потерь воды на фильтрацию за счет естественной кольматации русла ниже озер.

В проектном задании Каракумского канала второй очереди выполнена специальная проработка по обводному каналу и определена целесообразность его строительства.

Потери воды в канале

Определение фактических потерь воды как по Каракумскому каналу в целом, так и на отдельных его участках представляет большой практический и научный интерес.

Такие наблюдения были начаты в 1956 г. и велись в процессе строительства по мере продвижения воды по каналу. С 1957 г. изучением потерь в Каракумском канале занимается Туркменский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации (Б. Сапаров).

В настоящее время о фактических потерях собран обширный материал, позволяющий определить как фильтрационные, так и общие потери воды по всему каналу, дать им оценку, сравнивая с проектными, а также прогнозировать их дальнейшее изменение.

На рис. 17 показан график изменения фильтрационных потерь по Каракумскому каналу (первая очередь строительства), из которого видно, что максимальные потери имеют место на песчаном участке канала — от средних озер до Мургабской дельты.

Как показали исследования Б. Сапарова (1961), потери на фильтрацию являются преобладающим элементом потерь и составляют от 70 до 99% суммарных потерь воды в канале. Только на участке Келифских озер потери на фильтрацию снижаются в отдельные месяцы до 50%.

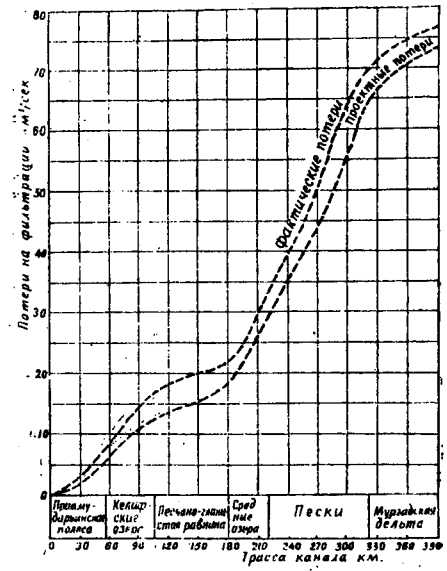


Рис. 17. Изменение фильтрационных потерь на Каракумском канале.

Таблица 21

Фильтрационные потери по Каракумского каналу первой очереди

Год и квартал		Потери по проекту (м³/сек.)				Фактические потери (м³/сек.)			
		Всего по каналу	В том числе на участках			Всего по каналу	В том числе на участках		
			от головного сооружения до узла № 1	от узла № 1 до узла № 5	от узла № 5 до р. Мургаб		от головного сооружения до узла № 1	от узла № 1 до узла № 5	от узла № 5 до р. Мургаб
1958	IV	74,8	11,0	63,8	—	80,3	15,2	65,1	—
	I	62,1	10,3	51,8	—	54,4	7,6	47,8	—
	II	75,3	14,8	50,8	9,7	79,2	16,9	57,0	5,3
1959	III	73,6	16,4	48,8	8,4	79,1	12,2	60,9	6,0
	IV	61,1	11,0	43,0	7,1	57,1	7,8	45,1	4,2
	I	56,3	10,2	40,0	6,3	53,7	7,4	44,1	2,2
	II	62,1	14,8	40,9	6,4	68,2	15,8	48,1	4,3
1960	III	62,8	16,4	40,6	5,9	67,1	13,4	48,6	5,1
	IV	52,8	11,0	37,0	4,8	51,2	7,5	39,6	4,1

Сравнение фактических потерь на фильтрацию с проектными на отдельных участках канала приводится в табл. 23.

Как видно из табл. 21, фактические потери воды по каналу в целом близки к проектным.

В целях уменьшения водопроницаемости песчаных грунтов в 1959 г. (в период строительства первой очереди канала) ВНИИГиМ проводил исследовательские работы по искусственной кольматации. Исследования проводились на опытном канале, специально для этого построенном на песчаном участке трассы в районе 282-го километра Каракумского канала.

По данным В. Э. Новиковского и Ю. Г. Федосова (1960), при кольматировании были исследованы два метода получения кольматанта: односторонний намыв дамб в местах расширения канала и отстаивание пульпы в отстойных бассейнах. По первому методу в результате кольматации в ложе канала был создан наилок толщиной 7—10 мм по дну с уменьшением до 1—2 мм на откосах. При этом наилок образовался не только на поверхности, глинистые и пылеватые частицы проникли в песок ложа канала на глубину 3—4 см и таким образом закупорили поры грунта. До кольматации коэффициент фильтрации грунта в канале был 3—4 м/сут. В результате кольматации он уменьшился на откосах до 0,3—0,6 м/сут. и на дне канала до 0,1—0,2 м/сут. По второму методу (при получении кольматанта осветлением пульпы, подаваемой землесосом, в отстойных бассейнах) в результате кольматации был создан наилок в ложе канала толщиной 5—7 мм на дне с уменьшением его до 1—2 мм на откосах канала. Коэффициенты фильтрации ложа канала после кольматации уменьшились до 0,4—0,8 м/сут. на откосах и до 0,09—0,2 м/сут. на дне канала.

В результате исследований В. Э. Новиковский и Ю. Г. Федосов пришли к следующему выводу. Кольматацию канала, который проходит в песках, содержащих не менее 5—7% глинистых и пылеватых частиц, можно производить с помощью гидромеханизации (с применением землесосов) двумя способами: односторонним намывом дамб и отстаиванием выбрасываемой землесосом пульпы в отстойных бассейнах. В качестве таких бассейнов можно использовать естественные понижения или создать искусственные отстойники, используя для этого дамбы канала. Фильтрационная способность мелкозернистых песков, закольматированных этими способами, уменьшается в 3—4 раза. Создание наилка по сечению канала уменьшает коэффициент шероховатости ложа до величины n=0,017. Наилок, образуемый в ложе канала, более устойчив к размыву, чем естественный грунт, в котором проложен канал. Работы по кольматации канала должны

проводиться одновременно с разработкой ложа канала и поэтому не вызовут значительных дополнительных затрат.

Общие выводы. Опыт первых лет эксплуатации Каракумского канала показал:

1. Фактические гидравлические элементы (уклоны водной поверхности, скорости, коэффициенты шероховатости) значительно отличаются от проектных вследствие специфических условий пропуска воды и особенно сверхпроектных расходов на некоторых участках канала.

2. Основная особенность эксплуатации канала — руслоформирующие процессы. На песчаных участках канала, где фактические скорости воды составляют 0,70 м/сек., происходят интенсивный размыв, углубление и уширение русла. На криволинейных участках канала, имеющих радиус кривизны менее 200 м, руслоформирующие процессы сопровождаются водоворотами с разрушением приканальных дамб.

3. Размыв русла канала является одновременно и положительным фактором, позволившим на многих участках увеличить пропускную его способность более чем в 1,5 раза без выполнения существенных объемов работ.

4. Во избежание прорыва приканальных дамб необходимо выполнить укрепительные работы с учетом фактически сложившихся гидравлических элементов: строительство дамб, спрямление русла с радиусом кривизны менее 200 м, разравнивание песчаных отвалов на берегах канала и др. Все эти работы необходимо осуществить уже теперь, одновременно с уширением канала по проекту строительства второй очереди.

5. Защитные мероприятия от ветровой эрозии и ветровой волны, выполненные на разливах и в Келифских озерах путем покрытия дамб саксауловыми ветками, вполне себя оправдали.

6. Изучение и обобщение опыта эксплуатации Каракумского канала, а также изучение процессов, в нем происходящих, — важнейшая задача дальнейших исследований.

Глава IV

КАРАКУМСКИЙ КАНАЛ ВТОРОЙ ОЧЕРЕДИ

(Мургаб—Теджен)

В 1959 г. проектным институтом Туркменгипроводхоз был составлен проект второй очереди Каракумского канала (главный инженер проекта В. С. Мищенко), предусматривавший переброску амударьинской воды в Тедженский оазис путем уширения первой очереди канала и продления его до р. Теджен и получение прироста орошаемых земель площадью в 100 тыс. га, в том числе по бассейнам:

Аму-Дарья и песчано-глинистая равнина (район Карамет-Нияза)	— 7 тыс. га
Мургабский бассейн	— 28 „
Тедженский „	

При экспертизе проекта было признано целесообразным вторую очередь строительства на первом этапе работ ограничить мероприятиями по продлению канала на участке Мургаб—Теджен с аккумулированием зимнего стока по каналу первой очереди и орошением 45 тыс. га в Тедженском оазисе.

В соответствии с этими рекомендациями экспертизы проект второй очереди был переработан и предусматривал проведение следующих мероприятий:

1. Уширение канала первой очереди в Мургабском оазисе на участке от 305-го до 395-го километра с доведением его пропускной способности до 55,6 м³/сек. (вместо 34 м³/сек. по проекту первой очереди).

2. Продление канала от р. Мургаб до р. Теджен на 140 км с расходом 55,6 м³/сек.

3. Строительство водохранилища емкостью 435 млн. м³ с полезным объемом 395 млн. м³. Все приросты (45,0 тыс. га), орошаемые из водохранилища, размещаются в дельте р. Теджен.

4. Строительство ряда сооружений, главными из которых являются: железобетонный водовыпуск в р. Мургаб с перегораживающим сооружением, совмещенным с автомобильным мостом через канал; два железобетонных сопрягающих сооружения — быстротока при входе канала в Хаузханское водохранилище и при включении канала в р. Теджен; железнодорожный мост у пересечения канала с железнодорожной веткой Мары—Кушка и два автодорожных моста.

Кроме того, было предусмотрено строительство ряда основных и вспомогательных сооружений, а также выполнение работ, связанных с эксплуатацией канала (автодороги, линии связи, поселки, сторожки, фитомелиоративные и пескоукрепительные работы).

Водохозяйственными расчетами предусмотрен забор воды из р. Аму-Дарьи в объеме 3,5 млрд. м³ в год 85-процентной обеспеченности без увеличения пропускной способности головного сооружения. Из них поступает в распределительную сеть для орошения 1,64 млрд. м³, потери на фильтрацию и испарение в канале 1,59 млрд. м³ и в водохранилище 0,23 млрд. м³.

Переработанным проектом предусматривалось выполнить следующие основные объемы работ:

Земляные	— 33 млн. м³
В том числе:	
выемки	— 16,7 „
насыпи	— 16,3 „
Бетонные и железобетонные работы	— 16,6 тыс. м³
Каменные крепления	—266,0 „
Жилищное строительство	— 2,4 „

В проекте организации работ учтен опыт строительства первой очереди Каракумского канала в условиях пустыни и принята 100-процентная механизация работ по водному тракту и водохранилищу.

Стоимость строительства второй очереди Каракумского канала (по сокращенному варианту) определена в 37,8 млн. руб., в том числе:

Канал с сооружениями	— 15,7 млн. руб.
Хаузханское водохранилище	— 22,7 „

В начале 1960 г. строительство второй очереди Каракумского канала было объявлено народной стройкой, и в невиданно короткий срок (за семь месяцев) канал от р. Мургаб до р. Теджен был построен, и амударьинская вода пропущена в Тедженский оазис.

Успешное завершение работ по сооружению водного тракта Мары—Теджен выдвинуло вопрос о строительстве второй очереди канала в полном объеме с получением 100 тыс. га приростов и распределением их по бассейнам:

Мургабский бассейн	— 28,0 тыс. га
Теджженский „	— 72,0 „

Исходя из этих условий, был составлен проект второй очереди Каракумского канала, включающий все объекты переработанного варианта на 45 тыс. га прироста, а также уширение канала первой очереди от Аму-Дарьи до Мургаба с доведением головного водозабора до 198 м³/сек. и соответствующее уширение канала от Мургаба до Теджена.

Кроме того, запроектированные сооружения на трассе второй очереди рассчитаны на пропускную способность из расчета получения приростов по третьей очереди канала — 75 тыс. га в Прикопетдагских районах.

Головной водозабор

Головной водозабор из Аму-Дарьи запроектирован в месте существующего водозабора первой очереди у селения Бассага и, как указано выше, рассчитан на максимальный расход 198 м³/сек. Для пропуска этого расхода предусматриваются сооответствующее расширение подводящих каналов и незначительная реконструкция головного сооружения.

Лабораторными исследованиями на моделях, проведенными ВНИИГиМом (1958) и САНИИРИ (1959), установлено, что запроектированный водозабор (198 м³/сек.) может быть получен в месте существующего водозабора без строительства плотины на Аму-Дарье.

Твердый сток, забираемый Каракумским каналом второй очереди, составляет 11,1 млн. м³ в год, из них до 30% осаждается в подводящих каналах и 70% транспортируется в естественные отстойники Келифских озер.

Очистка подводящих каналов производится электрическими земснарядами типа 100—35. Около 85% наносов, осаждающихся на первом километре от входа в отстойники, разрабатывается и сбрасывается в реку. Обеспечение нормальных условий водозабора осуществляется двумя землесосами 300—40, работающими в реке на подходе к каналу. Значительное сокращение поступления донных наносов из реки в подводящие каналы обеспечивается струенаправляющими системами В. М. Потапова, установленными при строительстве первой очереди канала.

Трасса канала

По проекту второй очереди Каракумского канала общая длина его от Аму-Дарьи до Теджена составляет 535 км. На участке от Аму-Дарьи до Мургаба длиной 395 км трасса проходит целиком по каналу первой очереди, для которого проектируется уширение и углубление на всем протяжении, а также отсечение части разливов; на участке Мургаб—Теджен длиной 140 км канал строится заново.

Новая трасса канала на первых 26 км от р. Мургаб проложена по культурным землям Мургабской дельты, имеющей уклоны на север, запад и восток, где распространены супеси и пески, а в зоне культурных земель — легкие суглинки и глины. Выйдя из культурной полосы Мургабского оазиса канал проходит по грядовым пескам Бурун-Кум до Хаузханского водохранилища. Этот участок трассы проходит в наиболее сложном рельефе песчаной пустыни, выраженном резко расчлененными, бугристо-грядовыми песками. Глубина грунтовых вод здесь достигает 25 м и характеризуется высокой минерализацией.

После Хаузханского водохранилища трасса проложена по такыровидной равнине со сравнительно спокойным рельефом и впадает в р. Теджен ниже первого Тедженского водохранилища.

Грунтовые воды на этом участке также высокоминерализованные и залегают на глубине 10—15 м.

Режим работы канала и регулирование стока

Как и в проекте первой очереди, режим работы канала запроектирован круглогодичный. Предусматривается максимальное использование пропускной способности водного тракта с регулированием всего свободного зимнего стока в Хаузханском водохранилище и последующим использованием его в летний период для орошения.

Использование стока второй очереди Каракумского канала характеризуется следующими данными:

Отбор воды из Аму-Дарьи (максимальный в межень по году 85% обеспеченности)	— 23,3%
Общий сток в голове	— 4737 млн. м³
В том числе:	
на орошение из канала	— 1772 „
на регулирование в водохранилище	— 965 „
орошение из водохранилища	— 559 „

коммунально-бытовые нужды из канала и водохранилища	— 122	млн. м³
потери на фильтрацию и испарение из канала	— 1814	„
обводнение пастбищ	— 92	„
Коэффициент полезного действия канала	— 0,615	
Коэффициент полезного действия водохранилища	— 0,73	

Расчет потерь воды из канала и гидравлические расчеты. В проекте второй очереди канала сохранено принципиальное содержание расчетов потерь, выполненных в проекте первой очереди, и внесены лишь коррективы, вызванные уточнением длины канала, площадей зеркала озер и разливов. Анализ фактических потерь на фильтрацию за четыре года эксплуатации канала позволяет считать, что при установившемся режиме потери не превысят расчетных, вследствие чего за основу были приняты потери на фильтрацию, определенные проектом первой очереди с учетом перспективы развития Каракумского канала.

Особенность гидравлических расчетов Каракумского канала как для первой, так и для второй очереди заключается в нестабильности гидравлического режима вдоль его длины из-за различных топографических условий прохождения трассы и особенностей формирования потока в озерной части канала и на разливах.

По гидравлическим условиям работы канала в нем выделены:

1. Участок канала от Аму-Дарьи до озерной части с уклоном, равным 0,000115, что обеспечивает транспортирование наносов в озера.

2. В пределах озерной части канал проходит по шоровым понижениям Келифского Узбоя, где еще продолжаются руслоформирующие процессы, вызванные размывом и отложениями наносов. Опыт эксплуатации первой очереди Каракумского канала на этом участке показал, что озера интенсивно заиляются, причем наносы откладываются в виде конуса выноса, который по мере заиления вышележащих участков передвигается вниз. В процессе заиления озер наблюдается рост горизонтов, который будет продолжаться до полного заиления озер и установления в них равномерного режима.

3. На участке канала от 105-го километра (по выходе из Келифских озер) пропускается осветленная вода, поэтому скорости и уклоны запроектированы минимальными: $V=(0{,}50—0{,}67)$ м/сек., $J=0{,}000055$.

Глубина наполнения канала назначалась из условия судоходства и незарастания водной растительностью. Согласс-

но рекомендации Института зоологии и паразитологии АН ТССР канал не будет зарастать водной растительностью, если наполнение его в летнее время (которому отвечает максимум пропускаемого расхода) составит 5,5 м. Опыт эксплуатации Каракумского канала подтвердил эту рекомендацию и в соответствии с ней глубина наполнения второй очереди канала на участке выхода его из Келифских озер при максимальном расходе принята равной 5,5 м; эта глубина постепенно уменьшается по длине канала на величину потери горизонтов в перегораживающих сооружениях.

4. На участке песчаной пустыни, где еще имеет место сложный, неравномерный режим работы канала, расчеты выполнены по схеме работы речных русел пойменного типа.

При назначении уклонов второй очереди канала исходили из условий неразмываемости и незаиляемости русла потоком, транспортирования наносов, командования над орошаемыми площадями и максимального использования построенных сооружений и дамб первой очереди канала.

На участке канала от 178-го до 284-го километра уклоны свободной поверхности в прорезях, благодаря наличию разливов, получены значительно большие, чем уклоны дна; при уклоне дна на этом участке 0,000045 уклоны свободной поверхности для группы прорезей составляют 0,000070—0,000074.

Учитывая, что наличие разливов значительно увеличивает потери воды из канала и что происходит интенсивное зарастание разливов водной растительностью, усложняющее эксплуатацию канала, в проекте второй очереди намечено отсечение части разливов, не требующее большого объема земляных работ.

5. Участок канала ниже 300-го километра до Мургаба и в междуречье Мургаб—Теджен имеет поперечные сечения правильной формы и обеспечивает равномерный режим работы.

В проекте первой очереди канала сечение было принято полигональным, близким к параболическому. Величина откосов определялась главным образом условиями статической устойчивости с учетом движения песка под действием ветра и условиями судоходства. Однако, как показал опыт эксплуатации канала, принятое в проекте первой очереди сечение канала с откосами от 1:4 до 1:2 для связных грунтов и от 1:5 до 1:2,5 для песчаных грунтов оказалось не устойчивым, так как в зоне действия судовой волны происходит интенсивное выполаживание откосов. Учитывая это в проекте второй очереди, на участке от Аму-Дарьи до Мургаба, где предусмотрено судоходство, принята сложная форма сечения канала, имеющая выположенный откос в зоне действия судовой волны и более крутой на остальной части откоса.

Что касается участка канала в междуречье Мургаб—Теджен, где судоходство временно не предусматривается, то на нем принята трапециодальная форма сечения (как наиболее легко выполнимая) с откосами 1:3,5. Статистические расчеты подтверждают устойчивость такого откоса.

При определении величины заложения откосов на судоходном участке канала от Аму-Дарьи до Мургаба использована методика, предложенная проф. Б. А. Пышкиным (1949). В результате проведенных расчетов заложение откосов канала второй очереди в зоне судовой волны принято равным 1:8, а на нижележащем откосе 1:3,5. Такое заложение откосов обеспечивает скорость движения водного транспорта в пределах от 4,6 до 7,2 км в час.

Таблица 22

Основные гидравлические элементы второй очереди Каракумского канала

Участок канала	Уклон	Ширина по дну (м)	Наполнение (м)	Максимальная скорость (м/сек.)	Минимальная скорость (м/сек.)	Максимальный расход ($м^3$/сек.)
Верхний—до озер	0,000115	17—20	5,15—5,05	0,97	0,88	198—177
Ниже озер до 178-го километра	0,000055	22—24	5,60—5,65	0,69	0,56—0,51	160
От 178-го до 283-го километра	0,000045	24	5,65—5,24	0,67	0,51—0,58	155—138
От 283-го до 357-го километра	0,000055	22—24	5,24—4,58	0,66	0,53—0,54	138—95
От 357-го до 397-го километра	0,00006	22—16	4,58—4,50	0,66—0,59	0,54	95—76
От 397-го до 405-го километра	0,000065	16	4,50	0,58	0,42	76—70
От 405-го до 455-го километра	0,000045	14	4,50—3,57	0,50—0,40	0,35	70
От 455-го до 535-го километра	0,00005	3,5—6	3,57—3,20	0,48—0,42	—	29—17

Откосы выше горизонта воды назначены из расчета их устойчивости в зависимости от грунтов, а именно: для связных грунтов 1:2, с разгрузочными бермами по высоте через 5,0 м при ширине 2,0 м; для песчаных грунтов 1:4 (из условия производства работ бульдозерами).

При заложении низовых (сухих) откосов приканальных дамб в песчаных грунтах учтены рекомендации Института

геологии АН ТССР и величины их приняты из условия устойчивости от ветровой эрозии равными 1:6. Для связных грунтов заложение низового откоса принято 1:2. В табл. 22 приводятся гидравлические элементы второй очереди Каракумского канала.

Гидротехнические сооружения

Все сооружения, предусмотренные проектом первой очереди Каракумского канала, используются при пропуске расходов второй очереди без существенной реконструкции.

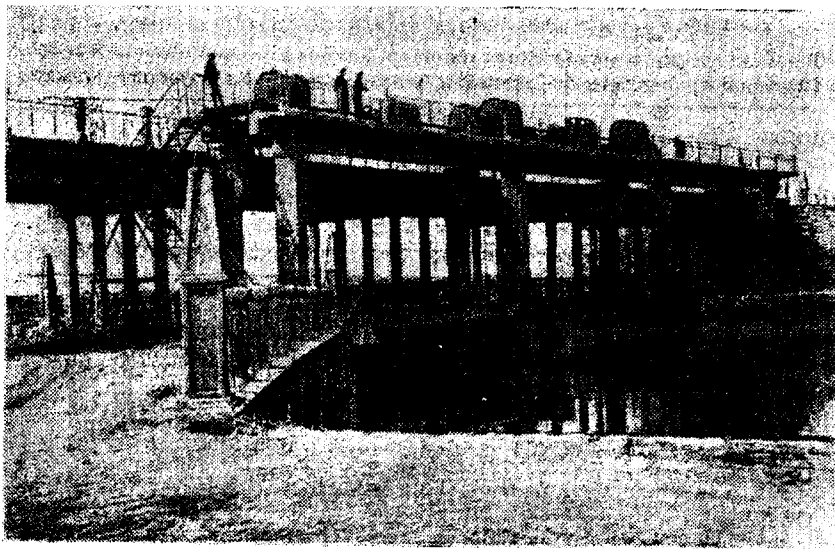


Рис. 18. Узловое сооружение № 6.

Дополнительно предусмотрено строительство узла № 6 несколько выше существующего перехода канала через сброс Джар, в состав которого входит: перегораживающее сооружение (рис. 18), выпуск в сброс, совмещенный с сопрягающим сооружением, и сбросной канал в русло Джар. Сопрягающее сооружение — быстроток прямоугольного сечения с повышенной шероховатостью.

В месте пересечения р. Мургаб каналом запроектировано перегораживающее сооружение в составе выдела в р. Мургаб и нижележащую часть Каракумского канала. Сооружение

совмещено с автодорожным мостом и рассчитано на перспективный расход 140 м³/сек. (рис. 19).

На участке между Мургабом и Тедженом запроектировано сопрягающее сооружение при впадении канала в водохранилище Хауз-Хан. Это сооружение трубчатое, совмещено с быстротоком и рассчитано на пропуск 132 м³/сек.

Перегораживающие сооружения между водохранилищем Хауз-Хан и р. Теджен трубчатой конструкции (рис. 20), рассчитаны на расход 48 и 31 м³/сек.

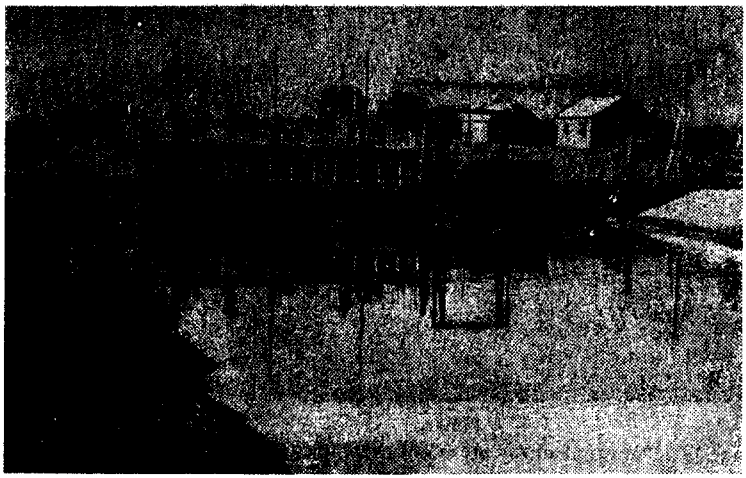


Рис. 19. Перегораживающее сооружение на второй очереди Каракумского канала.

Сопрягающее сооружение — быстроток на расход 120 м³/сек. — при впадении канала в р. Теджен.

Кроме перечисленных сооружений, в междуречье Мургаб—Теджен запроектированы три выпуска на орошаемые земли (из них два с перегораживающими сооружениями), железнодорожный мост и автомобильные мосты на трех дорогах, пересекающих канал.

Проектом второй очереди предусмотрено проведение на песчаных участках канала пескоукрепительных и фитомелиоративных работ в составе механических защит из камышовых клеток размером 2×2 и 3×3 м, закрепление песков растительностью и создание защитной лесной полосы вдоль канала.

Для нормальной эксплуатации канала на участке Мур-

габ—Теджен запроектирована вдоль трассы инспекторская дорога. Проектом намечено строительство поселков для размещения эксплуатационного персонала у гидротехнических сооружений и у плотины Хаузханского водохранилища. Поселки телефонизируются на всей трассе канала.

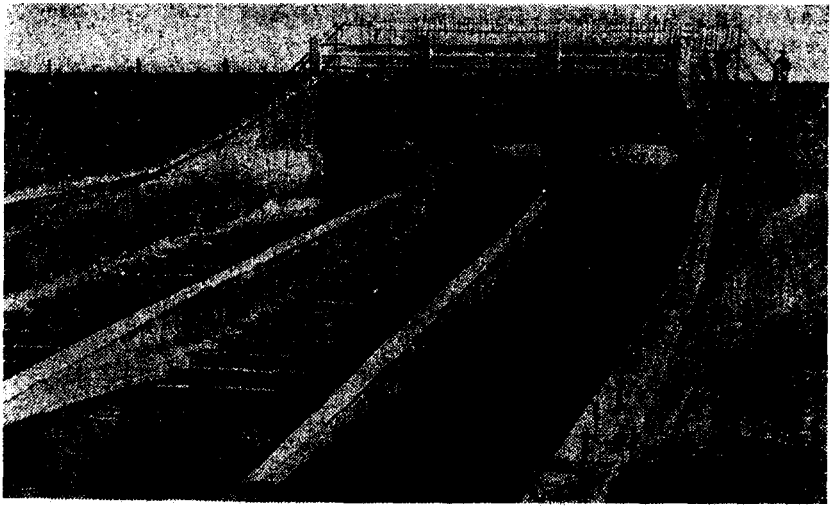


Рис. 20. Перегораживающее сооружение, совмещеное с быстротоком.

Хаузханское водохранилище

Как указано выше, для сезонного регулирования свободного стока Каракумского канала запроектировано строительство Хаузханского водохранилища, располагающегося в междуречье Мургаб—Теджен у развалин старой крепости Хауз-Хан. Это водохранилище имеет под командованием свыше 400 тыс. га плодородных земель дельты р. Теджен, в том числе все земли существующего орошения.

Для второй очереди Каракумского канала водохранилище Хауз-Хан запроектировано емкостью в 435 млн. м^3, что вместе с «живым» током канала позволит оросить 72 тыс. га земель в Тедженском бассейне. Площадь зеркала воды в водохранилище 136 км^2. Верховой откос выположенный, некрепленный по всей высоте с коэффициентом заложения 1:35, низовой откос предусмотрен с заложением 1:3,5. Объем земляных работ 19 млн. м^3. В теле плотины запроектирован башенный водовыпуск трубчатого типа на пропуск расхода 180 м^3/сек.

Под чашу водохранилища используется естественное понижение русла оврага Шор-Кала и низина Хауз-Хан, сложенные песками с прослоями глин, суглинков и супесей. Грунтовые воды сильно минерализованы и залегают на глубине 6—12 м от поверхности земли. Преобладающий фракционный состав чаши водохранилища 0,10—0,05 мм. Коэффициент фильтрации грунтов 1,10—1,50 м/сут.

Объем работ по строительству канала второй очереди характеризуется данными, сведенными в табл. 23.

Таблица 23

Основные объемы работ по строительству второй очереди Каракумского канала

Наименование	Единицы измерения	Всего	В том числе	
			на участке уширяемой части первой очереди	на участке нового канала Мургаб—Теджен
Длина канала	км	596	396	140
Выемка грунта	тыс. м³	59584	28021	31563
Насыпь (без Хаузханского водохранилища)	„	8821	5272	3549
Бетон и железобетон	„	68,4	27,4	41,0
Каменное крепление	„	34,4	28,4	6,0
Эксплуатационные поселки	„	63,7	29,6	34,1
Временные поселки:				
а) жилые	„	29,1	13,4	15,7
б) культурно-бытовые	„	52,6	23,2	29,4

Распределение объемов земляных работ по механизмам:

Бульдозерами	— 32 102,4	тыс. м³
Скреперами	— 6038,2	„
Дизельными экскаваторами с емкостью ковша 1 м³	— 12 861,6	„
Землесосами	— 17 402,5	„
Повторные объемы бульдозерами	— 3398,7	„

Общая стоимость работ по проекту составляет 74,5 млн. руб, в том числе водный тракт 51,9 млн. руб. и Хаузханское водохранилище 22,6 млн. руб.

Строительство канала Мургаб—Теджен

Накопленный опыт работ при сооружении первой очереди Каракумского канала в тяжелых и специфических условиях песчаной пустыни позволил построить вторую очередь канала

от Мары до Теджена в исключительно короткие сроки — за семь месяцев. Строительство второй очереди канала осуществлял трест Туркменгидрострой, основной коллектив которого участвовал в сооружении канала Аму-Дарья—Мургаб. Кроме того, строители располагали уже мощной производственной и ремонтной базой, созданной в предыдущие годы (табл. 24).

Таблица 24

Основные механизмы, работавшие на строительстве второй очереди Каракумского канала

Наименование машин и оборудования	Число единиц
Экскаваторы одноковшовые общей емкостью ковшей 74 м³	128
В том числе:	
ЭШ-1 с ковшом 3,4 м³	3
Э-2001 с ковшом 2 м³	2
прочие одноковшовые емкостью ковша 1 м³	26
одноковшовые емкостью ковша 0,75 и 0,5 м³	64
Скреперы с ковшом 6 и 8 м³	44
Бульдозеры на тракторе С-80 и С-100	195
Землесосные снаряды	65
В том числе:	
300—400	1
100—35	4
НЗ-8	60
Автомобили, включая самосвалы	499
Насосы различной производительности	82
Катки самоходные, моторные и кулачковые	36

Вторая очередь канала строилась одновременно по всему фронту протяженностью 140 км, из них более 60 км по безводному песчаному участку.

Основные объемы работ, выполненные на второй очереди канала (без Хаузханского водохранилища, строительство которого еще продолжается), приведены в табл. 25.

Таблица 25

Основные объемы работ, выполненные на строительстве второй очереди Каракумского канала Мары—Теджен (без Хаузханского водохранилища)

Наименование работ	Единица измерения	Объем работ	
		по проекту	фактически выполнено
Земляные	млн. м³	19,1	16,5
Бетонные и железобетонные	тыс. м³	16,6	13,2
Каменная и гравийная отмостка	„	9,3	24,5
Металлоконструкции	т	198,2	200,7

При сооружении второй очереди канала была принята следующая организация производства работ: на первых 4 км (395—399-й километры) с помощью экскаваторов строилась пионерная траншея, куда пропускалась вода и вводились землесосы, углублявшие и уширявшие траншею до проектного сечения. С 399-го километра до Хаузханского водохранилища (459-й километр) канал построен на полный профиль бульдозерами на тракторах С-80 и С-100. При выходе из Хаузханского водохранилища до р. Теджен (459—535-й километры трассы) разработка канала велась однокубовыми экскаваторами и бульдозерами на тракторе С-100.

Участие различных землеройных механизмов в строительстве второй очереди канала характеризуется табл. 26.

Таблица 26

Степень участия механизмов в строительстве второй очереди Каракумского канала (без Хаузханского водохранилища)

Наименование механизмов	Фактически выполнено в тыс. м³	В процентах к общему объему
Весь выполненный объем	16520	100,0
В том числе:		
бульдозерами	12183	73,7
скреперами	1620	9,8
экскаваторами	1693	10,3
землесосами	1024	6,2

Как видно из таблицы, бульдозерами выполнено 73,7% от общего объема работ. Все бульдозеры работали траншейным способом, который подробно описан в гл. II — «Первая очередь Каракумского канала». Однако в отличие от первой очереди большинство бульдозеров, поступавших на строительство второй очереди, оборудовались открылками и козырьками на отвалах.

По данным Д. Эсенова (1962), применение открылков во всех случаях увеличивало производительность бульдозера при разработке песчаных грунтов, что иллюстрируется данными табл. 27.

Благодаря применению траншейного способа, открылков и козырьков на отвалах бульдозеров механизаторы второй очереди канала на разработке сыпучих грунтов добились высокой выработки, перекрывая до трех раз производственные задания. Среднемесячная выработка на один бульдозер была

доведена до 45—50 тыс. м³ при дальности перемещения грунта до 60 м.

Таблица 27

Производительность бульдозера Д-271 на тракторе С-100, оборудованного открылками (по данным Д. Эсенова)

Способы перемещения грунта	Объем грунта в начале перемещения (м³)	Длина пути перемещения грунта (в м)			
		15		50	
		Объем грунта на отвале в конце перемещения	Производительность (м³/час.)	Объем грунта на отвале в конце перемещения	Производительность (м³/час.)
Траншейным способом с отвалом, имеющим боковые открылки	4,73	4,58	634	3,20	127
То же с отвалом без открылков	4,26	3,96	594	2,74	119

Бульдозеры показали высокую производительность и при перемещении грунта на большие расстояния. При разработке котлована, сопрягающего сооружения Хаузханского водохранилища, среднемесячная производительность каждого из 18 работавших бульдозеров составила 18 тыс. м³ при дальности перемещения грунта 180 м. Таким образом, и на строительстве второй очереди Каракумского канала бульдозер зарекомендовал себя высокопроизводительной землеройной машиной.

Глава V

ТРЕТЬЯ ОЧЕРЕДЬ КАРАКУМСКОГО КАНАЛА

(Теджен—Ашхабад)

В мае 1961 г. институтом Туркменгипроводхоз было составлено проектное задание водного тракта третьей очереди Каракумского канала (главный инженер проекта К. Ф. Ефремов), в котором решаются следующие задачи.

1. Получение прироста орошаемых земель площадью 30 тыс. га в Каахкинском, Ашхабадском и Геоктепинском районах и улучшение водообеспеченности существующих площадей орошения в этих районах на 22 тыс. га.

2. Значительное улучшение водоснабжения гор. Ашхабада и создание в нем мест отдыха трудящихся.

3. Улучшение снабжения населения столицы республики овощами, фруктами, молочными продуктами и другой сельскохозяйственной продукцией за счет создания вокруг города новых совхозов на базе Каракумского канала.

4. Улучшение водоснабжения предприятий Безмеинского промышленного узла.

5. Обводнение пустынных пастбищ в Центральных Кара-Кумах на площади 2650 тыс. га.

6. Создание водного пути Аму-Дарья—Ашхабад.

Принятые в проекте третьей очереди канала незначительные приросты орошаемых земель вытекают из ограниченных возможностей бесплотинного водозабора из Аму-Дарьи, одновременное же строительство третьей очереди канала с большими приростами и плотины на Аму-Дарье отдалила бы решение неотложной задачи — пропустить амударьинскую воду в гор. Ашхабад.

Намеченные проектом приросты распределяются по районам следующим образом:

Каахкинский район	— 9,8 тыс. га
Ашхабадский „	—13,5 „
Геоктепинский „	— 6,7 „

В Ашхабадском районе приросты осваиваются, главным образом, пригородными совхозами, которые обеспечат население города свежими овощами и бахчевыми культурами, фруктами и виноградом, молоком и молочными продуктами, мясом, птицей, яйцами и др. В Каахкинском и Геоктепинском районах приросты в основном осваиваются под хлопково-кукурузно-люцерновые севообороты с увеличением в прикопетдагских районах площади под тонковолокнистым хлопком на 11 тыс. га. Кроме того, в Геоктепинском районе создается виноградарский совхоз на площади 2,5 тыс. га, продукция которого обеспечит также юго-западные районы республики.

В течение круглого года по каналу будет подаваться в район гор. Ашхабада 6 м³ воды в секунду. Это позволит всю воду, поступающую в город из источников, кяризов и скважин фирюзинского конуса и расходуемую в настоящее время для ирригации города и пригородных хозяйств, использовать для водопроводной сети и удвоить получаемое в настоящее время городом количество питьевой воды.

Так как по каналу вода будет подаваться круглый год, в пригородной зоне Ашхабада будет построено водохранилище для аккумулирования зимнего стока и последующей отдачи воды на орошение и водоснабжение города.

На территории северной окраины города, по которой пройдет Каракумский канал, будет создана зона отдыха и водного спорта для жителей города. В пределах центральной и восточной частей города на канале будет образован пляж с пологими песчаными откосами.

За каналом севернее гор. Ашхабада запроектировано два водохранилища — спортивное площадью свыше 3 км² и глубине воды до 5 м и ирригационное для нужд орошения емкостью 43 млн. м³. Оба водохранилища явятся также местом отдыха. Орошение города будет осуществляться через трубопроводы, по которым насосными станциями вода будет перекачиваться на командные точки.

Расчеты показали, что среднее потребление воды на одного жителя города возрастет до 300 л в сутки.

Проектом третьей очереди Каракумского канала предусматривается выполнение следующих основных работ:

1. Продление Каракумского канала от р. Теджен до Геоктепинского района протяженностью 280 км.

2. Уширение действующего Каракумского канала от Аму-Дарьи до Теджена.

3. Уширение Хаузханского магистрального канала.

4. Строительство нового водозабора в районе Пулизандана с магистральным каналом длиной 50 км, включающимся в Келифские озера.

5. Строительство двух новых водохранилищ (Ашхабадского и Геоктепинского) и увеличение емкости Хаузханского водохранилища до 550 млн. м^3.

6. Строительство двух купальных водоемов-озер около гор. Ашхабада и создание пляжей на участке канала, прилегающем к городу.

7. Строительство комплекса сооружений на канале в количестве 55 единиц, в том числе: водозаборное сооружение из Аму-Дарьи в районе Пулизандана, 2 акведука, 3 узловых сооружения, 15 водовыпусков, 14 селеспускных и 9 селевыпускных сооружений, 8 автомобильных и 3 железнодорожных моста. Кроме того, предусмотрена реконструкция 9 сооружений, построенных на участке первой очереди канала. Намечено также строительство сооружений и объектов для службы эксплуатации (линии связи, эксплуатационные дороги, поселки и др.). Все транзитные гидротехнические сооружения и мосты рассчитаны на пропуск перспективных расходов канала. Сечение канала запроектировано с учетом судоходства, с выположенными откосами, устойчивыми от действия судовой волны.

Общий объем земляных работ 85,2 млн. м^3, бетонных и железобетонных работ — 184,3 тыс. м^3.

Природные и климатические условия зоны третьей очереди канала мало отличаются от зон первой и второй очередей. Сумма эффективных температур, превышающих 10°, составляет 5400°, что на 1000° больше, чем в северных районах республики (Ташаузская область); длительность безморозного периода в среднем 230 дней (на 20 дней больше, чем в северных районах). Сумма годовых осадков составляет 160—230 мм, из них на холодный период (ноябрь—март) падает 100—150 мм и на теплый период (апрель—октябрь) 60 — 80 мм. Годовой слой испарения 1920 мм, а максимальный месячный 337 мм.

Топографические условия характеризуются тремя типами рельефа. В начальной части трассы рельеф ровный, с незначительным уклоном. С появлением мезорельефа в виде промоин селевых потоков уклоны увеличиваются до 0,003—0,005. На предгорной равнине уклоны составляют 0,004—0,002. Конечный участок трассы пересекает барханные пески, в которых расположены также Ашхабадское западное и Геоктепинское водохранилища. От Ашхабада трасса канала следует до Геок-Тепе по рельефу подгорной равнины. Орошаемые земли

располагаются в основном на равнинах, имеющих хорошие уклоны.

Почвы в подгорной равнине характеризуются тяжелым механическим составом и относятся к такыровидному типу. Основные площади занимают такыровидные почвы — такыровидные сероземы и такыры. Подгорный шлейф занимают светлые сероземы. Значительное распространение имеют солончаки и луговые сероземы. Из общей площади в 814 тыс. га, находящейся в зоне влияния третьей очереди канала, 766 тыс. га пригодны для орошения с применением различной степени мелиорации. Из пригодных к орошению земель 334 тыс. га расположены севернее трассы и 432 тыс. га — южнее.

В геологическом отношении территория, тяготеющая к трассе третьей очереди, характеризуется дельтовыми, пролювиальными и эоловыми отложениями. На поверхности дельтовых отложений преобладают связные грунты с коэффициентом фильтрации менее 0,1 м/сут. Пролювиальные отложения широко распространены в предгорной равнине и представляют собой часто чередующиеся несвязные, полусвязные и связные грунты; преобладают супеси с коэффициентом фильтрации 0,09—0,80 м/сут. Эоловые отложения распространены севернее пролювиальных и дельтовых и представлены песками Кара-Кумы и Гури-Дан-Дан.

По степени минерализации встречаются грунтовые воды: пресные (с плотным остатком до 1 г/л) и солоноватые (с плотным остатком от 1 до 3 г/л). Грунтовые воды с плотным остатком 3—15 г/л распространены севернее пресных и солоноватых вод и оконтуривают последние. Основная же площадь, тяготеющая к каналу, характеризуется сильно минерализованными грунтовыми водами с плотным остатком более 15 г/л.

Водохозяйственные расчеты и режим работы канала. В проекте третьей очереди канала общая площадь орошения из Каракумского канала определена в 218,4 тыс. га, в том числе:

Чарджоуская область	— 19,1 тыс. га.
Мургабский бассейн	— 88,0 „
Тедженский „	— 72,0 „
Копет-Дагские районы	— 39,3 „
В том числе:	— 12,5 „
Каахкинский	— 12,5 „
Ашхабадский	— 17,1 „
Геоктепинский	— 9,7 „

На стоке, зарегулированном водохранилищами, предположено орошение 78,5 тыс. га, в том числе:

Из Хаузханского водохранилища		—	72,0 тыс. га
„ Ашхабадского	„	—	1,5 „
„ Геоктепинского	„	—	5,0 „

Кроме того, учтены расходы на водоснабжение гор. Ашхабада, промышленности и обводнения пастбищ.

Общая величина водопотребления составляет 3181 млн. м³.

Суммарная величина потерь по каналу составляет 78,59 м³/сек., в том числе на фильтрацию 63,14 м³сек., на испарение 15,45 м³/сек. По отдельным участкам потери приведены в табл. 28.

Удельные потери по фильтрационным участкам третьей очереди канала незначительны и колеблются в пределах 0,020—0,045 м³/сек. на 1 км длины.

Таблица 28

Проектные потери по Каракумскому каналу

Очередь канала	Общая величина потерь (м³/сек.)	В том числе	
		на фильтрацию	на испарение
I	55,37	41,47	13,90
II	13,38	12,53	0,85
III	9,84	9,14	0,70
Всего . . .	78,59	63,14	15,45

Расчетные величины потерь приняты для участка первой очереди на 7 год работы канала, для участка от Мургаба до водохранилища Хауз-Хан на 4 год и от Хауз-Хана до конца третьей очереди на 3 год работы канала. Общая величина потерь по стоку составляет 45,7% от общего стока канала, забираемого из реки. Режим работы канала круглогодичный на всех участках.

В осенне-зимний период, при минимальной потребности в воде на орошение, сток канала аккумулируется в водохранилищах. Из общего стока, забираемого каналом из реки и составляющего 5845 млн. м³, 1522 млн. м³ регулируется водохранилищами.

Головной водозабор третьей очереди канала запроектирован (временно) бесплотинным. С постройкой плотины на Аму-Дарье водозабор коренным образом изменится. Исходя из условий гарантированной водообеспеченности и лучшего регулирования мутности, водозабор запроектирован в двух точках: в районе существующего водозабора первой очереди канала и в районе горы Пулизандан, находящейся несколько выше створа плотины, намеченного по Кизыл-Аякскому варианту.

Сохранена схема регулирования мутности, принятая для первой очереди, при этом в подводящих каналах-отстойниках оседает в соответствии с транспортирующей способностью магистрального канала от 31,4% (для района Бассага) до 64% (для района Пулизандан) твердого стока наносов. Остальная часть наносов осаждается в естественных отстойниках Келифских озер.

Суммарный твердый сток наносов, поступающих в канал, составляет 13 605 тыс. м³ в год. Объем очистки 4898 тыс. м³, осветление воды в отстойниках в среднем 36%.

Максимальный головной расход составляет 230 м³/сек., однако максимальный отбор воды из реки в межень принят в размере 165 м³/сек. Возможность такого отбора воды из реки в период низких горизонтов в районе водозабора первой очереди проверялась на размываемой пространственной русловой модели. Опытами подтверждена возможность отбора 200—210 м³/сек. (по 100—110 м³/сек. в каждый канал) при расходах в реке, развных 600 м³/сек. и соответствующих 99% обеспеченности.

В проекте головного водозабора рассмотрена также схема головного питания с регулированием летних расходов Зеидским водохранилищем. Это водохранилище, расположенное восточнее Келифских озер, позволяет повысить обеспеченность водозабора как за счет резервного объема, так и за счет сдвижки водозабора многоводного периода года на маловодный. Емкость водохранилища 1500 млн. м³; в перспективе она может быть увеличена до 2 млрд. м³ и более.

Основные объемы работ по водохранилищу:

Насыпь	— 12 351 тыс. м³
Выемка	— 23 481 „
Бетон и железобетон	— 16,3 „

Так как объем работ по этой схеме головного питания значительно больше, чем при основном варианте (Бассага и Пулизандан), его осуществление в настоящее время не намечается.

Как и в проекте первой очереди канала, для защиты отстойников от интенсивного поступления донных наносов предусмотрена установка струенаправляющих систем В. М. Потапова.

Трасса канала третьей очереди берет начало от узла вододеления водохранилища Хауз-Хан и проходит с уклонами 0,000055—0,000060 до района Ашхабада без перепадов и дополнительных потерь командного горизонта.

При пересечении р. Теджен ниже плотины второго Теджженского водохранилища трасса канала поворачивает на

северо-запад и, сохраняя это направление, пересекает Ашхабадскую железную дорогу. Затем трасса поворачивает на запад, идет параллельно железной дороге, постепенно сближаясь с ней, и пересекает ее вновь. Нижний участок трассы канала располагается параллельно железной дороге и выходит на северную окраину гор. Ашхабада.

Таблица 29

Гидравлические элементы третьей очереди Каракумского канала

Участки канала	Уклон	Ширина по дну (м)	Наполнение (м)	Скорость (м/сек.)		Максимальный расход м³/сек.
				максимальная	минимальная	
Пулизанданский канал	0,0001	8	4,0	0,67	0,56	62,8
Водный тракт (км)						
Верхний—до озер	0,000115	20—17	5,2—5,1	0,97	0,88	196,5—177,4
105—178	0,000055	28	5,5—4,8	0,74	0,63	181,5—176,9
178—303	0,000045	30—26	5,5—5,2	0,74	0,63	176,9—158,9
303—326	0,000054	26	5,24	0,72	0,63	158,9
326—397	0,00006	26—19	5,24—5,0	0,73	0,58	158,9—128,6
397—405	0,000056	23	4,50	0,71	0,57	114,3
405—456	0,00005	24	4,50	0,65	0,52	109,9
456—474	0,000045	15	3,80	0,49	0,43	48,7
474—650	0,000055	15—9	3,25	0,51	0,45	45,3—38,7
650—815	0,00006	6	3,8—2,2	0,51	0,40	32,3— 7,3

Гидравлические расчеты канала проведены по той же методике, что и для водного тракта первой и второй очередей. Принятые в проекте третьей очереди уклоны водной поверхности и дна канала назначены из условий неразмываемости и незаиляемости его русла потоком, командования над подвешенными площадями, использования построенных сооружений и дамб второй очереди и с учетом перспективного развития канала.

Основные гидравлические элементы третьей очереди канала приведены в табл. 29.

Гидротехнические и переходные сооружения. Проектом третьей очереди канала было намечено строительство трех крупных узловых сооружений.

Узел № 9 располагается нжие плотины второго Тедженского водохранилища. Его назначение—осуществить пересечение двух водотоков (р. Теджен и Каракумского канала) и аварийный сброс из канала в реку. Проектом узла предусмотрена возможность подпитывания Каракумского канала из второго

Тедженского водохранилища, что обеспечит маневрирование расходами реки и канала и обеспечит надежную водоподачу в Тедженский и Копет-Дагский бассейны при различных условиях водообеспеченности.

В состав узла входит:

а) сбросное сооружение в виде трубчатого выпуска с быстротоком прямоугольного сечения;

б) перегораживающее сооружение открытого типа, пролеты которого перекрываются колесными затворами;

в) сооружение на пересечении с р. Теджен в виде акведука с лотком прямоугольного сечения шириной 26 м и длиной 150 м;

г) выпуск из второго Тедженского водохранилища в Каракумский канал в виде двухочковой трубы сечением 4×3 м, располагающейся в теле водохранилища.

Узел сооружений № 10 имеет назначение аварийного сброса и селеспуска. В состав узла входят: перегораживающее сооружение, совмещенное с дюкером для пропуска паводка речки Артык, выпуск в сброс и сопрягающее сооружение.

Узловое сооружение № 11 расположено у Ашхабадского водохранилища. В состав узла входят перегораживающее сооружение и выпуск в водохранилище. Помимо узловых сооружений на канале предусмотрено еще 11 водовыделов.

Противоселевые мероприятия. Значительная часть трассы Каракумского канала третьей очереди проходит в районе конусов выноса речек северо-восточного склона Копет-Дага, по которым часто протекают ливневые паводки в виде селей. Для предохранения канала от вредного воздействия этих селевых потоков предусмотрены следующие мероприятия:

а) устройство селевпусков на тех участках канала, где топографические условия позволяют создать регулирующую емкость для аккумулирования паводкового стока с целью трансформации паводковой волны и отстаивания наносов;

б) пропуск селевого потока дюкером под канал на тех участках, где последний пересекает более крупные лога;

в) устройство нагорных канав на тех участках, где канал проходит южнее железной дороги и где дождевые паводки стекают со склонов рассредоточенными потоками.

Регулирование свободного осенне-зимнего стока третьей очереди канала предусматривается тремя водохранилищами: Хаузханским, Ашхабадским и Геоктепинским.

По Хаузханскому водохранилищу намечается увеличение его емкости до 550 млн. м³ в связи с необходимостью орошения в Тедженском бассейне 72 тыс. га намеченных проектом второй очереди и отдачи части расхода воды в канал третьей

очереди. Увеличение емкости водохранилища намечается выполнить наращиванием плотины и дамб.

Общий объем работ по строительству третьей очереди канала составляет: земляных — 64,7 млн. м³, бетонных и железобетонных — 116,1 тыс. м³, общая стоимость работ определена в 69,12 млн. руб.

Пионерный канал водного тракта третьей очереди Каракумского канала

При рассмотрении проектного задания третьей очереди Каракумского канала было рекомендовано ускорить решение проблемы водоснабжения гор. Ашхабада, для чего организовать строительство Пионерного канала от р. Теджен до гор. Ашхабада по трассе третьей очереди с расходом в конце не менее 6 м³/сек. Имелось также в виду, что дальнейшее развитие Каракумского канала должно основываться на плотинном водозаборе, при проектировании которого надлежит искать экономичные конструкции путем разработки нескольких вариантов.

На основании такой рекомендации институт Туркменгипроводхоз (главный инженер проекта К. Ф. Ефремов) составил проект Пионерного канала, который является составной частью разработанного проектного задания Каракумского канала третьей очереди. По этому проекту предусматривается на первом этапе строительства Пионерного канала от р. Теджен до гор. Ашхабада протяженностью 256 км с подачей по нему воды в течение круглого года расходом 13,7 м³/сек. в начале и 6 м³/сек. в конце. Для регулирования свободного зимнего стока канала запроектировано сооружение Ашхабадского водохранилища, а емкость Хаузханского водохранилища увеличивается до 460 млн. м³.

На Пионерном канале намечено строительство 36 сооружений, в том числе 13 акведуков и селевых русел, 6 акведуков-селепропусков через канал, 8 автомобильных и 3 железнодорожных моста, 4 водовыпуска, 2 дюкера и другие. Кроме того, намечено подпитывание Пионерного канала из второго Тедженского водохранилища. Предусматривается также мероприятия по защите канала от селевых потоков: нагорные канавы, струенаправляющие дамбы, подводящие и отводящие каналы к селепроводящим сооружениям.

Предусмотрено строительство Ашхабадского Восточного (спортивного) озера, Западного водохранилища, пляжей на канале в пределах городской черты и пригородной лесопарковой зоны площадью 1800 га. Кроме того, запроектировано строительство трех городских водоводов с тремя насосными станциями, Безмеинского водовода для подачи воды

Безмеинскому промышленному узлу и прилегающим к нему колхозам.

Пионерный канал и сооружения на нем запроектированы без учета судоходства.

При расчете пропускной способности сооружений учтены в качестве перспективы те расходы канала, которые предусмотрены проектным заданием третьей очереди.

Общие объемы работ по проекту Пионерного канала следующие:

Земляные	— 18,7 млн. м³
В том числе:	— 12,5 „
по Пионерному каналу	— 12,5 „
по водохранилищам	— 1,4 „
противоселевые мероприятия	— 3,6 „
бетонные и железобетонные	— 30,4 тыс. м³

Общая стоимость строительства Пионерного канала 18,4 млн. руб.

Глава VI

ИССЛЕДОВАНИЯ В ПЕРИОД ПРОЕКТИРОВАНИЯ И СТРОИТЕЛЬСТВА

В процессе проектирования и строительства Каракумского канала были выполнены большие научно-исследовательские работы. В научных исследованиях принимали участие Всесоюзный научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации (ВНИИГиМ), Среднеазиатский научно-исследовательский институт ирригации (САНИИРИ), 7 институтов АН ТССР, Институт земледелия Министерства сельского хозяйства ТССР, Управление геологии и охраны недр при Совете Министров ТССР, а также отдельные высшие учебные заведения Москвы и Ашхабада.

В 1955 г. в г. Ашхабаде проходила VIII объединенная сессия АН ТССР, ВНИИГиМ, САНИИРИ и СоюзНИХИ по вопросам строительства Каракумского канала с участием ученых АН СССР, АН УзССР, АН АзССР и представителей проектных и строительных организаций, связанных с сооружением канала.

В 1959 г. при АН ТССР организован комитет содействия строительству Каракумского канала по проблеме: «Исследование в помощь проектированию, строительству Каракумского канала и освоению земель в зоне его влияния».

Характер и результаты отдельных исследований, проведенных в разное время, изложены в гл. II «Первая очередь Каракумского канала Аму-Дарья — Мургаб». Ниже приводятся краткие данные лишь об основных исследованиях, не описанных выше и выполненных как в лабораторных условиях, так и непосредственно на Каракумском канале*.

* Все материалы, связанные с проведенными исследованиями, взяты из научно-технических отчетов, находящихся в фондах АН ТССР, Туркменгипроводхоза, ТуркменНИИГиМ, ВНИИГиМ, САНИИРИ и в отчете комитета содействия строительству Каракумского канала АН ТССР.

Головной водозабор

В условиях Аму-Дарьи, при неустойчивом русле реки, вопросы водозабора приобретают весьма важное значение. Изучением этих вопросов занимались гидротехническая лаборатория Московского института инженеров водного хозяйства (Ф. И. Пикалов, С. А. Брызгалов, А. С. Новоявчев, И. М. Чавтарев), САНИИРИ (И. Орлов) и ВНИИГиМ (В. А. Шаумян, А. Г. Хачатрян, Г. А. Тер-Абрамян, Х. Ш. Шапиро).

В целях установления возможной величины забора воды из Аму-Дарьи подводящими каналами и выяснения ожидаемых русловых процессов в реке Московским гидромелиоративным институтом в 1949—1950 гг. были проведены исследования на малой жесткой и большой размываемой моделях. Лабораторные исследования проводились на перспективу третьей очереди Каракумского канала по схеме водозабора с гидравлической промывкой на расходы: $Q=231$ м³/сек., соответствующий январю, при расходе в реке 637 м³/сек. и $Q=710$ м³/сек., соответствующий июлю, при расходе в реке 3897 м³/сек.

Исследования, проведенные в годовом разрезе, показали, что водозабор обеспечивает захват воды из реки при незаиленных каналах на 92—96% от расчетного расхода, а при заиленных каналах забираемый расход уменьшается до 65%. При заборе воды из реки тремя одновременно работающими каналами резко изменяется режим реки, а перед каждым каналом образуется кривая спада, снижающая поступление расхода в канал. Гидравлическими промывками нельзя добиться очистки от наносов ни водозаборных каналов, ни отстойников. Отстойники могут быть промыты только частично. Для полной очистки каналов отстойников от наносов необходимо сочетание гидравлической промывки с механической очисткой.

Лабораторные исследования бесплотинного головного водозабора второй очереди Каракумского канала с русловым отстойником (по схеме проекта с шестью подводящими каналами) выполнены САНИИРИ в 1956—1957 гг.

Исследования были проведены на размываемой пространственной модели, на которой в масштабе 1:400 воспроизведен водозаборный участок реки длиной 15 км с подводящими каналами и на модели-лотке (более крупного масштаба).

В результате исследований САНИИРИ предложил схему водозабора с устройством русловых отстойников перед входом в подводящие каналы. В этом случае потоком реки обтекается вся система водозабора, а в промежутках между отстойниками устанавливается режим с малыми скоростями, куда

донные наносы не заходят. При увеличении расстояния между отстойниками они обтекаются отдельно. Предельное расстояние между ними, как показали опыты САНИИРИ, равны примерно пяти ширинам отстойника.

Эффективность русловых отстойников по отвлечению донных наносов зависит от устойчивости русла реки. При благоприятном подходе потока (при больших глубинах у входа в отстойник) донные наносы не попадают в него; в случае же отхода основного потока к противоположному берегу и образование отмели на участке водозабора донные наносы беспрепятственно поступают в отстойники.

В 1956—1957 гг. ВНИИГиМ были проведены исследования гидравлической промывки отстойника Каракумского канала и конструкций донных направляющих галерей.

Задачей исследований, которые проводились на модели с бетонной и земляной камерами в масштабе 1:5, являлось уточнение метода расчета отстойников с гидравлической промывкой, а также технических условий и норм проектирования отстойников на оросительных системах.

Исследованиями ВНИИГиМ была подтверждена возможность применения гидравлического способа удаления осаждающихся в отстойнике наносов путем периодических промывок его камер. При этом наибольшая эффективность промывки имеет место в первый период промывки и далее постепенно падает, резко уменьшаясь через несколько часов после начала промывки. При промывке отстойников транспортируется в донном и придонном состоянии от 11,2 до 40,4% наносов. Для мелких наносов эта величина составляет 11,2—25,7%, а для более крупных (песчаных) 37,3—40,4%.

Расчет динамики осаждения наносов рекомендуется производить по методике ВНИИГиМ, изложенной в проекте технических условий и норм на проектирование отстойников на оросительных системах.

Устойчивость сооружений, русловые процессы и фильтрационные потери

Исследованием устойчивости неукрепленных откосов дамб обвалования Каракумского канала от воздействия ветровой и судовой волны занимался САНИИРИ в 1956 и 1960 гг. (И. К. Никитин, Е. Я. Фроликова, Х. А. Акмурадов, Т. И. Клименко).

В результате исследований, которые проводились на дамбах обвалования Келифских озер и приканальных дамбах канала, САНИИРИ разработал «Методические указания по расчету высоты ветровой волны», «Методические указания по

расчету устойчивых к воздействию волн неукрепленных напорных откосов земляных сооружений, сложенных из несвязных грунтов» и сделал практические рекомендации по эксплуатации дамб Каракумского канала.

Исследования, связанные с защитой Каракумского канала от песчаных заносов и раздувания, проводил Институт пустынь АН ТССР (А. И. Знаменский, Э. Л. Рябихин).

Наряду с лабораторными исследованиями непосредственно на канале изучались характер ветропесчаного потока в поперечнике канала и связанная с этим его заносимость песком, а также изменение рельефа песчаных берегов под действием господствующих ветров и процессы размыва и обрушения их. В результате исследований разрабатывается принципиальная схема защиты канала от песчаных заносов и раздувания дамб.

Кроме того, Институт пустынь провел исследования по фитомелиорации песков на трассе первой очереди канала (Г. С. Новиков), которые позволили изучить биологические особенности характерных псаммофитов и некоторых широколиственных оазисных растений и сделать практические рекомендации по их использованию для определенных типов песков.

Изучением состава и свойств грунтов, слагающих дамбы обвалования первой очереди канала и характер процессов, влияющих на устойчивость дамб, занимался в 1960—1961 гг. Институт геологии АН ТССР (В. Я. Янин).

В зависимости от высоты дамб и материала, из которого они построены, выделены три участка, которым присущи определенные виды деформации.

Дамбы Келифских озер, сложенные из песчаного материала, интенсивно подвергаются эоловой и образионной переработке, а также фильтрационной деформации. На участке канала Час-Как—Ничка проявляется незначительная эрозионная переработка дамб.

Дамбы на участке Ничка — Захмет, сложенные как и на Келифских озерах, из песчаного материала в значительной степени подвержены деятельности ветра и фильтрационных вод. Фильтрационная деформация выражена в образовании оврагов и оплывин на внешнем откосе.

Исследованием фильтрационных потерь и изучением коэффициентов шероховатости в Каракумском канале занимается ТуркменНИИГиМ (Б. Сапаров). В результате исследований определена величина общих и фильтрационных потерь, составлен водный баланс для характерных участков канала, уточнены коэффициенты шероховатости и КПД канала в разные периоды. Кроме того, получена характеристика режима и

минерализации грунтовых вод в зоне первой очереди канала. Установлено, что потери на фильтрацию являются преобладающими и составляют от 70 до 99% суммарных потерь воды в канале. Коэффициенты шероховатости на участках канала, где руслоформирующие процессы и зарастание русла мягкой водной растительностью были выражены слабо, изменялись в пределах 0,019—0,032, а на участках с интенсивным переформированием русла они составляли 0,030—0,040 (при 0,0225—0,0275, принятых в проекте). КПД канала изменялся (1961 г.) от 0,47 в январе до 0,55 в октябре при среднем значении 0,52.

Изучением руслоформирующих процессов в Каракумском канале ТуркменНИИГиМ занимается с 1960 г. (С. Анпаев). Проведенные исследования позволили выявить закономерность изменения уклона водной поверхности, режим движения взвешенных и донных наносов и их распределение по ширине и глубине потока, а также деформации берегов и русла на характерных участках канала.

Гидрогеологические и инженерно-геологические исследования

Специфические условия прохождения трассы Каракумского канала в песчаной пустыне, а также сложные мелиоративные условия осваиваемых земель в зоне его влияния вызвали необходимость проведения специальных гидрогеологических и инженерно-геологических исследований.

Институтом геологии АН ТССР (Л. М. Мальцев, М. Ходжиев) проведены полевые и лабораторные исследования водно-физических свойств всех генетических типов почв, распространенных на территории дельты р. Мургаб, в результате которых составлена карта, отражающая фильтрационные свойства почв на территории Мургабского оазиса. Кроме того, сделан анализ условий формирования режима грунтовых вод на площади дельты Мургаба по многолетним режимным наблюдениям (Л. М. Мальцев) и выяснены основные факторы, обусловливающие изменения во времени уровня, химического состава и температуры грунтовых вод как в сезонном, так и в многолетнем разрезе. Это позволило разработать классификацию типов режима и гидрогеологическое районирование территории дельты и сделать практические рекомендации необходимого комплекса мелиоративных мероприятий.

Выполнены также важные исследования, связанные с разработкой оптимальных гидромелиоративных схем на землях освоения первой очереди Каракумского канала (Н. В. Роговская, А. А. Поцелуевский), в которых основное

внимание уделено количественному анализу гидрогеологических условий и использованию их для мелиоративной оценки методом математической статистики.

В пределах дельты выделены три гидрогеолого-мелиоративных района, характеризующихся определенными типами литологического состава пород. В каждом районе выделены подрайоны по различной глубине залегания грунтовых вод и различающиеся сроками введения в эксплуатацию дренажа после пропуска воды в Мургабский оазис по Каракумскому каналу.

Изучение условий формирования химизма подземных вод и процессы засоления грунтов зоны Каракумского канала (И. Я. Давыдов) позволили установить закономерности роста отдельных ионов в процессе концентрации раствора грунтовых вод. Это дало возможность понять особенности процесса преобразования химического состава грунтовых вод и прогнозировать направление изменений их состава при увеличении или уменьшении минерализации.

В результате исследований инженерно-геологических условий трассы Каракумского канала и зоны его влияния в междуречье Мургаб—Теджен и дельте р. Теджен (А. Н. Вахтанова, И. Ф. Карякин) сделана детальная характеристика состава и свойств пород зоны аэрации этого района, выработана методика инженерно-геологического районирования и составлены инженерно-геологические карты дельты р. Теджен и междуречья Мургаб—Теджен.

Институтом геологии АН ТССР выполнены также исследования в зоне второй очереди Каракумского канала, связанные с формированием гидрогеологических условий дельты р. Теджен (Б. В. Гоголь).

Установлено, что химический сток растворенных веществ, приносимых р. Теджен, составляет 713 тыс. т в год. Из них солей, которые сравнительно легко переходят в осадок при упаривании воды, 315 тыс. т. Остальные 398 тыс. т представляют легкорастворимые, токсичные для растений соли. Речные соли, поступавшие в почво-грунты и грунтовые воды, мигрируют по территории дельты вместе с общим и местными потоками грунтовых вод. Миграция солей рассмотрена на основе анализа постоянно идущих процессов взаимодействия поверхностных и грунтовых вод.

Исследования, связанные с освещением инженерно-геологических условий дельты р. Теджен для целей гидротехнического и мелиоративного строительства (И. Ф. Карякин), позволили выявить геологическое строение, геоморфологические особенности и изучить состав и свойства аллювиальных отложений этого района.

Изучение и прогноз режима грунтовых вод Тедженского оазиса и в междуречье Мургаб—Теджен в связи с подачей воды по Каракумскому каналу провел ТуркменНИИГиМ (Г. С. Ефимов). При этом ставилась задача определить величины отдельных элементов водного и солевого баланса, их изменений под действием различных факторов и выявление потребности орошаемых земель в дренаже. В результате выполненных исследований разработаны необходимые мелиоративные мероприятия для всего Тедженского оазиса.

Флора и растительность

Исследования флоры и растительности, проведенные Институтом ботаники АН ТССР, ставили цель дать детальную характеристику растительного покрова зоны влияния Каракумского канала и осветить ряд вопросов, связанных с ее освоением под орошаемое земледелие.

Изучение растительности медуречья Мургаб—Теджен и бассейна р. Теджен (Б. Б. Кербабаев, П. Чопанов, Г. С. Каленов, Р. Коров, А. Оразмухамедов) и подгорной равнины Восточного Копет-Дага (Б. Б. Кербабаев) позволили составить крупномасштабную геоботаническую карту этой территории на площади 1300 тыс. га.

Исследования северной части Мургабского оазиса и вновь осваиваемых земель первой очереди Каракумского канала (Е. Н. Кошкелова, З. Джураева, О. Аннакулиева) позволили собрать около 3000 номеров микрологического гербария, определить 1500 образцов и выявить 165 видов грибов из различных таксонов. Из них впервые для Туркмении зарегистрировано 78 видов, относящихся к 44 родам, среди которых 3 вида являются новыми для науки. Кроме того, из культурных растений зарегистрировано около 80 видов грибов, из них 33 вида возбудителей заболеваний обнаружены впервые на изучаемой территории. Наряду с этим получены данные о распространении и общей вредоносности отдельных возбудителей заболеваний.

Проведенные исследования позволили сделать практические рекомендации, позволяющие избежать эпифитотий ряда заболеваний культурных растений, а также сохранить фитомелиоративные насаждения и старые заросли древесно-кустарниковых растений в зоне влияния Каракумского канала.

В целях выбора наиболее эффективных культур-освоителей и их чередования в первые годы освоения земель проведено исследование формирования микрофлоры при освоении земель древнего орошения в зоне первой очереди Каракумского канала (Л. Н. Палецкая, Н. Т. Киселева, Е. А. Соколова, Н. И. Немирова, Н. М. Склярова, В. В. Павлов).

Критерием для оценки той или иной культуры являлась активизация общей микробиологической деятельности в почве и развитие агрономически ценных групп микроорганизмов (азотобактера, нитрификаторов и др.). В результате исследований рекомендуется в качестве освоителей культивировать на такырных почвах люцерну в чистом посеве, на такырах суданскую траву как в чистом посеве, так и в смеси с люцерной.

Исследование биологических особенностей высших водных растений Каракумского канала первой очереди (Н. Т. Нечаева, Ш. И. Коган, С. Агамамедов) начато в 1960 г. и имеет целью изучить видовой состав высших водных растений по трассе первой очереди канала (включая Келифские озера) и разработать рекомендации как по борьбе с зарастанием высшей водной растительности, так и по приемам быстрого ее развития в целях использования в рыбоводстве и других видах хозяйства.

В результате исследований выявлены следующие виды водных и водно-прибрежных растений: рдест блестящий, рдест пронзенный, рдест гребенчатый, рдест нитевидный, уруть колосистая, роголистник погруженный, сальвиния плавающая, тростник обыкновенный и рогоз Гроссгейма.

Из водных преобладающими и активно участвующими в зарастании являются уруть колосистая и роголистник погруженный. Размножаясь в основном вегетативно, они приурочены, главным образом, к глубинам от 0,3 до 5 м и могут расти в заливах при медленном течении и на открытых местах при более сильном течении.

Из водно-прибрежных растений встречаются тростник обыкновенный и рогоз Гроссгейма, которые в основном растут по берегам, распространяясь вглубь до 2,5 м, и размножаются только вегетативным путем. В процессе исследований поставлен опыт акклиматизации в водоемах Каракумского канала дикого водяного риса (многолетнего и однолетнего), являющегося хорошим кормом для рыб, водоплавающих птиц, а также для сельскохозяйственных животных.

Кроме этого, Институт животноводства и ветеринарии МСХ ТССР в 1959—1960 гг. провел исследования, связанные с использованием мягкой водной растительности в корм сельскохозяйственным животным (И. А. Ермакова, Г. Д. Михеев). Исследованию были подвергнуты наиболее распространенные на Каракумском канале рдесты — гребенчатый и пронзеннолистный, которые по химическому составу оказались хорошим источником кормов. Они характеризуются высоким содержанием протеина (15%), безазотистых экстрактивных веществ (45%) и золы при малом содержании клетчатки (15—20%).

По общей питательности сено из рдестов, заготовленное в период массового цветения — начала плодоношения, значительно превосходит сено люцерновое.

Исследованием вопросов орошения хлопчатника дождеванием в Мургабском оазисе (в зоне канала) занимается с 1957 г. Каракумская опытно-мелиоративная станция (Г. Я. Хайдарова). Широко поставленные опыты подтвердили эффективность орошения дождеванием по сравнению с самотечным поливом. При дождевании поливные нормы за вегетационный период изменялись, в зависимости от фазы развития хлопчатника, от 300 до 600 м³/га, а оросительные нормы (в различные годы) — от 4200 до 5700 м³/га. Урожаи хлопка-сырца (тонковолокнистых сортов) составили в среднем за 4 года (1958—1962 гг.) 22 ц/га. При урожаях 24—26 ц/га затраты оросительной воды составили 175—201 м³ на 1 ц сырца. По сравнению с бороздковым поливом при дождевании экономия воды составила около 25%.

Фауна

Изучение фаунистических объектов в зоне Каракумского канала проводил Институт зоологии и паразитологии АН ТССР.

Значительный интерес представляют исследования Д. С. Алиева по разработке методов направленного формирования кормовой базы и ихтиофауны водохранилищ Каракумского канала, Мургаба и Теджена. Эти исследования велись в направлении акклиматизации растительноядных рыб и получения жизнеспособного потомства от белого амура и толстолобика.

Применение метода гипофизарных инъекций обеспечило впервые в СССР получение продуктивной икры и молок и жизнеспособного потомства от производителей обоих видов рыб.

Опытами, проведенными на Каракумском канале (в Карамет-Ниязе), установлена большая эффективность использования белого амура в качестве биомелиоратора и для борьбы с зарастанием водоемов высшей водной растительностью.

Исследования паразитофауны водоплавающих птиц Каракумского канала и заповедника Гасан-Кули (В. В. Кибакин, О. Х. Щербинина, Д. Шарапова), проведенные в 1960—1961 гг., позволили в районе Келифских озер собрать паразитофаунистический материал более чем от 500 птиц. Обработка этого материала показала, что водоплавающие птицы Каракумского канала инвазированы самыми различными экто- и эндопаразитами; степень экстенсинвазированности достигает 92,4%.

Учитывая, что среди паразитов диких водоплавающих птиц регистрируются паразиты, опасные для домашних птиц, и возможный занос инвазии дикими водоплавающими птицами рекомендуется в колхозах и совхозах Чарджоуской и Марыйской областях вести плановые профилактические противопаразитарные мероприятия. Кроме того, в 1961 г. на Каракумском канале (Келифские озера и 105—300-й километры трассы) изучалась зимняя гнездовая орнитофауна, а также темпы и закономерности формирования новых орнитологических комплексов (А. О. Ташлиев, А. Н. Сухинин, А. Ф. Кекилова).

Исследования показали, что основным источником расселения птиц являются Келифские озера, на которых зимует значительное количество гигрофильных птиц, в частности охото-промысловых (речные и особенно нырковые утки, лысуха, крохали). Эти озера являются также местом массовых зимовок серых и белых цапель и малых бакланов. На участке канала от 105-го до 310-го километра происходит интенсивное расселение птиц, характерных для культурных оазисов, тугаев, речных долин и представителей лимонадофильной авиафауны Туркмении. В гнездовой период 1961 г. на долю этих видов приходилось около 60% от общего числа встреченных особей.

На трассе Каракумского канала в течение ряда лет проводились эколого-географические исследования фауны млекопитающих (О. Н. Нургельдыев), в результате которых были сделаны практические рекомендации по борьбе с вредителями гидротехнических сооружений, лесных посадок и посевов вдоль трассы канала.

Кроме перечисленных выше исследований, ВНИИГиМ, САНИИРИ, Институт водных проблем и гидротехники АН ТССР, Туркменский сельскохозяйственный институт проводили модельные исследования крупных гидротехнических сооружений на Каракумском канале, по результатам которых в проекты вносились конструктивные изменения, улучшавшие условия работы сооружений.

Глава VII

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ КАРАКУМСКОГО КАНАЛА

Значительный интерес представляет перспектива развития Каракумского канала в общей увязке с проблемой использования земельно-водных ресурсов республики. По потенциальным возможностям для развития орошаемого земледелия водами Аму-Дарьи Туркменистан занимает одно из ведущих мест среди республик Средней Азии.

В настоящее время сток Аму-Дарьи используется всего на 20%. Строящееся Нурекское водохранилище на р. Вахш в Таджикистане с полезной емкостью 5,2 млрд. м³ будет первым водохранилищем, регулирующим сток рек Вахш и Аму-Дарьи. Имея в основном энергетическое значение, Нурекское водохранилище позволит также осуществить дополнительные попуски воды в размере до 2 млрд. м³ в марте, апреле и сентябре, существенно улучшив водозабор в существующие магистральные каналы р. Аму-Дарьи.

В связи с намечаемым крупным ирригационным строительством и развитием орошения в Узбекистане, Туркменистане и Таджикистане и использованием гидроэнергетических ресурсов р. Аму-Дарьи в настоящее время составляется общая схема комплексного использования водных ресурсов Средней Азии, которая будет разработана в 1963 г. в общей схеме комплексного использования водных ресурсов СССР.

В расчетных проработках института Туркменгипроводхоз доля общего стока Аму-Дарьи для Туркменской ССР принята, исходя из принципа пропорциональности общему земельному фонду, учтенному в проработках САОГИДЭПа по так называемому «Большому бассейну Аму-Дарьи» (табл. 30).

Учитывая, что среднемноголетний сток р. Аму-Дарьи (по Керкинскому створу) составляет 65 млрд. м³, а доля Туркменской ССР в этом стоке равна 46,4% (30 млрд. м³), то в

республике можно оросить амударьинской водой более 1,5 млн. га.

Таблица 30

Распределение земфонда в бассейне Аму-Дарьи

Республика	Площадь, подкомандная Аму-Дарье (млн. га)	Процент от общей подкомандной площади
Таджикская ССР	0,5	4,4
Узбекская ССР	4,1	36,0
Кара-Калпакская АССР	1,5	13,2
Туркменская ССР	5,3	46,4
Всего по бассейну Аму-Дарьи	11,4	100

В настоящее время распределение земфонда по бассейнам республики и его использование характеризуются следующим образом (табл. 31).

Таблица 31

Распределение земфонда по бассейнам республики и его использование

Наименование бассейна	Земфонд (в тыс. га)			
	Валовая площадь	Площадь, пригодная к орошению (нетто)	В % к площади нетто (2840 тыс. га)	Орошаемая площадь 1960 г.
Бассейн р. Аму-Дарьи	1332	600	21,2	238,8
Мургабский бассейн	440	250	8,8	120,9
Тедженский „	1124	510	18,0	29,9
Копет-Дагская подгорная равнина	1106	490	17,2	33,4
Юго-западные районы	1918	990	34,8	11,0
Всего . . .	5920	2840	100,0	434,0

Как видно из таблицы, непосредственно в бассейне р. Аму-Дарьи располагаются 600 тыс. га (21% общего земфонда, пригодного к орошению), используемые в настоящее время на 40%. В южных же и юго-западных районах расположена основная масса земель — 2240 тыс. га (79% всего земфонда, пригодного к орошению), используются же лишь 9%. Что касается водных ресурсов, то они распределены в обратном порядке. Из 33 млрд. м³ среднегодового стока, приходящегося

на долю республики, 30 млрд. падает на Аму-Дарью и только 3 млрд. на все остальные источники, имеющиеся на территории республики (табл. 32). Стоки Мургаба и Теджена уже полностью использованы на орошение. Незначительный сток р. Атрек распределяется в течение года неравномерно и в вегетационный период, как правило, прекращается, а источники Копет-Дага, составляющие всего 12 м³/сек., не в состоянии обеспечить дальнейшего развития орошения. В то же время имеется возможность перебросить по Каракумскому каналу в маловодные районы республики 21 млрд. м³ воды, которой можно оросить более одного миллиона гектаров.

Таблица 32

Водные ресурсы Туркменистана и их оросительная способность

Источники орошения	Среднегодовой сток (млн. м³)	Удельный сток на гектар орошаемой площади (тыс. м³)	Оросительная способность источника орошения (тыс. га)
Аму-Дарья (доля ТССР)	30000	18,8	1600
В том числе:			
Чарджоуский и Ташаузский бассейны	9000	15,0	600
Каракумский канал	21000	21,0	1000
Мургаб	1600	14,5	110
Теджен	700	17,5	40
Другие источники, включая речки, родники, скважины	920	15,0	68
Всего . . .	33220	—	1818

Использование имеющихся в республике земельно-водных ресурсов в ближайшем и отдаленном будущем и роль в этом Каракумского канала по данным проработок Туркменгипроводхоза иллюстрируется в табл. 33.

Как видно из таблицы, на ближайший период из Каракумского канала проектируется оросить 627 тыс. га, для чего предусматривается продолжение канала от Ашхабада до Каспийского моря (от Казанджика намечаются две ветви: северная — к орошаемым землям Больших Балхан и к промышленным городам Западного Туркменистана; южная — для орошения района субтропиков в долине Атрека и в предгорьях западного склона Копет-Дага).

Площадь орошения по Каракумскому каналу к концу семилетки, учитывая приросты, которые будут получены по третьей очереди канала, составит 218 тыс. га, в том числе:

Таблица 33

Использование площадей, пригодных к орошению, по бассейнам и по Каракумскому каналу

Наименование бассейна	Земельный фонд нетто (тыс. га)	Проектируемые площади орошения (тыс. га)			
		На ближайший период		Перспектива	
		за счет местных ресурсов	за счет Каракумского канала	за счет местных ресурсов	за счет Каракумского канала
Бассейн р. Аму-Дарьи	600	407	27	573	27
В том числе Обручевская степь	18	—	5	—	10
Мургабский бассейн	250	106	150	110	150
Тедженский „	510	37	230	40	410
Прикопетдагские и юго-западные районы	880	65	215	63	430
Всего . . .	2840	615	627	791	1027

По бассейну р. Аму-Дарьи — 19 тыс. га
„ „ р. Мургаб — 88 „
„ „ р. Теджен — 72 „
В районах Копет-Дага — 39 „

Указанные приросты (218 тыс. га) намечено получить при бесплотинном водозаборе из Аму-Дарьи. Следующий этап в строительстве Каракумского канала неизбежно будет связан со строительством плотины в реке, так как бесплотинный водозабор не может гарантировать нормальной водоподачи по каналу с расходом, превышающим 230—250 м³/сек. В отдельные годы в меженный период, когда расход реки составляет всего около 600 м³/сек., нормальный водозабор будет особенно затруднен.

Обеспечение гарантийного водозабора решается постройкой низконапорной плотины на Аму-Дарье у Кызыл-Аяка, в голове Каракумского канала, которая одновременно обеспечит водозабор на правый берег реки для орошения Каршинской степи. Такая плотина в настоящее время проектируется Куйбышевским отделением проектного института Гидроэнергопроект.

Необходимо отметить, что с развитием орошения по среднему течению Аму-Дарьи (Каракумский и Каршинский ка-

налы) будет ухудшаться положение в низовьях реки особенно в весенний период, когда при низких горизонтах в реке осложняется и без того тяжелое положение с водозабором в оросительные каналы. Поэтому ликвидировать зависимость сельского хозяйства в низовьях Аму-Дарьи от режима реки можно только строительством Тюя-Муюнской и Тахиа-Ташской плотин. Обе эти плотины также проектируются, причем Тюя-Муюнская плотина по топографическим и геологическим условиям сможет создать водохранилище емкостью до 3 млрд. м^3, которое на десятки лет будет служить аккумулятором наносов и защитит нижележащие районы от угрозы ежегодных паводков.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Строительство Каракумского канала — крупное техническое достижение, которое отображает подвиг народа и является событием большого общественно-исторического значения. И хотя в истории ирригации есть немало примеров строительства крупных оросительных каналов в различных странах и в различных природных условиях, на карте мира мы не увидим ни одной оросительной магистрали, пересекающей огромные песчаные пространства, подобные Кара-Кумам.

В возможности переброски амударьинской воды через Юго-Восточные Кара-Кумы сомневались видные специалисты. В 1925 г. В. В. Цинзерлинг в известном труде «Орошение на Аму-Дарье» писал: «...в отношении Каракумских проектов современному поколению строителей следует совершенно забыть, что воды Аму-Дарьи расположены выше Мургабских и Тедженских земель... проект Каракумского канала ни в коей мере не относится к числу таких мероприятий, которые могли бы успешно разрешить проблему орошения в республике, так как этот проект помимо того, что является нецелесообразным в хозяйственном отношении, оказывается рискованным — в техническом».

Излагая амударьинскую проблему, инженер Д. Д. Букинич в 1926 г. сообщал: «...вообще можно определенно сказать, что всякий проект пропуска воды из Аму-Дарьи через каракумские пески, поставивший своей целью орошение Марыйского и Тедженского оазисов... заранее обречен на неудачу».

Однако успешное завершение строительства Каракумского канала на протяжении 800 км полностью опровергло высказывавшиеся сомнения. Туркменский народ никогда не забывал, что воды Аму-Дарьи лежат выше Мургабских и Тедженских земель, он мечтал об этой воде, и при постоянной заботе Центрального комитета нашей партии и Советского прави-

тельства с помощью братских народов нашей страны его мечты претворены в жизнь.

Стройка в Кара-Кумах дала туркменскому народу не только воду для орошения веками пустовавших земель, она подготовила, вырастила и воспитала многочисленные национальные кадры гидростроителей.

Каракумский канал по праву называют стройкой дружбы народов. На трассе его трудились плечом к плечу туркмены, русские, узбеки, украинцы, армяне, грузины — представители 32 национальностей нашей страны. Со всех концов Советского Союза свыше 200 предприятий посылали в Кара-Кумы строительную технику, оборудование, материалы.

За достигнутые успехи по сооружению Каракумского канала большая группа рабочих, инженеров и техников, отличившихся на строительстве канала, была награждена орденами и медалями Советского Союза.

На торжественном митинге по случаю прихода воды в столицу Туркменистана трудящиеся Ашхабада и гидростроители направили письмо ЦК КПСС, Совету Министров СССР и товарищу Никите Сергеевичу Хрущеву, в котором писали, что в строительстве Каракумского канала конкретно воплощается девиз, провозглашенный новой Программой партии: «Все во имя человека, для блага человека» и что, отвечая делом на заботу партии и правительства, трудящиеся Туркменистана сделают все зависящее от них, чтобы новая восьмисоткилометровая искусственная река полностью отдала людям свою живительную силу.

ЛИТЕРАТУРА

Аверьянов С. Ф. Вопросы установления величины фильтрационных потерь в системе оросительных каналов. Журн. «Гидротехника и мелиорация», № 9 и 10, М., 1950.

Акмурадов Х. Изучение судовых волн в Каракумском канале. Изв. АН ТССР, серия физ.-тех., хим. и геолог. наук, вып. 2, Ашхабад, 1960.

Алиев Д. С. Опыт акклиматизации белого амура и толстолобика в водоемах Туркмении. Изв. АН ТССР, серия биолог. наук, вып. 5, Ашхабад, 1961.

Аннаев С. А. Русловые процессы на Каракумском канале. Изв. АН ТССР, серия физ.-тех., хим. и геолог. наук, вып. 5, 1962.

Аскоченский А. Н. Основные вопросы развития орошения и мелиорации в районах хлопкосеяния (Материалы объединенной научной сессии по хлопководству) АН УзССР, т. III, 1958.

Букинич Д. Д. Старые русла Окса и Аму-Дарьинская проблема, М.—Л., 1926.

Ведерников В. В. Теория фильтрации и ее применение в области ирригации и дренажа. М., 1939.

Глуховский А. И. Пропуск вод Аму-Дарьи в Каспийское море. Спб., 1893.

Гринберг Л. М. Строительство Каракумского канала. Сб. «Русловые процессы и гидротехническое строительство», АН УзССР, Ташкент, 1957.

Гринберг Л. М. Каракумский канал. Журн. «Гидротехника и мелиорация», № 8, М., 1959.

Гринберг Л. М. Некоторые особенности эксплуатации Каракумского канала. Журн. «Гидротехника и мелиорация», № 7, 1962.

Ермолаев М. Н. Пропуск вод Аму-Дарьи в Мервский и Тедженский оазисы с целью орошения 516000 десятин земли в Восточной части Закаспийской области, Спб., 1908.

Ефремов К. Ф. Задачи научно-исследовательских организаций в связи с проектированием Каракумского канала. Труды восьмой сессии АН ТССР, Ашхабад, 1956.

Жимский А. А. Саморазмыв отводящего канала гидроэлектростанции постепенно нарастающим расходом воды. Журн. «Гидротехническое строительство», № 6, 1952.

Знаменский А. И. Экспериментальные исследования процессов ветровой эррозии песков и вопросы защиты от песчаных заносов, АН ТССР, ин-т геолог., вып. III, Ашхабад, 1958.

Кузьмин И. А., Терентьев Л. И. Опыт разработки Волго-Ахтубинского канала саморазмывом. Труды гидропроекта, сб. 4, 1960.
Левченко Ф. И. Почвы, грунты и грунтовые воды Каракумской пустыни в связи с вопросом обводнения ее, Киев, 1912.
Лещинский Г. Т., Сапаров Б. — Определение коэффициентов шероховатости и фильтрационных потерь за 1959 г. на Каракумском канале. Отчет ТуркменНИИГиМ, Ашхабад, 1960.
Любченко А. Е. Каракумская степь в кн. «Экспедиция в Каракумскую степь». М., 1910.
Морозов А. Т. Расчет потерь по песчаному участку трассы Каракумского канала. Технич. проект, т. 11, кн. 1, 2, 3.
Никитин И. К., Фроликова Е. Я., Акмурадов Х. Исследование устойчивости неукрепленных откосов дамб обвалования Каракумского канала от воздействия ветровой волны. Отчет САНИИРИ, Ташкент, 1957.
Новиковский В. Э., Федосов Ю. Г. Кольматация каналов в условиях Кара-Кумов. Журн. «Гидротехника и мелиорация», № 12, 1960.
Паршутин С. М. Изучение химических методов борьбы с зарастанием каналов. Отчет. ТуркменНИИГиМ, Ашхабад, 1960.
Пулатов У. Ю. Исследование методов и качества возведения дамб обвалования и приканальных дамб Каракумского канала. Отчет САНИИРИ, Ташкент, 1956.
Ризенкампф Г. К. Транскаспийский канал. М., 1921.
Сапаров Б. Определение коэффициентов шероховатости и потерь на Каракумском канале. Фонды ТуркменНИИГиМ, Ашхабад, 1961.
Тер-Абрамянц Г. А., Шапиро Х. Ш. Разработка схемы водозаборного узла для второй очереди Каракумского канала. Отчет ВНИИГиМ, М., 1956.
Туркс В. А. Способ механизированной очистки головного участка оросительного канала. Журн. «Гидротехника и мелиорация», № 2, 1958.
Федоров В. В. Влияние параметров ковшей-драглайна на производительность экскаваторов при работе в сухих песчаных грунтах Средней Азии, Отчет САНИИРИ, Ташкент, 1956.
Церетелли К. Е. Тезисы доклада об использовании гидромеханизмов на строительстве первой очереди Каракумского канала. Фонды Минводхоза ТССР, 1960.
Цинзерлинг В. В. Орошение на Аму-Дарье. М., 1927.
Чупрунов В. А. Некоторые наблюдения за размывом временного канала на Саратовском гидроузле. Бюллетень научно-технической информации гидропроекта, № 11, 1960.
Шарова З. И. Исследование заиления водохранилищ озерного типа на трассе Каракумского канала. Отчет ВНИИГиМ, 1961.
Эсенов Д. Разработка песчаных грунтов на строительстве Каракумского канала. Журн. «Механизация строительства», № 11, 1962.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие 3

Глава I. Исторические предпосылки строительства Каракумского канала и его народнохозяйственное значение . . . 5
Обзор развития и орошения в Туркменистане 5
Исследования и изыскания в бассейне Аму-Дарьи . . . 9
Предложения по переброске амударьинских вод в Мургабский и Тедженский оазисы 12
Народнохозяйственное значение Каракумского канала . 19

Глава II. Первая очередь Каракумского канала (Аму-Дарья—Мургаб) 22
Основные положения проекта первой очереди Каракумского канала 22
Природные условия зоны канала 22
Общая схема канала 28
Характеристика трассы канала первой очереди . . 30
Режим работы канала, фильтрационные потери и гидравлические расчеты 36
Организация строительства и способы производства работ 44
Опыт строительства Каракумского канала 46
Подготовительные работы 46
Объем работ и характеристика района строительства . 51
Организация и механизация земляных работ . . . 52
Строительство дамб обвалования Келифских озер . . 57
Строительство пионерной траншеи 61
Работа бульдозеров 65
Использование экскаваторов 72
Разработка канала размывом 75
Применение гидромеханизации 79
Строительство гидротехнических сооружений . . . 82

Глава III. Некоторые особенности эксплуатации Каракумского канала 92
Руслоформирующие процессы 92
Борьба с песчаными заносами 99
Зарастание канала водной растительностью . . . 102
Потери воды в канале 105

Глава IV. Каракумский канал второй очереди (Мургаб—Теджен) 109
Головной водозабор 111
Трасса канала 112
Режим работы канала и регулирование стока . . . 112
Гидротехнические сооружения 116
Хаузханское водохранилище 118
Строительство канала Мургаб—Теджен 119

Глава V. Третья очередь Каракумского канала (Теджен—Ашхабад) 123
Пионерный канал водного тракта третьей очереди Каракумского канала 131

Глава VI. Исследования в период проектирования и строительства 133
Головной водозабор 134
Устойчивость сооружений, русловые процессы и фильтрационные потери 135
Гидрогеологические и инженерно-геологические исследования 137
Флора и растительность 139
Фауна 141

Глава VII. Некоторые вопросы перспективы развития Каракумского канала 143

Заключение 148
Литература 150

Лев Матвеевич Гринберг

КАРАКУМСКИЙ КАНАЛ

Печатается по постановлению Редакционно-издательского совета Академии наук ТССР

Ответственный редактор *В. С. Мищенко*
Редактор издательства *С. Г. Насибова*
Техредактор *Г. А. Ивонтьева*
Корректор *Е. И. Харитонова*

Сдано в набор 16/II-63 г. Подписано к печати 26/III-63 г. Уч.-изд. л. 10,3. Печ. л. 9,60. Бумага 60x90$^{1}/_{16}$. Тираж 1000. Заказ 483. Изд. № 14/283. Цена в пер. 61 к. И—01037.

Типография Академии наук Туркменской ССР, г. Ашхабад, Энгельса, 90.