ЗНАНИЕ

НОВОЕ
В ЖИЗНИ,
НАУКЕ,
ТЕХНИКЕ

СЕРИЯ
НАУКИ О ЗЕМЛЕ

2'81

М. К. Граве
Л. М. Граве

КАРАКУМСКИЙ КАНАЛ И ПРИРОДА ПУСТЫНИ



НОВОЕ
В ЖИЗНИ,
НАУКЕ,
ТЕХНИКЕ

Серия
«Науки о Земле»,
№ 2, 1981 г.

Издается
ежемесячно
с 1966 г.

М. К. Граве,
кандидат географических наук,
Л. М. Граве

КАРАКУМСКИЙ КАНАЛ И ПРИРОДА ПУСТЫНИ

Издательство
«Знание»
Москва
1981

ББК 38.77
Г 75

Содержание

Введение 3
Каракум-река 5
Техническая или геотехническая система? 14
Взаимодействие канала и пустыни 19
Географический полигон длиной в тысячу километров . . 43
Литература 45
Короткие заметки 46

Граве М. К., Граве Л. М.

Г75 Каракумский канал и природа пустыни.— М.: Знание, 1981.— 48 с.—(Новое в жизни, науке, технике. Сер. «Науки о Земле»; № 2).

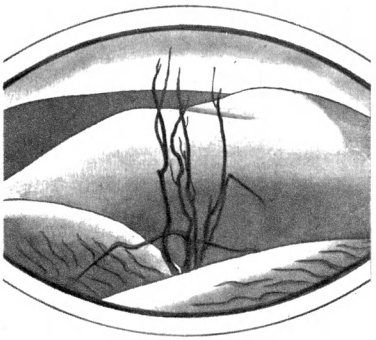
12 к.

В брошюре рассказано об уникальном сооружении в пустыне — Каракумском канале им. В. И. Ленина, его строительстве, значении для хозяйства и особенностях взаимодействия с природой. В популярной форме освещен первый опыт применения системного подхода при анализе взаимного влияния технического объекта — канала и природных комплексов пустыни, в совокупности образующих ирригационную геотехническую систему. Охарактеризовано значение исследований в зоне Каракумского канала для прогноза воздействия техники на природу и проектирования крупных гидромелиоративных мероприятий.

ББК 38. 77
6С7

© Издательство «Знание», 1981 г.

Введение



Прошло 25 лет с тех пор, когда по воле партии и советского народа в суровых условиях пустыни началось освоение новых земель. Ныне Каракумский канал преодолел тысячекилометровый рубеж.
Сооружение Каракумского канала — убедительный пример ленинской национальной политики КПСС, братской дружбы народов Страны Советов. Вместе с туркменами его строили представители всех союзных республик.

Л. И. БРЕЖНЕВ

В «Основных направлениях развития народного хозяйства СССР на 1976—1980 годы», утвержденных XXV съездом КПСС, записано: «Продолжить строительство Каракумского канала и освоение земель в его зоне»[1]. За этой короткой строкой кроется огромный труд больших коллективов рабочих, инженеров, проектировщиков, мелиораторов, ученых, воплощающих в жизнь широкую программу освоения пустынь в условиях развитого социалистического общества.

Орошению в Средней Азии Советская власть уделяет большое внимание с первых лет своего существования. Еще в мае 1918 г., через полгода после Великой Октябрьской революции, когда в нашей стране шла борьба с интервентами, В. И. Ленин подписал Декрет об оросительных работах в Туркестане. В трудных условиях того времени на развитие орошения было выделено 50 млн. руб. В плане ГОЭЛРО, разработанном в 1920 г. по инициативе и под руководством В. И. Ленина, была подчеркнута роль мелиорации, в том числе орошения. Указано, что в России потребуется мелиорировать около 50 млн. га земель[2]. Однако трудности первых лет Советской власти в Туркестане, пережитки патриархально-феодального уклада, не до конца решенная водно-земельная проблема, условия интервенции и борьбы с контрреволюцией — все это сказалось на состоянии ирригации и всего сельского хозяйства. По сравнению с 1913 г. к 1922 г. поливные площади в Средней Азии сократились вдвое, посевы хлопчатника составляли 7,1% по отношению к 1913 г.

---

[1] Материалы XXV съезда КПСС. М., Политиздат, 1976, с. 234.

[2] Заметим, что к 1976 г. полностью мелиорировано (т. е. орошено или осушено) свыше 25 млн. га земель. Кроме того, обводнено 78 млн. га отгонных пастбищ, выполнены культурно-технические работы (расчистка пашни от кустарника, мелколесья, камней и т. п.) на площади 16 млн. га, произвесткованы кислые почвы на более 50 млн. га (Известия, 1976, 28 мая).

С учетом этого в 1922 г. правительство Туркестанской республики утвердило пятилетний план восстановления и реконструкции оросительных систем. На развитие ирригации из госбюджета страны было выделено 4,5 млн. руб. золотом, а вместе с местными средствами общая сумма ассигнований составила 10,25 млн. руб.; в 1923 г. сумма ассигнований возросла до 13,9 млн. руб.[3]

После образования Туркменской Советской Социалистической Республики (октябрь 1924 г.) развитие ирригации осуществлялось одновременно с окончательной ликвидацией феодальных отношений, установлением государственной собственности на землю и воду. В Туркменистане постановление о водно-земельной реформе было принято в феврале 1925 г. на Первом Всетуркменском съезде Советов. На этом же съезде впервые в государственном масштабе обсуждалась проблема пропуска амударьинских вод на запад через Каракумы. В дальнейшем вопросы орошаемого земледелия и мелиорации решаются в порядке выполнения многолетних народнохозяйственных планов и специальных постановлений директивных органов.

Так, в 1940 г. важной вехой в развитии ирригации в Туркменистане явилось постановление СНК СССР и ЦК ВКП(б) «О мерах по дальнейшему подъему сельского хозяйства и в особенности хлопка советских длинноволокнистых сортов в Туркменской ССР»[4]. Тогда начались планомерные изыскательские работы по трассе Каракумского канала.

В первое послевоенное десятилетие был принят ряд постановлений, оказавших решающее влияние на дальнейшее расширение орошаемого земледелия в ТССР. Было утверждено проектное задание строительства Каракумского канала и созданы специализированные организации для его проектирования и строительства, а в 1954 г. постановление ЦК КПСС и Совета Министров СССР «О дальнейшем развитии хлопководства в Туркменской ССР на 1954—1958 гг.» ознаменовало начало строительства Каракумского канала[5].

Специально развитию мелиорации земель в СССР был посвящен Пленум ЦК КПСС в мае 1966 г. На нем Генеральный секретарь ЦК КПСС тов. Л. И. Брежнев отметил особое место мелиорации в системе крупных общегосударственных мер. Он подчеркнул, что «...это не текущая кампания, это — программа в области сельского хозяйства, рассчитанная на длительный срок, программа, требующая огромных усилий и немалых капитальных вложений и материально-технических средств»[6]. Главная особенность этой программы состоит в охвате мелиоративными мероприятиями крупных регионов страны и в ее долговременном характере, измеряемом десятками лет. В нее входят орошение, обводнение, осушение земель, агролесомелиорация, из-

[3] См.: Ирригация Узбекистана. Ташкент, Изд-во ФАН, 1975.

[4] См.: Правда, 1940, 23 апреля.

[5] См.: Правда, 1954, 23 апреля.

[6] Материалы майского (1966 г.) Пленума ЦК КПСС. М., Политиздат, 1966, с. 14.

вестkование и гипсование почв, совершенствование инженерно-мелиоративных систем, в конечном итоге создание крупных районов передового сельскохозяйственного производства. Таким образом, мелиорация — одна из важных составных частей всей аграрной политики партии.

Значение развития орошаемого земледелия в Средней Азии далеко выходит за рамки чисто сельскохозяйственного мероприятия. В. И. Ленин неоднократно указывал на роль орошения в социальном отношении, в общем подъеме социалистического производства, подчеркивал, что через него можно пересоздать край, возродить его, похоронить прошлое, укрепить переход к социализму[7].

Государственное планирование в области ирригации предусматривает решение многих задач как хозяйственного, так и социального характера. Среди них — резкое повышение интенсивности использования природных ресурсов пустыни, значительное расширение посевов хлопчатника и других ценных культур, сближение мест выращивания сельскохозяйственного сырья и его обработки путем ускоренного строительства предприятий в республиках Средней Азии. Одновременно решаются и такие задачи, как увеличение производства товаров легкой и пищевой промышленности для дальнейшего повышения уровня материального благосостояния трудящихся, обеспечение роста численности рабочих и технической интеллигенции из коренного населения Среднеазиатских республик. С перечисленными задачами тесно связана многолетняя программа развития орошения в Средней Азии. Одним из звеньев этой программы является завершение строительства Каракумского канала им. В. И. Ленина.

Значение Каракумского канала для народного хозяйства Туркменской ССР и всей страны трудно переоценить. В зоне канала производство хлопка с 1958 по 1975 г. возросло в 3,5 раза. В 1975 г. из 1214 тыс. т хлопка-сырца, собранных в ТССР, половина выращена в зоне канала, в том числе весь хлопок особо ценных тонковолокнистых сортов. Приход «большой воды» позволил интенсифицировать животноводство, обводнить пастбища, обеспечить бурный рост добывающей нефтегазовой промышленности. Канал вызвал перестройку всего промышленного производства, способствовал формированию нового агропромышленного комплекса, ведущим звеном которого служит крупное ирригационное строительство. Каракумский канал, являясь частью генеральной программы освоения пустынь, служит конкретным воплощением экономической стратегии Коммунистической партии и Советского правительства. Он стал важным фактором роста производительных сил, науки и культуры, вошел в число крупнейших строек пятилетних планов.

Каракум-река

Каракумский канал им. В. И. Ленина — самое крупное в пустынях мира гидротехническое сооружение ирригационно-мелиоративно-

[7] См.: Ленин В. И. Полн. собр. соч., т. 43, с. 200.

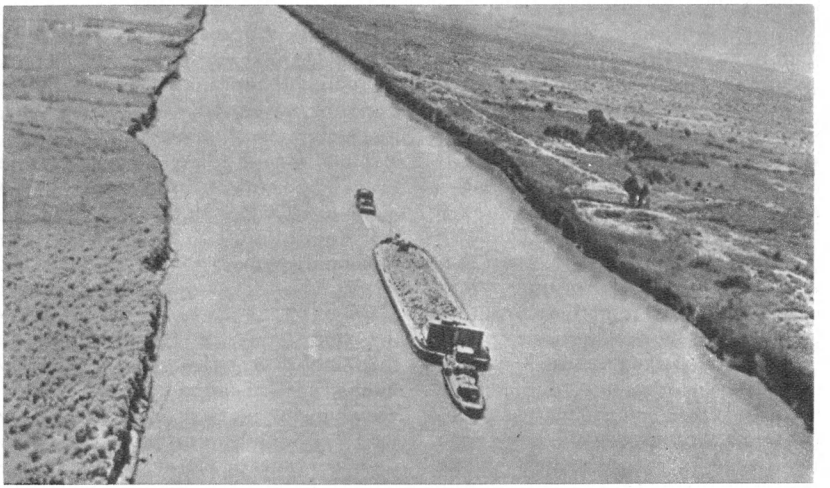


Рис. 1. Каракумский канал им. В. И. Ленина (фото ТАСС)

го назначения[8]. В настоящее время этот канал протянулся от левого берега р. Амударьи у пос. Басага, где он забирает воду, до г. Кизыл-Арвата на северо-западе подгорной равнины, обрамляющей склоны Копетдага. Длина его превысила 1000 км, головные сооружения ежегодно забирают из Амударьи до 10 км^3 воды. По окончании строительства, когда канал обогнет западные отроги Копетдага и выйдет к побережью Каспийского моря, длина его составит 1400 км, а годовой сток — 18 км^3. В 1975 г. в зоне канала орошалось свыше 500 тыс. га, т. е. почти втрое больше, чем до его проведения. В перспективе каналом будет орошаться до 1 млн. га плодородных земель.

Сейчас ширина канала в его верхних отрезках в среднем не менее 100—120 м. Вместе с имеющимися кое-где озеровидными расширениями она местами достигает 1—1,5 км. Канал судоходен от Амударьи до г. Мары. По размерам, гидрологическим показателям, особенностям и масштабу проходящих в нем процессов канал не уступает многим рекам Средней Азии, принося вчетверо больше воды, чем все источники орошения юга Туркменистана (табл. 1). Вполне справедливо Каракумский канал называют рукотворной рекой в пустыне, или Каракум-рекой.

---

[8] В пустыне Тар (Индия) строящийся оросительный канал Раджастхан по проекту будет иметь длину 686 км и головной водозабор 530 м^3/с. В Пакистане наиболее крупные каналы имеют пропускную способность в пределах 360—440 м^3/с. Наибольшая протяженность магистрального канала в Мексике 335 км, водозабор — от 50 до 80 м^3/с (Орошение и осушение в странах мира. М., Колос, 1974).

Таблица 1

Водные ресурсы юга Туркменской ССР

Источники орошения	Средний годовой расход, м³/с
1. Естественные водоисточники:	
р. Мургаб у Тахта-Базара	52
р. Теджен у Пулихатума	32
мелкие речки и родники Копетдага	12
р. Атрек у Чата	10
Итого по югу ТССР	106
р. Амударья у Керки	2000
2. Каракумский канал (нижний бьеф головного сооружения)	
1959 г.	106
1960 г.	123
1965 г.	176
1970 г.	252
1975 г.	317
1977 г.	400
По проекту IV очереди	580
Перспектива	800

Немного истории. Как отметил академик И. П. Герасимов, идея о подаче амударьинской воды через пустыню Каракумы на запад в маловодные южные районы Закаспийской области возникла почти сто лет назад в результате географических рекогносцировок, связанных с проведением первой в Закаспии железной дороги, соединившей в 1896 г. Красноводск и Чарджоу. Во время инженерно-геологических изысканий вдоль линии железной дороги знаменитый геолог, впоследствии академик, В. А. Обручев предположил, что цепочка солончаковых котловин (шоров), начинающаяся вблизи р. Амударьи на границе с Афганистаном и вытянутая на северо-запад в глубь пустыни, представляет собой остаток древнего русла Амударьи, в геологическом прошлом впадавшей в Каспийское море. Эти руслообразные котловины были известны под названием Келифского Узбоя[9].

Открытие Келифского Узбоя как древнего речного русла привлекло внимание русских инженеров и предпринимателей. Дело в том, что в конце XIX — начале XX в. резко возрос интерес к развитию хлопководства для нужд растущей текстильной промышленности России. А равнины юга Средней Азии при наличии воды открывали для этого богатую перспективу.

Впервые вопрос о возможности орошения земель на равнинах низовий Мургаба и Теджена путем подачи амударьинской воды через Юго-Восточные Каракумы по каналу был поднят инженером-экономистом Г. П. Сазоновым, разработавшим свое предложение в основном по литературным материалам. Осенью 1906 г. это предложение обсуждалось на специальном совещании деловых и научных кругов России под председательством крупнейшего уче-

[9] Уже значительно позднее установлено, что Келифский Узбой — это реликтовое русло афганской реки Балх.

ного-географа П. П. Семенова-Тян-Шанского. Большой интерес к проекту проявил Д. И. Менделеев. В 1907 г. уже на основе экспедиционных исследований была выдвинута схема переброски на запад амударьинских вод с использованием шоров Келифского Узбоя инженером М. Н. Ермолаевым. Им был представлен «Проект пропуска вод реки Амударьи в Мервский и Тедженский оазисы с целью орошения 516 000 десятин земли в восточной части Закаспийской области». Экспедиция М. Н. Ермолаева, организованная на средства удельного ведомства, произвела предварительные технические расчеты и оценку земель. Новые исследования возможностей проведения оросительного канала через Каракумы выполнила в 1911 г. на частные средства экспедиция инженера Б. Х. Шлегеля. Она дала более детальные материалы по сравнению с полученными М. Н. Ермолаевым. Предложенная трасса канала была нанесена на среднемасштабную карту и составлен ее геологический разрез. В 1915 г. с предварительными соображениями об использовании вод Амударьи для орошения примургабских и более западных районов выступил инженер-ирригатор Ф. П. Моргуненков. Однако передовые идеи русских инженеров в то время были неосуществимы — эти оригинальные разработки опережали запросы и возможности царской России.

Лишь в советское время обводнение и орошение пустыни Каракумы стало общегосударственным делом, что подтвердилось на первом же съезде Советов Туркменской республики. Вскоре после него был подведен итог многолетней работы комплексной экспедиции в Юго-Восточных Каракумах, руководимой Ф. П. Моргуненковым. Он предложил полностью использовать Келифский Узбой, по которому можно, пользуясь естественным уклоном, направить воду Амударьи в Мургабский оазис. В 1927 г. впервые была пропущена вода в Келифский Узбой из строящегося в долине Амударьи Басага-Керкинского канала. В дальнейшем этот опыт повторялся неоднократно. Он показал, что соляной покров Келифских шоров быстро скрывался под амударьинским илом[10] и не вызывал засоления поступившей воды, а фильтрационные потери постепенно уменьшались за счет заиливания песчаных грунтов. Таким образом, в известной мере уже тогда были опровергнуты сомнения, высказанные некоторыми видными инженерами. Например, В. В. Цинзерлинг назвал проект Каракумского канала рискованным в техническом отношении, а Д. Д. Букинич считал, что вообще этот проект «заранее обречен на неудачу».

Наиболее широкие изыскания по различным вариантам трассы Каракумского канала развернулись с 1940 г., когда было принято упоминавшееся постановление ЦК ВКП(б) и Совнаркома СССР о развитии хлопководства в Туркменистане. Несмотря на тяжелейшие условия военного времени, именно в период Великой Отечественной войны был проведен необходимый комплекс исследований, возглавлявшихся И. В. Болтенковым, А. Т. Морозовым и К. Н. Иомудским, и составлено проектное задание на строительство Каракумского канала по так называемому Южному варианту. Последний, в отличие от Северного (предложенного ранее Ф. П. Моргуненковым), предусматривал проведение канала только через восточную часть Келифского Узбоя, имеющую почти широтное направление. Далее, где Келифские шоры уходят к северо-западу, трасса канала, сохраняя широтную ориентировку, выходит к Мургабу на достаточно высоких отметках. Это обеспечивало возможность самотечного орошения максимальной площади Мургабской дельтовой равнины, лежащей гипсометрически ниже канала. При Северном варианте, использующем почти весь Келифский Узбой, подкомандная по отношению к каналу орошаемая территория значительно уменьшается, а стоимость строительства

[10] Амударья несет вчетверо больше взвешенных частиц, чем Нил. В одном кубометре воды их содержится до 4 кг.

возрастает. В 1952 г. был закончен и утвержден технический проект первой очереди строительства Каракумского канала и перспективная схема его дальнейшего развития. С этого момента началась непосредственная подготовка к строительству.

Разные облики пустыни. Согласно проекту Каракумский канал должен был пересекать пустыню на огромном протяжении. Но не следует думать, что все это — однообразное бескрайнее море песков. Пустыня в зоне канала, как и вообще в Средней Азии, очень разнообразна. С песчаными пространствами, обладающими сильно пересеченным рельефом, чередуются ровные глинистые поверхности, а местами каменистые участки, сформированные самыми различными процессами. Разнообразны ландшафты пустыни, ее освоенность человеком. Местами пустыня густо заселена, в других местах почти безлюдна.

Характерной чертой климата пустыни, в том числе в зоне канала, является противоречие между обилием тепла и резким дефицитом влаги, что исключает возможность земледелия на равнинах без искусственного орошения. Между тем продолжительное жаркое лето (с конца апреля до середины октября), высокая суммарная солнечная радиация (150—160 ккал/см^2) и длительный период со средней суточной температурой выше 10° (более 250 дней) в сочетании с плодородными сероземными почвами позволяют выращивать здесь при наличии воды лучшие сорта тонковолокнистого хлопчатника, виноград, ценные плодовые культуры. Средние годовые температуры находятся в пределах 16—18°, даже в январе средние месячные температуры положительны (хотя в отдельные зимы не исключены и сильные морозы). Осадков же выпадает менее 200 мм в год (в основном весной), а реки, за исключением Амударьи, маловодны и обладают крайне неустойчивым стоком.

Действующая, строящаяся и проектируемая части Каракумского канала пересекают различные природные области южного Туркменистана, каждая из которых имеет свои особенности строения, хозяйственного использования и условий проведения канала. В целом это равнины, лежащие в пределах внутриматериковой пустыни умеренного пояса, известной под общим названием Каракумы[11]. Проектировщики использовали естественное снижение поверхности от 250 м на Амударье до —28 м у Каспийского моря, благодаря чему вода идет по каналу самотеком. Действующая часть канала проходит через Юго-Восточные Каракумы, заключенные между долинами Амударьи и Мургаба, орошает дельты Мургаба и Теджена и далее следует по Прикопетдагской подгорной равнине, с севера обрамленной песчаной пустыней Центральные Каракумы. Западный (проектируемый) отрезок канала выйдет через Данатинский коридор, лежащий между Копет-

[11] В переводе Каракумы — значит черные пески, однако, по мнению известного географа-пустыноведа Э. М. Мурзаева, не в смысле плохие, злые, а пески, закрепленные растительностью и поэтому более темные, чем аккумы (белые пески), лишенные растительного покрова.

дагом и горной возвышенностью Малый Балхан, на Западно-Туркменскую равнину.

Долина Амударьи в ее среднем отрезке, где начинается Каракумский канал, имеет ширину 6—8 км и занята оазисом, тянущимся по левобережью реки вплоть до Чарджоу. По нему проходят первые 30 км канала. С запада долина обрамлена Приамударьинской полосой развеваемых барханных песков, за ними начинаются Юго-Восточные Каракумы, куда поворачивает канал.

Эта часть Каракумов представляет область отложений небольших пересыхающих рек и временных водотоков, некогда стекавших на север с находящихся в Афганистане гор Паропамиз. Свидетельством речной деятельности является толща песчано-глинистых отложений, формирующих обширную полого снижающуюся на северо-запад равнину, которая представляет собой три разновозрастные сухие дельты. Наиболее молодая и самая восточная из них — глинистая дельта афганской реки Балх. Древний проток этой реки сохранился на нашей территории в виде цепочки солончаковых котловин Келифского Узбоя. Котловины на протяжении 70 км соединены искусственными прорезями и превратились в озера-отстойники, через них и проходит Каракумский канал.

Западнее лежит равнина, которая более 65 лет назад была названа Обручевской степью в честь впервые исследовавшего ее в конце XIX в. В. А. Обручева. Это тоже пустынная сухая дельта, сложенная глинистыми и песчаными породами. Покинув Келифский Узбой, канал проходит по ее северной окраине, почти не делая изгибов. В растительности вместо солянок, приспособившихся к сильно засоленным почвам дельты Балха, большое распространение приобретают псаммофиты (песколюбы) в виде кустов саксаула, кандыма, черкеза. В травянистом покрове господствуют эфемеры и эфемероиды — растения, вегетирующие лишь весной, когда проходят дожди. Летом они полностью высыхают. Среди них заслуживает упоминания илак — низкорослая травка с плотной дерновиной — основной корм для овец.

Далее до 310 км, считая от водозабора, канал пересекает область сплошных песков, поросших псаммофитами. Сначала это песчаная, наиболее древняя дельта североафганских рек, а западнее — северный склон холмогорья Карабиль. По мнению большинства исследователей, несколько миллионов лет назад на месте Карабиля отлагался временными потоками песчаный и более тонкий материал, выносившийся из Паропамиза. Впоследствии он был переработан ветром. В результате на северной периферии Карабиля сформировался глубоко расчлененный грядовый рельеф песков, смыкающийся далее на севере с аналогичным рельефом Низменных Каракумов. Поскольку эоловые[12] гряды имеют здесь почти меридиональное направление, Каракумский канал пересекает их поперек. Расширения в межгрядовых понижениях иногда превращаются в довольно большие озера, с севера и юга ограниченные дамбами. Юго-

[12] От греч Aiolos — повелитель ветров. Гряды, образованные ветром.

Восточные Каракумы до проведения канала никогда не знали земледелия. Это была область отгонного животноводства, главным образом каракулеводства, базировавшегося на пустынных пастбищах и довольно редких колодцах.

Дельтовые равнины Мургаба и Теджена, сливающиеся одна с другой, представляют огромные, веерообразно понижающиеся на северо-запад глинистые поверхности с протоками этих иссякающих в пустыне рек. Периферические части дельт, покрытые песками, распространяются далеко в Каракумы: на севере до широты Репетека, а на западе — почти до меридиана Ашхабада, куда достигает окраина дельты Теджена. В разрезе дельтовые отложения представляют чередование слоев суглинков, супесей и песков. Толща их обладает заметно меньшей фильтрационной способностью, чем пески Юго-Восточных Каракумов. Центральную часть дельты Мургаба занимает одноименный оазис — один из древнейших центров земледельческой культуры. По данным археологов, земледелие здесь существует более трех тысячелетий. За это время накопился мощный слой ирригационных наносов, а рельеф был усложнен разветвленной сетью оросительных каналов, остатками древних городов и крепостей. Сходную картину можно наблюдать на дельте Теджена, впрочем, из-за маловодья этой реки менее освоенной до проведения канала.

Снабдив водой дельты, канал переходит на подгорную равнину, которая обрамляет склоны Копетдага, обращенные к низменным Каракумам. Продукты разрушения, сносимые с гор временными водотоками и небольшими речками, отлагаются на подгорной равнине в форме слегка выпуклых веерообразных скоплений (конусов выноса), распластывающихся по мере удаления от подножия склонов к периферии равнины. Чем дальше от гор, тем мельче становится материал — щебнистый подгорный шлейф к северу сменяется суглинистой равниной. Канал проходит в средней части этой равнины, огибая наиболее крупные конусы выноса. На подгорной равнине до появления канала лишь изредка располагались мелкие оазисы. Они были приурочены к устьям скудных копетдагских речек, родникам и местам, где добывались подземные воды ранее при помощи кяризов[13], а с развитием техники — буровыми скважинами.

Подгорная равнина изрезана множеством мелких непостоянных русел, заполняющихся водой во время весенних дождей. Иногда здесь возникают сели-грязекаменные потоки, создающие для канала большую опасность. Для их пропуска через канал (или под ним) предусмотрены специальные устройства — акведуки и дюкеры.

На севере подгорная равнина смыкается с Центральными Низменными Каракумами. Они сложены мощной толщей песков, некогда отложенных древней Амударьей (пра-Амударьей). Сейчас эти пески глубоко переработаны ветром и имеют грядовый

[13] Кяриз — подземная галерея для сбора грунтовых вод и вывода их на поверхность — старинный народный способ получения воды в орошаемых районах Средней Азии, Ирана и Афганистана.

рельеф. Центральные Каракумы граничат с Юго-Восточными по условной линии, совпадающей с железной дорогой Мары — Чарджоу.

Западно-Туркменская низменность, где проектируется продолжение Каракумского канала, имеет сложное строение. Вдоль побережья Каспия тянется область морских песчаных отложений, ближе к горам располагаются сухие суглинистые дельты р. Атрек. Между древними дельтами и обращенными к морю склонами Западного Копетдага лежит подгорная равнина. Из-за недостатка воды вся эта территория в сельскохозяйственном отношении освоена слабо. Между тем по климатическим условиям она относится к сухим субтропикам, где можно выращивать гранаты, оливковые деревья, финиковые пальмы и самые ценные сорта хлопчатника.

Этапы большого пути. Огромный путь, по которому сейчас проходит амударьинская вода на запад, прокладывался не сразу. Сооружение канала ведется поэтапно, с тем чтобы каждая очередь строительства обеспечивала орошение определенных площадей независимо от готовности его последующих отрезков. Канал строится без облицовки и имеет бесплотинный водозабор, что очень удешевило и ускорило его прокладку. А это в условиях первого послевоенного десятилетия имело существенное значение. Кроме того, указанная конструкция водного тракта позволяет изменять сечение готового русла соответственно увеличению водозабора от этапа к этапу, а не сооружать его с самого начала для пропуска всей воды, потребной в отдаленной перспективе. Поэтому при каждой последующей очереди строительства одновременно расширяется действующая часть от головного сооружения до начала строящегося участка. Предусмотренные на канале водохранилища позволяют в условиях беспрерывного его действия накапливать запасы воды в осенне-зимний период, что обеспечивает повышение летнего стока для орошения на 30—35% без увеличения пропускной способности водной магистрали.

Первая очередь канала — от Амударьи до Мургаба — имеет длину 397 км, из них около 300 км проходит в песчаной пустыне. Сооружение канала началось в 1954 г., а уже весной 1959 г. вода пришла в дельту Мургаба. Была ликвидирована опасность гибели посевов хлопчатника в Мургабском оазисе, испытывавшем в это время крайнее маловодье. Проектом первой очереди максимальный головной расход определялся в 130 $м^3/с$, годовой сток — в 3,5 $км^3$. Канал обеспечивал орошение 88 тыс. га в Мургабском оазисе, а с учетом 82 тыс. га земель, орошавшихся Мургабом, общая их площадь должна была составлять 170 тыс. га. В 1975 г. она достигла 212 тыс. га. При проектировании и сооружении первой очереди канала пришлось решить ряд кардинальных вопросов и преодолеть, казалось бы, непреодолимые трудности. Ведь подобного опыта передачи воды на огромное расстояние через песчаную пустыню не знала мировая практика гидротехнического строительства.

Главным был вопрос о фильтрационных потерях из канала. Наиболее сложным оказалось определить фильтрацию при неустановившемся режиме, поскольку стабилизация потерь, особенно в условиях песчаной пустыни, произойдет не скоро. Однако благодаря предложенному доктором сельскохозяйственных наук А. Т. Морозовым оригинальному графоаналитическому методу решения задачи удалось дать прогноз изменения фильтрации во взаимодействии с формирующимся режимом грунтовых вод. Оказалось, что при больших масштабах первоначальных потерь (2,4 $м^3/с$ на 1 км канала)

размеры фильтрации будут постепенно уменьшаться благодаря кольматации[14] ложа и насыщению водой пород под каналом. Через год после пуска воды потери снизятся почти в 6 раз. Однако если сначала выкопать канал, а потом подать в него воду, то, по расчетам Б. Сапарова, при головном водозаборе 100 м³/с вода дойдет до Мургаба не менее чем через год после окончания строительства, да и то в минимальном количестве.

Это заставило вместо обычного «сухого» способа строительства разработать никогда ранее не применявшийся метод «ведения воды за собой». Суть его в том, что в узкую и короткую (до 10 км) «пионерную» траншею, выкопанную экскаваторами и бульдозерами, запускается вода, пользуясь которой ложе канала до проектного сечения расширяют землесосами. Тем самым удалось решить одновременно несколько задач: ускорить снижение фильтрационных потерь путем насыщения грунтов сразу после прокладки траншеи, обеспечить все коммуникации водным трактом (вместо наземного, труднопроходимого), снабдить водой строителей в пустыне, создать вместо наземных жилых и служебных помещений плавучие — на баржах и т. п. В сущности, это напоминает проведение железной дороги, когда путеукладчик прокладывает себе колею, а все остальное следует за ним «на колесах». Первая очередь канала явилась тяжелой, но необходимой школой, опыт которой с большим успехом был использован при строительстве последующих очередей. Самоотверженный труд изыскателей, проектировщиков, ученых и строителей, совершивших подлинное чудо в пустыне, был высоко оценен. Многим из них присуждена Ленинская премия.

Вторая очередь строительства продолжила канал на 138 км — от Мургаба до Теджена. Одновременно был расширен готовый отрезок для пропуска 198 м³/с воды при годовом стоке 4,7 км³. Для накопления осенне-зимнего стока построено Хаузханское водохранилище первоначальной емкостью 460 млн. м³. Строительство было начато в апреле 1960 г. и в невиданно короткий срок — через семь месяцев вода Амударьи была доведена до р. Теджен, а протяженность канала достигла 533 км. Ранее в дельте Теджена орошалось всего 27 тыс. га. По проекту второй очереди площадь орошения увеличивалась на 72 тыс. га, в 1974 г. она составила 191 тыс. га. К строительству третьей очереди канала приступили в 1961 г. путем прокладки «пионерного» канала от Теджена до Ашхабада. Уже 12 мая 1962 г. ашхабадцы встречали амударьинскую воду. Столица республики, ее пригородное хозяйство и зоны отдыха были обеспечены водой, возникло Ашхабадское водохранилище на 48 млн. м³ воды. В 1966 г. началось расширение всего канала длиной 793 км до проектных размеров третьей очереди с головным водозабором 317 м³/с. Одновременно канал удлинили на 44 км (от Ашхабада до Геок-Тепе) и завершили концевым Копетдагским водохранилищем полезной емкостью 190 млн. м³; емкость Хаузханского водохранилища возросла до 875 млн. м³. Канал оросил 50 тыс. га целинных земель на Прикопетдагской равнине и обеспечил устойчивое орошение 20 тыс. га земель, ранее орошавшихся местным стоком. Строительство третьей очереди завершено в 1975 г. Но уже в 1971 г. было решено увеличить водоподачу, так как освоение земель опережало намеченные темпы. Так, в 1972 г. орошалось 418 тыс. против 355 тыс. га по плану. В 1975 г. максимальный головной расход достиг 400 м³/с, а общая площадь орошаемых земель составила 514 тыс. га.

Строительство четвертой очереди началось в 1971 г. с сооружения «пионерного» канала Геок-Тепе-Казанджик. Вода по нему уже дошла до Кизыл-Арвата. Одновременно расширяется действующая часть канала для пропуска головного расхода 480 м³/с (годовой сток — 12 км³). По завершении этого

[14] Кольматация, или кольматаж, — уплотнение бортов и дна канала в результате заполнения пор в грунте иловатыми частицами.

этапа канал будет иметь длину 1150 км и оросит 471 тыс. га, а с учетом земель на местном стоке — 571 тыс. га. Объем Копетдагского водохранилища будет доведен до 550 млн. м^3, и возникнет новое концевое Данатинское водохранилище.

Следующими этапами развития канала будет продление его в сторону р. Атрек с увеличением общей площади орошения до 700 тыс. га (с учетом 100 тыс. га, орошающихся на местном стоке), а в дальнейшем — до 1 млн. га. Будет также построено головное Зеидское водохранилище (3,5 км^3), заменяющее Келифские озера, которые полностью заилятся. Вместо бесплотинного водозабора канал получит воду из гидроузла, построенного на Амударье в районе пос. Кизыл-Аяк.

Все затраты на сооружение канала и освоение земель окупились в процессе его строительства. По данным Госплана Туркменской ССР, к началу 1972 г. чистый доход, полученный в результате проведения канала, составил 1016,1 млн. руб. По завершении строительства стоимость производимой в зоне канала сельскохозяйственной продукции составит 2010 млн. руб. в год, а ежегодный общий доход хозяйств и государства ожидается в сумме 1,25 млрд. руб., что почти равно всей стоимости строительства Каракумского канала.

Техническая или геотехническая система?

Академик В. И. Вернадский подчеркивал, что бурное развитие науки и техники в современную эпоху вызовет все более глубокое воздействие человека на окружающую среду. Деятельность человека он расценил как «новую огромную геологическую силу на поверхности нашей планеты»[15] и сферу этой деятельности выделил в одном ряду с атмосферой и литосферой в качестве ноосферы[16].

И в самом деле, в наши дни становятся реальностью грандиозные гидротехнические и мелиоративные проекты, которые неизбежно отражаются на состоянии природы и природных процессов. Наряду с ожидаемым положительным эффектом осуществление этих проектов может вызвать и некоторые отрицательные последствия, предусмотреть которые проектировщикам не всегда удается. Вообще, прогноз и оценка результатов вмешательства человека в издавна сложившееся в природе равновесие еще отстают от роста инженерно-технических возможностей воздействия на природу. Таким образом, научно-технический прогресс выдвинул проблему изучения влияния человека, создаваемых им сооружений на природные процессы в число первоочередных задач конструктивной географии, связанных с охраной окружающей среды. Одним из основных ее направлений, сформулированным академиком И. П. Герасимовым, стала разработка путей анализа и прогнозирования целенаправленных изменений природы, качественная и количественная оценка влияния техники на природную среду. Эта задача вскоре стала

[15] Вернадский В. И. Избр. соч., т. I. М., Изд-во АН СССР, 1954, с. 223.

[16] От греч. noos — разум.

пониматься шире, поскольку установлено, что происходит не одностороннее «давление» техники на природу, а их взаимодействие и взаимовлияние. В результате ведущие географы нашей страны выдвинули представление о едином комплексе, образованном техническим сооружением и взаимодействующей с ним природой. Такой сложный комплекс стали называть природно-технической, или геотехнической, системой.

В предыдущем разделе мы рассмотрели особенности Каракумского канала как технического сооружения: условия и методы его строительства, проектные показатели, этапы роста, значение для народного хозяйства, в том числе экономические выгоды, которые он принес. Все это критерии, сравнительно легко поддающиеся учету и количественному выражению. Сложнее обстоит дело с анализом тех новых природных явлений, которые возникли в пустыне в результате проведения канала.

Авторы участвовали в исследованиях на Каракумском канале с 1971 г. в составе экспедиций Института географии АН СССР. Одному из них довелось еще в первые послевоенные годы принять участие в подготовке геологического обоснования для проекта канала. Исследования показали, что вдоль канала сформировалась полоса, в пределах которой происходит заметное изменение природных комплексов[17] под влиянием различных процессов, непосредственно связанных со строительством и функционированием гидросооружения. С другой стороны, уже при проектировании, а особенно при эксплуатации канала выяснилось, что на его работе и состоянии в значительной мере отражаются природные воздействия, наиболее активные на контакте канала и пустыни. Из этого можно заключить, что прилегающая к каналу территория образует вместе с каналом сложный комплекс, в пределах которого происходит взаимовлияние технического сооружения и окружающей среды. Коротко эту территорию можно назвать зоной канала. Происходящие здесь процессы взаимодействия техники и природы делают необходимым рассмотрение канала в качестве геотехнической системы. Такой подход позволяет наиболее полно выявить особенности системы канал — пустыня, дать им качественную и (в меру имеющихся данных) количественную характеристику. А на этом основании можно подойти к прогнозу развития геотехнической системы и преодолению некоторых негативных сторон ее функционирования.

Системный подход и Каракумская геотехническая система. Приступая к рассмотрению геотехнической системы, сложившейся в зоне Каракумского канала, коротко поясним, что вообще понимается под системой, каковы ее основные признаки и свойства, в чем суть системного подхода к анализу явлений и процессов.

В современной науке в качестве систем (от греч. systema — соединенное, составленное из частей) обычно рассматривают комплекс-

[17] Природными комплексами географы называют пространственно ограниченное закономерное сочетание взаимодействующих компонентов природы — рельефа, растительности, почв, подземных и поверхностных вод и т. п.

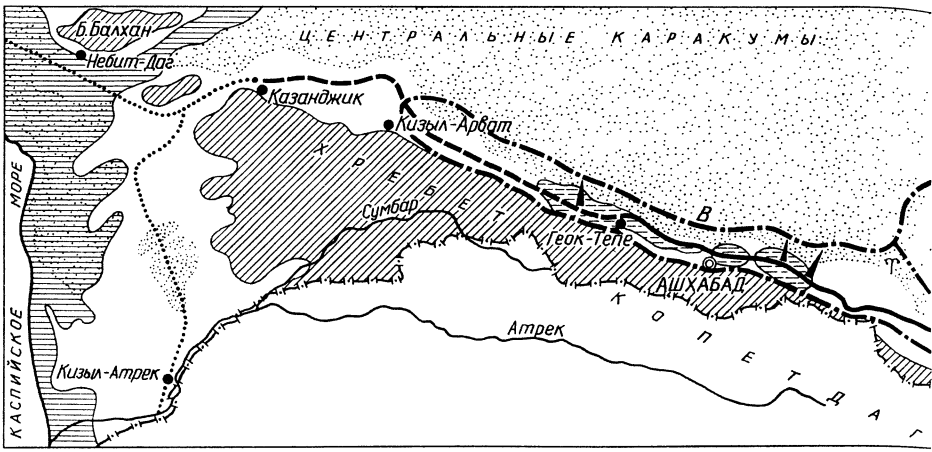
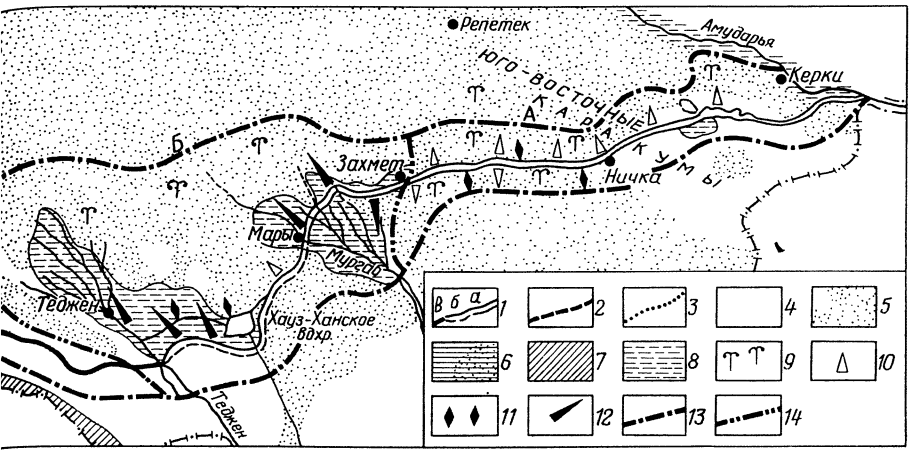


Рис. 2. Каракумская геотехническая система:
А — неуправляемая подсистема Мургаб-Амударьинского междуречья; Б — управляемая подсистема Мургаб-Тедженского оазиса; В — формирующаяся подсистема подгорной равнины Копетдага. Каракумский канал:
1 — действующий, а) первой очереди, б) второй очереди, в) третьей очереди; *2* — строящийся; *3* — проектируемый. Природные комплексы пустыни: *4* —

ные объекты, состоящие из разнотипных, разнокачественных элементов, объединяемых в единое, сложно организованное целое множеством связей и обменных процессов, не свойственных каждому из элементов, взятых в отдельности. Особенностью систем является их иерархичность, т. е. наличие соподчиненности частей, возможность выделения в пределах крупной системы более мелких, проще организованных, но действующих по сходному принципу подсистем. Сущность системного подхода состоит в рассмотрении сложных объектов с выделением составляющих их элементов, анализе взаимодействия между ними и поиске путей управления.

Зона Каракумского канала обладает всеми признаками системы. В ней выделяются два совершенно разнотипных элемента — канал и природные комплексы пустыни. Один из них относится к сфере техники, а другой является природным объектом, между ними установилось устойчивое взаимодействие, обмен веществом и энергией. Поскольку система канал — пустыня обеспечивает орошение и обводнение территории, Каракумскую систему можно назвать геотехнической мелиоративного назначения. Ее элементы канал и природные комплексы пустыни сами по себе представляют достаточно сложные системы. Одна из них — техническая (техносистема), а другая — географическая (геосистема). Каждая обладает своими элементами, связями, путями управления.

В Каракумской геотехнической



преимущественно суглинистой; *5* — песчаной; *6* — приморской суглинистой и песчаной. Преобладающее использование территории: *7* — орошаемое земледелие; *9* — пастбищное животноводство. Типы массообмена: *10* — природно-техногенный; *11* — техногенный; *12* — ирригационный. Границы: *13* — геотехнической системы; *14* — подсистем

системе имеется несколько частей (подсистем), различающихся характером и объемом вещественно-энергетического обмена между элементами и режимом управления. Другими словами, здесь существует иерархичность — характерное свойство систем вообще. Выделяются три подсистемы: неуправляемая, управляемая и формирующаяся управляемая.

Неуправляемая, точнее малоуправляемая, подсистема сложилась на Мургаб-Амударьинском междуречье, пересекаемом первой очередью Каракумского канала. На этом отрезке он играет главным образом транзитную роль, доставляя воду на запад в малообеспеченные и необеспеченные водой районы. Управлению здесь поддается сток по каналу, регулируемый головным водозабором и рядом перегораживающих сооружений, а также некоторые процессы на самом канале, которые ограничиваются или направляются при помощи технических средств. Фильтрация через борта и дно канала, изменение гидрологических и гидрогеологических условий в его зоне и в особенности перестройка природных комплексов, происходящая в результате этих процессов, в основном протекают пока неуправляемо. Обмен веществом и связи между элементами подсистемы имеют поэтому ряд особенностей, не свойственных другим частям зоны канала.

Управляемой подсистемой можно назвать зону канала в Мургабском и Тедженском оазисах. Здесь регулируется не только поступление воды по каналу (с помощью

затворов и накопительного Хаузханского водохранилища), но и ее расходование — в местах водозабора в оросительную сеть и для других целей насосными установками и Иолотанским машинным каналом, поднимающим воду из Каракумского канала для орошения верхней части дельты Мургаба. Воздействие Каракумского канала происходит не столько непосредственно (фильтрация из канала невелика, а ложе устойчиво, так как проложено в суглинистых грунтах), сколько косвенно — при использовании его воды в ирригационной сети и на полях. Другой особенностью является то, что прямое и косвенное влияние канала происходит главным образом в условиях измененных человеком природных комплексов, претерпевших перестройку на протяжении длительной истории орошаемого земледелия в оазисах.

Формирующаяся подсистема охватывает зону канала на Прикопетдагской подгорной равнине, по которой проходят третья и строящаяся четвертая очереди канала. Здесь чередуются транзитные участки канала, передающие воду от оазиса к оазису и действующие как оросительная магистраль, из которой забирается вода для непосредственного использования в оазисах. Так как третья очередь была завершена и полностью принята в эксплуатацию в 1975 г., в четвертая пока строится в основном в «пионерном» варианте, все процессы в зоне канала находятся в стадии становления. Степень управляемости подсистемы не будет уступать той, которая существует в Мургаб-Тедженской части. Здесь имеются регулирующее водохранилище, ряд перегораживающих сооружений, механизированные водозаборы. Предусмотрено осуществление мер по ограничению фильтрации, развитию дренажа, а также борьбе с селевой опасностью. Все это обеспечит управление процессами взаимовлияния канала и окружающей природной среды.

Названные три подсистемы связаны водной магистралью Каракумского канала, на которую они как бы нанизаны одна за другой. «Выход» одной подсистемы является «входом» для другой, поскольку приток воды именно в этих местах регулируется. Граница между Мургаб-Амударьинской и Мургаб-Тедженской подсистемами может быть проведена у начала Иолотанского машинного канала. От размеров его водозабора зависит режим работы Каракумского канала ниже по течению, откуда подается вода на остальную часть Мургабского, а за ним и Тедженского оазисов. «Входом» для Прикопетдагской подсистемы служит сооружение, переводящее канал через р. Теджен у нижнего бьефа Тедженского водохранилища. Переходное сооружение сконструировано таким образом, что канал в случае необходимости может пополняться водой р. Теджен из этого водохранилища, а в других случаях отдавать свою воду Теджену для дополнительного орошения нижней части одноименной дельты. Соответственно меняется сток в канале третьей очереди. Таким образом, режим работы канала на подгорной равнине в значительной мере зависит от того, какой режим будет иметь канал на выходе из дельты Теджена.

Взаимодействие канала и пустыни

В системе Каракумский канал — пустыня сложилось устойчивое взаимодействие технического сооружения и окружающей природной среды. Основу этого взаимодействия составляют встречные «потоки» неорганических веществ — воды, минеральных солей, частиц породы, и органических, участвующих в разложении организмов, почвообразовании и т. п. Потоком мы называем любое движение вещества в определенном направлении (от канала или к нему), представляющее как строго локализованное и довольно быстрое перемещение значительных масс (например, воды в русле), так и весьма постепенный, зачастую незаметный процесс.

Например, фильтрация воды через поры грунта происходит со скоростью от десятых долей до немногих метров в сутки. Пески могут перемещаться под действием ветра (в виде поземки или насыщая движущийся приземный слой воздуха) со скоростью от нескольких сантиметров и метров до десятков метров в год, что зависит от характера подстилающей поверхности, скорости и режима ветра. Можно было бы привести и другие примеры подобных перемещений вещества. «Потоки», образующиеся в результате работы различных механизмов (при строительстве и эксплуатации канала), обычно более локализованы и быстры. При их рассмотрении мы будем принимать во внимание преимущественно суммарный эффект (например, «поток» грунта, созданный бульдозерами и землесосами). В совокупности все потоки формируют процесс обмена между двумя взаимодействующими элементами Каракумской системы. При этом происходит обмен не только веществом, но и энергией. Однако на данном этапе мы ограничимся рассмотрением только массообмена.

Используя системный подход, необходимо прежде всего проанализировать связи между элементами системы, благодаря которым и происходит массообмен. Такие связи весьма многочисленны, образуют сложную сеть и выражаются в природных и технических процессах. По направлению связи разделяются на прямые и обратные. Прямыми мы называем те связи, посредством которых осуществляется воздействие канала и возникших после его появления процессов на природные комплексы пустыни. Обратные связи возникают как реакция природных комплексов на появление технического сооружения и влияют на состояние и функционирование канала. Рассмотрим взаимодействие канала и природных комплексов пустыни в каждой из трех частей территории, где сложились геотехнические подсистемы. При этом мы будем придерживаться покомпонентного анализа, т. е. охарактеризуем взаимовлияние канала и каждого природного компонента в отдельности.

Мургаб - Амударьинское междуречье. В пределах этой территории канал действует более 20 лет. Его влияние не замаскировано сколько-либо существенными следами прежнего вмешательства человека в природные процессы, например орошения. Раньше некоторое воздействие на природные комплексы оказывал лишь выпас

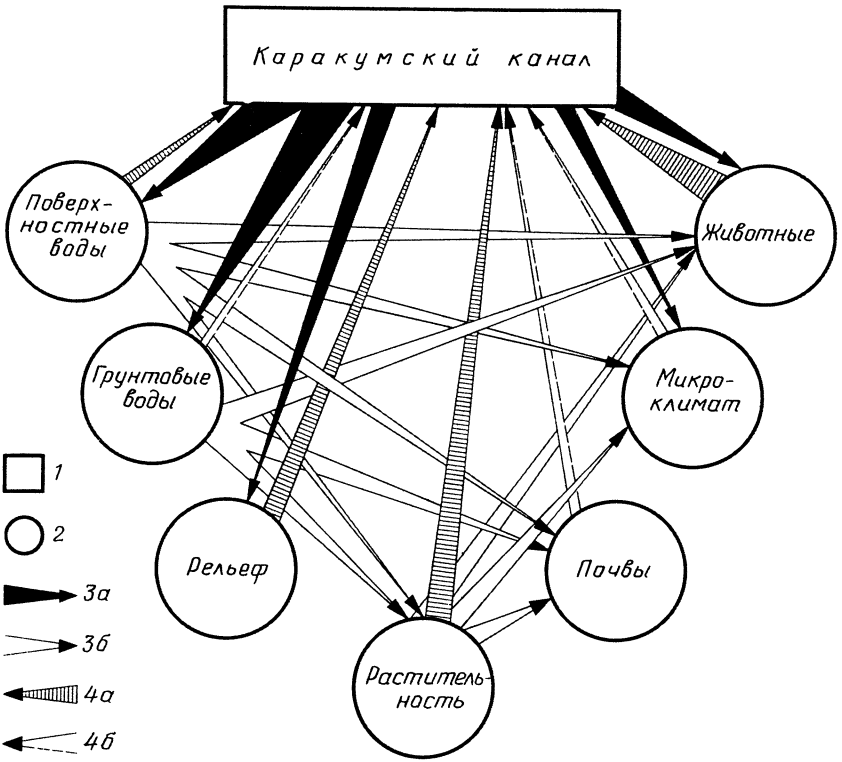


Рис. 3. Модель Каракумской геотехнической системы на Мургаб-Амударьинском междуречье:
1 — техническое сооружение; *2* — природные компоненты. Внутрисистемные связи: *3* — прямые, *а)* непосредственные, *б)* косвенные (опосредованные); *4* — обратные, а) установленные, б) предполагаемые. Ширина стрелки отражает размер массообмена

овец да редкое движение по караванным тропам между колодцами. Длительность действия канала, его «экзотичность» для безводной песчаной пустыни, слабое проявление прежних воздействий — все это способствовало наиболее зримому и всестороннему влиянию канала на все природные компоненты. Поэтому зона канала в междуречье оказалась как бы эталоном для изучения внутрисистемных связей между гидротехническим сооружением и пустыней. На ее примере одним из авторов была составлена первая качественная графическая модель Каракумской геотехнической системы. Для прямых связей характерно, что одна часть природных компонентов (поверхностные и грунтовые воды, рельеф) испытывает непосредственное влияние канала, а вторая (расти-

тельность, почвы, микроклимат, животные) подвергается воздействию гидротехнического сооружения как прямо, так и косвенно, через другие природные компоненты.

Поверхностные воды. Ранее в междуречье не было постоянного поверхностного стока. Каракумский канал коренным образом изменил гидрологический режим территории. В зоне канала возникла полоса гидрологического влияния. Происходит обводнение пустыни при запланированных сбросах воды из канала в пески, образуются разливы и временные озера, заметно увлажняются грунты вблизи канала. Наряду с запланированным обводнением происходит и непредвиденное. Оно связано с разливами воды из канала при прорывах дамб, что в настоящее время уже происходит редко. Несколько лет назад мы наблюдали, как такой прорыв образовал систему озер, соединенных протоками и уходящих на несколько километров по межгрядовым понижениям в сторону от канала. В результате углубления водной магистрали уровень воды в ней сейчас ниже земной поверхности, и поэтому прорывы неопасны. Сходное влияние на природные комплексы оказывает сброс землесосами пульпы при очистке и реконструкции канала. Остающаяся на поверхности вода также образует временные озера (хотя ее можно было бы возвращать в канал). Для хозяйственного использования территории изменения водного режима пустыни (прямые связи) в основном положительны. Появились возможности ирригационного освоения земель (в настоящее время в Обручевской степи орошается до 6 тыс. га).

Сброс воды из канала, воздействуя на пустыню, вместе с тем влияет на функционирование сооружения (обратные связи): увеличиваются незапланированные расходы воды, что ведет к превышению нормативов водозабора в канал. В результате затрудняется регулирование его режима, возникает необходимость постройки дополнительных дамб, появляются непредвиденные расходы на эксплуатацию канала, ликвидацию прорывов и т. д. В качестве обратных гидрологических связей можно рассматривать и русловые процессы, влияющие на работу канала. Например, в нем наблюдаются обычные для Амударьи явления дейгиша — вертикальной турбулентности потока на глубоких участках, вызывающей подмыв и обрушивание крутых берегов. Местами канал начинает образовывать изгибы — меандры. Для противодействия этим нежелательным явлениям применяются инженерные мероприятия (спрямление русла, изменение профиля бортов канала).

Грунтовые воды. Фильтрация из канала, борта и дно которого сложены рыхлыми породами, в первые годы после строительства была весьма интенсивной. В совокупности с поверхностным обводнением она привела к существенному изменению гидрогеологической обстановки в зоне канала. Важное последствие фильтрации — подъем уровня грунтовых вод[19] и их опреснение. По

[19] Грунтовыми водами называется верхний, ненапорный горизонт подземных вод, содержащийся в рыхлых грунтах, подстилаемых водоупорными.

данным гидрогеолога О. Ниязова, за первые три года вблизи канала зеркало грунтовых вод местами поднялось на 12—25 м (подъем сохранился и сейчас, но в значительно меньших размерах), а минерализация воды на расстоянии 100 м от канала уменьшилась в Обручевской степи с 10—15 до 0,5—2,5 г/л. Под каналом и озерами-отстойниками Келифского Узбоя произошло формирование линз пресной воды на соленом грунтовом потоке, т. е. естественное накопление пресных вод. Известный советский географ С. Ю. Геллер отмечал, что этот процесс заслуживает серьезного внимания в связи с проблемой создания и сохранения запасов пресной воды в условиях пустыни. По нашим ориентировочным подсчетам, в наиболее крупной линзе может содержаться до 8 км^3 воды, что сопоставимо со статическими запасами Ясханской пресной линзы на западе Туркм. ССР, используемой для водоснабжения. Способствуя образованию подземных скоплений воды, фильтрация одновременно привела к возникновению массы временных и постоянных озер в понижениях рельефа, где грунтовые воды выступили на поверхность. Увлажненные участки появились на значительном удалении от канала. Эти «пятна фильтрации» хорошо выявляются благодаря необычному развитию на них влаголюбивой растительности.

Гидрогеологическое влияние Каракумского канала значительно шире гидрологического и тесно связано с механическим составом пород. Так, в песчано-глинистой Обручевской степи ширина зоны гидрогеологического влияния равна 3—4 км, а севернее Келифских озер, на стыке с песками Низменных Каракумов, она превышает 30—40 км. Из-за уклона поверхности равнин и зеркала грунтовых вод к северу влияние канала наиболее интенсивно распространяется именно в этом направлении, т. е. имеет как бы асимметричный характер. К югу от канала почти нет ни разливов, ни фильтрационных озер.

Значительная часть фильтрующейся воды безвозвратно теряется или ведет к нежелательным последствиям, которые в основном обусловлены обратными связями. Фильтрация осложняет эксплуатацию канала и использование прилегающих земель. Вблизи канала в понижениях за счет поверхностного испарения и при подъеме уровня грунтовых вод выше критической глубины (1,5—2 м) могут развиваться процессы засоления почв, формирования пухлых и мокрых солончаков. Местами происходит заболачивание, что ведет к выпадению отдельных участков из пастбищного фонда. В целом фильтрационные потери — один из главных факторов, снижающих КПД канала.

Р е л ь е ф . Его изменения связаны прежде всего с сооружением канала, который сам по себе представляет настолько крупную антропогенную форму рельефа, что отчетливо различается на мелкомасштабных космических снимках. Перестройка поверхности в его зоне имеет главным образом техногенное происхождение и охватывает полосу шириной от нескольких сотен метров до 1—2 км. При проведении канала от Амударьи до Мургаба было вынуто и перемещено около 128 млн. м^3 грунта, целенаправленное

распределение которого создало новые формы рельефа. Из этого материала, в том числе из поверхностных отложений вблизи канала, насыпались ограждающие дамбы. Местами поверхность выравнивалась благодаря сносу песчаных бугров. В других местах бульдозеры, сгребавшие грунт для дамб, расчленили поверхность.

За счет грунта, выброшенного земснарядами в виде пульпы со дна канала при его строительстве и эксплуатации, происходит заполнение и выравнивание понижений. Высохший песчано-глинистый материал в понижениях нередко образует под воздействием ветра небольшие барханы. Сформировались барханные массивы также в районе некоторых гидроузлов и поселков на канале в результате нарушения растительного покрова.

Из перечисленных изменений рельефа заранее запланировано было только сооружение дамб. Другие изменения могли быть предусмотрены лишь частично, а, например, масштабы развития барханных массивов на техногенных песчаных площадках вообще трудно было предвидеть. В хозяйственном отношении некоторые изменения рельефа оказались неблагоприятными, в частности, увеличились площади разбитых песков.

Новые формы рельефа и связанные с ними процессы в свою очередь воздействуют на канал. Значительную опасность для канала до сих пор представляют сыпучие, незакрепленные растительностью пески, особенно сильно заносившие русло в первые годы его существования. Но и теперь снос ветром песков в канал местами требует предупредительных мер. При их недостаточной эффективности в канале могут появиться песчаные отмели, затрудняющие судоходство. Совокупное действие эоловых и русловых процессов способствует обогащению потока взвешенными частицами, что приводит к заилению канала и необходимости периодических работ по его очистке. Вместе с тем сопутствующий заилению кольматаж играет положительную роль, уменьшая фильтрационные потери.

Борьба с отрицательными последствиями воздействий рельефообразующих процессов на канал (т. е. проявления обратных связей в системе) требует больших усилий. Так, при очистных работах землесосными снарядами в отдельные годы из канала вынимается более 10 млн. $м^3$ грунта. Много делается для укрепления берегов канала. Например, в 1966 г. только при ремонте дамб выполнены земляные работы объемом более 600 тыс. $м^3$, при постройке дублирующих дамб — около 300 тыс. $м^3$. Эти мероприятия в свою очередь вызывают повторное воздействие на природу зоны канала, например, слив пульпы — дополнительное обводнение и т. п.

Растительность. Под влиянием канала растительность претерпела наиболее заметные изменения. В зоне строительства был нарушен, а местами уничтожен, древесно-кустарниковый и травянистый покров, а затем начались постепенное его восстановление и перестройка в новых условиях увлажнения. Растительность чутко реагировала на подъем уровня грунтовых вод в результате фильтрации из канала и на изменение условий рельефа.

В прилегающей к каналу полосе шириной от 2 до 10 км и более (в зависимости от местных условий) первичные растительные ассоциации песчаной и глинистой пустыни полностью сменились или существенно обогатились растительными сообществами разной степени увлажненности, приближающимися к типу тугаев, характерных для долины и дельты Амударьи.

Влаголюбивые ассоциации образовали вдоль канала зоны различной ширины. Так, в канале у берега появились водные растительные комплексы гидрофитов (тростник, рогоз и др.). Недалеко от канала густые и высокие заросли образуют растения, питающиеся близко залегающими грунтовыми водами (фреатофиты): тамарикс, верблюжья колючка, карелиния. Местами встречаются отдельные деревья — тополь, ива, лох и др. Наиболее глубоко в пустыню влаголюбивая растительность проникает по межгрядовым понижениям в эоловых песках и вдоль водосбросов. В результате изменений растительного покрова резко возросла биомасса и кормовой фонд территории, появились новые виды промысловых материалов и кормов.

Новая растительность воздействует на канал, закрепляя берега, отчасти препятствует дейгишу. Наличие растительности в канале способствует поглощению отдельных биогенных элементов (фосфор, азот), действует как естественный фильтр водной среды. В то же время интенсивное развитие высшей водной растительности и фитопланктона в канале ведет к осложнению ряда функций технической системы — способствует заиливанию канала и его обмелению, затрудняет судоходство.

Для борьбы с зарастанием канала были опробованы различные способы. Сначала пытались применять механическую очистку — волочение тракторами троса для отрыва растений со дна канала. Растения всплывали и затем удалялись вручную. Но этот способ был малоэффективным. Более действенными оказались биологические методы очистки канала от зарастания — использование травоядных рыб-фитофагов.

Почвы. Как правило, почвы трансформируются очень медленно, десятилетиями и столетиями. Их изменение под влиянием канала только начинается и имеет локальный характер. Тем не менее промачивание грунтов в зоне канала уже дает свои результаты. Они проявляются в основном в увлажнении почвенных горизонтов, а также засолении за счет «подсасывания» солей к поверхности вследствие капиллярного поднятия и испарения влаги. Эти процессы пока не привели к трансформации почвенных типов, но обусловили их некоторые местные изменения. Так, по степени увлажнения песчаные пустынные почвы вблизи канала, особенно по межгрядовым понижениям, отчетливо разделяются на увлажненные и даже заболоченные. При временном увлажнении на поверхности остаются выцветы солей. В местах высокого подъема грунтовых вод наблюдаются признаки засоления, аналогичные тем, которые появляются на орошаемых полях при чрезмерном поливе. Иногда в понижениях и выемках у подножия дамб за счет фильтрационных вод образуются солончаки, которые можно рассматри-

вать как новое почвенное образование в этих местах.

Обратное воздействие измененных почв на канал не ясно, и его выявление требует специальных исследований, которые пока не проводились. Можно предполагать, что существует сезонная миграция солей из почвенных растворов в канал, особенно при понижении в нем уровня воды в зимний период.

Климат. Изменение характера подстилающей поверхности, особенно возникновение обширных водных площадей, а также пространств, покрытых влаголюбивой растительностью, сказалось на состоянии приземных слоев воздуха и, в конечном счете микроклимата зоны канала. Прежде всего произошла перестройка таких элементов водно-теплового баланса, как испарение и транспирация[20]. В условиях жаркого и засушливого климата Юго-Восточных Каракумов эти процессы приобретают особенно важную роль в переносе вещества и энергии с подстилающей поверхности в атмосферу. Достаточно сказать, что испарение с поверхности канала, по данным инженера-мелиоратора Б. Сапарова, составляет в среднем за год 1670 мм, а транспирация отдельными видами растений зоны канала, по исследованиям гидролога Е. Н. Минаевой, колеблется от 588 (тамарикс) до 1198 мм/год (тростник суходольный). Тростник, произрастающий в воде, транспирирует 1800—2000 мм/год влаги.

Результатом этих изменений стало появление «оазисного эффекта». Как известно, в зарослях, даже в средней полосе СССР, в самые жаркие дни всегда более влажно и прохладно. Это связано с тем, что при транспирации растительностью (как и вообще при испарении) поглощается некоторое количество тепла. В результате снижается температура воздуха. Согласно данным, полученным климатологом К. В. Кувшиновой в 70-х гг. при исследованиях в зоне Каракумского канала, летом температура воздуха на берегу канала, где развиты новые растительные ассоциации, ниже на 3—5°, а относительная влажность повышена на 10—25% по сравнению с участками незатронутой пустыни.

Животные. Появление канала отразилось на видовом составе животных и условиях их местообитания. Уже в первые годы строительства из зоны, примыкающей к каналу, исчезли некоторые типичные представители пустыни: джейраны, пустынные лисы, отдельные виды грызунов. Возможно, первопричиной этому явился антропогенный фактор, но впоследствии определенную роль сыграло изменение увлажнения. На водоемах появилось большое количество водоплавающих и водолюбивых птиц — уток, гусей, встречаются серая и египетская цапли, фламинго, большой и малый бакланы, чайка и др. Здесь останавливаются перелетные птицы — жаворонки, скворцы и ласточки. В Каракумский канал и озера проникло много рыбы из Амударьи — сазан, жерех, усач. В зарослях тростников расселились кабаны.

Некоторые пустынные живот-

[20] От лат. trans — через, spiro — дышу — испарение воды зелеными частями растений.

ные были вынуждены приспосабливаться к новым экологическим условиям. Это хорошо видно на примере большой песчанки, для которой сухость почвогрунтов — один из важных экологических факторов. Даже незначительное увеличение влажности влияет на расселение этих грызунов. Сначала они «поднимают» свои колонии, надстраивая их сверху, а при дальнейшем увлажнении местности покидают обжитые места и переходят на более высокие участки. Надо сказать, что поселение песчанки в дамбах может повлиять на их устойчивость, но, как правило, колонии этих грызунов располагаются дальше от канала.

Наглядным примером воздействия животного мира на канал, правда, организованного человеком, является результат появления в его водах более 10 лет назад дальневосточных травоядных рыб — белого амура и толстолобика. Использование этих фитофагов оказалось чрезвычайно эффективным и обеспечило избавление канала от мешающих его нормальной работе зарослей в русле. В районе Карамет-Ниязa было организовано специальное хозяйство по разведению мальков фитофагов. Только в 1968 г. в канал выпущено 22,8 млн. штук мальков.

Изменение животного населения в зоне канала сыграло положительную роль: возникла новая отрасль хозяйства — рыбоводство и рыбный промысел, появление новой орнитофауны оказалось столь интересным, что здесь был создан Келифский заказник. Вместе с тем возникли очаги развития новой энтомофауны, в том числе кровососущих — переносчиков лейшманиоза, малярии и других болезней, ранее не встречавшихся в отдаленных от воды пустынных районах.

Массообмен. Между каналом и природными, комплексами осуществляется обмен в виде потоков жидкого и твердого вещества. Определенную роль играют и воздушные потоки, с которыми происходит перенос влаги, испаряющейся в зоне канала. На междуречье Мургаба и Амударьи особенно четко выявляется двоякая роль канала — как водной артерии и как технического сооружения. В первом случае обмен веществом (и энергией) определяется природными процессами, обычными для естественного русла. Они, как правило, почти не поддаются управлению. Такой массообмен мы называем природно-техногенным. Во втором случае обмен зависит от работы механизмов, от различных технических процессов, связанных с каналом. Это будет техногенный массообмен. В известной мере он дополняется природными явлениями, вызванными воздействием техники.

Водные потоки природно-техногенного массообмена образованы стоком из канала (при сбросах и прорыве дамб), фильтрацией и движением грунтовых вод. Фильтрационные процессы играют наиболее существенную роль и доступны учету. По проведенным подсчетам (табл. 2) через дно и борта канала в среднем за год фильтруется до 1,3 км^3 воды в год, что составляет основную статью непроизводительных ее потерь. Следует при этом оговориться, что со временем размеры потерь уменьшаются, а КПД канала увеличивается. Наиболее значи-

Таблица 2

Фильтрация из Каракумского канала на Мургаб-Амударьинском междуречье (рассчитана Л. М. Граве по прогнозным данным Б. С. Сапарова и др.)

Показатели	Природные районы						Итого на междуречье
	Приамударьинский	Келифский	Обручевский	Примургабский			
				восточная часть	западная часть	всего по району	
Среднегодовая величина фильтрационного потока ($м^3$/сек)	4,16	7,36	3,98	4,85	20,45	25,30	40,80
Среднегодовой размер фильтрации (млн. $м^3$)	131,19	232,10	125,51	152,95	644,91	797,86	1286,66

тельна фильтрация в западной песчаной части Примургабского района, наименьшая — в песчано-глинистой Обручевской степи. Фильтрационные потоки, направленные из технического сооружения в пустыню, являются основной составляющей внутрисистемного массообмена. При этом, как показывают наблюдения О. Ниязова, в правый борт канала фильтруется воды значительно больше, чем в левый (от 55 до 85% ее общего количества). Обратное поступление фильтрационных вод в канал, по всей вероятности, незначительно. Его следует ожидать лишь в тех редких случаях, когда уровень воды в канале оказывается ниже горизонта грунтовых вод и канал начинает их дренировать. Однако фактических данных об этом процессе не имеется.

Фильтрационные потоки в известной мере влияют на солевой баланс грунтовых вод. Если принять, согласно данным гидролога Б. Т. Кирсты, среднегодовое содержание солей в воде Каракумского канала равным 0,5 г/л, то в результате фильтрации в грунтовой поток ежегодно поступает около 650 тыс. т солей, представляющих твердое вещество в растворе. Но это сравнительно небольшая прибавка к соленым (содержащим 10—15 г/л) региональным грунтовым водам, она не увеличивает их минерализации на ощутимую величину. Более того, вблизи канала воды опресняются.

Поскольку в зоне гидрогеологического влияния канала происходит сильное увлажнение, при общем дефиците влаги в атмосфере над пустыней здесь резко возросло испарение. Подсчеты, основанные на данных Б. Сапарова, показывают, что из канала в среднем за год на испарение расходуется до 200 млн. $м^3$ воды. Достаточно велико испарение с поверхности фильтрацион-

ных и проточных озер общей площадью почти 170 км² (по состоянию на 1972 г.) Рассчитанная на основании материалов О. Ниязова средняя величина испарения с них равна 94 млн. м³/год. Таким образом, вертикальная составляющая обмена только за счет поступления в атмосферу влаги с поверхности канала и озер достигает порядка 300 млн. м³. К этому следует добавить транспирацию влаги появившейся в зоне канала растительностью. Общая площадь, занятая ею, достигает примерно 530 км². Изменение растительных формаций сопровождалось заметным увеличением первичной биологической продуктивности пустыни. Общий прирост надземной фитомассы новых растительных ассоциаций в рассматриваемой зоне за год составляет почти 3100 тыс. т. Если бы на данной площади произрастала только ксерофитная пустынная растительность, то прирост надземной фитомассы составил бы всего около 200 тыс. т. Таким образом, в настоящее время прирост увеличился в 15 раз.

Вполне естественно, что это сильно отразилось на размерах транспирации. Нами был сделан расчет этой статьи влагооборота для площадей развития различных влаголюбивых растительных сообществ. Анализ материала показывает, что в зоне канала на Мургаб-Амударьинском междуречье влаголюбивые растения транспирируют более 0,5 км³ воды в год. Столь значительное расходование естественных запасов дефицитных пресных вод не должно оставаться без внимания. Одним из способов борьбы с этими потерями может явиться частичная замена активно транспирирующей растительности травами, как это практикуется в пустынных районах США. Общее количество уходящей в атмосферу воды сопоставимо с фильтрационными потерями, превышая 0,8 км³/год.

Обратным потоком в известной мере можно считать атмосферные осадки. Следует лишь принять во внимание, что эти осадки приносятся воздушными течениями издалека, а установить, какая их часть действительно возвращается за счет испарившейся здесь влаги, а какая принесена из других источников, не представляется возможным. Если принять площадь подсистемы Мургаб-Амударьинского междуречья равной примерно 2300 км², а среднегодовое количество осадков 142 мм (по Н. С. Орловскому), то поступление воды из атмосферы составит 320 млн. м³, в том числе непосредственно над каналом 12 млн. м³. Именно эту воду, видимо, и надо учитывать, так как остальная расходуется на питание фильтрационных озер и грунтовых вод, а частично сразу же испаряется.

Техногенный массообмен осуществляется потоками твердого вещества и воды. Прямые потоки твердого вещества образует переносимый из канала на прилегающую часть пустыни грунт, изъятый землесосами и бульдозерами при прокладке и последующих реконструкциях канала, а также рыхлый материал, перераспределенный при сооружении и укреплении дамб. Обратный поток образует материал, попадающий в канал при подмыве его берегов и заносе песка ветром. По ориентировочным подсчетам ежегодно из канала поступает

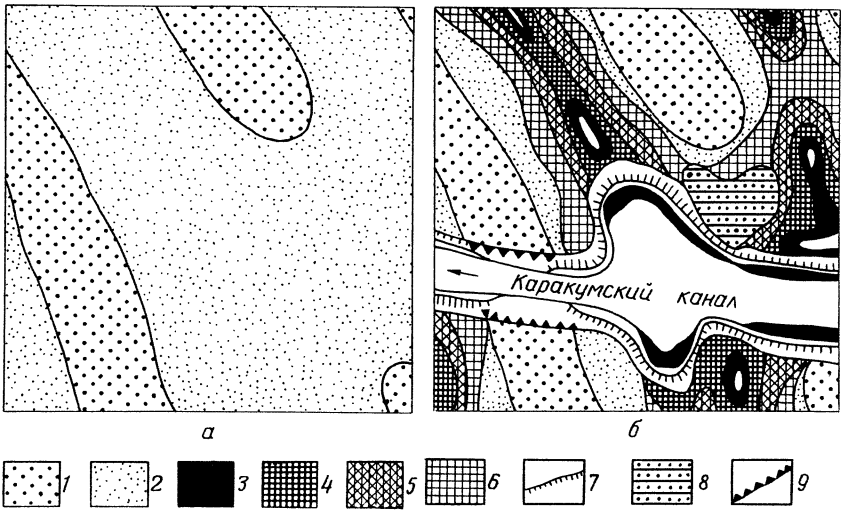


Рис. 4. Схема участка Мургаб-Амударьинского междуречья в песчаной пустыне: А — до строительства Каракумского канала; Б — после строительства. Природные комплексы: *1* — на песчаных грядах; *2* — в межгрядовых понижениях. Природно-техногенные комплексы: *3* — прибрежно-мелководные; *4* — наземные сильного увлажнения; *5* — то же умеренного увлажнения; *6* — то же слабого увлажнения. Техногенные комплексы: *7* — дамбы; *8* — поверхности, сформированные пульпой. Прочие обозначения: *9* — обрывы песчаных гряд, прорезанных каналом

примерно 26,6 млн. м^3 грунта (в том числе 0,6 млн. м^3 на дамбы), в канал — около 1 млн. м^3 эоловых песков. Следовательно, с 1959 г. объем перемещенного из канала материала составил более 500 млн. м^3.

Техногенный перенос воды в значительной мере имеет односторонний характер — из канала в природные комплексы. Он состоит из излишков воды, сбрасываемых во время паводков, вод, предназначенных для обводнения пастбищ (в сумме примерно 80 млн. м^3 в год), и воды, содержащейся в пульпе, которую сливают на берег земснаряды при реконструкции канала, а также намыве дамб. С некоторой долей условности объем воды в пульпе мы принимаем равным объему грунта, вынутого со дна канала земснарядами (примерно 20 млн. м^3 в год). Таким образом, количество воды, поступающее в пустыню за год во время технических операций, составляет в среднем около 100 млн. м^3, а за 20 лет — порядка 2 км^3.

Сток в канал на междуречье незначителен. Он может возникать лишь при возврате воды, попадающей на побережья канала с пульпой. Технологией это не предусмотрено, но иногда можно наблюдать, как с участков, лежащих гипсометрически выше канала, стекает отстоявшаяся из пульпы вода по временным про-

моинам. Наглядным результатом массообмена в зоне активного взаимодействия природного и технического элементов системы явилось возникновение среди первичной пустыни новых образований. В соответствии с типом массообмена, которому они обязаны, мы называем их природно-техногенными и техногенными комплексами.

Природно-техногенные комплексы различаются по степени увлажненности. Среди них выделяются группы прибрежно-мелководных и наземных комплексов. Прибрежно-мелководные развиты на мелководьях канала и примыкающих к нему заливов и озер. Эти комплексы характеризуются избыточным увлажнением, т. е. наличием поверхностных вод и интенсивным развитием гидрофитной растительности (тростник и рогоз). Ландшафты прибрежных мелководий и озер занимают наибольшую площадь в районе шоров Келифского Узбоя и развиты при пересечении каналом песчаной пустыни. В ней образовались разливы на месте приколодезных и межгрядовых понижений, а также множество мелких фильтрационных озер. В Обручевской степи с ее плоским рельефом и песчано-глинистыми грунтами комплексы избыточного увлажнения развиты ограниченно. Наземные природно-техногенные комплексы в зависимости от степени увлажнения и изменения отдельных природных компонентов (растительности, почв и др.) делятся на три подгруппы: сильного, умеренного и слабого увлажнения. Они располагаются вдоль канала более или менее параллельными полосами.

Комплексы сильного увлажнения развиты вблизи канала на его невысоких берегах и в межгрядовых понижениях эолового рельефа в результате эпизодического затопления, а также устойчивого подтопления фильтрационными водами. Горизонт грунтовых вод находится на глубине менее 2 м. Растительность представлена гидрофитами и фреатофитами. Местами это настоящие тугаи, в которых начинающиеся от воды заросли тростника высотой до 5 м, окаймленные кустами тамарикса (гребенщика), сменяются далее густыми насаждениями верблюжьей колючки и карелинии. Встречаются представители древесной растительности. Почвы сильно увлажнены по всему профилю, в некоторых понижениях наблюдаются признаки заболачивания. Размер пятен таких почв колеблется в пределах 20—50 $м^2$. Местами можно встретить и засоленные участки. Рассматриваемые комплексы занимают около 80% сильно увлажненной территории. Остальная ее часть — наиболее повышенные участки, например гребни и верхняя половина песчаных гряд эолового рельефа,— занята неизмененными природными комплексами первичной пустыни.

Комплексы умеренного увлажнения развиты в условиях преобладающего влияния фильтрации из канала и отсутствия воздействия его поверхностных вод. Эти комплексы приурочены, как правило, к более удаленным от канала или небольшим по размеру и глубине понижениям эолового рельефа песков, где грунтовые воды залегают в пределах 3—5 м от поверхности. В этом случае внутригрунтовое испарение становится важным дополнительным фактором увлажнения, отражаю-

щимся на распределении растительных ассоциаций. Днища понижений заняты фреатофитами (верблюжья колючка, карелиния, реже темарикс). Местами, поднимаясь по склону гряд, эти растения вытесняют представителей песчаной пустыни или произрастают вместе с ними. Пустынная растительность сохраняется неизмененной в верхней части гряд. Влияние канала на почвы в пределах рассматриваемых комплексов значительно слабее, чем в сильно увлажненных. Лишь в глубоких межгрядовых понижениях фиксируется горизонт увлажнения песчаных пустынных почв. В такыровидных почвах отмечается активизация передвижения солей по направлению к поверхности (с возрастанием их содержания от 0,5 до 2,5%). В условиях устойчивого подъема грунтовых вод постепенно изменяются ранее существовавшие солончаки. Их размер увеличивается, пухлые солончаки преобразуются в мокрые, а вместо мокрых возникают фильтрационные сильно засоленные озерки. Комплексы умеренного увлажнения занимают примерно 50% территории, разделяясь повышениями рельефа с пустынной растительностью. Особенно большие площади заняты указанными комплексами севернее Келифских озер, где повсеместно встречаются в полосе до 15—20 км от канала, а также в Примургабском районе на расстоянии до 5—8 км севернее канала.

Природно-техногенные комплексы слабого увлажнения развиты в зоне отдаленного и ограниченного влияния канала. Фильтрационное увлажнение проявляется здесь только в виде изолированных участков, приуроченных к отрицательным формам рельефа, и охватывает в среднем не более 20% территории, переходной к неизмененной пустыне. Грунтовые воды залегают на глубине 5—15 м. Ландшафты характеризуются преобладанием ксерофитных[21] ассоциаций. Лишь в местах увлажнения встречаются разреженные группы верблюжьей колючки, карелинии, астрагалов, эфемерового разнотравья или солянок. Почвенный покров в этих комплексах видимых признаков влияния канала не имеет.

Техногенные комплексы могут быть разделены на регулируемые, сформированные процессами, направляемыми человеком, и нерегулируемые, появившиеся как побочное, а иногда и неожиданное следствие технических процессов. Первые представлены насыпными и намывными дамбами. Насыпные дамбы — это профилированные, в основном песчаные, валы высотой от 3 до 10 м с выровненной поверхностью и склонами, имеющими крутизну, близкую к углу естественного откоса. Дамбами ограничивают разливы в понижениях, пересекаемых каналом, и укрепляют борта на ровных участках, например, в Обручевской степи, где он первоначально проходил в полувыемке-полунасыпи. Чтобы предохранить дамбы от воздействия ветра, их устилают ветками саксаула (это оказалось наиболее эффективным способом ветрозащиты). Склоны дамб постепенно зарастают эфемерами, верблюжьей колючкой, псаммофитами, а у обводненных подножий появляется тростник. В рай-

[21] От греч. xeros — сухой и phuton — растение.

онах интенсивных разливов сооружаются дублирующие валы. Намывные дамбы по форме аналогичны насыпным, но образованы песчано-глинистым материалом, извлекаемым землесосами со дна канала. Водноилисто-песчаная масса — пульпа — поступает в специально укрепленные рамы, перемещающиеся вверх по мере их заполнения осадком. Поскольку материал, формирующий намывные дамбы, более тонкий, чем в насыпных, они устойчивее, а склоны их быстрее зарастают. В последние годы намывка дамб применялась все шире. Этим способом укрепляют и насыпные дамбы. Необходимость в дамбах постепенно отпадает, поскольку канал почти полностью спрямлен и введен в выемку (т. е. сильно углублено его ложе), что увеличивает надежность сооружения.

Среди нерегулируемых комплексов различаются насыпные, намывные и выработанные. К насыпным относятся барханные пески, сформировавшиеся при строительстве и эксплуатации вдоль канала, а также на окраинах поселков и около гидроузлов. Намывные комплексы образуются при сбросе пульпы и представляют песчаные наклонные площадки различных размеров. Песок, как правило, развевается и образует небольшие барханы, но через 3—4 года поверхность таких площадок закрепляется растительностью.

Среди выработанных техногенных комплексов следует прежде всего назвать «старицы» — отчлененные участки канала, покинутые после спрямления русла. Обычно они быстро зарастают гидрофитами и по ландшафтным особенностям напоминают фильтрационные озера. Со временем «старицы» пересыхают и влаголюбивая растительность в них может смениться псаммофитами и солянками. Другим образованием являются расчлененные поверхности, оставшиеся после работы бульдозеров, сгребавших грунт для сооружения дамб. Рельеф здесь представляет чередование длинных, до 200 м, выемок глубиной 1—3 м и шириной 5—8 м и разделяющих их стенок из незатронутой породы. Они обычно упираются в подножие дамбы. Днища выемок довольно сильно засолены, так как грунтовые воды здесь оказываются значительно ближе к поверхности, чем на останцах между ними и на всей прилегающей территории. Постепенно выемки зарастают солянками, а в некоторых случаях заносятся песками, на которых поселяются псаммофиты.

Своеобразные формы возникли при сбросе воды из канала и прорыве дамб. Это русла-промоины, достигающие глубины в 3—5 м, самой различной ширины и протяженности. Большая часть таких русел быстро пересыхает, и влаголюбивая растительность в них сохраняется недолго, если уровень грунтовых вод лежит достаточно далеко от поверхности. Промоины часто образуются и в местах слива пульпы. Русла-промоины являются ярким примером возникновения эрозионных форм в пустыне под действием технических процессов.

Дельты Мургаба и Теджена. Поскольку дельты Мургаба и Теджена сливаются своими краями, а в строении дельт, условиях прохождения канала, в особенностях его влияния имеется много общего, мы их рассматриваем

совместно. Зона канала здесь образует геотехническую подсистему, в которой процессы, связанные с появлением Каракумского канала, в значительной мере управляются в интересах обеспечения, в первую очередь сельскохозяйственного производства. Управление осуществляется путем инженерного регулирования водоподачи на орошение. Этой же цели служат крупнейшее на канале Хаузханское водохранилище и два Тедженских. Учет поступающей в оросительные системы воды и ее распределение производятся гидрометрическими постами, причем в Мургабском оазисе установлено диспетчерское управление водопользованием. Управляющим фактором является также дренажная и коллекторная сеть, регулирующая отток вод с орошаемых земель для оптимизации гидрогеолого-мелиоративных условий.

Ширина зоны непосредственного влияния водной магистрали, проложенной в относительно плохо фильтрующих и более устойчивых породах, по сравнению с Мургаб-Амударьинским междуречьем значительно у́же и измеряется лишь сотнями метров. В то же время выделяется обширная область косвенного влияния, связанная с подачей воды из канала на поля, как самотеком — на подкомандные территории, так и при помощи водоподъемных сооружений — на площади, лежащие гипсометрически выше канала. Еще более отдаленное воздействие проявляется вдоль коллекторов, сбрасывающих воду из оазисов на песчаную периферию дельт. Это локальное и отдаленное влияние мы подробно рассматривать не будем, поскольку размеры его небольшие.

Таким образом, воздействие канала на природные комплексы происходит в основном опосредованно — через ирригационные системы. При этом изменение природных компонентов носит как бы вторичный характер, поскольку в естественном виде они, учитывая длительность земледельческого использования территории, здесь не существуют. Следовательно, связи в подсистеме Мургаб-Тедженских дельт (при наличии, в сущности, тех же взаимодействующих элементов) имеют существенные отличия от рассмотренных на Мургаб-Амударьинском междуречье.

Поверхностные воды. Неустойчивый сток рек Мургаб и Теджен существенно пополнился за счет амударьинских вод, переброшенных по Каракумскому каналу. Согласно данным О. С. Лавроненко и других инженеров-гидротехников, в 1971 г. канал принес в дельту Мургаба 3,1 км^3, а в дельту Теджена 1,3 км^3 воды, которая расходовалась в основном на орошение. Доля стока канала в общем водопотреблении оазисов непостоянна. Например, в зависимости от водности года в Мургабском оазисе она колебалась между 69% (1970 г.) и 83% (1971 г.), в Тедженском составляла соответственно 89 и 98%. Дело в том, что 1971 г. был крайне маловодным: сток по р. Теджен составил всего 20 млн. м^3 против 140 млн. м^3 в 1970 г. В настоящее время доля вод Каракумского канала в водном балансе постепенно возрастает, поскольку увеличивается площадь орошения. Особенно относится это к дельте Теджена, где резервы пахотно

пригодных земель превышают 700 тыс. га, а водные ресурсы р. Теджен, даже зарегулированные двумя водохранилищами в долине реки выше ее пересечения каналом, позволяли орошать не более 30 тыс. га.

Особенностью режима поверхностных вод является его зарегулированность. Сток рек Мургаб и Теджен регулируется рядом водохранилищ в долинах и в совокупности со стоком Каракумского канала и Хаузханского водохранилища образует единую водохозяйственную систему. В многоводные годы и во время паводков избытки стока рек поступают в канал, а в маловодье недостаток воды компенсируется подачей ее из канала.

В результате строительства дренажной сети появились коллекторные воды, которые сбрасываются за пределы оазисов. С развитием орошения расширился охват поверхности гидрологическим влиянием. Однако применение противофильтрационной облицовки подводящих межхозяйственных каналов и подача воды на поля по бетонным лоткам ограничили роль как гидрологического, так отчасти и гидрогеологического факторов.

Грунтовые воды. Изменения произошли не столько под влиянием фильтрационных потерь из канала — они здесь невелики, — сколько за счет просачивания поливных и промывных вод на староорошаемых и вновь осваиваемых землях. Вдоль канала сформировалась неширокая зона его прямого влияния, где произошел подъем уровня грунтовых вод. Гидрогеолог О. Ниязов установил, что в 30 м от канала к концу 1962 г. на ранее не осваивающихся землях вода поднялась местами на 28 м по сравнению с 1957 г., тогда как на расстоянии 3—5 км — всего на 2,2—2,8 м. Ширина зоны гидрогеологического влияния канала изменяется в зависимости от первоначальной глубины залегания уровня грунтовых вод: на неорошаемых участках она равна 6—8 км, а на освоенных, где грунтовые воды и прежде залегали близко к поверхности, не превышает 300—1000 м.

Значительно больше площадь косвенного влияния канала, связанная с расширением орошаемых массивов, на которых подъем уровня грунтовых вод обусловлен инфильтрацией поливных вод. В дельте Мургаба по подсчетам сотрудников Института географии АН СССР непосредственное влияние Каракумского канала на грунтовые воды охватывает всего 5—7% площади, влияние распределительной и оросительной сети — 10—15%, а остальная территория находится под воздействием фильтрации с орошаемых массивов. Одновременно с изменением глубины усложнился рельеф скатерти грунтовых вод. Под Каракумским каналом, водохранилищами, новой оросительной сетью и орошаемыми массивами сформировались локальные бугры фильтрационных вод, усложняющие плавный уклон поверхности грунтового потока, направленный, в общем, к северо-западу. Аналогичная картина наблюдается в дельте Теджена, с той разницей, что здесь изменения происходят в основном на новоорошаемых землях, где начальное положение горизонта грунтовых вод достаточно глубокое. Тем не менее и здесь за 1960—1968 гг. площадь с грунтовыми водами, залегающими ближе

2 м, увеличилась, по данным О. Н. Ниязова и Л. М. Мальцева, с 3 до 67 тыс. га, а где они лежат ниже 10 м от поверхности уменьшилась со 197 до 150 тыс. га. Соответствующие изменения произошли и в гидрорельефе.

Рельеф. Поверхность дельт несет отчетливые следы антропогенного воздействия. В пределах оазисов естественная поверхность дельты изменена планировкой, валами и дамбами, вытянутыми вдоль оросительных каналов, относительно глубоко врезанными в поверхность траншеями коллекторов. Техногенные формы рельефа, сопровождающие Каракумский канал в междуречье, здесь развиты значительно слабее и ограничиваются в основном дамбами. Наиболее мощные из них обрамляют Хаузханское водохранилище, где они сочетаются с большими выемками, из которых брался грунт. Поскольку в пределах дельт земснаряды на канале, как правило, почти не используются, здесь нет обширных площадей пульпы. Ландшафт дельт изобилует остатками городищ, сторожевых построек, мечетей. Влияние природных процессов на канал, в частности работу ветра, можно наблюдать лишь на пересекаемом каналом песчаном участке. Здесь встречаются те же явления, которые были на первой очереди канала, но как бы в уменьшенном виде, поскольку и эоловый рельеф здесь менее расчленен и размеры канала меньше.

Растительность. Как и в гидрогеологической обстановке, в растительности глубоких качественных изменений не произошло. В соответствии с увеличением площади орошаемых земель примерно втрое увеличилась территория, покрытая культурной растительностью (хлопчатник, люцерна, садово-огородные и бахчевые культуры, тутовник, виноградники и др.) и уменьшились участки пустынных и сорных для оазиса (верблюжья колючка, карелиния) растений. Влаголюбивая растительность вдоль старых оросительных каналов и рек Мургаб и Теджен дополнилась зарослями тростников на берегах Каракумского канала. На суглинистой поверхности дельт ширина полосы влаголюбивой растительности у канала ограничивается несколькими метрами. В районе пересечения каналом эоловых песков между дельтами Мургаба и Теджена формируются зоны тугайных растительных ассоциаций шириной 1—2 км, по составу аналогичных развитым на Мургаб-Амударьинском междуречье. В местах коллекторных сбросов, выводящих из оазисов в пески засоленную воду, пустынные растительные ассоциации псаммофитов обогащаются более влаголюбивыми: появляются тростник, кусты тамарикса, верблюжья колючка и солянки.

Почвы. В пределах оазисов почвы носят отпечаток хозяйственной деятельности человека, связанной с орошаемым земледелием. Агроирригационные отложения, образующие толщу в несколько метров, в которой участвуют наносы, отложенные оросительными водами, послужили основой формирования специфических почв, которые исследователями выделяются под названием культурно-поливных, орошаемых или оазисных. Среди этих почв выделяются разновидности луговых, лугово-болотных, такыровидных и др. Советские исследовате-

ли К. Реджепбаев и А. С. Овсянников, сопоставляя составленные ими в 1956 г. (до проведения Каракумского канала) и в 1970 г. почвенные карты Мургабского оазиса, указывают на сильное изменение почвенного покрова в сторону олуговения. Заметно, сократились площади такыров, такыровидных и песчано-пустынных почв. Многие участки последних стали орошаемыми. Аналогичные процессы наблюдаются и в дельте Теджена. Таким образом, проведение канала привело в дельтовом районе к расширению территорий, занятых оазисными почвами, за счет естественных почвенных образований.

Наряду с этими процессами, связанными не столько с влиянием самого канала, сколько с ирригацией, наблюдаются и негативные последствия. Это относится прежде всего к явлениям вторичного засоления почв. Дело в том, что приход большой воды после «традиционного» дефицита ее в оазисе вызвал не всегда обоснованное повышение поливных норм. Поскольку дренажная сеть до проведения канала была незначительна (ее интенсивное строительство началось только в 1961 г.), это сразу сказалось на состоянии земель, в пределах которых стали концентрироваться соли в результате подъема уровня грунтовых вод до критической глубины. Динамика этого процесса в дельте Мургаба иллюстрируется диаграммой. К настоящему времени в связи с повышением культуры земледелия, и в первую очередь быстрым развитием дренажных систем, положение заметно улучшилось.

К л и м а т. Оазисы отличаются от окружающей пустыни повышенной влажностью воздуха и пониженной среднемесячной температурой. Появление в зоне Каракумского канала новых орошаемых массивов с обильной растительностью приводит к дополнительному расходованию термических ресурсов пустыни на испарение и транспирацию. По данным климатолога Н. С. Орловского в больших оазисах (шириной более 3 км) сумма температур за вегетационный период будет примерно на 400° меньше, чем в пустыне. Следовательно, микроклиматические изменения на территории дельт в зоне канала достаточно ощутимы. В частности, они сдвигают расчетные даты фаз развития хлопчатника на 11—17 дней.

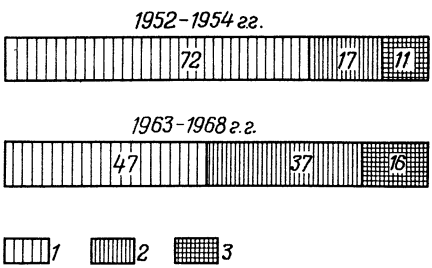


Рис. 5. Соотношение (%) земель различной засоленности в Мургабском оазисе до Каракумского канала и в первые годы после его строительства (по Реджепбаеву и Овсянникову, 1976): *1* — земли незасоленные и слабозасоленные; *2* — земли среднезасоленные; *3* — земли сильно засоленные и солончаки

Ж и в о т н ы е. Для оазисов характерно большое разнообразие видов. Здесь можно встретить представителей тугаев (лягушки, летучие мыши, шакалы), песчаной и лессовой пустыни (скорпионы, фаланги, вредные для сельского хозяйства саранчовые, еж, дикобраз, песчанки) и до-

машних животных. По наблюдениям биогеографа Д. В. Панфилова, Каракумский канал дал толчок миграциям беспозвоночных и позвоночных животных, в том числе вредителей сельского хозяйства, в широтном направлении, связав прежде разобщенные оазисы и различные типы пустыни между ними в единое целое. Этому способствует не только формирование экологических русел вдоль канала, но и развитие водного транспорта. Проблема миграции животных вызывает необходимость усиления карантинного надзора с целью своевременного проведения мероприятий по защите растений и охране здоровья людей, а также сельскохозяйственных животных.

Массообмен. В Мургаб-Теджженском оазисе наряду с природно-техногенным и техногенным массообменом особое значение получает ирригационный массообмен, являющийся характерной чертой управляемой подсистемы. Ирригационный массообмен осуществляется водными потоками по подводящим магистралям от канала на орошаемые земли, и с орошаемых земель — за пределы оазисов в результате сброса дренажных и промывных вод в пески Каракумов. Фильтрационные потоки в условиях дельт Мургаба и Теджена имеют ограниченное значение. Весьма важную и в хозяйственном отношении роль играют потоки твердого вещества, в качестве которых можно рассматривать движение солей, растворенных в поверхностных и грунтовых водах и содержащихся в почвах. В сущности ирригационный обмен в оазисах выполняет те же функции, что природно-техногенный на междуречье. В оазисы Мургабской и Теджженской дельт с Каракумским каналом поступает на орошение порядка 4,4 км^3 воды в год (по состоянию на 1971 г.). Подземный сток из оазисов, по данным гидрогеологов, невелик, составляя не более 0,03 км^3. Большое значение имеет поверхностный отток при помощи дренажа, хотя им за пределы оазисов выводилось в том же году всего 0,4 км^3. Казалось бы, в этих условиях в оазисах должно оставаться огромное количество воды, вызывая повсеместный подъем уровня грунтовых вод. Однако это не так — необходимо принять во внимание воздушный обмен, который обеспечивается как испарением с поверхности канала и водохранилищ, так, в особенности, транспирацией влаголюбивой растительности. Последняя здесь представлена почти полностью отсутствующими на междуречье культурными растениями. Хотя мы располагаем данными только на начало 70-х гг., но и они позволяют составить общее представление о размерах воздушного обмена в оазисах. Так, испарение с поверхности канала и водохранилищ на рассматриваемой территории составляло тогда 0,5 км^3, транспирация всеми видами культурной растительности достигала 2,7 км^3. Поскольку площади естественной влаголюбивой растительности, появившейся в зоне канала, крайне ограниченны, природно-техногенным обменом влагой, столь существенным на междуречье Мургаба и Амударьи, здесь можно пренебречь. На первый план, как видим, выступает обмен ирригационный. При этом вертикальный поток водообмена, уносящий влагу в атмо-

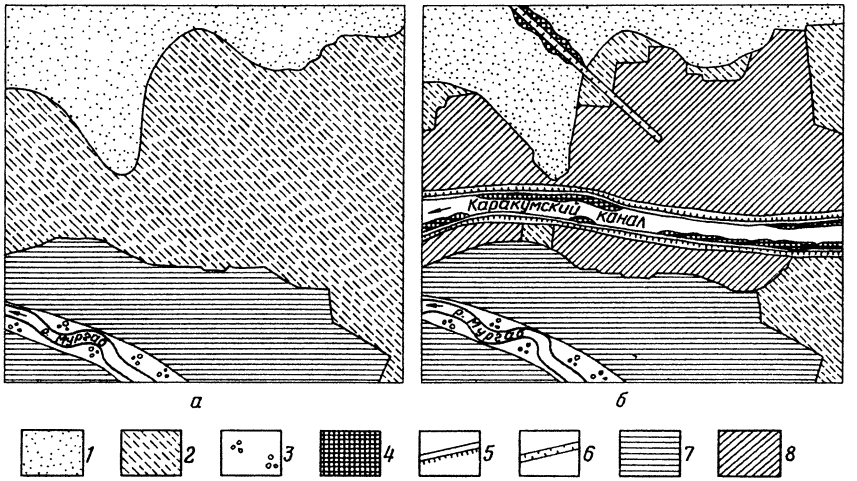


Рис. 6. Схема участка дельты р. Мургаб: А — до строительства Каракумского канала; Б — после строительства. Природные комплексы: *1* — на эоловых песках; *2* — на суглинистой поверхности дельты; *3* — на пойме р. Мургаб. Природно-техногенные комплексы: *4* — прибрежно-мелководные и сильного увлажнения. Техногенные комплексы: *5* — дамбы. Ирригационные комплексы: *6* — вдоль коллектора; *7* — на землях, орошавшихся Мургабом, впоследствии с подпиткой из Каракумского канала; *8* — на землях, орошаемых Каракумским каналом

сферу, составляет более 70% общего поступления воды по Каракумскому каналу. Оговоримся, что приводимые сведения не позволяют составить полный водный баланс оазисов, так как мы не учитываем сток Мургаба и Теджена и испарение с орошаемых их водами посевов, стараясь выделить моменты, относящиеся к взаимодействию именно Каракумского канала и природных компонентов оазисов.

В качестве обратного потока вертикального водообмена можно условно рассматривать атмосферные осадки. Если принять, по Н. С. Орловскому, среднегодовое количество осадков над оазисами равным 146 мм, то канал и водохранилища получают 0,4 км^3 воды из атмосферы, а орошаемые земли — 0,3 км^3, т. е. почти впятеро меньше, чем испарялось с них в 1971 г.

Обмен твердым веществом, под которым мы понимаем растворенные в воде соли, заметно интенсифицируется вследствие ирригационных процессов. К. Реджепбаев и А. С. Овсянников подсчитали, что поступление солей в почвы Мургабского оазиса с оросительными водами после проведения канала увеличилось с 725,3 тыс. т в 1958 г. до 2475 тыс. т в 1970 г. Но в результате дренажа и промывки земель в 1970 г. выносилось около 3 млн. т солей, т. е. уже тогда установился отрицательный баланс солей в оазисе, регулируемый мелиоративными

мероприятиями. Другими словами, ирригационный массообмен обеспечивает постепенное рассоление земель. В связи с развитием дренажной сети этот процесс усиливается, однако общие запасы солей, накопившихся в оазисе за несколько тысячелетий бездренажного орошения, огромны. Их вынос только начался.

Природно-техногенный массообмен, связанный с взаимовлиянием канала как водной магистрали и природных комплексов пустыни, в пределах оазиса выделить трудно по ряду причин. Вкратце они сводятся к тому, что сам канал в силу небольших размеров фильтрации не оказывает сильного воздействия на прилегающие территории, а природные комплексы уже ранее глубоко изменились под воздействием человека. Отдельные участки неизмененной (или относительно мало измененной) пустыни в виде внутриоазисных песков, перелогов и пустошей с каналом практически не контактируют, и его влияние, как подчеркивалось, имеет опосредованный характер.

Техногенный массообмен, относящийся непосредственно к каналу, менее объемен, чем на Мургаб-Амударьинском междуречье. Ширина канала меньше, длина его на рассматриваемом отрезке всего 138 км, а рельеф поверхности более плоский. В результате выемка грунта при строительстве и эксплуатации канала здесь по крайней мере втрое меньше, чем на первой очереди. Учитывая осветленность приходящей воды и сравнительную устойчивость грунтов, засорение канала взвешенными наносами здесь также должно быть значительно слабее. На это, в частности, указывает и ограниченное использование землесосов.

В зоне косвенного ирригационного влияния канала на осваиваемых под орошение площадях техногенное перемещение грунта значительно. Оно происходит при прокладке оросительных и дренажных сетей, сооружении вододелителей, регуляторов, а также магистральных каналов. Из последних отметим Иолотанский машинный канал длиной 46 км с тремя насосными станциями, поднимающими до 50 $м^3/с$ воды на 30 м из Каракумского канала в верхнюю часть дельты Мургаба.

Что касается обратных потоков твердого вещества в техногенном массообмене, то среди них можно назвать поступление в канал материала на участке, проходящем через песчаную пустыню между дельтами Мургаба и Теджена. По ориентировочным подсчетам, основанным на аналогии с Мургаб-Амударьинским междуречьем, в канал ежегодно попадает примерно 360 тыс. $м^3$ эолового песка.

Как следует из рассмотрения процессов массообмена, наибольшее место в оазисах занимают ирригационные комплексы, заменяющие столь широко развитые на междуречье комплексы природно-техногенного происхождения. Область их распространения совпадает с площадью орошаемых земель и перелогов. Они образуют сельскохозяйственные ландшафты антропогенного происхождения.

Техногенные комплексы по сравнению с междуречьем развиты более ограниченно, если не считать инженерных сооружений, связанных с ирригацией и пред-

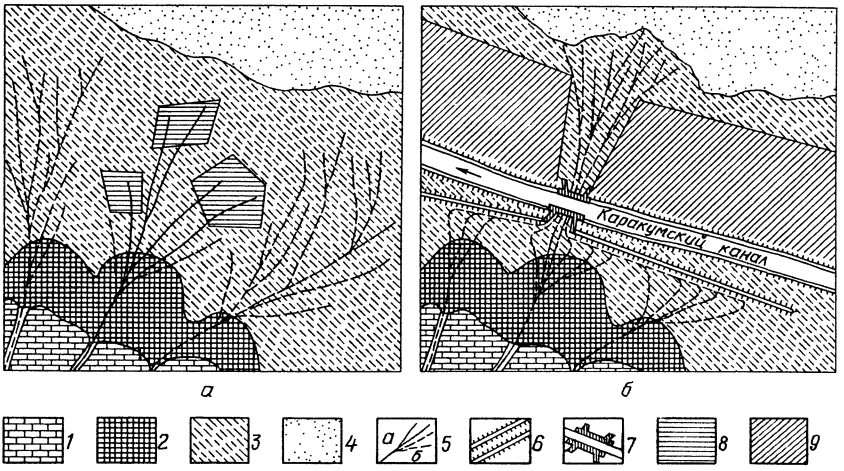


Рис. 7. Схема участка подгорной равнины Копетдага: А — до строительства Каракумского канала; Б — после строительства. Природные комплексы: *1* — Передового хребта Копетдага; *2* — щебнисто-галечникового подгорного шлейфа; *3* — суглинистой подгорной равнины; *4* — песчаной пустыни; *5* — русла постоянного (*а*) и временного (*б*) стока. Техногенные комплексы: *6* — дамбы; *7* — дюкер. Ирригационные комплексы: *8* — на землях, орошавшихся местным стоком; *9* — на землях, орошающихся Каракумским каналом

ставляющих различные железобетонные конструкции. В остальном же это невысокие дамбы, сложенные в основном грунтом, вынутым из канала. Крупным комплексом техногенных элементов является Хаузханское водохранилище, пока самое большое на Каракумском канале. С севера водохранилище ограничено мощной многокилометровой дамбой и питается по специальному отводу из огибающего его Каракумского канала. Сток из водохранилища, регулируемый затворами, дает начало Хаузханскому магистральному каналу, из которого орошается значительная часть Тедженского оазиса.

Прикопетдагская подгорная равнина. Территория равнины пересекается III и строющейся IV очередями Каракумского канала. В полном объеме, включая концевое Копетдагское водохранилище, этот отрезок канала стал действовать с 1975 г. До этого начиная с 1962 г., когда по «пионерному» каналу вода дошла до Ашхабада, канал расширялся, доводился до проектной пропускной способности, строились оросительные и дренажные сооружения в его зоне. В итоге общий срок действия канала на полную мощность невелик, и чем дальше вдоль подгорной равнины, тем он меньше. До проведения канала орошение на подгорной равнине существовало лишь в виде небольших разобщенных оазисов, питавшихся местным поверхностным и подземным стоками. Канал позволил оросить крупные массивы

в районах Каахка, Гяурса, окрестностях Ашхабада, Бахардена, а ныне и Кизыл-Арвата. Здесь начали формироваться и бурно развиваться новые оазисы.

Поскольку амударьинская вода подана на подгорную равнину сравнительно недавно, а сама территория обладает, в общем, благоприятными условиями для естественного (и искусственного) дренажа, влияние канала на природные комплексы в целом пока не столь отчетливо, как в других местах. Не претерпел заметной перестройки растительный покров и почвы, изменения микроклимата только еще формируются в связи с освоением новых земельных массивов. Вместе с тем некоторые аспекты взаимного воздействия канала и отдельных природных компонентов стали достаточно очевидными. На них мы и остановимся.

Поверхностные воды. Положение канала в средней части Прикопетдагской подгорной равнины — между линией Среднеазиатской железной дороги и южной окраиной каракумских песков — сильно повлияло на распространение поверхностного стока. Ранее копетдагские речки и временные водотоки, в период весенних дождей бурные и стремительные[22], а в остальное время едва текущие, пройдя через дюкеры в железнодорожной насыпи или под мостовыми пролетами, разливались на равнине в виде потоков, не локализованных в строго определенных руслах. Канал пересек область разливов паводковых вод. Для его предохранения от заноса и разрушения паводками служат дополнительные дамбы с юга от канала. Эти дамбы собирают поверхностный сток с обширной площади подгорной равнины и направляют его к дюкерам или акведукам, по которым вода и наносы, не попадая в канал, перебрасываются на его правобережье и уходят в сторону Каракумов. Рыхлообломочный материал, частично накапливаясь вдоль ограждающих дамб, в основном отлагается севернее канала, где стали формироваться конусы выноса. Таким образом, сопутствующие каналу сооружения не только перестраивают поверхностный сток на всем протяжении подгорной равнины, но и способствуют образованию на стыке с Каракумами новых суглинистых площадей, пригодных для последующего использования.

Грунтовые воды. До проведения Каракумского канала поток грунтовых вод подгорной равнины, направленный от гор к Каракумам, питался за счет инфильтрации поверхностного стока в рыхлообломочные отложения атмосферных осадков, подземного притока от Копетдага. Ирригационные воды в силу незначительных размеров оазисов существенной роли в питании грунтовых вод не играли. В настоящее время картина сильно изменилась. Большое значение в формировании грунтового потока приобрели фильтрационные воды Каракумского канала. Меньшую роль играют пока воды, поступающие из канала на орошаемые массивы, поскольку освоение зе-

[22] Весной паводковый сток некоторых речек может достигать сотен кубических метров в секунду, причем количество влекомых наносов таково, что водные потоки превращаются в грязевые или грязекаменные.

мель только разворачивается. До проведения канала в подгорной зоне орошалось всего 28 тыс. га, намечаемый прирост здесь составит более 90 тыс. га.

За четыре года после подачи воды к Ашхабаду грунтовые воды на расстоянии 50 м от канала поднялись на 10—11 м, на расстоянии 1 км — на 1—2 м. Под каналом сформировался фильтрационный «вал», который как бы перегородил естественное движение грунтовых вод к северу. Из-за подпора местами произошло значительное поднятие их уровня южнее канала, например на северной окраине Ашхабада. Потребовалось сооружение вертикального дренажа из десятков скважин, чтобы обеспечить необходимое снижение зеркала грунтовых вод.

Таким образом, зона непосредственного гидрогеологического влияния канала несколько шире, чем в Мургабском и Тедженском оазисах. Пока еще не очень заметно сказывается косвенное воздействие канала, связанное с появлением новых орошаемых массивов. Это вполне закономерно, если учесть, что строительство канала здесь ведется комплексно — с одновременной подготовкой земель для освоения, включающей проведение оросительных магистралей в бетонных лотках и трубах, обеспечение закрытого горизонтального или вертикального дренажа.

Конструктивные особенности канала и связанной с ним системы орошения и дренажа позволяют утверждать, что управление взаимодействием канала и природных компонентов здесь будет достигнуто не меньшее, чем в оазисах Мургаба и Теджена. Регулирование как водоподачи (в том числе насосными станциями, поднимающими воду к югу от канала), так и оттока, направление поверхностного стока и селевых паводков по заранее подготовленным путем, небольшие фильтрационные потери в условиях преимущественно суглинистых грунтов, в которых проходит канал, приводит к тому, что взаимодействие канала и отдельных природных компонентов происходит не столь явно, как в ранее рассмотренных районах.

Заметное увлажнение грунтов и подъем грунтовых вод сказались на растительности лишь в пределах первых сотен метров от канала, а иногда и меньше. Местами вдоль канала появились негустые заросли тростников, а также верблюжьей колючки и других фреатофитов. Этим пока и ограничивается формирование природно-техногенных комплексов. Ирригационные комплексы, подобные тем, какие развиты в Мургабском и Тедженском оазисах, получат в дальнейшем широкое распространение, но сейчас находятся лишь в стадии становления. Многочисленны техногенные комплексы. Это различные по назначению дамбы, акведуки и дюкеры, перегораживающие устройства и т. п.

Пока еще нет возможности количественно охарактеризовать процессы массообмена, ведущие к формированию новых комплексов в системе канал—пустыня на Прикопетдагской равнине. Это задача дальнейших исследований. Можно лишь отметить, что эти процессы будут во многом сходны с происходящими в пределах дельт Мургаба и Теджена. В техногенном массообмене несомненно большое значение приобрета-

ет перемещение грунта. Достаточно сказать, что по проекту IV очереди строительства (включая реконструкцию действующего канала) объем земляных работ составит 740 млн. $м^3$.

Географический полигон длиной в тысячу километров

В Каракумской геотехнической системе наряду с запланированными или по крайней мере предусмотренными изменениями пустынных комплексов и их обратным воздействием на техническое сооружение происходят и непредусмотренные, подчас отрицательные явления. Системный подход к анализу этих процессов помогает распутать цепочку причинно-следственных связей, оценить размеры их последствий, наметить пути управления процессами.

Но для этого надо прежде всего обладать фактами, многократно замеренными величинами, повторными наблюдениями в зоне канала. Поэтому не удивительно, что сам канал и территория, находящаяся под его влиянием, явились объектом пристального внимания инженеров, гидротехников, мелиораторов, ученых разных специальностей, в том числе и географов. В 1957—1963 гг. и затем в 1968—1970 гг обширный комплекс наблюдений за фильтрацией и испарением на канале был выполнен Туркменским научно-исследовательским институтом гидротехники и мелиорации. Этот же институт проводил изучение взаимодействия потока и ложа канала на нескольких характерных его участках. В результате были обоснованы рекомендации, позволившие рассчитать оптимальные параметры русла, устойчивого по отношению к боковому размыву и меандрированию. В Туркменском сельскохозяйственном институте на основе натурных наблюдений разработаны оптимальные показатели поперечного профиля канала, обеспечивающего устойчивость его по отношению к ветровой и особенно судовой волне.

Систематические наблюдения проводит гидрометрическая служба Туркм. ССР, имеющая на канале многочисленные посты. Большой объем исследований режима грунтовых вод по специально пробуренным скважинам в зоне канала ведут гидрогеологи Управления геологии Туркм. ССР. Опыт строительства и эксплуатации первой очереди канала широко использовался инженерами и проектировщиками Туркменского проектного института водного хозяйства при создании технических проектов последующих очередей канала. Нашли широкое применение, и не только на Каракумском канале, методы строительства «пионерной» траншеи с «ведением воды за собой»; биологические способы борьбы с зарастанием каналов при помощи разведения рыб-фитофагов, новые приемы строительно-монтажных работ, их ускорения и механизации. Управление «Каракумстрой» совместно с научно-исследовательскими институтами на строющейся части канала испытывает различные типы противофильтрационной защиты канала, в том числе перспективный способ асфальтобетонного покрытия и др. Можно сказать, что вся трасса — это огромная лаборатория по

гидротехническому строительству в условиях пустыни, многие вопросы которого здесь разрешены впервые.

Одновременно зона канала стала ареной широких географических исследований самого разного профиля, своего рода географическим полигоном, протянувшимся от Амударьи почти до Каспия, на котором изучаются наиболее острые проблемы взаимодействия пустыни и гидротехнического сооружения. В этих работах широкое участие приняли Институт географии АН СССР и Институт пустынь АН Туркменской ССР. С 1955 г. еще в период строительства первой очереди канала его зону обследовали небольшие группы ученых этих институтов, а с начала 1970 г. Институт географии и Институт пустынь организовали здесь исследования силами крупных комплексных экспедиций. В них участвуют физико-географы ландшафтоведы, почвоведы, геоботаники, климатологи, гидрологи, специалисты по изучению рельефа — геоморфологи. Сравнительно недавно при изучении взаимодействия канала и пустыни стал применяться системный подход. Это позволило более целеустремленно подойти к рассмотрению природно-технического взаимодействия, выявить некоторые его особенности, которые трудно установить без системного анализа.

Выяснилось, что пристального внимания заслуживают последствия обратных связей в геотехнической системе, т. е. реакция природных комплексов на воздействие канала. Они обычно проявляются через некоторое, подчас значительное время после начала функционирования системы и могут оказывать негативное воздействие на канал, затруднять хозяйственное использование территории. Изучение различных сторон природно-технического взаимодействия показывает, что многих отрицательных последствий можно было бы избежать. Например, широкое применение антифильтрационных защит (бетонирование, асфальтирование, пленочные покрытия и т. п.) в сочетании с опережающим развитием дренажных систем в орошаемых районах позволит существенно уменьшить фильтрацию и ее вредные последствия. Использование защитных зон, фитомелиорации, битуминизации наряду с применяющимися на канале устилочными защитами резко снизит развевание песков и т. п. В то же время следует отметить, что разработка мероприятий по предотвращению нежелательных последствий развития внутрисистемных связей должна опираться на научный прогноз динамики геотехсистемы. А это возможно лишь при хорошо организованном стационарном и полустационарном (регулярно-периодическом) наблюдении за ходом природных процессов, позволяющем от эмпирических качественных данных перейти к количественным, со статистической обработкой результатов. Таким образом, одной из главных задач становится организация природно-хозяйственного мониторинга, слежения за динамикой окружающей среды в зоне канала, что, вероятно, потребует создания специальных наблюдательных станций.

Задача это не простая, но значение ее трудно переоценить,

имея в виду грандиозные перспективы, открывающиеся в решениях XXV съезда КПСС. Как известно, в заданиях на десятую пятилетку съезд предусмотрел проведение научных исследований и осуществление на этой основе проектных проработок, связанных с переброской части стока сибирских рек в Казахстан и Среднюю Азию. В решении этой проблемы переброски стока, приобретающей поистине глобальное значение, одно из первых мест занимает природный аспект — вопросы максимального сохранения и охраны природных ресурсов и природных условий как в области отъема вод, так в зонах их транспортировки и использования. Существенную роль при их решении будут играть данные, получаемые в зоне Каракумского канала. Ведь многие участки предполагаемой трассы окажутся в условиях, сходных с теми, в каких проходит Каракумский канал. Используя метод географических аналогий, для этих участков можно будет дать обоснованные прогнозы изменения природных комплексов в зоне предполагаемого канала и земель нового освоения, оценить условия, в которых может пройти трасса переброски, определить зону ее влияния и т. д.

На примере изучения зоны Каракумского канала видно, что использование данных, полученных при натурных наблюдениях за действующими геотехническими системами, — необходимое условие для разработки новых гидротехнических сооружений в сходной природной обстановке. Оно обеспечивает и максимальную оптимизацию будущей геотехнической системы. Вот почему необходимо переходить от проектирования и конструктирования собственно технических систем к конструированию геотехнического комплекса с заданными особенностями взаимовлияния технических сооружений и окружающей среды. Значение такого подхода возрастает в связи с постановлением ЦК КПСС и СМ СССР «О дополнительных мерах по усилению охраны природы и улучшению использования природных ресурсов»[23]. Разрабатывающиеся на Каракумском канале приемы и методы по борьбе с нежелательными последствиями, подчас возникающими при нарушении сложившегося экологического равновесия в пустыне, открывают большие возможности для регулирования этих процессов при проектировании новых мелиоративных мероприятий.

Литература

Герасимов И. П. Каракумский канал.— Природа, 1965, № 8.

Герасимов И. П. Преобразование природы и развитие географической науки в СССР. М., Знание, 1967.

Граве Л. М. Взаимодействие Каракумского канала и природной среды.— Изв. АН СССР, сер. геогр., 1974, № 5.

Граве Л. М., Граве М. К. Канал в пустыне.— Природа, 1975, № 2.

Каракумский канал и изменение природной среды в зоне его влияния. М., Наука, 1978.

[23] См.: Правда, 1979, 6 января.

Кирста Б. Т. Гидрологические особенности западных районов Средней Азии. Ашхабад, Ылым, 1976.

Корнилов Б. А., Тимошкина В. А. Влияние Каракумского канала на окружающую среду.— Водные ресурсы, 1974, № 3.

Мелиоративные исследования в Туркменистане. Ашхабад, Ылым, 1970.

Мелиорация земель в СССР. М., Колос, 1975.

Орловский Н. С. Агроклиматические условия произрастания хлопчатника в зоне Каракумского канала им. В. И. Ленина. Ашхабат, Ылым, 1975.

Природа, техника, геотехнические системы.— М., Наука, 1978.

Реджепбаев К., Овсянников А. С. Условия накопления и перераспределения солей в почвах Мургабского оазиса. Ашхабад, Ылым, 1976.

Сапаров Б. Межбассейновая переброска воды с помощью Каракумского канала им. В. И. Ленина. Ашхабад, Туркменистан, 1978.

Саркисов М. М. Опыт проектирования, строительства, эксплуатации и экономическая эффективность Каракумского канала им. В. И. Ленина в Туркменской ССР. Ашхабад, Туркменистан, 1976.

Короткие заметки

Слово «заповедный» означает «запрещенный». Запрещение всякой хозяйственной деятельности и ограничение доступа на территорию — вот чем заповедник принципиально отличается от других форм охраны природы, таких, как заказники, национальные парки.

В 1976 г. был создан первый арктический заповедник «Остров Врангеля» площадью 795 600 га. Здесь самое большое в СССР лежбище моржей и один из основных «родильных домов» белого медведя.

На базе Березинского, Сары-Челекского, Кавказского, Центрально-Черноземного, Приокско-Террасного, Сихотэ-Алинского, Репетекского государственных заповедников созданы биосферные заповедники, представляющие собой фоновые станции наблюдений за состоянием окружающей среды и компонентами биосферы.

В 100 км к западу от Ашхабада у подножия Копетдага в пещере на глубине 60 м от поверхности земли находится Бахарденское подземное озеро— удивительное создание природы.

Размеры озера невелики: длина 70 м, ширина около 30 м, глубина до 16 м. Над озером — два свода, отделенные один от другого выступами, образующими арку. При искусственном освещении и арка и берега кажутся сказочными. На противоположном берегу озера виден полуостров с нагромождениями камней.

Вода в озере теплая: ее температура зимой +34°С, а летом +37°С. Она приятна на ощупь, но имеет неприятные вкус и запах, так как насыщена сероводородом. Зато эта вода целебная. Кроме сероводорода, в ней в наибольших количествах содержатся кальций, магний, натрий, сульфат, хлор, углекислота и др.

Установлено, что озеро проточное. Уровень воды в нем изменяется. Внимательно осмотрев пещеру, можно увидеть следы прежнего, более высокого уровня.

В пещере обитает более десяти видов позвоночных животных — песчанка, мышевидный хомячок, туркменская белозубка, дикий голубь, закаспийский геккон и др., но основными ее жителями являются летучие мыши.

Пещеру и подземное озеро посещают тысячи туристов. Для их удобства

и с целью охраны этого замечательного памятника природы в последние годы проделана большая работа по благоустройству подъездных путей и территории перед входом в пещеру. Внутри пещеры установлены лестницы, имеется электрическое освещение.

На северо-востоке Киргизии в обширной межгорной котловине расположено одно из крупнейших горных озер СССР Иссык-Куль (горячее озеро). Его часто называют жемчужиной Тянь-Шаня. И действительно водная гладь высокогорного озера с гаммой переливающихся голубовато-зеленоватых, лазурных, темно-синих и изумрудных тонов подтверждает это название. Оправой этой жемчужины служат белоснежные вершины горных хребтов Терской и Кунгей Ала-Тоо.

Озеро Иссык-Куль имеет длину свыше 182 км, наибольшую ширину — 58 км, глубину — до 702 м. Площадь водного зеркала равна 6,5 тыс. км^2, а объем водной массы в 2 раза превосходит объем Аральского моря и составляет 1730 км^3 (это почти семь годовых стоков реки Волги). Вода озера горьковато-соленого вкуса.

Озеро богато рыбой. В нем водятся осман, форель, судак, маринка, чебак, сазан, сельдь и др. У берегов много разнообразной дичи: горные куропатки, фазаны, голуби, а в зимнее время его полновластным хозяином являются утки и лебеди. Водятся также зайцы.

Котловина Иссык-Куля весьма своеобразна в физико-географическом отношении. Это обусловлено ее среднеширотным положением, приподнятостью (1600 м над уровнем моря), большими контрастами ландшафтов (от пустынь до высокогорных хребтов, замыкающих котловину со всех сторон высокой горной стеной). Вытянутая в широтном отношении более чем на 250 км и до 100 км по меридиану, котловина занимает площадь около 25 тыс. м^2.

Между подножием, обрамляющим котловину гор и озер, тянется приозерная равнина. Ширина ее различна — от нескольких сот метров до 20 км. Местами горные склоны Кунгей и Терской Ала-Тоо круто спускаются к озеру.

Средняя годовая величина атмосферного давления (в районе Чолпон-Аты) составляет 836 м. Своеобразен здесь и термический режим, большую роль в котором играет озеро Иссык-Куль. Особенность его заключается в понижении летней температуры и довольно высокой зимней температуры воздуха. Благодаря незамерзающему озеру годовая амплитуда температуры воздуха в Чолпон-Ате не превышает 22°С. Средняя продолжительность безморозного периода составляет 167 дней.

Осадков в районе Чолпон-Аты по сравнению с восточными районами Прииссыккулья выпадает немного (251 мм). Однако относительная влажность воздуха по сравнению с другими районами Киргизии, здесь выше и в среднем составляет 68%. Межсуточные колебания относительной влажности находятся в пределах от 0 до 10%. Среднемесячная скорость ветра в течение года составляет 1,5—2,2 м/с. Число дней в году с ветром более 15 м/с здесь не превышает 30.

Весна на Иссык-Куле начинается в начале марта и продолжается по июнь. Начало ее характеризуется заметным увеличением солнечного тепла, однако вследствие более медленного прогревания воздуха, а следовательно, и воды весна имеет затяжной характер и вероятность заморозков в Чолпон-Ате сохраняется до конца мая.

В районе Чолпон-Аты в весенний период 26—27 дней в каждом месяце можно использовать для прогулок, игр, отдыха на свежем воздухе. Сон на верандах возможен в течение всего весеннего периода. Преобладание в ве-

сенние месяцы солнечной погоды способствует принятию воздушных ванн. Наиболее благоприятным временем для этой цели является полдень.

Раздел «Короткие заметки» дает интересные сведения по всем странам и с темой данной брошюры связан частично.

При подготовке раздела использовались материалы из научно-популярного сборника «Человек и стихия», популярного географического ежегодника «Земля и люди», брошюры «Голубой Иссык-Куль».

Раздел подготовила В. В. Громова.



Михаил Константинович Граве
Лидия Михайловна Граве

КАРАКУМСКИЙ КАНАЛ
И ПРИРОДА ПУСТЫНИ

Заведующий естественнонаучной редакцией
А. А. Нелюбов
Старший научный редактор *Н. А. Косаковская*
Младший редактор *Л. И. Готт*
Художник *Б. Н. Саконтиков*
Худож. редактор *М. А. Гусева*
Технический редактор *Л. А. Солнцева*
Корректор *С. П. Ткаченко*

ИБ № 4029

Сдано в набор 24.10.80. Подписано к печати 22.12.80. Т-20373. Формат бумаги 60 × 84 $^{1}/_{16}$. Бумага для гл. печати. Гарнитура журнально-рубленая. Печать глубокая. Усл. печ. л. 2,80. Уч.-изд. л. 3,27. Тираж 28980 экз. Заказ № 2353. Цена 12 коп. Издательство «Знание». 101835, ГСП, Москва, Центр, проезд Серова, д. 4. Индекс заказа 816602.

Ордена Трудового Красного Знамени Калининский полиграфический комбинат Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. г. Калинин, пр. Ленина, 5.

12 коп.

Индекс 70076

