М55

ОРОШАЕМЫЕ ПОЧВЫ ПУСТЫНИ И ИХ МЕЛИОРАЦИЯ

НАУЧНЫЕ ТРУДЫ

ТС-23
631.4

ВСЕСОЮЗНАЯ ОРДЕНА ЛЕНИНА АКАДЕМИЯ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ НАУК ИМЕНИ В. И. ЛЕНИНА

ПОЧВЕННЫЙ ИНСТИТУТ ИМЕНИ В. В. ДОКУЧАЕВА

Н. Г. МИНАШИНА

ОРОШАЕМЫЕ ПОЧВЫ ПУСТЫНИ И ИХ МЕЛИОРАЦИЯ

МОСКВА «КОЛОС» 1974

УДК 631.445.55:626.87

Почвы рассмотрены в генетическом и мелиоративном аспектах как особые образования, обязанные происхождением сложному взаимодействию природных и ирригационно-земледельческих факторов. Анализ почвенного покрова при орошении и в естественных условиях пустыни дан для мелиоративной оценки почв, а также выявления наиболее перспективных для освоения земель. Предложена новая классификация оазисных почв пустыни, раскрыты особенности зонального почвообразования в условиях орошения. Большое внимание уделено происхождению, пространственному распределению и миграции солей в почвах и грунтовых водах в оазисах. Изложены принципы почвенно-мелиоративного районирования оазисных земель и в качестве примера приведено районирование Мургабского оазиса. Рассмотрено влияние Каракумского канала на почвенно-мелиоративные условия земель старого и нового орошения и особенности борьбы с засолением почв на современном этапе ирригационно-мелиоративного строительства.

Книга предназначена для почвоведов, мелиораторов, специалистов по мелиоративной гидрогеологии и орошаемому земледелию. Таблиц 76, иллюстраций 24, библиографических названий 234.

Ответственный редактор
член-корреспондент ВАСХНИЛ
профессор В. В. ЕГОРОВ

М $\frac{40305-166}{035(01)-74}$ 34—74

ПРЕДИСЛОВИЕ

Развитие орошения требует дальнейшей научной разработки эффективных методов мелиорации почв аридной зоны.

Известно, что орошение, особенно при длительно существующих его системах, воздействует на многие природные процессы, в том числе на формирование поверхности Земли и ее почвенного покрова. В текущих и перспективных планах развития орошения в условиях пустынь необходимо учитывать такие последствия хозяйственной деятельности. Это позволит представить, как сложится обстановка в будущем и как нужно организовать хозяйство, чтобы избежать возникновения неблагоприятных процессов, часто сопутствующих орошению в пустыне.

Решению подобных вопросов посвящена настоящая работа. Она основана на обширном материале из области изучения естественных, хозяйственных, социальных и иных последствий орошения, отразившихся на ландшафте, почвах и геохимическом состоянии ряда районов наших пустынь.

Особый интерес представляют сопоставление процессов почвообразования в пустынях разных широт, новые взгляды на тип почвообразования в субтропических пустынях, реликтовый характер их серо-бурых почв, иная, чем предполагалось ранее, направленность в них процессов выветривания и почвообразования в современных условиях. Имеет большое значение также анализ процессов почвообразования на орошаемых землях в культурных ландшафтах.

В работе дана оригинальная, хорошо обоснованная классификация орошаемых почв. При ее разработке были учтены давность орошения, воздействие хозяйственной деятельности в разные эпохи, состояние водного и солевого режимов, в том числе при разном влиянии грунтовых вод, и т. п.

Анализ явлений и выводы основаны на большом фактическом материале, полученном в результате многолетних личных исследований автора. Материал был собран в зоне Каракумского канала (Мургабский оазис), в Хорезме и некоторых оазисах Египта.

Учет некоторых процессов, свойственных тропическим пустыням, во многом обогатил общие концепции, изложенные в книге, позволил найти место и учесть генетические особенности почв Среднеазиатских пустынь, установить тенденции их рационального использования.

В. Егоров

ГЛАВА I

ИЗ ИСТОРИИ ОРОШАЕМОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ И БОРЬБЫ С ЗАСОЛЕНИЕМ ПОЧВ

Условия зарождения и распространения орошаемого земледелия. До недавнего времени было принято считать центрами наиболее древней земледельческой культуры Месопотамскую и Нильскую долины. Н. И. Вавилов (1926, 1965), изучая происхождение культурных растений, установил, что цивилизация, возникшая в долинах крупных рек, имеет значительно более длительную предысторию, чем это принято считать; начало земледелия восходит ко времени, предшествующему периоду, когда люди совместными усилиями стали строить плотины, дамбы и крупные каналы.

Земледелие зародилось в горных и предгорных районах и было вначале богарным. Позже человек стал использовать для полива воду небольших ручьев и горных рек. Постепенно он спустился в долины и дельты крупных рек, где со временем и развились древние цивилизации.

Два из семи существующих на земном шаре автономных центра происхождения культурных растений совпадают с областями локализации древнейших земледельческих культур.

1. Юго-западно-азиатский центр включает Турцию (Анатолия), Иран, Афганистан, страны Средней Азии, Северо-Западную Индию, а также территорию Кавказа. Эти районы дали 14% видов культурных растений от всей мировой культурной флоры. Отсюда происходят многие виды европейских культур хлебных злаков (рожь, пшеница, ячмень), зернобобовых, почти все плодовые культуры и виноград.

2. Средиземноморский центр включает страны по берегам Средиземного моря. Отсюда происходят 11% культурных видов растений, в их числе маслина, рожковое дерево и многие другие широко распространенные овощные и кормовые культуры.

Установлено наличие длительного доисторического периода развития и взаимного влияния культур Средней Азии и Ближнего Востока уже в каменном веке (Массон, 1964).

Материалы палеоклиматических, палеогеографических и археологических исследований дают основание отнести время зарождения орошаемого земледелия к VIII—VI тысячелетиям до н. э., когда в Северной Африке и на Ближнем Востоке наблюдалось повсеместное усиление засушливости климата.

Период V—IV тысячелетий до н. э. характеризовался более влажным и теплым климатом. Усилилось обводнение уади, повысился уровень озер и грунтовых вод. Оживление человеческой деятельности в Сахаре наблюдалось главным образом в несколько приподнятых («гористых») районах или вдоль рек и озер. Только ядро Ливийской пустыни оставалось таким же безжизненным, как и в настоящее время (Butzer, 1961).

Имеются доказательства большей влажности этого периода и для Средней Азии (Герасимов, 1937, 1969; Виноградов, Мамедов, Степанов, 1969).

Озера ныне с сильно минерализованной водой (Денгиз-Куль, Тузкане) в IV тысячелетии до н. э. были пресными, в них обитали пресноводные рыбы, а на берегах обнаружены стоянки первобытных племен. Энеолитические поселения обнаружены также в южных Кызылкумах в районе озера Лявлякен, в прошлом пресного, а ныне с минерализацией вод 240 г/л (Виноградов, Мамедов, Степанов, 1969).

Опыт управления поверхностными водами, накопленный к энеолитическому времени, способствовал распространению земледельческих культур на равнинные пространства в долинах крупных рек и заложению основы для Месопотамской (Ниневия, Шумер, Акад) и Египетской цивилизаций, что совпадает с периодом некоторого увлажнения климата.

История развития ирригации в Средней Азии до недавнего времени оставалась менее изученной, чем для Египта и Месопотамии, но в последние годы интерес к этим вопросам возрос (Гулямов, 1967; Толстов, 1948; Андрианов, 1969; Массон, 1959, 1964; Лисицина, 1968, и др.). Особенно интересна в этом отношении монография Б. В. Андрианова (1969), где наиболее полно изложена история орошения в Приаралье и дан обзор литературы по всем крупнейшим очагам орошаемого земледелия.

Стадии развития орошаемого земледелия. Характер влияния орошения на почвы менялся по мере развития орошаемого земледелия. Изменения водозаборных средств, ирригационной и распределительной сети, техники полива, возделывания и удобрения почв — все это находило отражение в поступлении и распределении ирригационных наносов, механическом и агрегатном составе почв, водном, солевом и биохимическом их режиме.

В развитии орошаемого земледелия можно выделить следующие крупные стадии: 1) примитивное болотно-луговое земледелие, 2) нерегулярное (лиманное, архаичное) орошение, 3) регулярное бассейновое орошение, 4) постоянное (правильное) орошение (Букинич, 1924; Андрианов, 1969).

Стадия современного орошения должна быть выделена особо, как пятая стадия автоматизированного, интенсивного орошения при высоком применении в земледелии химических удобрений и ядов.

Примитивное орошение. Примитивное орошение — зачаточная стадия развития орошаемого земледелия, когда человек пассивно использовал дополнительное природное увлажнение земель водами поверхностных разливов. Время зарождения примитивного орошения относится к началу неолита. Интересно заметить, что именно к этому времени относится наибольшая аридность климата, который был более влажным в период палеолита.

С усилением аридности климата мелкие реки пересыхали и границы областей, естественно обеспечивающих благоприятные условия местообитания человека, смещались в сторону долин и дельт крупных рек с большим поверхностным стоком. Здесь условия для земледелия были более трудными, так как требовали управления мощными паводковыми потоками, и человек изобрел сначала способы сброса поверхностных вод, затем орошения.

Эта форма использования земель знаменует начало нового периода в развитии человеческой культуры, который приходится на начало неолита. В дальнейшем климат становится несколько гумиднее, повышается обводненность территории, расширяется ареал природно-

обводненных земель. Именно в это время начинается наиболее широкое расселение и распространение поселений человека в зоне субтропического, ныне пустынного, климата. Неолитические стоянки первобытного человека были обнаружены в районах пустынь, ныне недоступных для постоянного обитания из-за безводности и засоленности почв. В числе этих мест окрестности среднеазиатских озер, окруженных солончаками и заполненных солеными водами (Тузкане, Денгиз-Куль, Лявлякен и др.).

В период примитивного земледелия поступление воды полностью определялось стихийностью природных разливов.

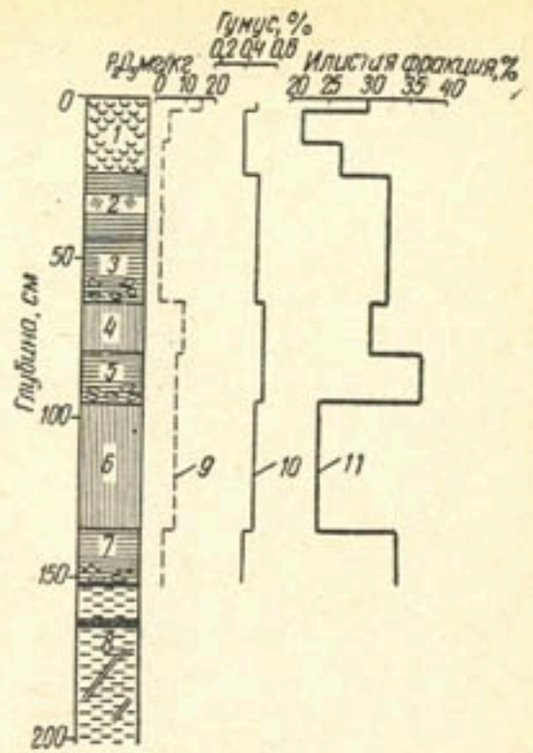
При примитивном орошении не могли быть использованы глубокие бессточные понижения с озерно-болотными почвами. Использовались более мелкие понижения между гривами с лугово-болотными и луговыми почвами, обеспеченные естественным стоком. Растениеводство в это время имело подсобный характер.

Нерегулярное орошение. Земледелие к энеолитическому времени приобретает большее значение в жизни человечества, о чем свидетельствуют многочисленные археологические исследования в Египте, Месопотамии, Южной Туркмении и других местах (Савельева, 1962; Массон, 1959, 1964; Андрианов, 1969; Лисицына, 1969). Появляются оседло земледельческие культуры. Наблюдая за природой, человек накопил опыт, который позволял ему регулировать поверхностный сток паводковых вод, вначале путем сооружения простейшего дренажа для сброса вод, а потом, в энеолитическое время, сооружения водоподводящих каналов и дамб. Время, когда человек начал искусственно регулировать режим увлажнения почв с помощью валиков и дренажных протоков, может считаться началом настоящей культуры орошаемого земледелия. Появился стимул для длительного использования одних и тех же участков, чтобы не сооружать заново водоподводящие устройства. Появилась необходимость улучшать микрорельеф, поддерживать протоки в рабочем состоянии, очищать их от ила. При многолетнем орошении на полях накапливались ирригационные отложения, что уже позволяет использовать для выявления районов древнего орошения почвенно-археологический метод. Однако орошение все еще не носило регулярного характера, не было сети, которая

Рис. 1. Профиль геоксюрской почвы и распределение гумуса, подвижного фосфора и ила:

1 — современная такыровая почва; *2* — глинистые слабонарушенные отложения; *3, 6, 7* — слабосформированные лугово-болотные почвы с сизыми пятнами; *4, 5* — окультуренные лугово-болотные почвы; *8* — аллювиальные преимущественно супесчаные отложения, слабоизмененные почвообразованием; *9* — подвижные соединения фосфора (P_2O_5); *10* — гумус; *11* — илистая фракция (0,001 мм).

Штриховка обозначает механический состав (описание в тексте).



обеспечивала бы забор воды при разных условиях стока, хотя зачатки такой сети уже имелись в виде коротких водоподводящих канав, валиков на пути стока вод и дренажных протоков для сброса вод с орошаемых участков. Однако сильные паводки все эти сооружения разрушали, и орошение прерывалось, и люди иногда были вынуждены переходить на другие участки. Этот период приходится на конец V, на IV и начало III тысячелетия до н. э.

Развалины оседлых древнеземледельческих поселений IV и III тысячелетий до н. э. обнаружены археологами в районе станции Геоксюр (междуречье Мургаба и Теджена), где Лисицыной (1969) была изучена древняя ирригационная сеть, сооружение которой, по археологическим данным, датировано первой половиной III тыс. до н. э.

В Геоксюрском оазисе автором было исследовано строение верхней толщи отложений по траншеям, вскрывшим погребенные русла древних каналов. Были обнаружены два погребенных слоя окультуренных почв (рис. 1). Оказалось, что они относятся к более древнему периоду, чем сооружения ирригационной сети. Русла ка-

налов были врезаны в эти отложения (Минашина, 1969). Характеристика этих древних слоев орошавшихся почв и заключение об условиях их формирования носят следующий характер.

На глубине 136—152 см от современной поверхности залегает компактная глина, в нижней части горизонта интенсивно оглеенная, что свидетельствует об анаэробных лугово-болотных условиях и былой обогащенности этих слоев органическим веществом. Почти полное отсутствие песка и крупной пыли в этой глине указывает на то, что она накопилась вдали от русла в условиях дельтово-озерных разливов, которые занимали наиболее низкие места вновь формирующегося дельтово-аллювиального рельефа. Обсыхание поверхности, может быть, ускоренное искусственным путем, сопровождалось формированием почв лугово-болотного типа. Эта почва стала использоваться под посевы, обрабатывалась; для полива здесь применяли метод затопления. По существу это была искусственно регулируемая лугово-болотная фаза развития почвы. Она существовала очень длительно, о чем свидетельствует мощный слой окультуренной почвы, которая обнаружена на глубине 95—136 см. Накопление наносов такого состава вряд ли могло превышать в среднем 0,5 мм в год, то есть время продолжительности орошения определяется периодом не менее 800 лет. Для орошения могла использоваться очень простая система подачи и сброса избытка паводковых вод. О том, что был сброс, свидетельствует уменьшение содержания частиц $<0{,}001$ мм в составе окультуренных слоев в сравнении с природными наилками того же района. Орошение могло периодически ненадолго прерываться. Следы длительного перерыва в связи с затоплением обнаруживаются выше в виде глинистого наилка, не переработанного почвообразованием (глубина 80—95 см). Орошение по каким-то причинам прекратилось раньше, чем была затоплена почва. Об этом свидетельствуют следы процессов пустынного преобразования, обнаруженного на поверхности погребенного окультуренного слоя, обильные ходы термитов, которые обычно обнаруживаются на обсыхающих и опустынивающихся почвах такырового типа. Возможно, что нарушение в поступлении стока произошло вследствие естественных причин изменения русел протоков или наступления ряда более засушливых лет.

Вновь образованный глинистый наилок на опустынивающейся поверхности мог быть результатом искусственного затопления. После чего орошение продолжалось, очевидно, теми же способами, но было уже менее длительным. Мощность верхнего окультуренного слоя небольшая — около 16 см. Позже поверхность поля была снова затоплена, в процессе чего накопился глинистый слой, обнаруженный на глубине 44—60 см, который не показывает присущей окультуренным слоям почвы однородности и переработанности.

Можно сделать следующий вывод:

1) образование окультуренных слоев началось на месте формирования повышенно увлажненных (болотных) почв, чему должно было предшествовать искусственное осушение, организация сброса избытка поверхностных вод;

2) окультуренные слои формировались в условиях болотно-лугового режима, то есть для этого могли быть использованы понижения, затоплявшиеся природным путем, где искусственно ускорялся сброс поверхностных вод. Для этого строили и поддерживали в рабочем состоянии дренажные канавы. Конечно, длительное использование этих почв было бы невозможным, если не поддерживалась бы искусственно и водоподводящая сеть;

3) регулирование увлажнения почв, их обработка и длительная оседлая культура свидетельствуют о накопленном опыте, которому должны были предшествовать несколько тысячелетий развития более примитивных форм земледелия.

Окультуренные слои почв нерегулярного периода орошения обнаружены и в других оазисах Средней Азии. Б. В. Андрианов, Н. И. Базилевич и Л. Е. Родин (1957) описали такие почвы в дельте Амударьи, но там этот период датирован серединой II тысячелетия и началом первого тысячелетия до н. э.

Автором изучены окультуренные почвы на озерно-дельтовых отложениях в низовьях Байрам-Алийской части дельты, где, по данным В. М. Массона, орошаемое земледелие существовало в первой половине II тысячелетия до н. э. и затем было заброшено в связи с опустыниванием территории, что подтверждается и почвенными данными. Кроме того, в районе крепости Чильбурдж и Султан-Кала (Байрам-Алийская часть Мургабской

дельты) обнаружены на глубине 5—6,5 м от поверхности прерывистые окультуренные древние почвы с мощностью ирригационных отложений от 10 до 40 см, погребенные под аллювием, выше которого сформировался 2—3-метровый слой античных и раннесредневековых агроирригационных отложений. По нашим подсчетам, время формирования прерывистых окультуренных слоев, образовавшихся при нерегулярном орошении, относится к IV—III тысячелетию до н. э. (Минашина, 1962).

Период нерегулярного орошения на Мургабской дельте, судя по прерывистым окультуренным слоям и перемежающимся с ними аллювиально-озерным отложениям, длился около 2,5 тысячи лет.

Характер и мощность окультуренных слоев периода нерегулярного орошения в бассейнах разных рек и в разных геоморфологических условиях неодинаковы, в их формировании принимали участие факторы, связанные с естественным режимом паводков. В Геоксюрском оазисе окультуренные слои более однородны и имеют большую мощность непрерывного накопления, что является следствием большего удаления оазиса от главного русла реки. До этого оазиса доходила лишь небольшая часть паводковых вод, а может быть основным источником увлажнения были делювиальные воды с подгорной равнины, что можно предположить с большой вероятностью, учитывая повышенную водность Неолитического периода. Орошение здесь не испытывало таких частых нарушений, которые наблюдались на аллювиальных равнинах Мургаба и более крупных рек.

На стадии нерегулярного орошения на аллювиальных равнинах больших рек приходилось чаще оставлять освоенные земли из-за сильного затопления или разрушения регулирующих устройств паводком. В долинах более крупных рек (Тигр, Евфрат, Амударья) было еще труднее обеспечивать орошение из-за большой разрушительной силы паводков (Андрианов, 1969). Поэтому орошаемое земледелие стадии нерегулярного орошения было приурочено в основном к бассейнам небольших рек.

Регулярное бассейновое орошение. Более совершенный — бассейновый способ орошения пришел на смену нерегулярному орошению в долинах и дельтах раньше, чем на других территориях, орошаемых

местным стоком пролювиальных и делювиальных вод, где развивался и совершенствовался лиманный способ орошения.

Наиболее совершенное развитие бассейновое орошение получило в дельте Нила. Уже во времена раннего царства там имелись оросительные каналы, плотины и дамбы (Савельева, 1962). В дельте Нила бассейновое орошение было господствующим до 1840 г., а в Верхнем Египте и Судане местами сохранилось и до настоящего времени.

Бассейновое орошение основано на регулировании орошения паводковыми водами. Например, в дельте Нила в период разлива во́ды равномерно распределялись по бассейнам, имеющим площадь около 2 тыс. га и расположенным по всей орошаемой территории, для сооружения которых перпендикулярно руслам рек и каналам воздвигали плотины и дамбы, в свою очередь делившиеся на более мелкие квадраты, окруженные валами. Поверхность почв в бассейнах покрывалась слоем воды от 1 до 2 м. Вся территория дельты в паводок превращалась в сплошное море, и только поселения, сооруженные на холмах и насыпях, оставались на суше. Часть земель на более высоких уровнях не затоплялась водой и для их полива использовали водоподъемные устройства типа шадуфа, сакии, чигиря. На таких землях возделывали виноградники.

Воды в паводок стояли на полях 40—60 дней, осветлялись, впитывались и профильтровывались. Остатки осветленных вод с наиболее тонкодисперсными частицами сбрасывались по дренажным протокам в реки и море. Затем производился посев культур (зерновых, овощных, трав), которые убирались в начале лета. В летние месяцы почва оставалась под паром («шараки»). За период парования почва иссушалась, подвергалась сильному термическому воздействию солнца и крошилась. Постоянное обогащение почвы илом, интенсивные промывки в паводок и сильное обезвоживание и стерилизация под солнечными лучами обеспечивали получение высоких урожаев на протяжении многих тысячелетий без радикальных мер мелиорации. Однако при этом земли на протяжении двух третей года пустовали (Ярилов, 1937).

Бассейновый способ орошения в дельте Нила с середины XIX в. стал уступать место постоянному орошению

из постоянно действующей ирригационной сети, что позволяло собирать по три урожая.

Регулярное орошение из постоянно действующей ирригационной сети. Бассейновый способ орошения более всего соответствовал природным условиям долины и дельты Нила со спокойными разливами, постепенным спадом паводковых вод, глинистым составом наносов, поэтому дольше всего этот способ сохранялся в Египте. В бассейнах других рек он раньше уступил место более совершенным способам забора и распределения вод.

Постоянное орошение из развитой ирригационной сети было возможно при сооружении более сложных гидротехнических устройств для забора воды из реки, регулирования стока и распределения вод на орошаемых землях с более разнообразным рельефом. Этот способ орошения обеспечивал поливной водой земледельцев не только в паводковый период, но и на протяжении всей вегетации растений. В ряде мест для этого требовалось сооружать высокие плотины и водохранилища, разветвленную ирригационную сеть.

Характер стока среднеазиатских рек снегового и ледникового питания, имеющих большую скорость потока и высокую мутность вод в паводок, менее соответствовал требованиям бассейновой системы орошения. В этом отношении среднеазиатские условия ближе к условиям Двуречья (Месопотамия). Орошение в Двуречье, начавшись еще во времена убедийской культуры (VI—V тысячелетие до н. э.) с болотной стадии примитивного орошения, быстрее прошло бассейновую стадию и уступило место более развитой ирригационной системе на базе дамб, плотин и сложной ирригационной сети. Непостоянство стока и непрерывные гидрографические изменения требовали напряженной работы по сооружению и поддержанию ирригационной сети (Якобсон и Адамс, 1958).

Основное направление в развитии месопотамской ирригации — это совершенствование систем, основанных на магистральных каналах. Во времена шумерийской культуры уже существовали магистральные каналы шириной от 10 до 30 м. Уже в III тысячелетии до н. э. использовались для орошения высоких поверхностей черпальные сосуды и ручные водоподъемные сооружения типа шадуфа (Андрианов, 1969).

В шумерийское и вавилонское время был налажен учет урожаев, а также качества орошаемых земель (как это известно из записей на глиняных табличках). Выделялись хорошие, переувлажненные, засоленные, болотные, засоренные и переложные земли. Первое упоминание о вторичном засолении орошаемых земель обнаружено в письменных источниках, относящихся к середине III тысячелетия до н. э., где говорилось, что народы Шумера постигло большое бедствие: орошаемые земли покрылись белой коркой солей и стали бесплодными. Земли пришлось покинуть и перейти на новые, более высокие.

Другой период массового распространения вторичного засоления в Месопотамской долине относится к середине I тысячелетия до н. э., что также было зафиксировано в письменных документах.

Археологическими исследованиями, в которых принимали участие почвоведы и агрономы, установлено, что с увеличением засоления земель в Месопотамской долине происходило изменение состава культур и снижение урожая. Все меньшую площадь занимала пшеница, в то время как площади более солевыносливого ячменя росли.

В настоящее время почвы долины Тигра и Евфрата сильно засолены. Орошаемое земледелие приняло экстенсивные формы и имеет кочевой переложный характер.

На значительной части территории урожай можно получить только в зимнее время, после интенсивных промывок и на фоне опустившегося за лето уровня грунтовых вод.

Стадия интенсивного автоматизированного орошения. Развитию этой стадии способствовал высокий уровень индустрии в ирригационно-мелиоративном строительстве и научная разработка основ регулирования солевого режима и плодородия орошаемых почв. Ирригационная сеть имеет бетонное покрытие, а местами заключена в напорные трубопроводы; сооружаются закрытые дренажные системы; закладываются основы для «субирригации»; разрабатываются телеавтоматические установки, контролирующие распределение воды, которые при наличии датчиков на орошаемых землях автоматически регулируют полив и увлажнение почв на оптимальном уровне. Широкое развитие получает

применение дождевальных аппаратов, разрабатывается капельный способ орошения.

Наряду с широким развитием новой техники орошения и в настоящее время встречаются почти все старые формы орошения.

Развитие орошения в Мургабском оазисе. Особенности развития орошения в Мургабском оазисе во многом определены своеобразными условиями формирования территорий сухой дельты. Река Мургаб питается снеговыми и дождевыми водами и характеризуется очень непостоянным стоком. Основная масса воды проходит за очень короткое время в весенний паводок, летом сток уменьшается в 10 раз и более. Для развития постоянного орошения требуется регулирование речного стока.

Следы нерегулярного орошения обнаружены в северной периферии Мургабской дельты, где, по сведениям археологов (Массон, 1959), были поселения земледельцев бронзового века.

В погребенном состоянии следы нерегулярного орошения сохранились и в более южных районах центральной части Байрам-Алийской дельты, где, по нашим подсчетам, орошение применялось на тысячу лет раньше, чем в северной периферии дельты.

Бассейновая система орошения в дельте Мургаба достигла своего совершенства в раннеантичное время, сохранялась и в позднеантичное время и в раннем средневековье. Остатки бассейновой оросительной системы можно было видеть на северо-востоке и на востоке Байрам-Алийского массива вплоть до пуска Каракумского канала. Ее влияние на рельеф и почвы можно обнаружить на всей Байрам-Алийской части дельты (рис. 2).

Орошаемые поля имели прямоугольные или близкие конфигурации по границам бассейнов и перпендикулярное сочленение соподчиненных звеньев ирригационной сети, которая проходила по заградительным валам и дамбам. В весенний паводок воды разливались по искусственным бассейнам.

Такая система орошения предполагает наличие дренажного сброса избытка поверхностных вод. Не исключено, что обнаруживаемые ныне русла на более северных запесчаненных землях представляют собой остатки древних коллекторов.

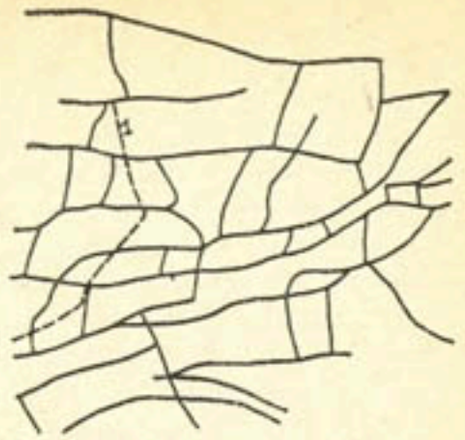


Рис. 2. Остатки ирригационной сети и заградительных дамб бассейновой системы орошения:
1 — северная часть глинобитной стены вокруг Гяур-Кала.

После обильного увлажнения почв в весенний паводок можно было получить урожаи зерновых, бахчевых культур и однолетних трав без дополнительного полива в вегетацию. Виноградники и культуры с длинным вегетационным периодом поливали дополнительно летом.

Если в долинах и дельтах рек с более мощным и стремительным стоком паводковых вод (Амударья, Тигр, Евфрат) бассейновая система не могла получить широкого распространения, то на Мургабской дельте она использовалась очень долго и приобрела здесь ряд особенностей, отличавших ее от классических античных ирригационных систем других центров орошаемого земледелия. Это прежде всего распределение ирригационных наносов.

Недостатком античных ирригационных систем было их быстрое и сильное заиление. На поля попадали глинистые частицы и тонкая пыль, остальная часть наносов оседала в сети. Для дельты Нила дифференциация наносов не имела большого значения, так как нильские наносы исключительно глинистые. В водах же среднеазиатских рек до 60—80% общей массы наносов составляет песок и крупная пыль. Бассейновая система орошения на Мургабе базировалась на регулирующих сток водохранилищах, где осаждался песок. Общая мощность бассейновых агроирригационных отложений редко выходит за пределы 60—80 см, они имеют глинистый состав. Археологами (Массон, 1957) установлено, что в середине I тысячелетия до н. э. на Мургабе существовали плотина и водохранилище. В IV в. до н. э. греки были восхищены высоким искусством орошения и земле-

делия жителей этого оазиса, известного под названием Маргианы, о чем остались записи Геродота и Страбона.

В дальнейшем развитие ирригационной сети было направлено на более полное использование речной воды и на пропуск бóльшего количества ирригационных наносов на поля, чтобы уменьшить заиление каналов. В этом отношении мургабские ирригаторы были очень искусными мастерами; их искусство было высоко оценено пришедшими в оазис арабами (VII в.), которые многое у них заимствовали (Бартольд, 1914).

Агроирригационные глинистые отложения постепенно, а местами и с перерывами, переходят в тяжелосуглинистые отложения раннего средневековья. Античная ирригационная система с ее перпендикулярно-коленчатыми отводами-распределителями развивалась в более сложную и с большим числом звеньев древовидно-ветвистую ирригационную сеть, при которой меньше заилялись русла, увеличивался пропуск воды при меньшем сечении русел каналов (рис. 3).

Наибольшего расцвета орошаемое земледелие в оазисе достигает в IX—X вв. Подробное описание системы ирригации этого времени имеется в сообщениях географа X в. Макдиси.

Виноградарство, производство пшеницы, ячменя, бахчеводство развивалось здесь с античного времени, затем появляется шелководство и хлопководство. В раннем средневековье в Мервском (Мургабском) оазисе выращивался отличный сорт хлопка Мерви, вывозившийся в разные страны.

Совершенствование ирригационной сети позволяло расширить орошаемые площади и орошать территорию с более сложным рельефом. Орошение занимает постепенно все бóльшую площадь. Оно распространяется на среднюю и верхнюю часть Мургабской дельты, где переходит на левый берег (ныне Куйбышевский массив); осталась неосвоенной только Марыйская часть дельты. Но с общим расширением орошаемых площадей на юго-западе наблюдается и отступление границы оазиса в северной и северо-восточной его части. Археологи (Бартольд, 1914; Массон, 1957) объясняли это тем, что вышерасположенные земли захватывались феодалами, и бедные люди в низовьях лишались воды и в результате покидали свои селения и переселялись ближе к верховьям. Однако, на наш взгляд, это объяснение не до конца вскрывает главную причину запустения низовий оазиса. Основной причиной, по-видимому, было засоление почв, которое больше всего проявилось и нарастало в низовьях.

Развитие орошения, связанное с заменой бассейнового полива более совершенной системой распределения воды по развствленной и постоянной ирригационной сети, приводило к изменению солевого баланса орошавшихся почв. Почва при бассейновой системе больше промывалась от солей в период паводка, общая протяженность ирригационной сети на единицу орошавшейся площади была значительно меньше, снижались и потери оросительных вод, грунтовые воды стояли более глубоко. На землях бассейнового орошения не заметно следов длительного высокого стояния грунтовых вод, если не считать отдельных глубоких депрессий. После основного влагозарядкового полива подача воды резко сокращалась и уровень грунтовой воды падал до следующего паводка. На землях раннего средневекового орошения в профиле почв очень часто можно видеть границу длительного высокого стояния уровня грунтовых вод по оглеению в толще агроирригационных отложений.

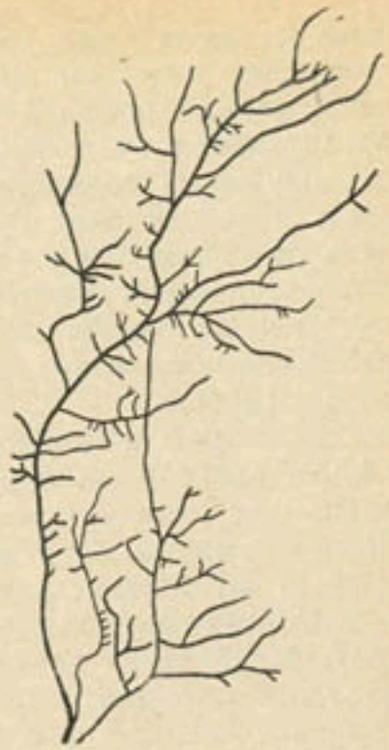


Рис. 3. Фрагмент позднесредневековой оросительной системы в северной части Куйбышевского массива.

Таким образом, причиной перемещения орошения вверх по дельте скорее всего было ухудшение мелиоративных условий в низовьях оросительных систем. Это явление имеет более общий характер для всех долин и дельт аридных стран (Ковда, Минашина, 1967).

Конец X и начало XI в. для Хорасана (в состав которого входил Мервский оазис) характеризуются ухудшением состояния ирригационной сети (по всей вероятности, из-за междоусобиц и войн). В XI—XII вв. оро-

шаемое земледелие несколько оживилось, вновь стала совершенствоваться ирригационная сеть, была построена каменная плотина Султан-Бент и Султан-Ябская оросительная система. В описаниях Самани говорится о сооружении водоподъемных колес, что вполне понятно, так как переход орошения на более высокие земли затруднял самотечную подачу воды. Вместе с тем в этом литературном источнике говорилось и о запустении многих селений Мерва, большая часть которых была расположена на окраинах оазиса, на краю песков (Бартольд, 1914).

Во второй половине XII в. орошаемое земледелие сильно пострадало в результате жестоких феодальных войн: ряд земель приходит в запустение. Еще сильнее были нарушены ирригационная сеть и плотина в начале XIII в. во время монгольского нашествия. Нерегулируемые речные воды устремились на низкие земли Марыйской части дельты. Ранее орошавшиеся земли по западной окраине оазиса частично были размыты и затоплены. Очевидно, в это время русло Мургаба было углублено в верхней части дельты и один из ее протоков в северо-западном направлении стал основным руслом. Таким образом, вся древняя ирригационная система на более высоких землях лишилась источника воды, и орошаемое земледелие переместилось на более низкие земли — в центральную часть дельты — между Мервским оазисом и болотами новой марыйской генерации дельты.

В XIV в. старая оросительная сеть восстанавливается, предпринимаются попытки сооружения новых каналов. Орошение, по данным археологов, было в основном в верхней и средней части Мургабской дельты, что должно было способствовать развитию и совершенствованию чигирного орошения. Некоторые названия селениям, расположенным на ныне Куйбышевском массиве, давали по количеству чигирей (Джумаев, 1954).

Во время междоусобных войн между Хивой, Бухарой, Ираном за Мургабский оазис плотина и ирригационная сеть несколько раз разрушались и снова восстанавливались, однако орошаемое земледелие в позднесредневековое время не распространялось севернее древних столиц Мервского оазиса (Гяур-Кала, Султан-Кала).

В период действия развитой ирригационной сети в раннее и позднее средневековое время сформировалась мощная толща (1,5—2 м) агроирригационных отложений на Южно-Байрам-Алийском и Куйбышевском массивах. Эти отложения отличаются большой дифференциацией по механическому составу: от супесчано-песчаных — вдоль ирригационной сети, суглинистых — по склонам до тяжелосуглинистых и глинистых — по понижениям между каналами. В это же время окончательно оформился ирригационный чашевидный рельеф, столь характерный для древних орошаемых массивов. Такой рельеф обнаруживается на всей Байрам-Алийской части дельты, на левобережной части в пределах Куйбышевского массива и в Центральной части дельты, составляющей широкую переходную полосу от Байрам-Алийского и Куйбышевского массивов к Марыйской более молодой части дельты.

В XVIII в., с приходом с севера на земли запустевшего Мургабского оазиса кочевых туркменских племен, которые частично вытеснили, а частично ассимилировали остатки хорасанского населения, характер орошаемого земледелия изменился. На реке был сооружен ряд фашинных плотин для подпора воды (Каушутбентская, Ханбентская, Эгригузарская, Кызыклыкбентская), которые часто разрушались в паводок (Барц, 1910). Орошались небольшие площади в Иолотанском оазисе (левый берег Мургаба) и земли ниже Каушутханбента. Земли древнего орошения были в запустении. Впоследствии они вошли в состав Мургабского царского имения (1887 г.). Культура орошения у туркмен была на низком уровне. В понижениях образовалось множество озер и болот. Большая часть этих болот поддерживалась текинцами искусственно. Из этих болот брали начало небольшие искусственные каналы (Барц, 1910). Озера служили своего рода запасными резервуарами оросительной воды, которая использовалась в маловодные периоды.

Мелиоративное состояние орошавшихся земель было плохим. Заболачиванию земель сопутствовало засоление. В результате население было вынуждено через каждые три года забрасывать орошаемые поля и переходить на новые участки. Земледелие приняло экстенсивный кочевой характер, последствия которого не изжиты по сей день. Кочевому орошению благоприятствовали большие земельные просторы. Поэтому в числе главных мер упорядочения орошения Э. Ф. Барц считал необходимым наладить организацию учета орошаемых площадей и

контроль за их использованием, так как правильное водопользование возможно лишь там, где точно известна площадь, подлежащая орошению.

Кочевое орошаемое земледелие внесло свои изменения в ирригационный ландшафт, что проявилось в распространении большого количества внутриоазисных озер и болот; значительно усложнился микрорельеф, распределение ирригационных наносов стало тоже менее упорядоченным. Выбирая небольшие участки для орошения на территории подкомандной примитивной ирригационной сети, строили временные оросители, при этом большие площади, уровень которых оказывался выше командования каналов и оросителей, оставались неорошенными.

Если древнее хорасанское земледелие было связано с применением большого количества удобрений, компостов, навоза, выветрелой дувальной земли, то при кочевом орошаемом земледелии такого интенсивного применения удобрений уже не могло быть. Все сооружения вплоть до жилищ имели временный характер. Совершенствование ирригации велось в направлении увеличения маневренности в размещении орошаемых участков. Был найден новый способ полива — джоячный. При этом конфигурация и ориентация поливных участков могла быть очень разнообразной и не требовалось тщательного проведения планировок. Местами сохранялись и старые способы более интенсивного использования земель, но площадь их была небольшой.

Кочевое орошаемое земледелие с точки зрения воздействия на мелиоративные условия должно быть оценено отрицательно. Не было единой службы, которая заботилась бы о всех системах орошения в зоне оазиса в целом. Это привело к усилению пестроты микрорельефа, засолению и заболачиванию почв. Хотя там имелись и некоторые оригинальные элементы (например, джоячный полив, оригинальные способы забора воды).

В первые годы Советской власти было произведено коренное улучшение водо- и землепользования и взят курс на развитие интенсивного орошаемого земледелия. В 1918 г. наряду с разработкой проблемы освоения новых земель, шла перестройка структуры посевов на старо-орошаемых землях для более широкого возделывания хлопчатника. Были реконструированы старые ирригационные системы и поливные карты, стали решаться

проблемы механизации и химизации хлопководства. Хлопчатник приобрел ведущее положение в орошаемом земледелии Среднеазиатских республик. Снова встала проблема борьбы с засолением, приступили к исследованиям причин вторичного засоления орошаемых почв. Важное значение придавалось изучению дренажа в регулировании солевого режима; были заложены опытные дренажные системы.

Вопрос оказался сложным, а знания почвенных процессов недостаточными. Это скоро привело к тому, что причину вторичного засоления стали видеть в избыточном потреблении вод, а роль дренажа недоучитывалась. Поэтому его строительство прекратили, исследования были приостановлены. Однако дискуссии о роли дренажа в научных кругах не прекращались. В. А. Ковда (1946, 1947), опираясь на научные исследования в области солевых режимов почв и геохимических закономерностей соленакопления, а также на научно-производственный опыт, сформулировал главные принципы системы мер борьбы с засолением, где важное значение отводилось и дренажу. Были и другие мнения относительно этого вопроса. Так, В. А. Шаумян (1948) считал, что если исключить фильтрацию из сети и снизить нормы орошения, то это автоматически снимет угрозу засоления.

Отрицательный опыт бездренажного освоения новых орошаемых земель, очень ощутимый по своим экономическим последствиям, и положительный производственный опыт мелиорации засоленных почв на землях старого орошения в Вахшской долине, Хорезмском оазисе, Мугани заставили пересмотреть прежнюю установку: дренаж был признан необходимым звеном в мелиорации засоленных почв и для предупреждения вторичного засоления.

ГЛАВА II

ОСОБЕННОСТИ ПРИРОДНЫХ УСЛОВИЙ ОБЪЕКТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

Климат. Исследованные автором оазисы расположены в южной части Среднеазиатской пустыни и в Северо-Восточной Африке в пределах субтропической и частично тропической зон.

Мургабский оазис окружен песками Юго-Восточных Каракумов. Климат его характеризуется резкой континентальностью, с большой амплитудой колебаний температур на протяжении суток и сезонов, а также сухостью воздуха. Лето здесь сухое (осадков не выпадает), жаркое и продолжительное. Сумма положительных температур выше +10° С около 5200—5300° С, безморозный период равен 213—221 дню. Средняя температура воздуха за год равна 16° С, за июль (в 13 часов) 36° С при абсолютном максимуме 45—47°. Относительная влажность воздуха в самые жаркие дни снижается до 30—20%; зима короткая. Средняя температура января в оазисе —0,6—1,5° С, а в прилегающей пустыне колеблется в пределах минус 0,6—1,0°, абсолютный минимум — минус 22—26° С (рис. 4).

Количество осадков очень небольшое — 127—149 мм за год, причем 80% из них выпадает в зимне-весенний период. Дефицит влажности воздуха достигает значительной величины, летом — до 40 мб, в январе уменьшается до 1—2 мб.

Сухость воздуха и высокие температуры обусловливают высокую испаряемость, годовая величина которой в 15 раз превышает количество годовых осадков и составляет 1500—2000 мм в год. Контрастность климата в пределах оазиса несколько смягчают растительность и поливы.

Благодаря обилию тепла, солнечной энергии, большой продолжительности вегетационного периода при искусственном увлажнении здесь можно возделывать ценные субтропические культуры — тонковолокнистый хлопчатник, гранаты, персики, виноград.

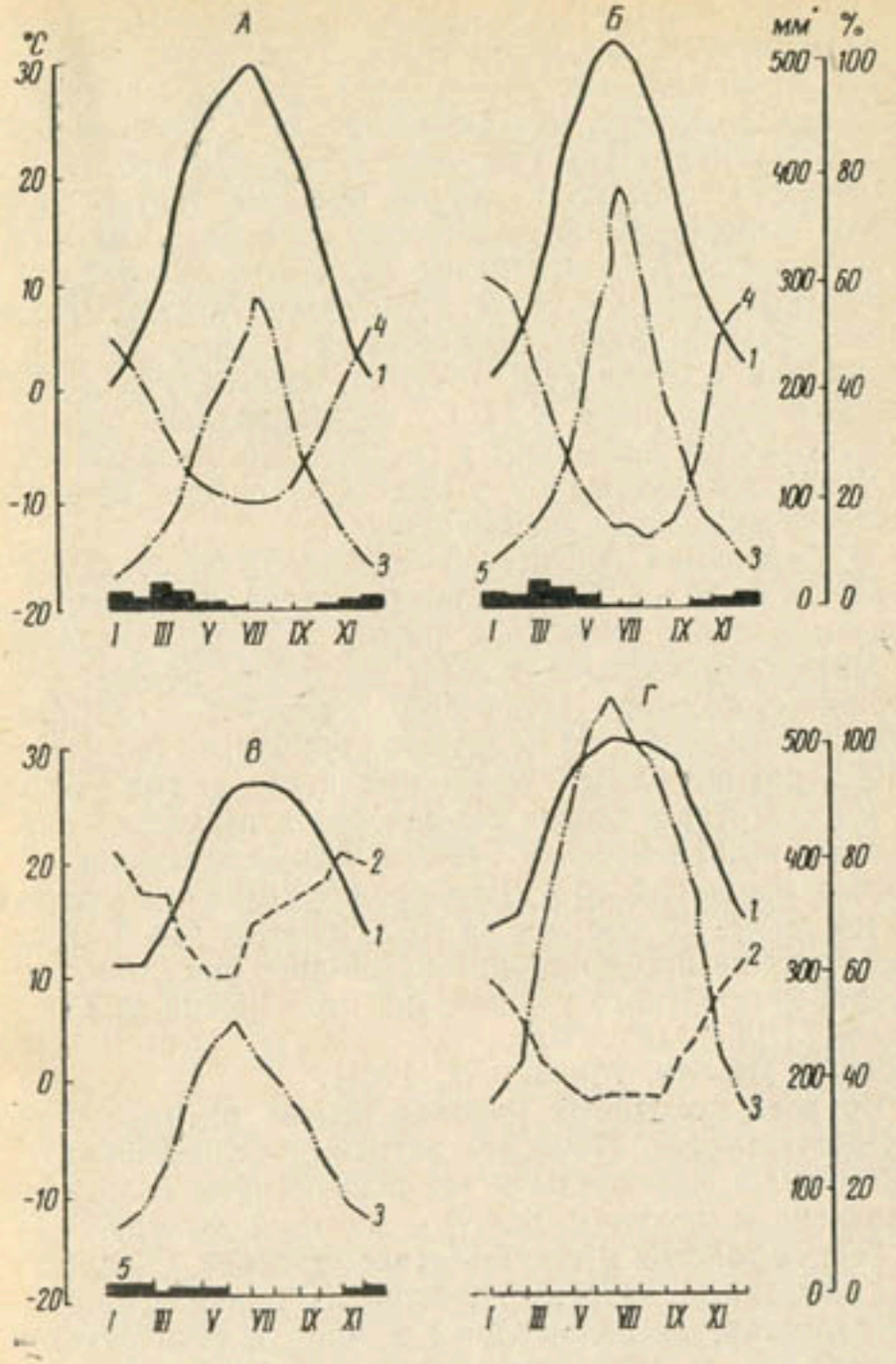


Рис. 4. Главнейшие климатические показатели по оазисам в Туркмении — Байрам-Али (*А*), Репетек (*Б*), в АРЕ — Танта (*В*) и Харга (*Г*):

1 — температура воздуха; *2* — относительная влажность; *3* — испаряемость, мм; *4* — относительная влажность в 13 ч.

Годовой режим температур, осадков, относительной влажности воздуха, испаряемости однотипны по всем изучаемым районам и относятся к средиземноморскому типу. Максимальные температуры воздуха наблюдаются в июне—августе, они равны 29—30° С. Причем более высокая температура отмечена в Каракумской (а не в Ливийской) пустыне. К летним месяцам приурочен минимум относительной влажности воздуха и максимум испаряемости. Юго-Восточные Каракумы отличаются от Ливийской пустыни более прохладной зимой. Средняя температура в январе снижается до 0, минус 1° С, в то время как в Ливийской пустыне температура воздуха не опускается ниже +11° С. Вегетационный период в Каракумах не превышает в среднем 240 дней за год, а в Ливийской пустыне в условиях орошения вегетация растений никогда не прерывается.

В Каракумах среднегодовое количество осадков изменяется от 80 до 150 мм, причем осадки выпадают в основном в конце зимнего и начале весеннего периодов. В Ливийской пустыне только на узкой полосе вдоль Средиземного моря количество осадков в год равно 100—200 мм, к югу их количество приближается к нулю. Уже в районе оазиса Фаюм выпадает за год только 13 мм, а в Харге дожди бывают раз в несколько лет.

Если испаряемость в Средней Азии составляет 1,4—2,0 тыс. мм за год, то в Ливийской пустыне она увеличивается до 4—4,5 тыс. мм за год. Понятно, что в Ливийской пустыне произрастание какой-либо растительности без дополнительного увлажнения невозможно за исключением Присредиземноморской полосы (Ковда, 1958; Розанов, Якубов, Минашина, 1961).

Во всех пустынных районах весьма активна ветровая деятельность. Наиболее активный рельефообразующий агент в зоне пустынь (за исключением современно обводненных долин и дельт) — эоловый фактор.

Геоморфология и геологическое строение. Общим для всех названных оазисов является их приуроченность к поверхностям, расположенным в зоне тектонических погружений и древней активной эрозионно-аккумулятивной деятельности рек, которая под влиянием человека к настоящему времени сменилась на ирригационно-аккумулятивную.

Геоморфологии Мургабской дельты посвящены специальные работы Б. А. Федоровича и А. С. Кесь (1934),

И. П. Герасимова (1940) и ряд более поздних (Горбунова, 1958; Бабаев, 1962; и др.).

Мургабская дельта относится к числу сухих (субаэральных) и имеет площадь 500 000 га. По общему ландшафту дельта резко разделяется на две части: современная дельта, которая, по Герасимову, примерно совпадает с границами оазиса до строительства Каракумского канала, и древняя, более обширная, пустынная часть, которая на востоке и севере сливается с Юго-Восточными Каракумами, а на западе — с Тедженской дельтой. В южной части дельты отложения примыкают к древней полого-наклонной равнине, а она, в свою очередь, переходит в холмистые возвышенности Карабиля и Бадхыза. Эти равнины сложены из мощной толщи (900—1700 м) неогенчетвертичных аллювиально-пролювиальных отложений, формирование которых закончилось в основном в среднечетвертичное время. Позже их поверхности несколько изменились под влиянием эолового водноэрозионного фактора.

Всего в пределах современной и древней дельты и наклонной равнины выделяется четыре равновозрастных поверхности, образующих отдельные ступени от гор Парапамиза. Ступенчатость поверхности связана с проявлением тектонических явлений, которые сопровождались активизацией эрозионно-аккумулятивных процессов (Амурский, 1962).

Собственно Мургабская дельта расположена в депрессии. Геофизическими исследованиями в Мургабском бассейне выявлены зоны тектонических нарушений, разломов, пересекающих дельту почти в меридиональном направлении. В северной части дельты, на периферии Байрам-Алийского массива, с Мургабской зоной нарушений связаны меридиональные Байрам-Алийская, Шараплинская и Майская антиклинальные структуры.

Наиболее древними отложениями, вскрытыми бурением в оазисе, являются меловые, представленные известняками, аргиллитами, ангидритами с прослойками песчаников. Меловые отложения включают погребенные хлоридно-натриевые рассольные воды. На отложениях верхнего мела залегают палеогенные отложения, представленные известняками, глинами, мергелями. Наибольшая мощность этих пластов — 400 м. Местами палеогеновые отложения значительно размыты.

На отложениях палеогена, а в северной части дельты непосредственно на меловых залегают неогеновые отложения. Неогеновые отложения вскрыты до глубины 200 м; на 12 км западнее г. Мары они выходят на поверхность. Неоген представлен континентальными песчаниками, глинами, алевролитами; западнее они сменяются голубовато-серыми алевролитовыми глинами и алевритами с акчагильской фауной.

Четвертичные аллювиальные отложения представлены всеми отделами, они заполняют депрессии в неогене. Нижнечетвертичные слои образованы так называемыми древнемургабскими мелкозернистыми песчаными отложениями (елчилекская, тахтинская свиты). На них залегают более поздние дельтовые аккумуляции.

Дельтовые отложения имеют мощность до 200 м (Роговская, Морозов, 1964). Среди нижних слоев древнедельтовых отложений преобладают глинистые породы, а вверху — песчаные с глинистыми прослойками. Новодельтовые отложения, слагающие верхнюю 35-метровую толщу, представлены супесями, песками, с прослойками суглинков. В целом они имеют более тяжелый механический состав, чем отложения в средней части древней дельты.

Б. А. Федорович и А. С. Кесь (1934) в границах древней дельты выделяют две, а в современной дельте — три террасы-дельты, вложенные одна в другую с общим отклонением на северо-запад. Эти террасы были замечены еще Б. Х. Шлегелем (1912), который приписывал им ирригационное происхождение. Образование более поздних террас-дельт является результатом позднейших тектонических процессов затухающего характера.

Поверхность Мургабской дельты выпуклая и имеет слабый общий уклон (0,0004—0,0006) в северо-западном и северном направлениях. Севернее линии железной дороги дельта разделяется на три разновозрастных части: наиболее молодую — Марыйскую, идущую в северо-западном направлении; Байрам-Алийскую с отакыренной поверхностью земель древнего орошения с восточной стороны и заключенную между ними опесчаненную поверхность Каушутханбентской генерации.

Нижняя пойменная терраса-дельта наиболее молодая и имеет ярко выраженный первичный рельеф с гривистыми повышениями и замкнутыми понижениями меж-

ду ними, остатками старых русел и другими элементами аккумулятивного и аллювиально-эрозионного происхождения. Терраса тянется вдоль русла р. Мургаб неширокой полосой и несколько расширяется только на северо-западной периферии дельты уже за пределами оазиса. Она сложена супесчаными отложениями по гривам с тяжелыми глинистыми аккумуляциями по замкнутым понижениям и покрыта зарослями тугайной растительности.

Марыйская часть дельты занимает северо-западную ее часть; рельеф здесь в значительной мере изменен орошением. Поверхность спланирована и покрыта 30—40-сантиметровым слоем окультуренных отложений, подстилаемых супесью с суглинистыми и глинистыми прослойками красноватого или сизоватого цвета. Почти всюду на глубине 0,5—2 м встречаются горизонты погребенных лугово-болотных и болотных почв.

Территория Каушутханбентской генерации в пределах оазиса имеет следы более древнего орошения, чем территория Марыйской генерации, поверхность которой ниже, чем поверхность первой. Она покрыта 1—1,5-метровым слоем ирригационных отложений. Местами, по понижениям, древние ирригационные отложения размыты и перекрыты более молодыми аллювиальными слоистыми наносами. За пределами границ оазиса поверхность Каушутханбентской генерации сильно нарушена эоловыми процессами, опесчаненная ее часть глубоко языком вдается в оазис (рис. 5).

Байрам-Алийская часть дельты, которую иногда называют Иолотанской, занимает обширную площадь (в ее пределы входят Куйбышевский, Туркмен-Калинский и Байрам-Алийский массивы древнего орошения) и сложена тонкопесчано-суглинистыми отложениями с мелкими прослойками и линзами средне- и тонкозернистого песка. Верхняя толща в 2—3 м, а местами и до 5 м состоит из средне- и тяжелосуглинистых ирригационных отложений, которые в нижней своей части переслаиваются с песчаным и глинистым аллювием. Вдоль древних каналов образованы валы слоистых и слабо перерытых легких отложений — отвалов («рашей») и множество бугров культурных отложений на месте древних поселений. Рельеф вторичный, типично ирригационный. Широкие приканальные повышения чередуются с чашевидными межканальными понижениями.

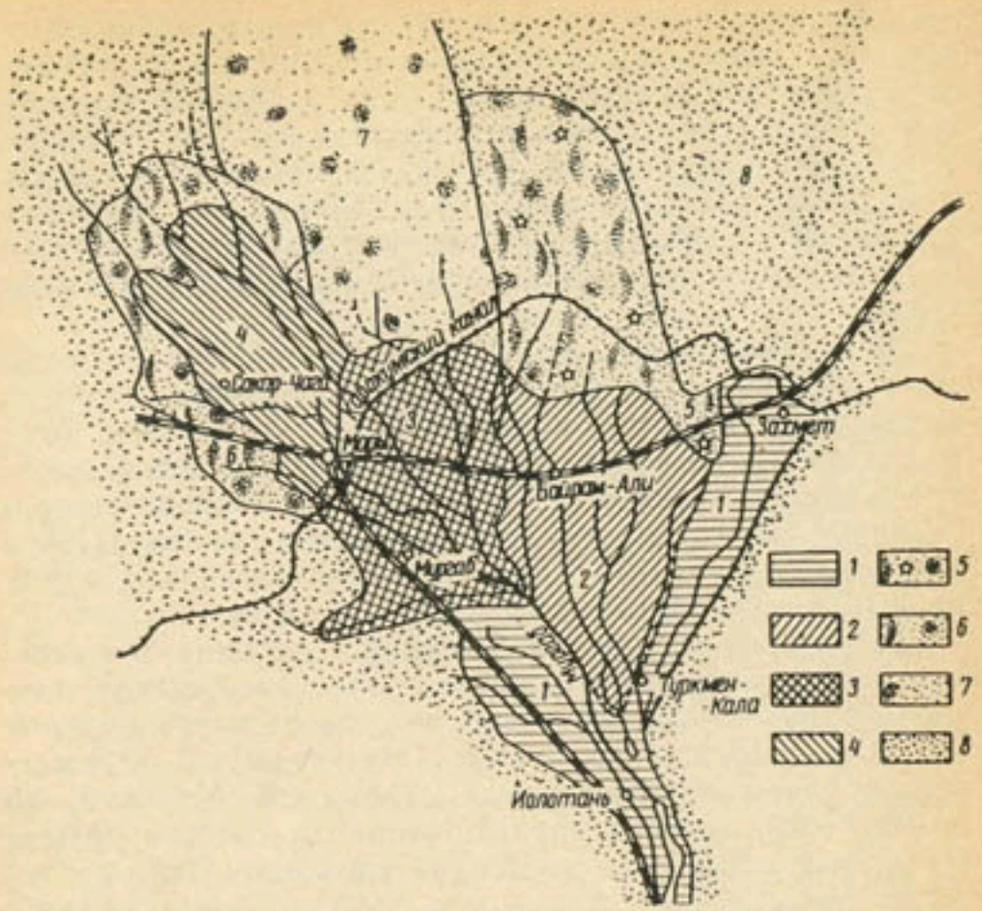


Рис. 5. Схема сухой дельты р. Мургаба:

1—7 — современная; *8* — опесчаненная поверхность древней дельты. Генерации: Байрам-Алийская (Иолотанская, *1, 2, 5*); *1* — верхняя часть; *2* — средняя; *5* — нижняя; Каушутбентская *(3, 7)*; *3* — верхняя часть, освоенная под орошение; *7* — нижняя, опустыненная; Марыйская *(4,6)*; *4* — верхняя часть, освоенная; *6* — нижняя, опустыненная.

Наиболее обширная поверхность IV и V террас-дельт расположена за пределами оазиса. Верхние слои ее сложены песчаными отложениями, которые представляют собой перевеянный древний аллювий. Рельеф эоловый грядово-бугристый с котловинами выдувания и небольшими плоскими понижениями, занятыми такырами. Поверхность песчаных пространств задернована илаком и покрыта редкой кустарниковой растительностью.

В развитии дельты от древнего времени к настоящему отмечается сокращение каждой из последующих ее генераций как по мощности отложений, так и по площади их распространения. При этом отмечается смещение последующих генераций дельты на северо-запад. Это яв-

ление, по-видимому, можно объяснить не только общим затуханием аккумулятивных процессов в связи с уменьшением обводненности, но и медленным тектоническим поднятием в районе Байрам-Алийских и Уч-Аджинских структур.

В числе других изученных оазисов ближе всего к Мургабскому по географическим условиям Хорезмский оазис, расположенный в верхней части дельты р. Амударьи, которая значительно более многоводна, чем Мургаб (рис. 6), отличается стремительным течением и большой кинетической энергией речного потока, что проявляется в частом изменении русла, разрушении почв, переотложении наносов, накоплении песчаных отложений.

Хорезмский оазис характеризуется в общем легким механическим составом слагающих отложений и большой их неоднородностью, слоистостью во всех направлениях. Верхняя почвенная толща отложений отличается несколько более тяжелым составом: песчаным и супесчано-суглинистым по гривам и склонам повышений и глинистым — по депрессиям. В какой-то мере это влияние орошения. Здесь очень ярко выражен гривистый рельеф поверхности, унаследованный от дельтового периода ее формирования и несколько сглаженный из-за орошения во время ирригации, которая в этом месте была не очень продолжительной (по-видимому, начиная со средних веков).

Дельту р. Нил, по В. В. Егорову (1970), можно отнести к приморским поверхностям погружения с относительно стабильным морским краем. Для такого рода дельт характерна относительная постоянность речной сети и малые смещения устьевых зон, поэтому их отложения не отличаются большой пестротой и слоистостью. Аккумуляция крупнозернистых отложений вдоль русел и тонких частиц между ними — по депрессиям,

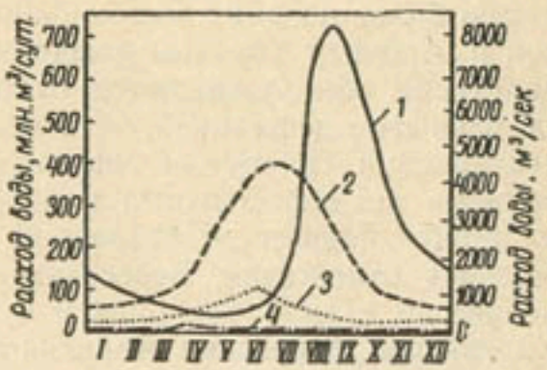


Рис. 6. Сток речных вод:

1 — Нил (Ассуан); *2* — Амударья (Керки); *3* — Сырдарья (Беговат); *4* — Мургаб (Тахта-Базар).

сохраняются во времени примерно на тех же местах. Но в целом отложения обычно состоят из тонких частиц суглинистого и глинистого состава. В дельте Нила большое влияние на литологию оказало орошаемое земледелие, которое насчитывает здесь до 10 тысячелетий. Благодаря господству бассейновой системы орошения поверхность имеет плоско-ячеистый рельеф. Ячейки — орошаемые бассейны расположены вниз по дельте в виде террас, огороженных дамбами. Верхний 10-метровый слой сложен суглинисто-глинистыми агроирригационными отложениями. Вдоль главных русел Розетты и Домиетты механический состав несколько облегчен.

Оазисы в Ливийской пустыне — Фаюм, Харга и др. (Anwar, 1960) — приурочены к глубоким эрозионно-тектоническим депрессиям, которые затем были заполнены озерно-аллювиальными отложениями. В современный период поступление аллювия прекратилось. Оазис Харга орошается артезианскими водами.

В Харгинской депрессии исходные озерно-делювиальные отложения сохранились только на отдельных останцах, обособившихся в результате эолового разрушения окружающей поверхности. Основными факторами формирования современного рельефа являются эоловый и ирригационный, причем последний проявляется весьма своеобразно.

Харгинская депрессия располагается на 200—300 м ниже окружающего пространства Ливийского плато. Депрессия длиной 140 км и шириной 15—35 км имеет в основном тектоническое происхождение, однако в значительной мере окончательный ее облик обязан воздействию более поздних эрозионно-аккумулятивных процессов и главным образом дефляционных. На поверхности депрессии обнаруживаются отложения разного возраста, вскрытые дефляцией, — от нубийских песчаников, известняков и глинистых сланцев мелового и третичного времени до четвертичных и новейших водных, эоловых и ирригационных образований. Примечательна цепь эоловых отложений, пересекающая центральную часть депрессии в виде барханов и бугров. В северной части Харгинской депрессии выделяются останцы из озерно-аллювиальных отложений, отпрепарированные ветром из известняков, песчаников, сланцев и других пород. Имеются понижения, выполненные глинистыми отложениями.

ВСЕСОЮЗНАЯ ОРДЕНА ЛЕНИНА АКАДЕМИЯ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ НАУК ИМЕНИ В. И. ЛЕНИНА

ПОЧВЕННЫЙ ИНСТИТУТ ИМЕНИ В. В. ДОКУЧАЕВА

Н. Г. МИНАШИНА

ОРОШАЕМЫЕ ПОЧВЫ ПУСТЫНИ И ИХ МЕЛИОРАЦИЯ

МОСКВА «КОЛОС» 1974

УДК 631.445.55:626.87

Почвы рассмотрены в генетическом и мелиоративном аспектах как особые образования, обязанные происхождением сложному взаимодействию природных и ирригационно-земледельческих факторов. Анализ почвенного покрова при орошении и в естественных условиях пустыни дан для мелиоративной оценки почв, а также выявления наиболее перспективных для освоения земель. Предложена новая классификация оазисных почв пустыни, раскрыты особенности зонального почвообразования в условиях орошения. Большое внимание уделено происхождению, пространственному распределению и миграции солей в почвах и грунтовых водах в оазисах. Изложены принципы почвенно-мелиоративного районирования оазисных земель и в качестве примера приведено районирование Мургабского оазиса. Рассмотрено влияние Каракумского канала на почвенно-мелиоративные условия земель старого и нового орошения и особенности борьбы с засолением почв на современном этапе ирригационно-мелиоративного строительства.

Книга предназначена для почвоведов, мелиораторов, специалистов по мелиоративной гидрогеологии и орошаемому земледелию. Таблиц 76, иллюстраций 24, библиографических названий 234.

Ответственный редактор
член-корреспондент ВАСХНИЛ
профессор В. В. ЕГОРОВ

М $\frac{40305—166}{035(01)—74}$ 34—74

ПРЕДИСЛОВИЕ

Развитие орошения требует дальнейшей научной разработки эффективных методов мелиорации почв аридной зоны.

Известно, что орошение, особенно при длительно существующих его системах, воздействует на многие природные процессы, в том числе на формирование поверхности Земли и ее почвенного покрова. В текущих и перспективных планах развития орошения в условиях пустынь необходимо учитывать такие последствия хозяйственной деятельности. Это позволит представить, как сложится обстановка в будущем и как нужно организовать хозяйство, чтобы избежать возникновения неблагоприятных процессов, часто сопутствующих орошению в пустыне.

Решению подобных вопросов посвящена настоящая работа. Она основана на обширном материале из области изучения естественных, хозяйственных, социальных и иных последствий орошения, отразившихся на ландшафте, почвах и геохимическом состоянии ряда районов наших пустынь.

Особый интерес представляют сопоставление процессов почвообразования в пустынях разных широт, новые взгляды на тип почвообразования в субтропических пустынях, реликтовый характер их серо-бурых почв, иная, чем предполагалось ранее, направленность в них процессов выветривания и почвообразования в современных условиях. Имеет большое значение также анализ процессов почвообразования на орошаемых землях в культурных ландшафтах.

В работе дана оригинальная, хорошо обоснованная классификация орошаемых почв. При ее разработке были учтены давность орошения, воздействие хозяйственной деятельности в разные эпохи, состояние водного и солевого режимов, в том числе при разном влиянии грунтовых вод, и т. п.

Анализ явлений и выводы основаны на большом фактическом материале, полученном в результате многолетних личных исследований автора. Материал был собран в зоне Каракумского канала (Мургабский оазис), в Хорезме и некоторых оазисах Египта.

Учет некоторых процессов, свойственных тропическим пустыням, во многом обогатил общие концепции, изложенные в книге, позволил найти место и учесть генетические особенности почв Среднеазиатских пустынь, установить тенденции их рационального использования.

В. Егоров

ГЛАВА I

ИЗ ИСТОРИИ ОРОШАЕМОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ И БОРЬБЫ С ЗАСОЛЕНИЕМ ПОЧВ

Условия зарождения и распространения орошаемого земледелия. До недавнего времени было принято считать центрами наиболее древней земледельческой культуры Месопотамскую и Нильскую долины. Н. И. Вавилов (1926, 1965), изучая происхождение культурных растений, установил, что цивилизация, возникшая в долинах крупных рек, имеет значительно более длительную предысторию, чем это принято считать; начало земледелия восходит ко времени, предшествующему периоду, когда люди совместными усилиями стали строить плотины, дамбы и крупные каналы.

Земледелие зародилось в горных и предгорных районах и было вначале богарным. Позже человек стал использовать для полива воду небольших ручьев и горных рек. Постепенно он спустился в долины и дельты крупных рек, где со временем и развились древние цивилизации.

Два из семи существующих на земном шаре автономных центра происхождения культурных растений совпадают с областями локализации древнейших земледельческих культур.

1. Юго-западно-азиатский центр включает Турцию (Анатолия), Иран, Афганистан, страны Средней Азии, Северо-Западную Индию, а также территорию Кавказа. Эти районы дали 14% видов культурных растений от всей мировой культурной флоры. Отсюда происходят многие виды европейских культур хлебных злаков (рожь, пшеница, ячмень), зернобобовых, почти все плодовые культуры и виноград.

2. Средиземноморский центр включает страны по берегам Средиземного моря. Отсюда происходят 11% культурных видов растений, в их числе маслина, рожковое дерево и многие другие широко распространенные овощные и кормовые культуры.

Установлено наличие длительного доисторического периода развития и взаимного влияния культур Средней Азии и Ближнего Востока уже в каменном веке (Массон, 1964).

Материалы палеоклиматических, палеогеографических и археологических исследований дают основание отнести время зарождения орошаемого земледелия к VIII—VI тысячелетиям до н. э., когда в Северной Африке и на Ближнем Востоке наблюдалось повсеместное усиление засушливости климата.

Период V—IV тысячелетий до н. э. характеризовался более влажным и теплым климатом. Усилилось обводнение уади, повысился уровень озер и грунтовых вод. Оживление человеческой деятельности в Сахаре наблюдалось главным образом в несколько приподнятых («гористых») районах или вдоль рек и озер. Только ядро Ливийской пустыни оставалось таким же безжизненным, как и в настоящее время (Butzer, 1961).

Имеются доказательства большей влажности этого периода и для Средней Азии (Герасимов, 1937, 1969; Виноградов, Мамедов, Степанов, 1969).

Озера ныне с сильно минерализованной водой (Денгиз-Куль, Тузкане) в IV тысячелетии до н. э. были пресными, в них обитали пресноводные рыбы, а на берегах обнаружены стоянки первобытных племен. Энеолитические поселения обнаружены также в южных Кызылкумах в районе озера Лявлякен, в прошлом пресного, а ныне с минерализацией вод 240 г/л (Виноградов, Мамедов, Степанов, 1969).

Опыт управления поверхностными водами, накопленный к энеолитическому времени, способствовал распространению земледельческих культур на равнинные пространства в долинах крупных рек и заложению основы для Месопотамской (Ниневия, Шумер, Акад) и Египетской цивилизаций, что совпадает с периодом некоторого увлажнения климата.

История развития ирригации в Средней Азии до недавнего времени оставалась менее изученной, чем для Египта и Месопотамии, но в последние годы интерес к этим вопросам возрос (Гулямов, 1967; Толстов, 1948; Андрианов, 1969; Массон, 1959, 1964; Лисицина, 1968, и др.). Особенно интересна в этом отношении монография Б. В. Андрианова (1969), где наиболее полно изложена история орошения в Приаралье и дан обзор литературы по всем крупнейшим очагам орошаемого земледелия.

Стадии развития орошаемого земледелия. Характер влияния орошения на почвы менялся по мере развития орошаемого земледелия. Изменения водозаборных средств, ирригационной и распределительной сети, техники полива, возделывания и удобрения почв — все это находило отражение в поступлении и распределении ирригационных наносов, механическом и агрегатном составе почв, водном, солевом и биохимическом их режиме.

В развитии орошаемого земледелия можно выделить следующие крупные стадии: 1) примитивное болотно-луговое земледелие, 2) нерегулярное (лиманное, архаичное) орошение, 3) регулярное бассейновое орошение, 4) постоянное (правильное) орошение (Букинич, 1924; Андрианов, 1969).

Стадия современного орошения должна быть выделена особо, как пятая стадия автоматизированного, интенсивного орошения при высоком применении в земледелии химических удобрений и ядов.

Примитивное орошение. Примитивное орошение — зачаточная стадия развития орошаемого земледелия, когда человек пассивно использовал дополнительное природное увлажнение земель водами поверхностных разливов. Время зарождения примитивного орошения относится к началу неолита. Интересно заметить, что именно к этому времени относится наибольшая аридность климата, который был более влажным в период палеолита.

С усилением аридности климата мелкие реки пересыхали и границы областей, естественно обеспечивающих благоприятные условия местообитания человека, смещались в сторону долин и дельт крупных рек с большим поверхностным стоком. Здесь условия для земледелия были более трудными, так как требовали управления мощными паводковыми потоками, и человек изобрел сначала способы сброса поверхностных вод, затем орошения.

Эта форма использования земель знаменует начало нового периода в развитии человеческой культуры, который приходится на начало неолита. В дальнейшем климат становится несколько гумиднее, повышается обводненность территории, расширяется ареал природно-

обводненных земель. Именно в это время начинается наиболее широкое расселение и распространение поселений человека в зоне субтропического, ныне пустынного, климата. Неолитические стоянки первобытного человека были обнаружены в районах пустынь, ныне недоступных для постоянного обитания из-за безводности и засоленности почв. В числе этих мест окрестности среднеазиатских озер, окруженных солончаками и заполненных солеными водами (Тузкане, Денгиз-Куль, Лявлякен и др.).

В период примитивного земледелия поступление воды полностью определялось стихийностью природных разливов.

При примитивном орошении не могли быть использованы глубокие бессточные понижения с озерно-болотными почвами. Использовались более мелкие понижения между гривами с лугово-болотными и луговыми почвами, обеспеченные естественным стоком. Растениеводство в это время имело подсобный характер.

Нерегулярное орошение. Земледелие к энеолитическому времени приобретает большее значение в жизни человечества, о чем свидетельствуют многочисленные археологические исследования в Египте, Месопотамии, Южной Туркмении и других местах (Савельева, 1962; Массон, 1959, 1964; Андрианов, 1969; Лисицына, 1969). Появляются оседло земледельческие культуры. Наблюдая за природой, человек накопил опыт, который позволял ему регулировать поверхностный сток паводковых вод, вначале путем сооружения простейшего дренажа для сброса вод, а потом, в энеолитическое время, сооружения водоподводящих каналов и дамб. Время, когда человек начал искусственно регулировать режим увлажнения почв с помощью валиков и дренажных протоков, может считаться началом настоящей культуры орошаемого земледелия. Появился стимул для длительного использования одних и тех же участков, чтобы не сооружать заново водоподводящие устройства. Появилась необходимость улучшать микрорельеф, поддерживать протоки в рабочем состоянии, очищать их от ила. При многолетнем орошении на полях накапливались ирригационные отложения, что уже позволяет использовать для выявления районов древнего орошения почвенно-археологический метод. Однако орошение все еще не носило регулярного характера, не было сети, которая

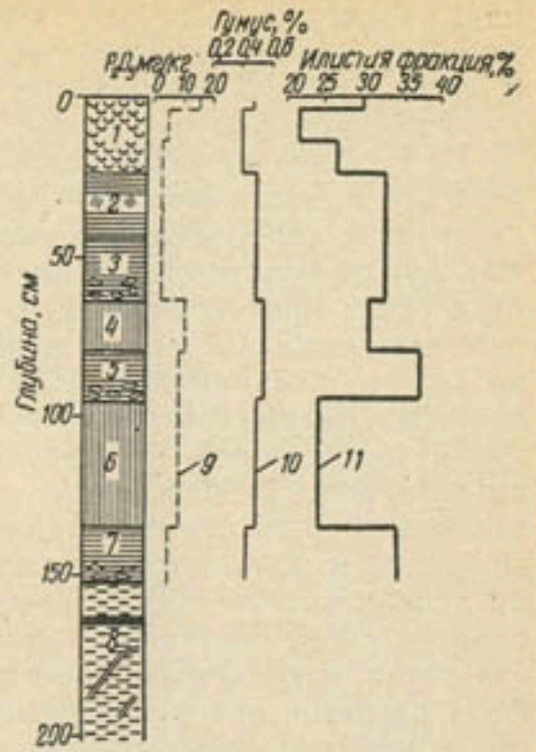


Рис. 1. Профиль геоксюрской почвы и распределение гумуса, подвижного фосфора и ила:

1 — современная такыровая почва; *2* — глинистые слабонарушенные отложения; *3, 6, 7* — слабосформированные лугово-болотные почвы с сизыми пятнами; *4, 5* — окультуренные лугово-болотные почвы; *8* — аллювиальные преимущественно супесчаные отложения, слабоизмененные почвообразованием; *9* — подвижные соединения фосфора (P_2O_5); *10* — гумус; *11* — илистая фракция (0,001 мм).

Штриховка обозначает механический состав (описание в тексте).

обеспечивала бы забор воды при разных условиях стока, хотя зачатки такой сети уже имелись в виде коротких водоподводящих канав, валиков на пути стока вод и дренажных протоков для сброса вод с орошаемых участков. Однако сильные паводки все эти сооружения разрушали, и орошение прерывалось, и люди иногда были вынуждены переходить на другие участки. Этот период приходится на конец V, на IV и начало III тысячелетия до н. э.

Развалины оседлых древнеземледельческих поселений IV и III тысячелетий до н. э. обнаружены археологами в районе станции Геоксюр (междуречье Мургаба и Теджена), где Лисицыной (1969) была изучена древняя ирригационная сеть, сооружение которой, по археологическим данным, датировано первой половиной III тыс. до н. э.

В Геоксюрском оазисе автором было исследовано строение верхней толщи отложений по траншеям, вскрывшим погребенные русла древних каналов. Были обнаружены два погребенных слоя окультуренных почв (рис. 1). Оказалось, что они относятся к более древнему периоду, чем сооружения ирригационной сети. Русла ка-

налов были врезаны в эти отложения (Минашина, 1969). Характеристика этих древних слоев орошавшихся почв и заключение об условиях их формирования носят следующий характер.

На глубине 136—152 см от современной поверхности залегает компактная глина, в нижней части горизонта интенсивно оглеенная, что свидетельствует об анаэробных лугово-болотных условиях и былой обогащенности этих слоев органическим веществом. Почти полное отсутствие песка и крупной пыли в этой глине указывает на то, что она накопилась вдали от русла в условиях дельтово-озерных разливов, которые занимали наиболее низкие места вновь формирующегося дельтово-аллювиального рельефа. Обсыхание поверхности, может быть, ускоренное искусственным путем, сопровождалось формированием почв лугово-болотного типа. Эта почва стала использоваться под посевы, обрабатывалась; для полива здесь применяли метод затопления. По существу это была искусственно регулируемая лугово-болотная фаза развития почвы. Она существовала очень длительно, о чем свидетельствует мощный слой окультуренной почвы, которая обнаружена на глубине 95—136 см. Накопление наносов такого состава вряд ли могло превышать в среднем 0,5 мм в год, то есть время продолжительности орошения определяется периодом не менее 800 лет. Для орошения могла использоваться очень простая система подачи и сброса избытка паводковых вод. О том, что был сброс, свидетельствует уменьшение содержания частиц $<0{,}001$ мм в составе окультуренных слоев в сравнении с природными наилками того же района. Орошение могло периодически ненадолго прерываться. Следы длительного перерыва в связи с затоплением обнаруживаются выше в виде глинистого наилка, не переработанного почвообразованием (глубина 80—95 см). Орошение по каким-то причинам прекратилось раньше, чем была затоплена почва. Об этом свидетельствуют следы процессов пустынного преобразования, обнаруженного на поверхности погребенного окультуренного слоя, обильные ходы термитов, которые обычно обнаруживаются на обсыхающих и опустынивающихся почвах такырового типа. Возможно, что нарушение в поступлении стока произошло вследствие естественных причин изменения русел протоков или наступления ряда более засушливых лет.

Вновь образованный глинистый наилок на опустынивающейся поверхности мог быть результатом искусственного затопления. После чего орошение продолжалось, очевидно, теми же способами, но было уже менее длительным. Мощность верхнего окультуренного слоя небольшая — около 16 см. Позже поверхность поля была снова затоплена, в процессе чего накопился глинистый слой, обнаруженный на глубине 44—60 см, который не показывает присущей окультуренным слоям почвы однородности и переработанности.

Можно сделать следующий вывод:

1) образование окультуренных слоев началось на месте формирования повышенно увлажненных (болотных) почв, чему должно было предшествовать искусственное осушение, организация сброса избытка поверхностных вод;

2) окультуренные слои формировались в условиях болотно-лугового режима, то есть для этого могли быть использованы понижения, затоплявшиеся природным путем, где искусственно ускорялся сброс поверхностных вод. Для этого строили и поддерживали в рабочем состоянии дренажные канавы. Конечно, длительное использование этих почв было бы невозможным, если не поддерживалась бы искусственно и водоподводящая сеть;

3) регулирование увлажнения почв, их обработка и длительная оседлая культура свидетельствуют о накопленном опыте, которому должны были предшествовать несколько тысячелетий развития более примитивных форм земледелия.

Окультуренные слои почв нерегулярного периода орошения обнаружены и в других оазисах Средней Азии. Б. В. Андрианов, Н. И. Базилевич и Л. Е. Родин (1957) описали такие почвы в дельте Амударьи, но там этот период датирован серединой II тысячелетия и началом первого тысячелетия до н. э.

Автором изучены окультуренные почвы на озерно-дельтовых отложениях в низовьях Байрам-Алийской части дельты, где, по данным В. М. Массона, орошаемое земледелие существовало в первой половине II тысячелетия до н. э. и затем было заброшено в связи с опустыниванием территории, что подтверждается и почвенными данными. Кроме того, в районе крепости Чильбурдж и Султан-Кала (Байрам-Алийская часть Мургабской

дельты) обнаружены на глубине 5—6,5 м от поверхности прерывистые окультуренные древние почвы с мощностью ирригационных отложений от 10 до 40 см, погребенные под аллювием, выше которого сформировался 2—3-метровый слой античных и раннесредневековых агроирригационных отложений. По нашим подсчетам, время формирования прерывистых окультуренных слоев, образовавшихся при нерегулярном орошении, относится к IV—III тысячелетию до н. э. (Минашина, 1962).

Период нерегулярного орошения на Мургабской дельте, судя по прерывистым окультуренным слоям и перемежающимся с ними аллювиально-озерным отложениям, длился около 2,5 тысячи лет.

Характер и мощность окультуренных слоев периода нерегулярного орошения в бассейнах разных рек и в разных геоморфологических условиях неодинаковы, в их формировании принимали участие факторы, связанные с естественным режимом паводков. В Геоксюрском оазисе окультуренные слои более однородны и имеют большую мощность непрерывного накопления, что является следствием большего удаления оазиса от главного русла реки. До этого оазиса доходила лишь небольшая часть паводковых вод, а может быть основным источником увлажнения были делювиальные воды с подгорной равнины, что можно предположить с большой вероятностью, учитывая повышенную водность Неолитического периода. Орошение здесь не испытывало таких частых нарушений, которые наблюдались на аллювиальных равнинах Мургаба и более крупных рек.

На стадии нерегулярного орошения на аллювиальных равнинах больших рек приходилось чаще оставлять освоенные земли из-за сильного затопления или разрушения регулирующих устройств паводком. В долинах более крупных рек (Тигр, Евфрат, Амударья) было еще труднее обеспечивать орошение из-за большой разрушительной силы паводков (Андрианов, 1969). Поэтому орошаемое земледелие стадии нерегулярного орошения было приурочено в основном к бассейнам небольших рек.

Регулярное бассейновое орошение. Более совершенный — бассейновый способ орошения пришел на смену нерегулярному орошению в долинах и дельтах раньше, чем на других территориях, орошаемых

местным стоком пролювиальных и делювиальных вод, где развивался и совершенствовался лиманный способ орошения.

Наиболее совершенное развитие бассейновое орошение получило в дельте Нила. Уже во времена раннего царства там имелись оросительные каналы, плотины и дамбы (Савельева, 1962). В дельте Нила бассейновое орошение было господствующим до 1840 г., а в Верхнем Египте и Судане местами сохранилось и до настоящего времени.

Бассейновое орошение основано на регулировании орошения паводковыми водами. Например, в дельте Нила в период разлива во́ды равномерно распределялись по бассейнам, имеющим площадь около 2 тыс. га и расположенным по всей орошаемой территории, для сооружения которых перпендикулярно руслам рек и каналам воздвигали плотины и дамбы, в свою очередь делившиеся на более мелкие квадраты, окруженные валами. Поверхность почв в бассейнах покрывалась слоем воды от 1 до 2 м. Вся территория дельты в паводок превращалась в сплошное море, и только поселения, сооруженные на холмах и насыпях, оставались на суше. Часть земель на более высоких уровнях не затоплялась водой и для их полива использовали водоподъемные устройства типа шадуфа, сакии, чигиря. На таких землях возделывали виноградники.

Воды в паводок стояли на полях 40—60 дней, осветлялись, впитывались и профильтровывались. Остатки осветленных вод с наиболее тонкодисперсными частицами сбрасывались по дренажным протокам в реки и море. Затем производился посев культур (зерновых, овощных, трав), которые убирались в начале лета. В летние месяцы почва оставалась под паром («шараки»). За период парования почва иссушалась, подвергалась сильному термическому воздействию солнца и крошилась. Постоянное обогащение почвы илом, интенсивные промывки в паводок и сильное обезвоживание и стерилизация под солнечными лучами обеспечивали получение высоких урожаев на протяжении многих тысячелетий без радикальных мер мелиорации. Однако при этом земли на протяжении двух третей года пустовали (Ярилов, 1937).

Бассейновый способ орошения в дельте Нила с середины XIX в. стал уступать место постоянному орошению

из постоянно действующей ирригационной сети, что позволяло собирать по три урожая.

Регулярное орошение из постоянно действующей ирригационной сети. Бассейновый способ орошения более всего соответствовал природным условиям долины и дельты Нила со спокойными разливами, постепенным спадом паводковых вод, глинистым составом наносов, поэтому дольше всего этот способ сохранялся в Египте. В бассейнах других рек он раньше уступил место более совершенным способам забора и распределения вод.

Постоянное орошение из развитой ирригационной сети было возможно при сооружении более сложных гидротехнических устройств для забора воды из реки, регулирования стока и распределения вод на орошаемых землях с более разнообразным рельефом. Этот способ орошения обеспечивал поливной водой земледельцев не только в паводковый период, но и на протяжении всей вегетации растений. В ряде мест для этого требовалось сооружать высокие плотины и водохранилища, разветвленную ирригационную сеть.

Характер стока среднеазиатских рек снегового и ледникового питания, имеющих большую скорость потока и высокую мутность вод в паводок, менее соответствовал требованиям бассейновой системы орошения. В этом отношении среднеазиатские условия ближе к условиям Двуречья (Месопотамия). Орошение в Двуречье, начавшись еще во времена убедийской культуры (VI—V тысячелетие до н. э.) с болотной стадии примитивного орошения, быстрее прошло бассейновую стадию и уступило место более развитой ирригационной системе на базе дамб, плотин и сложной ирригационной сети. Непостоянство стока и непрерывные гидрографические изменения требовали напряженной работы по сооружению и поддержанию ирригационной сети (Якобсон и Адамс, 1958).

Основное направление в развитии месопотамской ирригации — это совершенствование систем, основанных на магистральных каналах. Во времена шумерийской культуры уже существовали магистральные каналы шириной от 10 до 30 м. Уже в III тысячелетии до н. э. использовались для орошения высоких поверхностей черпальные сосуды и ручные водоподъемные сооружения типа шадуфа (Андрианов, 1969).

В шумерийское и вавилонское время был налажен учет урожаев, а также качества орошаемых земель (как это известно из записей на глиняных табличках). Выделялись хорошие, переувлажненные, засоленные, болотные, засоренные и переложные земли. Первое упоминание о вторичном засолении орошаемых земель обнаружено в письменных источниках, относящихся к середине III тысячелетия до н. э., где говорилось, что народы Шумера постигло большое бедствие: орошаемые земли покрылись белой коркой солей и стали бесплодными. Земли пришлось покинуть и перейти на новые, более высокие.

Другой период массового распространения вторичного засоления в Месопотамской долине относится к середине I тысячелетия до н. э., что также было зафиксировано в письменных документах.

Археологическими исследованиями, в которых принимали участие почвоведы и агрономы, установлено, что с увеличением засоления земель в Месопотамской долине происходило изменение состава культур и снижение урожая. Все меньшую площадь занимала пшеница, в то время как площади более солевыносливого ячменя росли.

В настоящее время почвы долины Тигра и Евфрата сильно засолены. Орошаемое земледелие приняло экстенсивные формы и имеет кочевой переложный характер.

На значительной части территории урожай можно получить только в зимнее время, после интенсивных промывок и на фоне опустившегося за лето уровня грунтовых вод.

Стадия интенсивного автоматизированного орошения. Развитию этой стадии способствовал высокий уровень индустрии в ирригационно-мелиоративном строительстве и научная разработка основ регулирования солевого режима и плодородия орошаемых почв. Ирригационная сеть имеет бетонное покрытие, а местами заключена в напорные трубопроводы; сооружаются закрытые дренажные системы; закладываются основы для «субирригации»; разрабатываются телеавтоматические установки, контролирующие распределение воды, которые при наличии датчиков на орошаемых землях автоматически регулируют полив и увлажнение почв на оптимальном уровне. Широкое развитие получает

применение дождевальных аппаратов, разрабатывается капельный способ орошения.

Наряду с широким развитием новой техники орошения и в настоящее время встречаются почти все старые формы орошения.

Развитие орошения в Мургабском оазисе. Особенности развития орошения в Мургабском оазисе во многом определены своеобразными условиями формирования территорий сухой дельты. Река Мургаб питается снеговыми и дождевыми водами и характеризуется очень непостоянным стоком. Основная масса воды проходит за очень короткое время в весенний паводок, летом сток уменьшается в 10 раз и более. Для развития постоянного орошения требуется регулирование речного стока.

Следы нерегулярного орошения обнаружены в северной периферии Мургабской дельты, где, по сведениям археологов (Массон, 1959), были поселения земледельцев бронзового века.

В погребенном состоянии следы нерегулярного орошения сохранились и в более южных районах центральной части Байрам-Алийской дельты, где, по нашим подсчетам, орошение применялось на тысячу лет раньше, чем в северной периферии дельты.

Бассейновая система орошения в дельте Мургаба достигла своего совершенства в раннеантичное время, сохранялась и в позднеантичное время и в раннем средневековье. Остатки бассейновой оросительной системы можно было видеть на северо-востоке и на востоке Байрам-Алийского массива вплоть до пуска Каракумского канала. Ее влияние на рельеф и почвы можно обнаружить на всей Байрам-Алийской части дельты (рис. 2).

Орошаемые поля имели прямоугольные или близкие конфигурации по границам бассейнов и перпендикулярное сочленение соподчиненных звеньев ирригационной сети, которая проходила по заградительным валам и дамбам. В весенний паводок воды разливались по искусственным бассейнам.

Такая система орошения предполагает наличие дренажного сброса избытка поверхностных вод. Не исключено, что обнаруживаемые ныне русла на более северных запесчаненных землях представляют собой остатки древних коллекторов.

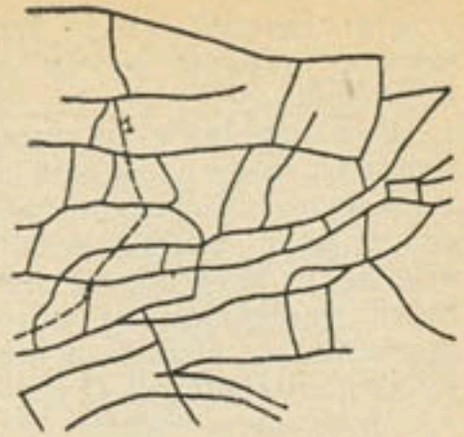


Рис. 2. Остатки ирригационной сети и заградительных дамб бассейновой системы орошения:
I — северная часть главобитной стены вокруг Гяур-Калы.

После обильного увлажнения почв в весенний паводок можно было получить урожаи зерновых, бахчевых культур и однолетних трав без дополнительного полива в вегетацию. Виноградники и культуры с длинным вегетационным периодом поливали дополнительно летом.

Если в долинах и дельтах рек с более мощным и стремительным стоком паводковых вод (Амударья, Тигр, Евфрат) бассейновая система не могла получить широкого распространения, то на Мургабской дельте она использовалась очень долго и приобрела здесь ряд особенностей, отличавших ее от классических античных ирригационных систем других центров орошаемого земледелия. Это прежде всего распределение ирригационных наносов.

Недостатком античных ирригационных систем было их быстрое и сильное заиление. На поля попадали глинистые частицы и тонкая пыль, остальная часть наносов оседала в сети. Для дельты Нила дифференциация наносов не имела большого значения, так как нильские наносы исключительно глинистые. В водах же среднеазиатских рек до 60—80% общей массы наносов составляет песок и крупная пыль. Бассейновая система орошения на Мургабе базировалась на регулирующих сток водохранилищах, где осаждался песок. Общая мощность бассейновых агроирригационных отложений редко выходит за пределы 60—80 см, они имеют глинистый состав. Археологами (Массон, 1957) установлено, что в середине I тысячелетия до н. э. на Мургабе существовали плотина и водохранилище. В IV в. до н. э. греки были восхищены высоким искусством орошения и земле-

делия жителей этого оазиса, известного под названием Маргианы, о чем остались записи Геродота и Страбона.

В дальнейшем развитие ирригационной сети было направлено на более полное использование речной воды и на пропуск бóльшего количества ирригационных наносов на поля, чтобы уменьшить заиление каналов. В этом отношении мургабские ирригаторы были очень искусными мастерами; их искусство было высоко оценено пришедшими в оазис арабами (VII в.), которые многое у них заимствовали (Бартольд, 1914).

Агроирригационные глинистые отложения постепенно, а местами и с перерывами, переходят в тяжелосуглинистые отложения раннего средневековья. Античная ирригационная система с ее перпендикулярно-коленчатыми отводами-распределителями развивалась в более сложную и с большим числом звеньев древовидно-ветвистую ирригационную сеть, при которой меньше заилялись русла, увеличивался пропуск воды при меньшем сечении русел каналов (рис. 3).

Наибольшего расцвета орошаемое земледелие в оазисе достигает в IX—X вв. Подробное описание системы ирригации этого времени имеется в сообщениях географа X в. Макдиси.

Виноградарство, производство пшеницы, ячменя, бахчеводство развивалось здесь с античного времени, затем появляется шелководство и хлопководство. В раннем средневековье в Мервском (Мургабском) оазисе выращивался отличный сорт хлопка Мерви, вывозившийся в разные страны.

Совершенствование ирригационной сети позволяло расширить орошаемые площади и орошать территорию с более сложным рельефом. Орошение занимает постепенно все бóльшую площадь. Оно распространяется на среднюю и верхнюю часть Мургабской дельты, где переходит на левый берег (ныне Куйбышевский массив); осталась неосвоенной только Марыйская часть дельты. Но с общим расширением орошаемых площадей на юго-западе наблюдается и отступление границы оазиса в северной и северо-восточной его части. Археологи (Бартольд, 1914; Массон, 1957) объясняли это тем, что вышерасположенные земли захватывались феодалами, и бедные люди в низовьях лишались воды и в результате покидали свои селения и переселялись ближе к верховьям. Однако, на наш взгляд, это объяснение не до конца вскрывает главную причину запустения низовий оазиса. Основной причиной, по-видимому, было засоление почв, которое больше всего проявилось и нарастало в низовьях.

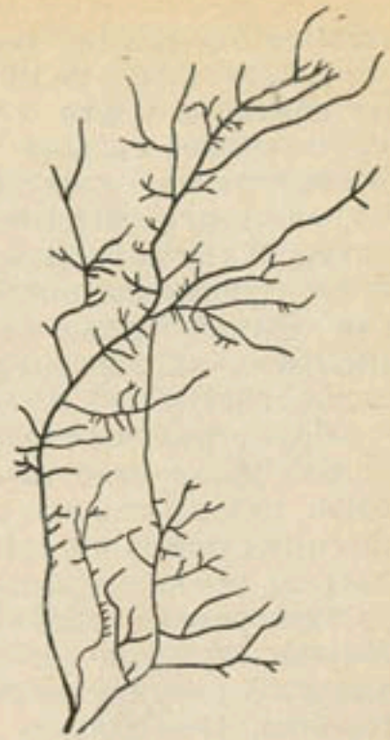


Рис. 3. Фрагмент позднесредневековой оросительной системы в северной части Куйбышевского массива.

Развитие орошения, связанное с заменой бассейнового полива более совершенной системой распределения воды по разветвленной и постоянной ирригационной сети, приводило к изменению солевого баланса орошавшихся почв. Почва при бассейновой системе больше промывалась от солей в период паводка, общая протяженность ирригационной сети на единицу орошавшейся площади была значительно меньше, снижались и потери оросительных вод, грунтовые воды стояли более глубоко. На землях бассейнового орошения не заметно следов длительного высокого стояния грунтовых вод, если не считать отдельных глубоких депрессий. После основного влагозарядкового полива подача воды резко сокращалась и уровень грунтовой воды падал до следующего паводка. На землях раннего средневекового орошения в профиле почв очень часто можно видеть границу длительного высокого стояния уровня грунтовых вод по оглеению в толще агроирригационных отложений.

Таким образом, причиной перемещения орошения вверх по дельте скорее всего было ухудшение мелиоративных условий в низовьях оросительных систем. Это явление имеет более общий характер для всех долин и дельт аридных стран (Ковда, Минашина, 1967).

Конец X и начало XI в. для Хорасана (в состав которого входил Мервский оазис) характеризуются ухудшением состояния ирригационной сети (по всей вероятности, из-за междоусобиц и войн). В XI—XII вв. оро-

шаемое земледелие несколько оживилось, вновь стала совершенствоваться ирригационная сеть, была построена каменная плотина Султан-Бент и Султан-Ябская оросительная система. В описаниях Самани говорится о сооружении водоподъемных колес, что вполне понятно, так как переход орошения на более высокие земли затруднял самотечную подачу воды. Вместе с тем в этом литературном источнике говорилось и о запустении многих селений Мерва, большая часть которых была расположена на окраинах оазиса, на краю песков (Бартольд, 1914).

Во второй половине XII в. орошаемое земледелие сильно пострадало в результате жестоких феодальных войн: ряд земель приходит в запустение. Еще сильнее были нарушены ирригационная сеть и плотина в начале XIII в. во время монгольского нашествия. Нерегулируемые речные воды устремились на низкие земли Марыйской части дельты. Ранее орошавшиеся земли по западной окраине оазиса частично были размыты и затоплены. Очевидно, в это время русло Мургаба было углублено в верхней части дельты и один из ее протоков в северо-западном направлении стал основным руслом. Таким образом, вся древняя ирригационная система на более высоких землях лишилась источника воды, и орошаемое земледелие переместилось на более низкие земли — в центральную часть дельты — между Мервским оазисом и болотами новой марыйской генерации дельты.

В XIV в. старая оросительная сеть восстанавливается, предпринимаются попытки сооружения новых каналов. Орошение, по данным археологов, было в основном в верхней и средней части Мургабской дельты, что должно было способствовать развитию и совершенствованию чигирного орошения. Некоторые названия селениям, расположенным на ныне Куйбышевском массиве, давали по количеству чигирей (Джумаев, 1954).

Во время междоусобных войн между Хивой, Бухарой, Ираном за Мургабский оазис плотина и ирригационная сеть несколько раз разрушались и снова восстанавливались, однако орошаемое земледелие в позднесредневековое время не распространялось севернее древних столиц Мервского оазиса (Гяур-Кала, Султан-Кала).

В период действия развитой ирригационной сети в раннее и позднее средневековое время сформировалась мощная толща (1,5—2 м) агроирригационных отложений на Южно-Байрам-Алийском и Куйбышевском массивах. Эти отложения отличаются большой дифференциацией по механическому составу: от супесчано-песчаных — вдоль ирригационной сети, суглинистых — по склонам до тяжелосуглинистых и глинистых — по понижениям между каналами. В это же время окончательно оформился ирригационный чашевидный рельеф, столь характерный для древних орошаемых массивов. Такой рельеф обнаруживается на всей Байрам-Алийской части дельты, на левобережной части в пределах Куйбышевского массива и в Центральной части дельты, составляющей широкую переходную полосу от Байрам-Алийского и Куйбышевского массивов к Марыйской более молодой части дельты.

В XVIII в., с приходом с севера на земли запустевшего Мургабского оазиса кочевых туркменских племен, которые частично вытеснили, а частично ассимилировали остатки хорасанского населения, характер орошаемого земледелия изменился. На реке был сооружен ряд фашинных плотин для подпора воды (Каушутбентская, Ханбентская, Эгригузарская, Кызыклыкбентская), которые часто разрушались в паводок (Барц, 1910). Орошались небольшие площади в Иолотанском оазисе (левый берег Мургаба) и земли ниже Каушутханбента. Земли древнего орошения были в запустении. Впоследствии они вошли в состав Мургабского царского имения (1887 г.). Культура орошения у туркмен была на низком уровне. В понижениях образовалось множество озер и болот. Большая часть этих болот поддерживалась текинцами искусственно. Из этих болот брали начало небольшие искусственные каналы (Барц, 1910). Озера служили своего рода запасными резервуарами оросительной воды, которая использовалась в маловодные периоды.

Мелиоративное состояние орошавшихся земель было плохим. Заболачиванию земель сопутствовало засоление. В результате население было вынуждено через каждые три года забрасывать орошаемые поля и переходить на новые участки. Земледелие приняло экстенсивный кочевой характер, последствия которого не изжиты по сей день. Кочевому орошению благоприятствовали большие земельные просторы. Поэтому в числе главных мер упорядочения орошения Э. Ф. Барц считал необходимым наладить организацию учета орошаемых площадей и

контроль за их использованием, так как правильное водопользование возможно лишь там, где точно известна площадь, подлежащая орошению.

Кочевое орошаемое земледелие внесло свои изменения в ирригационный ландшафт, что проявилось в распространении большого количества внутриоазисных озер и болот; значительно усложнился микрорельеф, распределение ирригационных наносов стало тоже менее упорядоченным. Выбирая небольшие участки для орошения на территории подкомандной примитивной ирригационной сети, строили временные оросители, при этом большие площади, уровень которых оказывался выше командования каналов и оросителей, оставались неорошенными.

Если древнее хорасанское земледелие было связано с применением большого количества удобрений, компостов, навоза, выветрелой дувальной земли, то при кочевом орошаемом земледелии такого интенсивного применения удобрений уже не могло быть. Все сооружения вплоть до жилищ имели временный характер. Совершенствование ирригации велось в направлении увеличения маневренности в размещении орошаемых участков. Был найден новый способ полива — джоячный. При этом конфигурация и ориентация поливных участков могла быть очень разнообразной и не требовалось тщательного проведения планировок. Местами сохранялись и старые способы более интенсивного использования земель, но площадь их была небольшой.

Кочевое орошаемое земледелие с точки зрения воздействия на мелиоративные условия должно быть оценено отрицательно. Не было единой службы, которая заботилась бы о всех системах орошения в зоне оазиса в целом. Это привело к усилению пестроты микрорельефа, засолению и заболачиванию почв. Хотя там имелись и некоторые оригинальные элементы (например, джоячный полив, оригинальные способы забора воды).

В первые годы Советской власти было произведено коренное улучшение водо- и землепользования и взят курс на развитие интенсивного орошаемого земледелия. В 1918 г. наряду с разработкой проблемы освоения новых земель, шла перестройка структуры посевов на старо-орошаемых землях для более широкого возделывания хлопчатника. Были реконструированы старые ирригационные системы и поливные карты, стали решаться

проблемы механизации и химизации хлопководства. Хлопчатник приобрел ведущее положение в орошаемом земледелии Среднеазиатских республик. Снова встала проблема борьбы с засолением, приступили к исследованиям причин вторичного засоления орошаемых почв. Важное значение придавалось изучению дренажа в регулировании солевого режима; были заложены опытные дренажные системы.

Вопрос оказался сложным, а знания почвенных процессов недостаточными. Это скоро привело к тому, что причину вторичного засоления стали видеть в избыточном потреблении вод, а роль дренажа недоучитывалась. Поэтому его строительство прекратили, исследования были приостановлены. Однако дискуссии о роли дренажа в научных кругах не прекращались. В. А. Ковда (1946, 1947), опираясь на научные исследования в области солевых режимов почв и геохимических закономерностей соленакопления, а также на научно-производственный опыт, сформулировал главные принципы системы мер борьбы с засолением, где важное значение отводилось и дренажу. Были и другие мнения относительно этого вопроса. Так, В. А. Шаумян (1948) считал, что если исключить фильтрацию из сети и снизить нормы орошения, то это автоматически снимет угрозу засоления.

Отрицательный опыт бездренажного освоения новых орошаемых земель, очень ощутимый по своим экономическим последствиям, и положительный производственный опыт мелиорации засоленных почв на землях старого орошения в Вахшской долине, Хорезмском оазисе, Мугани заставили пересмотреть прежнюю установку: дренаж был признан необходимым звеном в мелиорации засоленных почв и для предупреждения вторичного засоления.

ГЛАВА II

ОСОБЕННОСТИ ПРИРОДНЫХ УСЛОВИЙ ОБЪЕКТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

Климат. Исследованные автором оазисы расположены в южной части Среднеазиатской пустыни и в Северо-Восточной Африке в пределах субтропической и частично тропической зон.

Мургабский оазис окружен песками Юго-Восточных Каракумов. Климат его характеризуется резкой континентальностью, с большой амплитудой колебаний температур на протяжении суток и сезонов, а также сухостью воздуха. Лето здесь сухое (осадков не выпадает), жаркое и продолжительное. Сумма положительных температур выше +10° С около 5200—5300° С, безморозный период равен 213—221 дню. Средняя температура воздуха за год равна 16° С, за июль (в 13 часов) 36° С при абсолютном максимуме 45—47°. Относительная влажность воздуха в самые жаркие дни снижается до 30—20%; зима короткая. Средняя температура января в оазисе −0,6—1,5° С, а в прилегающей пустыне колеблется в пределах минус 0,6—1,0°, абсолютный минимум — минус 22—26° С (рис. 4).

Количество осадков очень небольшое — 127—149 мм за год, причем 80% из них выпадает в зимне-весенний период. Дефицит влажности воздуха достигает значительной величины, летом — до 40 мб, в январе уменьшается до 1—2 мб.

Сухость воздуха и высокие температуры обусловливают высокую испаряемость, годовая величина которой в 15 раз превышает количество годовых осадков и составляет 1500—2000 мм в год. Контрастность климата в пределах оазиса несколько смягчают растительность и поливы.

Благодаря обилию тепла, солнечной энергии, большой продолжительности вегетационного периода при искусственном увлажнении здесь можно возделывать ценные субтропические культуры — тонковолокнистый хлопчатник, гранаты, персики, виноград.

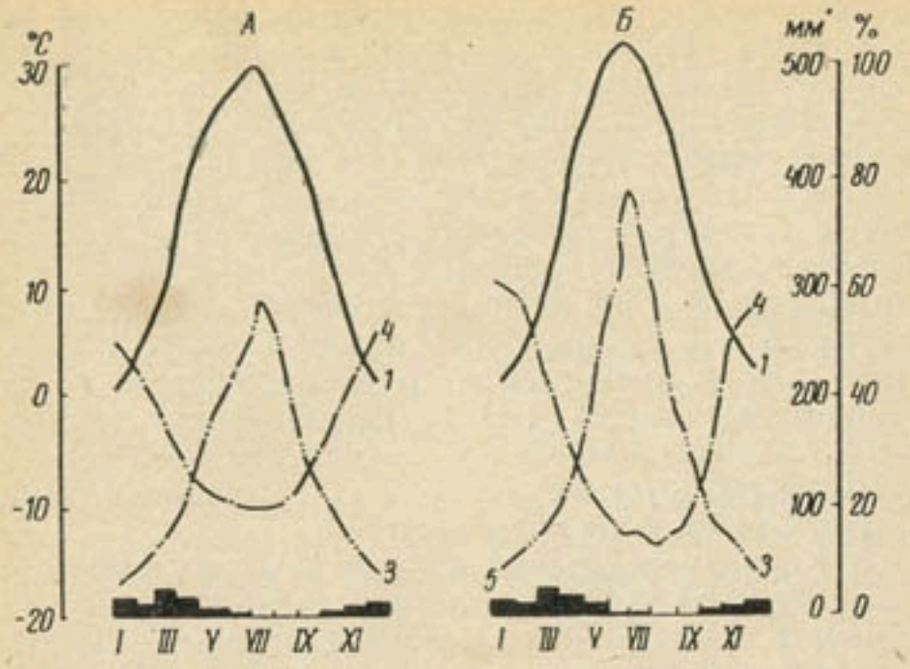


Рис. 4. Главнейшие климатические показатели по оазисам в Туркмении — Байрам-Али *(А)*, Репетек *(Б)*, в АРЕ — Танта *(В)* и Харга *(Г)*:

1 — температура воздуха; *2* — относительная влажность; *3* — испаряемость, мм; *4* — относительная влажность в 13 ч.

Годовой режим температур, осадков, относительной влажности воздуха, испаряемости однотипны по всем изучаемым районам и относятся к средиземноморскому типу. Максимальные температуры воздуха наблюдаются в июне—августе, они равны 29—30° С. Причем более высокая температура отмечена в Каракумской (а не в Ливийской) пустыне. К летним месяцам приурочен минимум относительной влажности воздуха и максимум испаряемости. Юго-Восточные Каракумы отличаются от Ливийской пустыни более прохладной зимой. Средняя температура в январе снижается до 0, минус 1° С, в то время как в Ливийской пустыне температура воздуха не опускается ниже +11° С. Вегетационный период в Каракумах не превышает в среднем 240 дней за год, а в Ливийской пустыне в условиях орошения вегетация растений никогда не прерывается.

В Каракумах среднегодовое количество осадков изменяется от 80 до 150 мм, причем осадки выпадают в основном в конце зимнего и начале весеннего периодов. В Ливийской пустыне только на узкой полосе вдоль Средиземного моря количество осадков в год равно 100—200 мм, к югу их количество приближается к нулю. Уже в районе оазиса Фаюм выпадает за год только 13 мм, а в Харге дожди бывают раз в несколько лет.

Если испаряемость в Средней Азии составляет 1,4—2,0 тыс. мм за год, то в Ливийской пустыне она увеличивается до 4—4,5 тыс. мм за год. Понятно, что в Ливийской пустыне произрастание какой-либо растительности без дополнительного увлажнения невозможно за исключением Присредиземноморской полосы (Ковда, 1958; Розанов, Якубов, Минашина, 1961).

Во всех пустынных районах весьма активна ветровая деятельность. Наиболее активный рельефообразующий агент в зоне пустынь (за исключением современно обводненных долин и дельт) — эоловый фактор.

Геоморфология и геологическое строение. Общим для всех названных оазисов является их приуроченность к поверхностям, расположенным в зоне тектонических погружений и древней активной эрозионно-аккумулятивной деятельности рек, которая под влиянием человека к настоящему времени сменилась на ирригационно-аккумулятивную.

Геоморфологии Мургабской дельты посвящены специальные работы Б. А. Федоровича и А. С. Кесь (1934),

И. П. Герасимова (1940) и ряд более поздних (Горбунова, 1958; Бабаев, 1962; и др.).

Мургабская дельта относится к числу сухих (субаэральных) и имеет площадь 500 000 га. По общему ландшафту дельта резко разделяется на две части: современная дельта, которая, по Герасимову, примерно совпадает с границами оазиса до строительства Каракумского канала, и древняя, более обширная, пустынная часть, которая на востоке и севере сливается с Юго-Восточными Каракумами, а на западе — с Тедженской дельтой. В южной части дельты отложения примыкают к древней полого-наклонной равнине, а она, в свою очередь, переходит в холмистые возвышенности Карабиля и Бадхыза. Эти равнины сложены из мощной толщи (900—1700 м) неогенчетвертичных аллювиально-пролювиальных отложений, формирование которых закончилось в основном в среднечетвертичное время. Позже их поверхности несколько изменились под влиянием эолового водноэрозионного фактора.

Всего в пределах современной и древней дельты и наклонной равнины выделяется четыре равновозрастных поверхности, образующих отдельные ступени от гор Парапамиза. Ступенчатость поверхности связана с проявлением тектонических явлений, которые сопровождались активизацией эрозионно-аккумулятивных процессов (Амурский, 1962).

Собственно Мургабская дельта расположена в депрессии. Геофизическими исследованиями в Мургабском бассейне выявлены зоны тектонических нарушений, разломов, пересекающих дельту почти в меридиональном направлении. В северной части дельты, на периферии Байрам-Алийского массива, с Мургабской зоной нарушений связаны меридиональные Байрам-Алийская, Шараплинская и Майская антиклинальные структуры.

Наиболее древними отложениями, вскрытыми бурением в оазисе, являются меловые, представленные известняками, аргиллитами, ангидритами с прослойками песчаников. Меловые отложения включают погребенные хлоридно-натриевые рассольные воды. На отложениях верхнего мела залегают палеогенные отложения, представленные известняками, глинами, мергелями. Наибольшая мощность этих пластов — 400 м. Местами палеогеновые отложения значительно размыты.

На отложениях палеогена, а в северной части дельты непосредственно на меловых залегают неогеновые отложения. Неогеновые отложения вскрыты до глубины 200 м; на 12 км западнее г. Мары они выходят на поверхность. Неоген представлен континентальными песчаниками, глинами, алевролитами; западнее они сменяются голубовато-серыми алевролитовыми глинами и алевритами с акчагильской фауной.

Четвертичные аллювиальные отложения представлены всеми отделами, они заполняют депрессии в неогене. Нижнечетвертичные слои образованы так называемыми древнемургабскими мелкозернистыми песчаными отложениями (елчилекская, тахтинская свиты). На них залегают более поздние дельтовые аккумуляции.

Дельтовые отложения имеют мощность до 200 м (Роговская, Морозов, 1964). Среди нижних слоев древнедельтовых отложений преобладают глинистые породы, а вверху — песчаные с глинистыми прослойками. Новодельтовые отложения, слагающие верхнюю 35-метровую толщу, представлены супесями, песками, с прослойками суглинков. В целом они имеют более тяжелый механический состав, чем отложения в средней части древней дельты.

Б. А. Федорович и А. С. Кесь (1934) в границах древней дельты выделяют две, а в современной дельте — три террасы-дельты, вложенные одна в другую с общим отклонением на северо-запад. Эти террасы были замечены еще Б. Х. Шлегелем (1912), который приписывал им ирригационное происхождение. Образование более поздних террас-дельт является результатом позднейших тектонических процессов затухающего характера.

Поверхность Мургабской дельты выпуклая и имеет слабый общий уклон (0,0004—0,0006) в северо-западном и северном направлениях. Севернее линии железной дороги дельта разделяется на три разновозрастных части: наиболее молодую — Марыйскую, идущую в северо-западном направлении; Байрам-Алийскую с отакыренной поверхностью земель древнего орошения с восточной стороны и заключенную между ними опесчаненную поверхность Каушутханбентской генерации.

Нижняя пойменная терраса-дельта наиболее молодая и имеет ярко выраженный первичный рельеф с гривистыми повышениями и замкнутыми понижениями между ними, остатками старых русел и другими элементами аккумулятивного и аллювиально-эрозионного происхождения. Терраса тянется вдоль русла р. Мургаб неширокой полосой и несколько расширяется только на северо-западной периферии дельты уже за пределами оазиса. Она сложена супесчаными отложениями по гривам с тяжелыми глинистыми аккумуляциями по замкнутым понижениям и покрыта зарослями тугайной растительности.

Марыйская часть дельты занимает северо-западную ее часть; рельеф здесь в значительной мере изменен орошением. Поверхность спланирована и покрыта 30—40-сантиметровым слоем окультуренных отложений, подстилаемых супесью с суглинистыми и глинистыми прослойками красноватого или сизоватого цвета. Почти всюду на глубине 0,5—2 м встречаются горизонты погребенных лугово-болотных и болотных почв.

Территория Каушутханбентской генерации в пределах оазиса имеет следы более древнего орошения, чем территория Марыйской генерации, поверхность которой ниже, чем поверхность первой. Она покрыта 1—1,5-метровым слоем ирригационных отложений. Местами, по понижениям, древние ирригационные отложения размыты и перекрыты более молодыми аллювиальными слоистыми наносами. За пределами границ оазиса поверхность Каушутханбентской генерации сильно нарушена эоловыми процессами, опесчаненная ее часть глубоко языком вдается в оазис (рис. 5).

Байрам-Алийская часть дельты, которую иногда называют Иолотанской, занимает обширную площадь (в ее пределы входят Куйбышевский, Туркмен-Калинский и Байрам-Алийский массивы древнего орошения) и сложена тонкопесчано-суглинистыми отложениями с мелкими прослойками и линзами средне- и тонкозернистого песка. Верхняя толща в 2—3 м, а местами и до 5 м состоит из средне- и тяжелосуглинистых ирригационных отложений, которые в нижней своей части переслаиваются с песчаным и глинистым аллювием. Вдоль древних каналов образованы валы слоистых и слабо перерытых легких отложений — отвалов («рашей») и множество бугров культурных отложений на месте древних поселений. Рельеф вторичный, типично ирригационный. Широкие приканальные повышения чередуются с чашевидными межканальными понижениями.

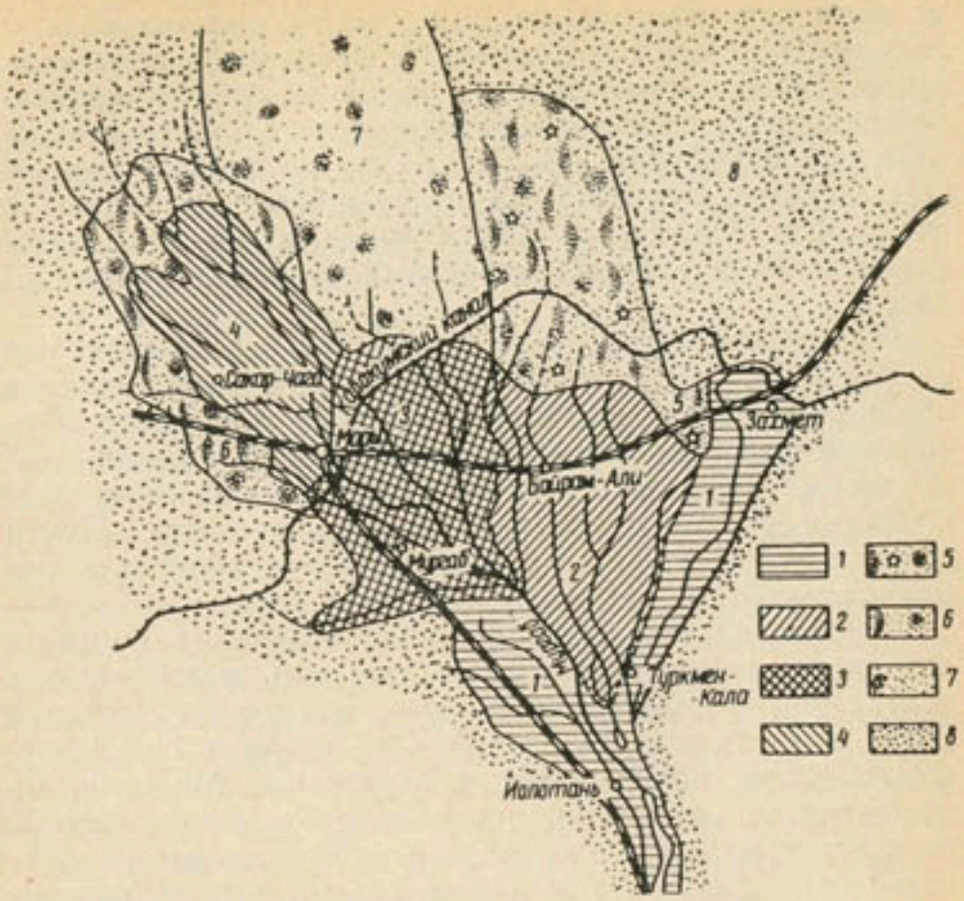


Рис. 5. Схема сухой дельты р. Мургаба:

1—7 — современная; *8* — опесчаненная поверхность древней дельты. Генерации: Байрам-Алийская (Иолотанская, *1, 2, 5*); *1* — верхняя часть; *2* — средняя; *5* — нижняя; Каушутбентская *(3, 7)*; *3* — верхняя часть, освоенная под орошение; *7* — нижняя, опустыненная; Марыйская *(4,6)*; *4* — верхняя часть, освоенная; *6* — нижняя, опустыненная.

Наиболее обширная поверхность IV и V террас-дельт расположена за пределами оазиса. Верхние слои ее сложены песчаными отложениями, которые представляют собой перевеянный древний аллювий. Рельеф эоловый грядово-бугристый с котловинами выдувания и небольшими плоскими понижениями, занятыми такырами. Поверхность песчаных пространств задернована илаком и покрыта редкой кустарниковой растительностью.

В развитии дельты от древнего времени к настоящему отмечается сокращение каждой из последующих ее генераций как по мощности отложений, так и по площади их распространения. При этом отмечается смещение последующих генераций дельты на северо-запад. Это явление, по-видимому, можно объяснить не только общим затуханием аккумулятивных процессов в связи с уменьшением обводненности, но и медленным тектоническим поднятием в районе Байрам-Алийских и Уч-Аджинских структур.

В числе других изученных оазисов ближе всего к Мургабскому по географическим условиям Хорезмский оазис, расположенный в верхней части дельты р. Амударьи, которая значительно более многоводна, чем Мургаб (рис. 6), отличается стремительным течением и большой кинетической энергией речного потока, что проявляется в частом изменении русла, разрушении почв, переотложении наносов, накоплении песчаных отложений.

Хорезмский оазис характеризуется в общем легким механическим составом слагающих отложений и большой их неоднородностью, слоистостью во всех направлениях. Верхняя почвенная толща отложений отличается несколько более тяжелым составом: песчаным и супесчано-суглинистым по гривам и склонам повышений и глинистым — по депрессиям. В какой-то мере это влияние орошения. Здесь очень ярко выражен гривистый рельеф поверхности, унаследованный от дельтового периода ее формирования и несколько сглаженный из-за орошения во время ирригации, которая в этом месте была не очень продолжительной (по-видимому, начиная со средних веков).

Дельту р. Нил, по В. В. Егорову (1970), можно отнести к приморским поверхностям погружения с относительно стабильным морским краем. Для такого рода дельт характерна относительная постоянность речной сети и малые смещения устьевых зон, поэтому их отложения не отличаются большой пестротой и слоистостью. Аккумуляция крупнозернистых отложений вдоль русел и тонких частиц между ними — по депрессиям,

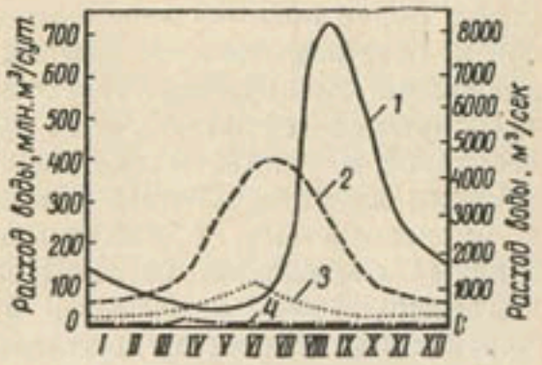


Рис. 6. Сток речных вод:

1 — Нил (Ассуан); *2* — Амударья (Керки); *3* — Сырдарья (Беговат); *4* — Мургаб (Тахта-Базар).

сохраняются во времени примерно на тех же местах. Но в целом отложения обычно состоят из тонких частиц суглинистого и глинистого состава. В дельте Нила большое влияние на литологию оказало орошаемое земледелие, которое насчитывает здесь до 10 тысячелетий. Благодаря господству бассейновой системы орошения поверхность имеет плоско-ячеистый рельеф. Ячейки — орошаемые бассейны расположены вниз по дельте в виде террас, огороженных дамбами. Верхний 10-метровый слой сложен суглинисто-глинистыми агроирригационными отложениями. Вдоль главных русел Розетты и Домиетты механический состав несколько облегчен.

Оазисы в Ливийской пустыне — Фаюм, Харга и др. (Anwar, 1960) — приурочены к глубоким эрозионно-тектоническим депрессиям, которые затем были заполнены озерно-аллювиальными отложениями. В современный период поступление аллювия прекратилось. Оазис Харга орошается артезианскими водами.

В Харгинской депрессии исходные озерно-делювиальные отложения сохранились только на отдельных останцах, обособившихся в результате эолового разрушения окружающей поверхности. Основными факторами формирования современного рельефа являются эоловый и ирригационный, причем последний проявляется весьма своеобразно.

Харгинская депрессия располагается на 200—300 м ниже окружающего пространства Ливийского плато. Депрессия длиной 140 км и шириной 15—35 км имеет в основном тектоническое происхождение, однако в значительной мере окончательный ее облик обязан воздействию более поздних эрозионно-аккумулятивных процессов и главным образом дефляционных. На поверхности депрессии обнаруживаются отложения разного возраста, вскрытые дефляцией, — от нубийских песчаников, известняков и глинистых сланцев мелового и третичного времени до четвертичных и новейших водных, эоловых и ирригационных образований. Примечательна цепь эоловых отложений, пересекающая центральную часть депрессии в виде барханов и бугров. В северной части Харгинской депрессии выделяются останцы из озерно-аллювиальных отложений, отпрепарированные ветром из известняков, песчаников, сланцев и других пород. Имеются понижения, выполненные глинистыми отложениями.

Орошаемые участки расположены около артезианских колодцев и занимают в настоящее время повышенное положение в оазисе. Разница высот достигает 9—10 м. Повышение орошаемых участков произошло из-за наращивания слоя культурных отложений вследствие внесения землистых удобрений и навевания песка, а также вследствие большей подверженности дефляции отложений на неорошаемых землях, окружающих орошаемые поля. Поверхности орошаемых участков часто террасированы. Анвар (Anwar, 1960) с подъемом поверхности орошаемых участков связывает падение дебита артезианских вод.

В Ливийской пустыне за пределами оазисов преобладают эолово-дефляционные формы, на поверхности всюду возвышаются останцовые возвышенности, выступы, глыбы. Поверхность усеяна отполированными ветром и остеклившимися под солнцем каменистыми обломками, щебнем, местами скрепленными известью и гипсом. Ветер выносит весь образующийся на месте мелкий песок, пыль. Крупный песок собирается в барханы, постепенно истирается и тоже выдувается. Почвенный покров в пустыне отсутствует.

В Каракумской пустыне дефляционная деятельность ветра тоже весьма активна, но она ограничена летним временем — самым сухим периодом года. Кроме того, ей препятствует растительность и почвообразование. Только при обсыхании молодых частей поверхности аллювиального или делювиально-аллювиального происхождения, когда тугайная растительность отмирает, а для поселения новой пустынной растительности еще не созданы благоприятные условия, иссохшие почвы разрушаются ветром и перевеваются. Пылеватые и глинистые частицы уносятся, а песок накапливается, образуя бугры, барханы, а затем гряды, которые закрепляются растительностью. В Каракумах в прошлом процесс эоловой переработки занимал более обширные пространства, чем в настоящее время.

Останцовые структурные и скульптурные равнины и возвышенности в Среднеазиатских пустынях тоже подвержены ветровой денудации, которая особенно ярко проявляется в ее южных районах (Довханинское плато), но она умеряется растительным, почвенным (такыровой коркой) и каменистым покровом, защищающим поверхность от быстрого разрушения (Герасимов, 1940).

Гидрография и источники орошения. До строительства Каракумского канала р. Мургаб была единственной водной артерией, питающей разветвленную по поверхности дельты сеть ирригационных каналов в оазисе. Сток реки отличается большим непостоянством. В среднем за год он составляет 51 м³/сек. Наибольший сток наблюдается в весенние месяцы — апреле—мае — 350—400 м³/сек и наименьший — в августе — до 30, иногда до 15 м³/сек.

К числу характерных черт сухих дельт относится непостоянство русел рек и их протоков, которые по мере накопления осадков и подъема своего ложа смещались, вырабатывая новое русло в направлении более низких отметок. В условиях пустынного климата и при отсутствии других, кроме речного, источников питания грунтовых вод изменение направления стока речных вод имело весьма существенные последствия в режиме грунтовых вод и развитии почвенно-растительного покрова, обусловливая с прекращением обводнения резкую смену гидротермического режима.

В развитии ландшафта сухой дельты существенное значение имело отсутствие поверхностного стока за ее пределы. Речные и паводковые воды по депрессиям и периферии дельты образовывали разливы и озера.

С началом орошения распределение вод по дельте изменилось и стало определяться режимом забора и распределения вод по каналам. Расположение поселений наиболее древних земледельцев (II тысячи лет до н. э.) свидетельствует, что в это время река проходила примерно в середине Байрам-Алийской части дельты. На ней (середина и вторая половина I тысячелетия до н. э.) имелась плотина и водохранилища (М. Массон, 1957; В. Массон, 1959).

В последующем, вплоть до монгольского нашествия (XIII в.), полоса разливов и озер по периферии дельты сокращалась, одновременно увеличивалась сеть искусственных каналов, которые охватили всю территорию Байрам-Алийской дельты, начиная от вершины, где расположены Куйбышевский и Туркменкалинский массивы.

Разрушение при монгольском нашествии плотины и старой ирригационной сети вернуло на какой-то период природный нерегулированный режим стока и распределения речных вод, которые устремились на более низкие земли марыйской части дельты по северо-западной

периферии. В XIV в. Марыйский массив представлял собой сплошные топи и болота.

С восстановлением ирригации (XIV—XV вв.) сток на марыйскую часть дельты уменьшился, при обсыхании местами началось нерегулярное орошение, а начиная с XVIII в. с приходом туркмен орошаемое земледелие получило более широкое развитие, в то время как почти вся Байрам-Алийская часть дельты и массив вокруг Талхатан-Баба (ныне Куйбышевский массив) был заброшен и опустынен. Паводковые воды сбрасывались на периферию Марыйской дельты, они образовали там как бы новейшую генерацию — пойменную ее часть.

В нашем столетии были восстановлены старые и построены новые плотины и водохранилища. Сток Мургаба ныне полностью зарегулирован (табл. 1). Системой плотин задерживается почти вся вода, которая в вегетационный период распределяется по орошаемой территории.

Таблица 1

Характеристика водохранилища на р. Мургаб

Водохранилище	Полезный объем, млн. м³			Площадь зеркала при максимальном заполнении, км²	Примерные ежегодные потери на испарение и фильтрацию, млн. м³	Год сооружения водохранилища
	первоначальный	1958 г.	1967 г.			
Таш-Кепринское	147,7	60,0	38,0	30,5	40,67	1940
Сары-Язынское	250,0	250,0	238,0	44,77	87,85	1958
Колхоз-Бентское	50,0	37,3	33,0	20,4	57,29	1941
Иолотанское	70,0	29,0	24,0	10,7	19,56	1910
Средне-Гиндукушское	16,8	15,8	15,7	5,5	14,75	1912
Нижне-Гиндукушское	16,9	16,9	16,0	6,1	15,23	1912

Высокая мутность мургабских вод, составляющая в среднем 1,5 кг/м³ (максимально до 3 кг/м³, Лопатин, 1952), затрудняет длительное использование водохранилищ вследствие их быстрого заиления.

В 1959 г. была завершена первая очередь строительства Каракумского канала от Амударьи у Бассага до Мургабского оазиса общим протяжением в 400 км.

Позднее канал был расширен и доведен до Ашхабада. Водозабор канала к настоящему времени (1970 г.) увеличен до 320 м³/сек. Ныне Каракумский канал является крупнейшей водной магистралью Южной Туркмении. От него берет начало ряд новых каналов, которые самотеком подают воду севернее канала, а южнее вода забирается с помощью насосов. Для подачи воды в верхнюю часть дельты в 1966—1967 гг. построен машинный канал и три насосные станции, которые перекачивают до 50 м³/сек воды в Султан-Ябскую систему, а зимой — в Гиндукушское водохранилище. Значительно увеличилась обводненность и в пределах прежних границ Мургабского оазиса.

За последнее время гидрографическая часть в Мургабском оазисе расширилась из-за сооружения коллекторов, которые собирают дренажные воды и выводят их на периферию дельты, образуя искусственные озера. Объем дренажного стока пока невелик — 350 млн. м³/год. В будущем он возрастет до 1,5—2 млрд. м³/год, что превысит сток р. Мургаба.

Сток р. Мургаба в сравнении со стоком рр. Амударьи, Нила и даже Зеравшана небольшой. Питающая Каракумский канал р. Амударья — наиболее мощная в Средней Азии. По стоку она лишь немного уступает Нилу. Наибольший паводок приходится на июль, среднемесячный расход воды в Амударье в это время составляет 4—4,5 тыс. м³/сек, минимальный сток в январе равен примерно 0,5 тыс. м³/сек.

В отличие от р. Амударьи сток вод в р. Ниле, который получает свое питание в районах муссонного климата через крупные водорегулирующие естественные озера, более ритмичный. Паводок приходится на август, сток воды в это время достигает 4 тыс. м³/сек. К ноябрю он снижается до 2 тыс. м³/сек, в апреле—мае — до 500 м³/сек.

С режимом стока воды связан и режим стока твердых взвешенных веществ. Роль взвешенных веществ в речных водах исключительно велика в формировании орошаемых почв оазисов. В наиболее древних из них мощность ирригационных отложений достигает 2—10 м. Наибольшей мутностью выделяется р. Амударья, в верхнем течении мутность ее вод достигает 9 кг/м³ воды, а в нижнем — в паводок составляет около 5 кг/м³, снижаясь в межпаводковый период до 2 кг/м³ (рис. 7). Однако

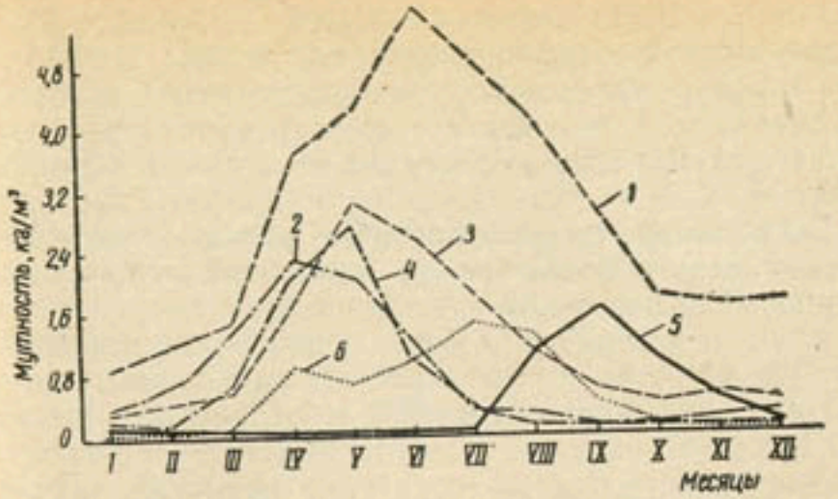


Рис. 7. Режим мутности речных вод.

1 — Амударья (Ташсака); *2* — Тигр (Багдад); *3* — Сырдарья (Бегават); *4* — Мургаб (Тахта-Базар); *5* — Нил (Каир); *6* — Зеравшан (Дупули).

при очень высокой мутности вод мощность ирригационных отложений в долине и дельте р. Амударья меньше, чем в долинах и дельтах рек с меньшей мутностью вод— обычно не более 1,5—2 м, что объясняется более буйным и непостоянным течением реки, которая часто меняет свое русло и размывает свои собственные отложения.

Кроме того, большая часть взвесей песчаного состава задерживается в сети. Нильские воды имеют меньшую мутность в паводок — 1,7 кг/м³. Мощность ирригационных отложений составляет 8—10 м. Большая мощность отложений обязана не только ритмичности и равномерности распределения стока, но и очень большой давности орошения.

Как для дельты Нила, так и для дельты Амударьи характерно наличие густой сети дренажа и коллекторов. В то же время, когда коллекторов не было, в дельте Амударьи было очень много озер, питавшихся сбросными и грунтовыми возвратными водами с орошаемых полей. В дельте Нила сеть дренажа существует с незапамятных времен, она была неотъемлемой частью бассейновой системы орошения, которая там господствовала до середины прошлого века. В нашем столетии усовершенствована коллекторная сеть, которая собирает дренажные и сбросные воды. Из коллекторов воды переке-

чиваются сотнями мощных насосных станций в Средиземное море. В Приморской части дельты Нила много озер и лагун, уровень воды в которых ниже уровня воды в море. За последние годы эти территории также осушаются и после мелиорации осваиваются под орошение.

Гидрогеологические условия. Грунтовые воды в Мургабской дельте заключены в неогенчетвертичных отложениях. Они переходят из толщи одного возраста в толщу другого, не проявляя связи с переменой напластований. Водоупором служат палеогеновые глины, которые залегают на глубине более 200 м от дневной поверхности. В местах размыва водоупорных палеогеновых глин (северная часть оазиса) грунтовые воды гидравлически связаны с водоносными горизонтами палеогена и мела; грунтовые воды дельты безнапорны.

Основным источником питания грунтовых вод в дельте р. Мургаба служат речные и оросительные воды (Мальцев, 1959; Горбунова, 1958; Роговская, 1959; Роговская, Морозова, 1964). Гидрорельеф их зеркала примерно повторяет рельеф дневной поверхности. На массивах интенсивного орошения образуются купола грунтовых вод, уровень которых залегает на глубине 1—4 м от поверхности почвы. В межканальных понижениях таких массивов при отсутствии дренажа грунтовые воды обнаруживаются нередко ближе 1 м, а иногда и выклиниваются на поверхность почвы. Вдоль каналов, ложе которых поднято над межканальным понижением на 2—4 м и более, уровень грунтовой воды от поверхности почвы залегает глубже. Но абсолютный уровень воды у канала всегда на 1—2 м выше, чем в межканальном понижении, что создает местные напоры и обусловливает осуществление токов грунтовых вод от каналов в сторону межканальных понижений.

От реки и магистральных каналов поток вод идет к периферии дельты. Общий уклон зеркала грунтовых вод очень мал, около 0,0003, и имеет северо-западное направление. В условиях очень слабого горизонтального оттока грунтовых вод всего бассейна имеются местные (локальные) горизонтальные и вертикальные их перемещения. Местные потоки грунтовых вод направлены от источников питания: русла р. Мургаба и ирригационных каналов к периферии дельты и внутриоазисным депрессиям. Так как под руслами каналов залегают, как правило, более легкие и проницаемые отложения, возможен ток и подрусловых вод по течению канала, которые, продолжая свое движение за пределами оазиса, проникают далеко в пустынные районы. Такие воды добываются в пустыне с помощью колодцев и используются для водопоя скота. Однако вследствие малых уклонов скорость горизонтального движения грунтовых вод мала, в среднем для дельты считается равной 0,5—0,6 м/год; только у водохранилищ отмечается увеличение скорости до 17 м/год. Отток за пределы оазиса составляет менее 2% прихода грунтовых вод (Горбунова, 1958); основной статьей их расхода служит транспирация и испарение через почву.

При общей очень слабой отточности вод Мургабской дельты активны местные токи грунтовых вод от каналов, и с интенсивно орошаемых полей в межканальные внутриоазисные депрессии, на залежи и периферийные части орошаемых массивов.

Режим грунтовых вод Мургабской дельты типично оазисный, общие закономерности которого освещены в литературе (Мальцев, 1959, и др.).

Для Мургабского оазиса Л. М. Мальцев выделил три типа режима грунтовых вод: I тип для орошаемой зоны с глубиной залегания грунтовых вод свыше 4 м, амплитуда колебания уровня равна 1—2,5 м. II тип для районов, где уровень грунтовых вод залегает на глубине 4—10 м, амплитуда сезонного колебания уровня уменьшается при этом до 0,2—1 м. III тип — за пределами зоны орошения, где уровень грунтовых вод понижается более 10 м от поверхности почвы и амплитуда колебания уровня — 0,2 м и меньше.

В первых двух типах выделено по четыре режима грунтовых вод: 1 — в зоне влияния ирригационного канала; 2 — на орошаемых полях; 3 — на перелогах; 4 — в зоне влияния естественной дрены — Джар. Названные типы режимов были положены Л. М. Мальцевым в основу гидрогеологического районирования Мургабской дельты.

Н. В. Роговская, систематизировав фактический материал, несколько детализирует разделение режимов и несколько изменила границы районов с разной глубиной залегания уровня грунтовых вод, выделенных Л. М. Мальцевым. Кроме того, она выделяет типы режима: I — ирригационный; II — ирригационно-стоковый;

III — гидрологический (влияние реки, канала); IV — паводковый (сброс ирригационных речных вод).

Как было установлено Л. М. Мальцевым за десятилетний период его наблюдений (1944—1954), уровень грунтовых вод в оазисе все время поднимался, что он объяснял полноводностью р. Мургаба в эти годы. Это способствовало более полному использованию мургабских вод на орошение, в связи со строительством новых водохранилищ и полным зарегулированием стока реки. Этот процесс начался с конца прошлого столетия.

В таблице 2 представлены данные, характеризующие динамику колебания среднего уровня грунтовых вод с 1951 по 1968 г. в среднем для зоны старого орошения. Из этих данных видно, что подъем уровня с небольшими колебаниями скорости по годам идет непрерывно. С пуском Каракумского канала и расширением орошаемых площадей в зоне его действия глубина залегания уровня грунтовых вод продолжала уменьшаться в зоне старого орошения и особенно скоро (по данным режимной Теджен-Мургабской станции, 0,5—2 м/год) на землях нового орошения, в результате чего площади орошаемых земель с высоким стоянием грунтовых вод сильно увеличились и продолжают увеличиваться, так как равновесное состояние еще не достигнуто и приход воды превышает расход.

Таблица 2

Динамика глубины залегания среднегодового уровня грунтовых вод в зоне старого орошения Мургабского оазиса

Годы	Глубина, м	Годы	Глубина, м	Годы	Глубина, м
1951	2,96	1957	2,27	1963	2,14
1952	2,70	1958	2,41	1964	1,80
1953	2,66	1959	2,36	1965	1,82
1954	2,34	1960	2,22	1966	2,02
1955	2,55	1961	2,43	1967	1,96
1956	2,53	1962	2,30	1968	1,92

Минерализация грунтовых вод в Мургабской дельте колеблется от 0,5 до 110 г/л.

Средняя минерализация грунтовых вод по оазису равна 10 г/л, изменяясь от 1—2 г/л в зоне опреснения вдоль каналов и 3—9 г/л под орошаемыми полями до 20—40 г/л в межканальных понижениях и 40—100 г/л—

во внутриоазисных депрессиях между ирригационными системами. Отмечена большая пестрота вод по химизму. Обнаружены хлоридно-бикарбонатно-сульфатные, хлоридно-сульфатные, содовые, сульфатные, хлоридные воды; преобладают первые два типа. В таблице 3 дан состав наиболее распространенных вод в оазисе. Периферийные части оазиса и опустыненные массивы

Таблица 3

Состав солей в наиболее распространенных грунтовых водах Мургабского оазиса *

Группа по химизму (числитель) / число проб (знаменатель)	Сумма солей, г/л	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{--}	Ca^{++}	Mg^{++}	Na^+
$А^1$	1,48	5,88	7,05	9,73	5,16	6,46	10,80
42	0,53	2,14	1,55	4,12	1,98	3,30	5,39
$А^4$	2,1	4,01	9,80	18,80	8,78	9,30	15,30
32	0,40	1,16	2,10	3,30	2,25	4,40	7,50
$Б^3$	6,1	6,28	33,40	69,50	24,24	28,10	54,70
33	1,0	3,06	6,10				
$Б^5$	5,1	4,80	11,20	62,30	20,94	24,00	39,10
126	1,5	1,56	5,20	18,80	5,17	10,30	17,70
$Б^7$	7,5	5,69	66,30	51,40	24,00	34,80	63,50
21	1,0	1,40	11,20	5,80	9,41	5,30	8,00
$В^3$	12,7	6,65	72,50	111,50	20,74	58,90	108,00
29	2,4	1,59	17,60	19,90	6,50	24,10	29,20
$В^5$	11,3	8,02	33,80	131,50	21,90	51,60	98,30
37	1,3	1,85	8,20	16,90	3,43	9,50	17,90
$В^7$	12,1	5,35	104,70	69,80	31,96	57,70	90,10
26	1,1	1,52	20,30	9,50	5,25	11,90	11,30
$Г^5$	19,5	10,27	62,80	226,60	22,54	92,00	183,90
25	3,5	2,64	28,80	36,10	1,37	34,60	31,60
$Д^7$	45,8	7,82	517,80	261,80	35,63	275,20	429,50
23	8,5	1,84	93,3	64,00	3,15	63,30	91,70

* В числителе — среднее по группе содержание, в знаменателе — стандартное отклонение, мг-экв. на 1 л.

(до строительства Каракумского канала) не обнаруживали резких колебаний в минерализации грунтовых вод, здесь она обычно колеблется от 5—10 г/л вдоль русл древних каналов и реки до 20—30 г/л в депрессиях. Позже, когда русло Мургаба расчистили и оно стало коллектором, минерализация вод в прирусловой части повысилась.

Грунтовые воды районов Карабиля, прилегающих к дельте с юго-восточной стороны, более пресные (минерализация — 1—3 г/л), чем воды самой дельты Мургаба. С западной стороны, от Бадхыза, грунтовые воды очень сильно минерализованы — до 50—60 г/л. Гидрогеологи (Роговская, 1959; Горбунова, 1958, и др.) почти единственным источником происхождения солей в грунтовых водах оазиса считают речные мургабские воды.

На орошаемых массивах других оазисов в общей форме отмечаются те же гидрогеологические и гидрохимические закономерности. Наиболее мощной статьей питания грунтовых вод оказываются фильтрационные воды, которые частично отжимают доирригационные воды на окраины орошаемых массивов и во внутриоазисные депрессии.

В дельте Нила на ее длительно орошавшихся частях и вдоль русл реки, в толще четвертичных песчано-гравийных отложений, сформировалась толща пресных инфильтрационных вод мощностью до 200 м. К бортам дельты и периферии, которая мало орошается, мощность пресных вод уменьшается и к поверхности приближаются сильно минерализованные морские по происхождению воды. Местами в дельте они приближаются к поверхности. Глубина грунтовых вод при бассейновой системе орошения была более 5 м, с введением постоянного орошения уровень их поднялся до 2—3 м с небольшими местными отклонениями.

Ливийская пустыня, несмотря на отсутствие поверхностных вод и местных источников питания, характеризуется наличием мощного потока подземных пресных вод очень хорошего качества для ирригационных целей. Они приурочены к нубийским песчаникам, залегающим под кровлей глинистых сланцев. Воды напорны, при вскрытии скважинами они самоизливаются на поверхность. Этот поток из экваториальной Африки с муссонным климатом идет к северному побережью африканского континента. В депрессиях, где созданы оазисы

Харга, Дахла, Фарафа и другие, эти воды с помощью артезианских скважин добывают для орошения. В прошлом уровень грунтовых вод в этих оазисах стоял высоко и сохранилось много свидетельств этого. В настоящее время они залегают глубоко. Орошение сильно рассредоточено, поэтому на орошаемых участках непосредственного подпитывающего влияния грунтовых вод на почвы не происходит. Подаваемые на орошение артезианские воды, увлажняя почвы, частично расходуются на испарение и транспирацию, а частично оттекают на окружающие неорошаемые участки, которые покрыты корой солончаков. Некоторые из орошаемых участков у туземных колодцев существуют более 2 тысяч лет, следовательно, даже при хорошем качестве вод за это время поступило с ними огромное количество солей, которые аккумулируются вокруг орошаемых участков вместе с солями, выщелоченными из почвогрунтов.

Растительный покров. Растительность Мургабского оазиса представлена в основном вторичными формами, связанными с оазисной культурой орошаемого земледелия. Наиболее подробное описание ее можно найти у В. В. Никитина (1957).

Пойма и места разливов в низовьях Мургаба заняты и в настоящее время тугайной растительностью, представителями которой являются туранга, тамариск, верблюжья колючка, тростник и др. В недавнем прошлом тугайная растительность занимала большую площадь в северо-западной части Марыйской дельты, где в настоящее время она испытывает явное угнетение и отмирает из-за недостатка влаги в связи с уменьшением стока паводковых вод. Внутриоазисные депрессии, куда попадают сбросные или возвратные воды, заняты влаголюбивыми формами растений, главным образом галофитами — солянаколосными (Halostachys Caspica), мелколистносведовыми (Suaeda microphylla) и карелиниевыми (Karelinia caspica) формациями, по В. В. Никитину.

Менее увлажненные места и перелоги заняты зарослями верблюжьей колючки — янтака (Alhagi persarum). Янтачная формация рассматривается основной в оазисе и является ландшафтной. Широко распространены в оазисе также мимозка-пишикдернак (Lagonychium factum), парнолистник (Zygophyllum oxianum), солянка древовидная (Salsola dendroides), свинорой (Cynodon dactylon).

На отакыренных и опустыненных землях древнего орошения, где грунтовые воды залегали глубоко, была распространена галимокнемисово-гамантусовая формация, представленная наиболее типичными растениями из группы анабазиса (Haimocnemus Beresinii, H. mollisima, Halocharis hispida, Gamanthus gamocarpus, Halotis pilosa и др.), а также эфемерами и эфемероидами (Eremopyrum Sp. div., Poa bulbosa, Leptaleum filifolium, Malcolmia africana, Astragalus corrugatus и др.). Эфемеры не образуют сплошной дернины, но все же имеют значительный удельный вес в растительном покрове. Их развитие в растительном покрове зависит от метеорологических условий года. В сухие годы они почти не развиваются.

Северная периферия массива древнего орошения, подверженная завеванию песками, занята в основном гамадовой растительностью, представленной чогоном (Salsola subaphylla), а на более опесчаненных местах — саксаулом (Haloxylon persicum). Пески покрыты илаком (Carex physoides), саксаулом (Haloxilon persicum) и др.

На характер растительности на опустыненных территориях оказывает большое влияние механический состав почвы. Суглинистые и более тяжелые почвы при глубоких грунтовых водах не способны обеспечить растения влагой. Поэтому на них можно встретить растения или с глубокой корневой системой, достигающей грунтовых вод, или отдельные куртинки эфемеров, развивающиеся за счет атмосферных осадков. Бóльшая же часть поверхности лишена растительности.

На почвах легкого механического состава создаются более благоприятные условия для произрастания растений в условиях пустыни, чем на тяжелых. Песчаные почвы хорошо поглощают влагу и экономно ее предоставляют псаммофитам. Поэтому они покрыты более развитым растительным покровом.

ГЛАВА III

РАЗВИТИЕ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА В ЕСТЕСТВЕННЫХ УСЛОВИЯХ

К истории изучения почв. Первые почвенные исследования в Мургабской дельте в начале нашего столетия были связаны с изучением возможностей расширения орошаемых площадей (Любченко, 1910; Левченко, 1912; Шлегель, 1912).

Систематические исследования почв в Туркестане были начаты под руководством Н. А. Димо. В Мургабской долине работал один из его учеников — М. Н. Воскресенский (1928). Широкий размах почвенно-географических исследований в Юго-Восточных Каракумах, как и других районах Средней Азии, проводившихся на генетической основе, позволил за короткое время выявить основные закономерности в распространении почвенного покрова. Эти закономерности в последующем положены в основу классификации почв, которая была разработана Н. А. Димо. Если не считать изменений в терминологии, эта классификация сохранила свое принципиальное значение до настоящего времени.

В последующем детальные картографические материалы по характеристике почв Мургабского оазиса были созданы в 1932—1934 гг. в связи с работами по химизации хлопководства (Лебедев, 1937).

Большое значение для изучения почвенного покрова имели работы по географии почв и генетической характеристике почвенных типов, где рассматривались также перспективы ирригации в Юго-Восточных Каракумах (Герасимов, 1940; Лобова, 1940).

После Великой Отечественной войны развернулось изыскание новых земель, пригодных для орошения, в связи со строительством Каракумского канала (Розанов, 1951; Доленко, 1951). Картографические работы позволили более детально оценить имеющиеся земельные фонды и уточнить классификацию почв. Были выделены следующие почвы:

луговые, лугово-болотные, лугово-солончаковые, аллювиально-луговые (тугайные), темноцветные остаточно-луговые, орошаемые почвы лугового типа, орошаемые почвы сероземного типа, затакыренные условно-поливные сероземы, отакыренные сероземы (былого орошения), глинистые такыры, опесчаненные такыры, засоленные почвы и солончаки.

В дальнейшем почвенные исследования, правда без дополнительных научных проработок теоретических вопросов, проводили проектные организации (Средазгипроводхлопок, Туркменгипроводхоз). Содержание легенд изменилось (Сучков, 1957). Были выделены следующие почвы Мургабской дельты: такыры, такыры припесчаные, такырные, пустынные остаточно-луговые темноцветные, лугово-пустынные песчаные, такырно-луговые, пустынно-луговые песчаные, лугово-пустынные темноцветные, пустынно-луговые темноцветные, луговые, лугово-болотные, болотные. Каждый из выделенных типов делили на три группы: орошаемые, былого орошения, целинные.

Изменения в классификации почв Мургабской дельты были отражением возобновившейся дискуссии о зональном типе почвообразования в пустыне.

Следующим крупным этапом в систематическом изучении почв было завершенное в 1964 г. крупномасштабное картирование (масштаб 1 : 10 000), произведенное Туркменской комплексной землеустроительной экспедицией при Министерстве сельского хозяйства Туркменской ССР, для инвентаризации оазисных земель. Однако теоретического обобщения эти материалы не получили.

Особенности почвообразования в сухих дельтах. Общие закономерности в развитии почвенного покрова на аллювиально-аккумулятивных равнинах пустынных областей изучены сравнительно полно. Этому вопросу посвящен ряд крупных обобщающих работ (Герасимов, 1937, 1940; Ковда, 1954; Богданович, 1955; Егоров, 1959; Лобова, 1960, и др.). Но некоторые вопросы, как, например, определение зонального звена в эволюционном ряду развития почв от гидроморфных к пустынно-автоморфным, остались спорными. Различными исследователями к ним причислялись пустынные сероземы (Розанов, 1951), серо-бурые (Лобова, 1960; Егоров, 1959; Кимберг, 1969), такырные (Шувалов, 1966) и пустынные песчаные почвы (Минашина, 1968).

Почвообразование на сухих дельтах имеет существенные отличия от развития почв в других районах пустыни, что прежде всего зависит от большей динамичности гидрологического режима, а также от гидрогеологических особенностей (Минашина, 1965). Продолжительность гидроморфной стадии развития почв на сухой дельте меньше, чем на приморской. Гидроморфная фаза периодически прерывается опустыниванием в связи с миграцией русла реки и колебанием ее стока.

Если на приморских дельтах уровень грунтовых вод и грунтовая обводненность отдельных участков в значительной мере повышается и стабилизируется подпором, а иногда и дополнительным подпитыванием озерными и морскими водами, то на сухих дельтах этот фактор отсутствует. Обводненность разных участков дельты определяется распределением речного стока по ее поверхности.

С прекращением поверхностного стока грунтовые воды, получавшие питание от поверхностных вод, быстро расходуются на испарение, что ведет к резкой смене не только водного, но и термического режима почв.

В настоящее время процесс резкой смены гидроморфной фазы можно наблюдать на северо-западной периферии Мургабской дельты, которая в недавнем прошлом подпитывалась паводковыми водами, теперь, когда сток значительно сократился, уровень грунтовых вод снизился, большая часть этой территории подвержена опустыниванию и на границе с пустыней уже доминируют эоловые формы рельефа.

Гидроморфные почвы. На территории Мургабской дельты сохранилось очень мало мест с первичным рельефом поверхности и почвами, не измененными орошением. К числу таких мест относится узкая первая надпойменная терраса Мургаба и новейшая генерация сухой дельты в северо-западной периферии оазиса. Здесь еще сохранился рельеф, образованный гривами вдоль сухих русл, и вытянутыми между ними округлыми замкнутыми понижениями, которые выполнены маломощными глинистыми отложениями с прослойками песка. Гривы сложены песчано-супесчаными отложениями.

Для первичного дельтово-аллювиального ландшафта характерно наличие тугайной растительности, представленной зарослями тамариска, верблюжьей колючки, тростника, аджрека и других. С зарегулированием стока

речных вод растительность этой части дельты стала испытывать недостаток влаги и начала отмирать.

В литологии и строении почв молодых частей дельт доминируют черты, обязанные своим происхождением процессам седиментации материала материнских пород, луговому и болотному процессам. Это пестрота и слоистость почв по механическому составу, наличие погребенных под аллювиальными наносами гумусовых горизонтов, ярко выраженные признаки избыточного увлажнения (оглеенность, ржавые пятна, омергелеванность почв).

Выраженность гумусового горизонта зависит от положения почвы по рельефу. Луговые и лугово-болотные почвы понижений на отложениях тяжелого механического состава характеризуются относительно повышенным содержанием гумуса (до 2—2,5%) и нередко хорошо выраженной агрегированностью гумусового горизонта. Он обычно резко отграничивается от подстилающих часто слитых и омергелеванных слоев почвы.

Лугово-аллювиальные почвы на гривистых повышениях обычно имеют слабо выраженный гумусовый горизонт с малым содержанием гумуса (~1—1,5%). Слабое проявление процессов почвообразования на гривах связано, с одной стороны, с малой их увлажняемостью, а с другой — с быстрым накоплением аллювиальных наносов текучих вод, которые, в свою очередь, часто разрушают ранее сформировавшийся гумусовый горизонт.

Мургабские аллювиальные отложения характеризуются тонковернистым составом частиц. Фракция песка размером частиц 0,25—1 мм в них почти отсутствует совсем. В большем количестве представлена фракция крупной пыли (в песках и супесях) и мелкой — в суглинках и глинах.

Высокопылеватый состав придает лессовидность мургабским аллювиальным отложениям, показывает на слабую выветрелость их минералов. Новейшие дельтовые отложения содержат в составе 52—60% кварца, 28—36% полевых шпатов. Среди минералов тяжелой фракции преобладают эпидот и роговые обманки.

Распределение частиц по профилю почв и элементам рельефа свидетельствует о ярко выраженной дифференциации аллювиальных отложений по крупности частиц. На гривистом повышении накапливаются в основном тонкопесчаные и пылеватые частицы, а в понижении — отложения, сильно обогащенные частицами ила, преимущественно глинистые, с содержанием ила до 40—45% от веса. Отмечена пестрота отложений и по профилю.

Почвы северо-западной периферии Мургабской дельты в недавнем прошлом испытывали более интенсивное обводнение за счет весенних ранее слабо регулируемых паводковых вод. Это способствовало буйному распространению тугайной растительности и обогащению почв органическим веществом, образованию болотных почв, которые впоследствии обсохли. Почвы здесь имеют ярко выраженный сероватый цвет, в понижениях — темно-серый, иногда даже смолистый. Но содержание гумуса в них невысокое, обычно менее 2,5%. Почвы в нижней части омергелёваны, очевидно, это следы лугово-болотного процесса. Привлекает внимание очень сильная слитость темноцветных почв понижений. Морфологически они выглядят как бы осолонцеванными.

В составе поглощенных оснований темноцветных почв содержится небольшое количество натрия и калия (Na—3%, K — 1,5%), много магния (до 40—47% от суммы катионов). Гумусовые горизонты обладают и наиболее высокой емкостью обмена для почв Мургабской дельты — до 18—20 мг-экв. на 100 г почвы против 6—10 мг-экв. в обычных луговых, что связано с большим содержанием в них ила, составляющего до 40% общей массы почвы.

Ареал распространения тугайных лугово-болотных и луговых почв в северо-западной части дельты Мургабского оазиса был в прошлом очень широким. Остатки этих почв обнаруживаются до колодца Чешме, а местами и севернее его. Теперь они обсохли, частично развеяны и занесены песком.

Таким образом, для почвенного покрова молодой генерации дельты характерно наличие гидроморфных форм, развивающихся на резко слоистом аллювии с дифференциацией отложений по элементам рельефа, который формируется в соответствии с гидрографической сетью. При резко сократившемся стоке речных вод в связи с орошением в почвах усилились процессы соленакопления. Состав солей преимущественно хлоридно-сульфатный, с резко выраженной местной их дифференциацией из-за перераспределения поверхностного стока атмосферных вод и периодического стока сбросных вод.

В понижениях больше накапливается карбонатов, в нижней части склонов депрессии — гипса, сульфатов натрия, а на гривах — хлоридов, то есть обычное для такого рода аллювиальных поверхностей распределение солей.

В периферийной части дельты в настоящее время уровень грунтовых вод залегает глубоко, минерализация их под протоками, по которым время от времени сбрасываются поверхностные воды, невысокая — 3—7 г/л; между протоками она достигает 18—20 г/л. Состав вод преимущественно хлоридно-сульфатно-натриевый.

Надо заметить, что даже в самой молодой части Мургабской дельты луговые и тугайные почвы в какой-то мере испытали влияние (если не прямое, то косвенное) орошения. При прямом орошении сбросными водами (влагозарядковый полив) отдельные обширные понижения с опресненными почвами используются под нерегулярную культуру зерновых и бахчевых культур, возделываемых в полубогарных условиях. Косвенное влияние орошения связано с притоком грунтовых вод с орошаемого Марыйского массива (что ускорило процессы засоления и опустынивания). Хотя почвы сохраняют главнейшие морфологические черты гидроморфизма, они уже на значительной территории затронуты процессами начальной стадии опустынивания.

Опустынивание гидроморфных почв. С прекращением обводнения поверхностным стоком грунтовые воды очень быстро опускаются, почвы иссушаются и, засоляясь вследствие подтягивания растворов от подстилающих грунтов, на некоторое время как бы консервируются. Различный состав и свойства бывших луговых темноцветных почв понижений и аллювиальных луговых почв повышений в дальнейшем оказывают разное влияние на скорость опустынивания.

Наиболее быстро разрушаются супесчаные и песчаные почвы гривистых повышений, где тугайная растительность высыхает и изреживается из-за недостатка влаги. Изреживанию растительного покрова в значительной мере способствует деятельность термитов, которые съедают сухостой, и на обнажившейся поверхности появляются очаги выдувания. При этом почвенный материал, слабо сортируясь, отлагается поблизости на пониженных участках, где еще сохранилась растительность в виде бугорков. Поверхность приобретает своеобразную форму из сочетающихся элементов аллювиального и эолового происхождения. Создается гривисто-бугристая поверхность.

Луговые почвы понижений разрушаются позже, чем на гривах, после того, как в следующих циклах перевевания эоловых наносов их поверхность окажется обнаженной и подверженной воздействию солнца и ветра. Самые верхние слои глинистых почв, иссушаясь, превращаются в крошку и пыль, которая выдувается ветром. Остающиеся более крупные фрагменты тоже постепенно дегидратируются, измельчаются и выносятся ветром, обнажая все новые слои.

Для переходной стадии от тугайно-пойменных условий к пустынным характерно наличие очень сложного рельефа, представленного сочетанием элементов аллювиального, дефляционного и эолово-аккумулятивного происхождения. По мере прогрессирования пустынного процесса элементы аллювиального рельефа исчезают и все больше доминируют эолово-аккумулятивные формы вначале в виде бугров и барханов, а затем, на более поздних стадиях, в виде широких волнистых гряд, ориентированных вдоль направления господствующих ветров. При этом поверхность песков постепенно стабилизируется и закрепляется растительностью: илаком, саксаулом и другими псаммофитами *.

Процесс опустынивания был очень длительным, так как в эоловую переработку вовлечена аллювиальная толща в несколько десятков метров. Из аллювия вынесены почти все пылеватые частицы и ил. Эоловые отложения представлены преимущественно мелким песком, разрушается гумус, выносятся соли.

Закисные формы железа окисляются, образуя окрашенные пленки на песчаных зернах. На промежуточных стадиях опустынивания обнаруживаются сцементированные рыжеватые пески. Федорович и Кесь (1934) связывали их распространение на Мургабской дельте с более древней ее частью. Однако аналогичные образования наблюдаются и на более молодых частях дельт, претерпевших в пустынных условиях в связи с обезвоживанием значительные преобразования. Ожелезнение амударьинских песков наблюдалось Е. В. Лобовой

* Процессы пустынного рельефообразования подробно описаны Б. А. Федоровичем (1957), А. Г. Бабаевым (1962) и др.

(1960). Много раз перевеянные отложения потеряли много пыли, но еще содержали значительное количество ила, включающего гидроокислы железа. Последние выполняют роль цемента, так как обезвоженные глинистые частицы уже не могут образовывать агрегаты. Ил не выносится потому, что он с помощью соединений железа оказывается фиксированным на поверхности песчинок в виде пленки, что тоже является результатом пустынного почвообразования.

В процессе опустынивания, перевевания, воздействия солнечных лучей и атмосферного увлажнения с участием биологического влияния пустынной растительности идут сложные физико-химические реакции, которые приводят к пептизации глинистых частиц и образованию пленок оптически ориентированных глин. Пленки прочно закрепляются на поверхности песчаных частиц и в сухом состоянии вместе с ними переносятся ветром. В состав глинистого вещества входят высокодисперсные гидроокислы железа, которые придают пескам красновато-рыжий цвет и некоторую связность.

В процессе опустынивания глинистые частицы дезагрегируются, при увлажнении рассеиваются и постепенно смываются в понижения, где образуют такыры.

Появление пленок на песчинках знаменует собой начало новой фазы пустынного почвообразования, когда появляется возможность некоторой стабилизации поверхности. В дальнейшем она закрепляется растительностью и выпадающим из растворов кальцитом и гипсом.

В периферийной части Марыйской дельты, несколько южнее колодца Чешме, уже почти полностью доминируют элементы пустынного ландшафта, хотя имеются отдельные участки, где обнажаются и аллювиальные отложения.

Опустынивание почв на землях древнего орошения. На территории Мургабской дельты обнаружены массивы, на которых в прошлом было развито орошаемое земледелие. Впоследствии оазисы пришли в запустение и орошавшиеся почвы опустынились. Причины упадка орошаемого земледелия, очевидно, разные. Историки и археологи обычно объясняют их социальными явлениями: классовая борьба, войны и т. д. (Толстов, 1948; Андрианов, 1966). Мы считаем, что этому могли способствовать также и другие причины: вторичное засоление

почв, ухудшение условий водообеспечения и мелиоративных условий и др. Тем не менее окончательное забрасывание оазисных земель чаще всего совпадало с какими-либо крупными социальными потрясениями, когда нарушалось водоснабжение, разрушались плотины, каналы. Эти события изучены и датированы, что позволяет ориентировочно датировать и время начала опустынивания и определять длительность развития пустынного почвообразования.

На правобережной части Мургабской дельты имеются массивы земель, которые орошались и были заброшены во II тысячелетии до н. э. Опустынены также земли, где были ранне- и позднеантичные поселения, опустевшие примерно в IV—V вв. Большие площади земель опустошены монгольским нашествием в XIII в. и, наконец, покинуты местным земледельческим населением в XVII в. из-за длительных войн с Бухарой, Хивой, Ираном и Афганистаном.

Анализируя материалы развития почвенного покрова на массивах земель древнего орошения с разной давностью развития пустынного почвообразования, можно выделить следующие стадии опустынивания.

1. Переложно-залежная стадия и начальный период запустения оазисных земель. Обсыхание орошавшихся почв, понижение уровня грунтовых вод. Продолжительность исчисляется десятками лет.

2. Стадия отакыривания поверхности орошавшихся почв и развевания приарычных отложений — рашей, легких ирригационных наносов. Продолжительность опустынивания около 6—7 сотен лет.

3. Стадия делювиально-эоловой дифференциации почвенной массы, появления такыров и запесчаненных почв. Продолжительность от 7 сотен до 3 тысяч лет.

4. Стадия развития пустынно-песчаных почв на эоловых отложениях, такыров на делювиальных наносах по котловинам. Стабилизация поверхности гряд и общего ландшафта. Продолжительность более 3 тысяч лет.

Резких границ между этими стадиями нет, но при количественном накоплении изменений в ландшафте и развитии почвенных процессов в какой-то момент выявляются качественно новые образования, имеющие широкое распространение, которые и выделяются как стадии.

Переложно-залежная стадия. Развитие опустынивания на землях древнего орошения имеет особенности, которые наиболее ярко проявляются в начальный период. На орошавшихся землях стерты контрасты в свойствах почв, которые на неосвоенных молодых аллювиальных равнинах ускоряли процесс естественного иссушения, дифференциации и разрушения почвенного покрова. Это способствовало быстрому переходу к стадии делювиально-эоловой дифференциации почвенной массы. На орошаемых землях поверхность более ровная, покрыта ирригационными наносами более тяжелого и равномерного состава. Почвы здесь более плодородны, чем природные, лучше улавливают и запасают влагу; уровень стояния пресных грунтовых вод высокий. Заброшенные почвы (перелоги) переходят в залежь и зарастают янтаком и другими растениями, которые развивают глубокую корневую систему (до 10—15 м), доставая влагу из грунтовых вод. Почвы под янтаком хорошо улавливают и атмосферную влагу, так как скважность и водопроницаемость их под влиянием мощных корневых систем увеличивается (Каменир-Бычков, 1962); возрастают запасы органических веществ корневых масс, глубже проникает по трещинам в почву атмосферная влага. Все это замедляет процесс опустынивания и разрушения почвенного покрова.

В местах распространения засоленных почв вместо янтака поселяется более солеустойчивая растительность — солянки, мимозка, парнолистник и др. При иссушении земель содержание солей в них возрастает. С опусканием уровня грунтовых вод соли в корке обезвоживаются, превращаются в пыль и развеиваются. Легче других выдуваются сульфаты, которые, обезвоживаясь, превращаются в мелкую пыль (пухляк). Хлориды дольше противостоят развеиванию в период иссушения, они более гигроскопичны, растворяются атмосферной влагой и вмываются в почву.

С опусканием грунтовых вод капиллярная кайма выходит за пределы верхней части почвенного профиля. В дальнейшем соли остаются в иссушенных грунтах и только в верхнем 30—60-сантиметровом слое почв они «пульсируют» под влиянием атмосферной влаги.

Когда грунтовые воды опускаются настолько глубоко, что не могут быть использованы растениями даже с глубокими корневыми системами, растительность изменяется и меняется по видовому составу. Получает преобладание солянка древовидная, лебеда, мимозка, парнолистник и др. Появляются куртинки эфемеров. Содержание в почве массы корневых систем снижается со 100 до 8 ц/га, гумус минерализуется, ухудшаются физические свойства и снижается водопроницаемость. Глубина промачивания весной, достигающая под янтаком 140 см, под соляново-эфемеровой растительностью сокращается до 40—60 см. Запасы влаги в 2-метровой толще почв в весенний период уменьшаются с 350 до 280 мм (Каменир-Бычков, 1962).

В дальнейшем почвы постепенно переходят в следующую стадию почвообразования. В это время уже значительно обеднены гумусом, имеют худшую водопроницаемость, отличаются иссушенными грунтами и несколько иным солевым составом: уменьшенным запасом сульфатных и увеличенным запасом хлоридных солей.

Стадия отакыривания. Отакыривание почв начинается после изреживания растительного покрова, когда обнаженная поверхность их сильно прогревается и оказывается не защищенной от воздействия ветра и ливней. Верблюжья колючка исчезает, ак-карак угнетен, появляются куртинки эфемеров и однолетние галосуккуленты.

Верхняя часть профиля почвы, будучи незащищенной в данных гидротермических условиях, периодически сильно обезвоживается, теряется гумус, разрушаются агрегаты и микроагрегаты. В обезвоженном состоянии частицы почвы распыляются, а при увлажнении рассеиваются, образуя суспензии минеральных частиц.

Воздействию атмосферных факторов, которые приобретают все большее значение, в наибольшей мере подвержена верхняя часть почвенного профиля. С глубиной влияние их ослабевает и на расстоянии 60—70 см от поверхности прекращается. Наибольшие изменения проявляются в верхней 4—8-сантиметровой корке.

Первичные частицы почвы в корковом слое, не будучи связанными в водопрочные агрегаты, подчиняясь силам гравитации, занимают наиболее устойчивое положение и ориентируются своими базальными плоскостями (для минералов таблитчатой формы) или наиболее широкими частями сколов горизонтально поверхности почвы, что и придает горизонтальную слоеватость всей массе. Солеватость — признак деградации почвы. Перио-

дическое увлажнение, сильное иссушение и обезвоживание способствуют все более полному и более глубокому распадению агрегатов, переупаковке частиц и новой их ориентации. Все это приводит к уплотнению почвенной массы, уменьшению проницаемости и глубины ее промачивания, увеличению стока делювиальных вод.

Резкая смена влажности во время ливней способствует образованию сверху малопроницаемой пленки из вязкой глинистой суспензии, которая затрудняет движение пузырьков воздуха, образующегося вследствие его десорбции при увлажнении сухой почвы. Пузырьки застревают в вязкой почвенной массе корки и как бы консервируются, придавая ей ноздревато-пористую структуру. Аналогичное объяснение этого явления находим у Н. И. Горбунова (1956).

Мощность увлажненного слоя в зимне-весеннее время достигает 40—60 см, а во время отдельных дождей не выходит за пределы 4—8 см. Наиболее часто увлажняемая дождевой водой часть приобретает ноздреватость и слоеватость, которая характерна для отакыривающихся почв. После увлажнения и с началом высыхания (при влажности выше 18%) корка становится более вязкой, а высыхая до 10—15%,— прочной и твердой. При дальнейшем иссушении корка превращается в хрупкую и рыхлую массу до следующего цикла увлажнения; ветер легко выдувает пылеватые и иловатые частицы (вернее микроагрегаты, обрывки глинистых плёнок). Иловатые частицы при увлажнении пептизируются, рассеиваются и выносятся струями делювиальных вод в понижения. Поверхность микро- и мезоповышений опесчанивается. При сильном ветре обнаженные песчинки передвигаются и аккумулируются вокруг кустов растений и неровностей на поверхности почвы. В. В. Егоров (1957) в разрыхлении почвенных частиц корки придает большое значение кристаллам солей (Na_2SO_4), выпадающих в твердую фазу.

Продолжительность процесса зависит от времени опустынивания, с развитием которого в ландшафте и почвах накапливаются новые свойства, которые со временем способствуют некоторому замедлению скорости выноса частиц. По мере опустынивания в почве появляются все более высокодисперсные глинистые минералы, которые образуют коллоидные растворы. Эти частицы

вмываясь в почву, образуют под коркой иллювиальный горизонт, который и задерживает в последующем разрушение почвы.

Высокодисперсные частицы в иллювиальном горизонте образуют пленки оптически ориентированных глин, скрепляющие почвенную массу и придающие ей механическую прочность (с поверхности опесчаненная часть корки как бы мульчирует ниже расположенные слои). При иссушении почва растрескивается на крупные полигональные отдельности, которые больше противостоят воздействию ветра и смыва. Но в самом верхнем толщиной в несколько миллиметров слое почв процесс сильного иссушения, разрушения, диспергации, выдувания и вымывания не прекращается, хотя и развивается более медленно.

Стадия отакыривания несколько стабилизирует поверхность, замедляет процесс ветровой и делювиальной плоскостной эрозии, но не останавливает его. Иллювирование происходит в лучшем случае в тонком слое почвы, причем часть коллоидного глинистого вещества с прекращением увлажнения в виде коллоидных капиллярных растворов снова возвращается к поверхности. Этот процесс нами имитировался в лабораторных условиях.

Глубже 15—25 см тоже наблюдается дезагрегация почвенной массы под влиянием увеличивающегося содержания солей, а потеря гумуса и другие процессы здесь идут медленнее, чем в верхнем горизонте почвы, и последствия их менее значительны. Показателем процессов дезагрегации, разрушения и переориентации частиц является плитчатая структура почвенной массы, выраженность которой с глубиной все менее заметна.

Появляются новые сообщества растений с доминированием кейрука (Salsola rigida), а затем итсегека (Anabasis aphylla).

Наряду с отакыриванием ранее орошавшихся суглинистых и глинистых происходит опустынивание и легких супесчано-песчаных почв приканальных повышений и рашей. Они сильно иссушаются, развеваются ветром, а со временем частично осваиваются псаммофитовой растительностью. Вдоль древних каналов развиваются котловины выдувания, а вокруг псаммофитов накапливаются бугры песка.

Почвенный покров стадии отакыривания на Мургабской дельте до начала строительства Каракумского канала был распространен на большой части территории Северо-Байрам-Алийского массива, севернее Гяур-Кала, Султан-Кала и Джинлы.

На стадии отакыривания появляются следы заметной дифференциации почвенного покрова из-за пустынного почвообразования. Появляются пространства отакыренных поверхностей с очень редкой растительностью и слоевато-пористой коркой в верхней части профиля почв на ирригационных отложениях, зачатки такыров по микропонижениям и межканальным понижениям на глинистых отложениях, бугорки песка вокруг куртинок растений и дефляционные воронки и бугры песка в полосе рашей и легких почв приканальной зоны.

По площади в начале этой стадии большее место занимают отакыривающиеся почвы (около 70%). С развитием процесса получают распространение опесчаненные почвы и такыры.

Стадия запесчанивания почв и образования такыров. Дальнейшее развитие процесса опустынивания приводит к тому, что значительная часть приарычных отложений оказывается развеянной; верхние слои ирригационных почв в процессе отакыривания разрушены, и почвенная масса пересортирована: пылеватые частицы, а также часть наиболее дисперсных илистых частиц вынесены ветром, другая часть смыта делювиальным стоком в понижения. Оставшийся песок собирается ветром в бугорки вокруг кустов и других неровностей. В понижениях на делювиальных выносах, обогащенных тонкодисперсной глиной, образуются такыры. Опустынивающаяся поверхность почв все более опесчанивается.

Границу между стадией отакыривания и запесчанивания трудно провести, процесс идет непрерывно. Когда площадь, занятая запесчаненными почвами, превышает 40—50% от общей опустынивающейся территории и около 30% находится под плоскими поверхностями такыров, ландшафт в сравнении с территориями, где еще господствуют формы рельефа ирригационного происхождения, очень сильно меняется.

Благодаря дополнительному увлажнению делювиальными стоками пониженная поверхность такыров слабо подвержена влиянию эолового фактора, на ней постепенно накапливаются делювиальные глинистые отложения. Вследствие запесчанивания сокращается площадь отакыривающихся почв. Песчаные отложения все время перевеваются, и в этот процесс вовлекаются все новые слои ирригационных и аллювиальных отложений. На поверхности такыров, которая покрыта коркой, не успевающей обезводиться, раскрошиться и превратиться в пыль, песок не задерживается. Они получают дополнительное количество влаги с окружающих пространств.

Таким образом, поверхность такыров в озеровидных понижениях стабильна, а обрамляющих их песчаных и отакыривающихся почв более динамична и постоянно изменяет свой рельеф. Редкий растительный покров мало препятствует этому процессу.

При очень длительном развитии опустынивания вследствие развевания окружающих почв делювиальный сток становится все меньше и такыры в конце концов оказываются на повышениях. Приток делювиальных вод прекращается, почвенная масса сильно иссушается, обезвоживается, начинает крошиться и развеваться ветром. Во вновь образовавшихся понижениях появляются новые очаги образования такыров. Однако площадь их с каждым циклом становится все меньше, она сокращается до 10—15%. Все большее распространение получают песчаные почвы. При благоприятном стечении обстоятельств такыр может оказаться запесчаненным, а поверхность его закрепленной растительностью.

Всю гамму переходов в развитии почв при опустынивании можно видеть севернее Каракумского канала на Байрам-Алийской части дельты, где длительность опустынивания по направлению к периферии дельты возрастала от 700 до 3 тыс. лет. В этом же направлении увеличивается мощность сработанной ветром толщи ирригационных и аллювиальных отложений.

Легче всего дефляция протекает в полосе рашей и легких приканальных отложений. Но очаги дефляции могут возникнуть на всех элементах ирригационного рельефа, даже на нижних частях склонов и в понижениях. Рост таких очагов начинается с появления суффозионных воронок, образующихся на участках, где глинистые отложения подстилаются рыхлыми супесчаными отложениями. Делювиальные воды, проникая по трещинам вглубь, смачивают, уплотняют супесчаные отложения и в результате под глинистым слоем образуются

пустоты, что в последующем приводит к обрушиванию глинистой кровли и образованию просадок, затем к сильному иссушению и осыпанию краев воронок.

Разрушению верхних горизонтов способствовало вспучивание отдельных участков поверхности. При высыхании тяжелых по механическому составу верхних горизонтов почв происходила усадка, образовывались трещины, которые затем заполнялись песком. При новом увлажнении почвы занятый объем оказывался недостаточным для разбухающей массы, что и вызывало вспучивание поверхности. Почва выпуклых частей сильнее обезвоживается, крошится и развевается ветром. Этому же способствуют и соли, как это было показано В. В. Егоровым (1957).

От массива к массиву по мере увеличения времени опустынивания можно наблюдать все большие разрушения прежних почв и аккумуляции эоловых песчаных отложений, служащих материнской породой для зональных пустынных почв.

На массивах, заброшенных 1,5—2 тыс. лет назад, процесс запесчанивания зашел еще далее, как это можно видеть в более северных районах (колодцы Тахирбай, Тархан, Суинджикую), где земли орошались в античное время. Теперь здесь господствуют эоловые формы рельефа — бугристо-барханные и низкогрядовые песчаные образования. Но поверхность массива все еще не стабилизирована, хотя отдельные участки покрыты растительностью. Слоистые аллювиальные отложения, которые продолжают разрушаться и развеваться, местами обнажены.

На этой территории обнаруживаются и хорошо сформированные такыры на бывших лугово-болотных почвах, подстилаемых озерно-глинистыми отложениями.

Наконец, земли, орошавшиеся и заброшенные в середине II тысячелетия до н. э., опесчанены. Остатки орошавшихся почв сохранились кое-где в погребенном под песками состоянии. На бо́льшей части площади они разрушены и замещены пустынными песчаными почвами и редкими пятнами такыров.

В итоге наблюдений за сменой почвенного покрова на массивах древнего орошения в зависимости от давности опустынивания можно прийти к заключению, что стадия отакыривания является промежуточной между гидроморфной фазой, в данном случае представленной

оазисными почвами, и зональным пустынным комплексом, представленным преимущественно песчаными пустынными почвами и такырами. Последние, являясь подчиненным звеном пустынного песчаного комплекса, существуют и развиваются, пока поступает определенное количество влаги за счет поверхностного увлажнения. С прекращением ее поступления такыр иссушается, почвенная масса обезвоживается, распадается на фрагменты, превращается в пыль и развевается ветром. Е. В. Лобова (1960) отнесла такыры к гидроморфным почвам пустыни.

Продолжительность стадии отакыривания может быть значительно более длительной, чем для Мургабской сухой дельты, если имеется постоянный или периодически возникающий источник дополнительного поступления влаги, как, например, на шлейфовых частях подгорных равнин и нижних частях конусов выноса. На таких территориях почвы дополнительно увлажняются селевыми или делювиальными водами, которые образуются на поверхности наклонных равнин в результате стока дождевых вод. К числу таких территорий может быть отнесена периферия Инклабского шлейфа (Геоксюр) сухой дельты в междуречье Теджен-Мургаб, где орошавшиеся в IV и в середине III тысячелетия до н. э. почвы ныне погребены слоем делювиальных отложений более 0,5 м и поверхность их занята комплексом такыровидных почв, такыров и песчаных почв.

Таким образом, в пределах исторического периода земледельческой деятельности человека (4—5 тыс. лет) процесс опустынивания, или точнее пустынного почвообразования, достиг стадии, когда появились вполне сформировавшиеся почвенные профили пустынных песчаных почв и такыров. Но ландшафт в целом еще не достиг стабилизации, о чем свидетельствуют современные процессы дефляции и наличие незакрепленных песчаных барханов. Этому в какой-то мере способствует и современная деятельность человека (выпас скота, заготовка саксаула на дрова). Некоторые исследователи склонны видеть в этом основную причину образования песчаных заносов и перевевания песков. На наш взгляд, деятельность человека может оказывать лишь некоторое влияние на природные процессы, но не определяет их сущности. Свидетельством широкого развития эоловых процессов без участия человека служит наличие огромных

массивов песчаных пустынь, образовавшихся в доисторическое время на месте древних аллювиально-дельтовых равнин рр. Мургаба, Амударьи и др.

Особенности формирования почвенно-литологического профиля субаэральной дельты. Изменение механического состава при природном почвообразовании отражает динамику превращения почвенно-литологического строения и состава. Таким образом, формирование литологии почвенного профиля на территории сухой дельты определяется сочетанием водных эрозионно-аккумулятивных процессов и дефляционно-аккумулятивной деятельности ветра во время длительных перерывов в обводнении тех или иных частей дельты. Собственно естественный почвенный процесс мало влияет на литологические процессы, хотя при этом могут быть существенные преобразования в микро- и макроструктуре слоя и происходит проникновение массы одного слоя в другой по трещинам, ходам и т. д.

В отличие от других зон, где формирование почв начинается после того как материнская порода создана (например, на морене), в зоне пустынь, как в гидроморфной фазе развития в обстановке аккумулятивной деятельности потоков, так и при опустынивании формирование материнской породы и почвы идет одновременно. Почвенные процессы начинают преобладать только после того, как цикл аллювиального и эолового преобразования завершен и когда уже создан грядово-песчаный ландшафт с псаммофитовым растительным покровом.

Литологический профиль молодых гидроморфных почв в собственно почвенно-генетическом отношении не имеет закономерного строения. Характерной чертой этих почв является резкая слоистость по профилю и частая изменчивость механического состава в горизонтальном направлении. Закономерность этих явлений определена гидрологическим фактором формирования дельты (табл. 4). Наиболее детально эти процессы изучены для приморских дельт (Егоров, 1959, 1970).

Профиль почвы субаэральной дельты, как и вся аллювиальная толща, состоит из чередующихся слоев разного происхождения: водно-седиментационно-аккумулятивных, почвенно-аккумулятивных, эрозионно-аккумулятивных, эолово- и дефляционно-аккумулятивных, почвенно-делювиально-аккумулятивных (такырных).

Водно-седиментационные слои образуются в условиях, когда развитие почв затруднено и седиментация аллювия происходит быстрее, чем успевает проявиться влияние почвообразования. Одна из разновидностей таких слоев возникает в условиях широких разливов и слабой проточности вод со специфической гидрологической динамикой. Отложения, образовавшиеся на месте таких широких протоков с медленно стекающими водами, состоят из тонкочастичных пылевато-легкосуглинистых отложений с резкой микрослоистостью. Размер микропрослоек 2—3 мм и меньше, они состоят из чередующихся микрослоев светло-палевых пылеватых и коричневых иловатых частиц. Эти отчетливо микрослоистые отложения, не затронутые почвообразованием, имеют обычно мощность не более 30 см.

Вторая разновидность водно-седиментационных отложений — глинистые слои, образовавшиеся в местах разливов с застойными водами вдали от водных артерий. Они тоже отчетливо микрослоисты и не несут следов почвообразования, мощность их чаще 15—30 см, редко до 1 м и более.

Почвенно-аккумулятивные горизонты имеют более широкое распространение в верхней толще аллювиальных отложений, чем другие образования. Формируются они в условиях кратковременного затопления и приноса аллювиальных частиц малыми порциями, когда поверхность покрыта растительностью. В зависимости от характера увлажнения и растительного покрова образуются гумусовые горизонты аллювиально-тугайных луговых, лугово-болотных, болотных и даже озерно-болотных почв с пресноводными моллюсками. Механический состав таких почв самый разнообразный, но почвенная масса агрегирована, микрослоистость нарушена из-за растрескивания, увлажнения и разбухания, влияния корней растений, действия землероев и т. д. Мощность горизонта обычно не выходит за пределы 40 см, а чаще составляет 20—30 см.

Эрозионно-аккумулятивные слои — это песчаные отложения, образующиеся на местах прохождения русловых протоков, которые в сухой дельте часто меняют свое расположение. Воды, проделывая новые русла по наибольшим уклонам в стороны от прирусловых старых лож, размывают водно-седиментационные и почвенно-аккумулятивные слои. Тонкие частицы при этом выно-

Таблица 4

Механический состав дельтово-аллювиальных почв, не измененных орошением (без разрушения карбонатов, пептизация почвы произведена гексаметафосфатом натрия; Братчева, 1957)

№ разреза, положение по рельефу и название почвы	Глубина почвенного слоя, см	Размер частиц, мм							
		1—0,25	0,1—0,25	0,1—0,05	0,05—0,01	0,01—0,005	0,005—0,001	<0,001	<0,01
215, гривистое повышение, луговая, тугайная засолившаяся почва	0—17	2,5	62,7	13,1	12,4	1,4	3,5	4,5	9,3
	17—30	1,5	60,1	12,1	15,0	2,2	4,4	4,7	11,3
	30—54	1,0	68,7	12,2	6,9	1,6	3,1	6,6	11,3
	54—110	0,5	73,8	13,5	3,9	0,5	1,1	6,7	8,3
	110—210	0,5	77,6	11,1	4,3	0,6	3,0	2,9	6,4
	410—430	0,1	26,3	11,4	21,0	8,9	15,3	17,0	41,2
217, плоское понижение между гривами, темноцветная луговая почва	0—22	0,3	26,2	17,3	19,2	4,9	12,2	20,8	36,9
	22—32	0,1	12,7	7,1	12,2	7,9	25,7	34,3	67,9
	45—55	—	2,6	2,0	6,5	12,2	34,9	41,8	88,9
	85—95	—	3,4	1,7	12,4	15,0	30,6	36,9	82,5
	116—126	—	85,7	8,7	0,8	0,7	1,0	3,1	4,8
	140—170	0,1	85,5	10,1	0,9	0,9	0,2	2,2	3,3
218, нижняя часть гривистого повышения, луговая почва	0—30	0	6,4	20,0	53,5	6,9	5,2	8,1	20,2
	30—53	0,2	1,8	4,1	46,3	23,6	11,7	12,3	47,6
	53—85	0	47,9	32,1	16,5	0,6	1,0	1,9	3,5
	85—107	0	34,5	32,1	28,5	0,9	0,2	3,9	5,0
	107—120	0	0,8	1,3	36,1	19,4	19,1	23,3	61,8
	120—145	0,1	23,5	11,8	21,8	5,8	16,7	20,3	42,8
	145—151	0	5,9	6,7	21,9	8,0	24,3	33,2	65,5
	151—193	0	1,0	1,3	7,8	9,3	36,7	43,9	89,9
	193—234	0,2	0,8	6,6	73,9	6,0	5,2	7,3	18,5
	234—251	0,3	1,0	2,2	19,0	19,5	23,3	30,7	77,5
	251—286	0	82,5	11,8	2,7	0,6	0,4	2,0	3,1
222, опустыненная болотная почва, развеянная	0—3	1,2	52,1	8,1	9,8	2,8	9,6	16,4	28,8
	3—9	1,0	34,8	7,8	9,6	4,0	17,1	25,7	46,8
	10—25	0,2	6,5	0,1	8,8	11,2	34,9	38,3	84,4
	70—80	0,1	21,1	10,6	6,9	8,3	23,9	29,1	61,3
	130—140	0,3	90,6	5,0	0,1	0,1	0,5	3,4	4,0
	Термитные корочки	0,7	35,4	7,9	15,6	6,7	15,8	17,9	40,4
223, молодая пустынная почва на эоловых продуктах разрушения луговых почв	0—2	0,5	79,4	7,3	5,0	0,3	2,7	4,8	7,8
	4—20 навеянный	0,5	80,7	6,5	5,4	0,2	1,9	4,8	6,9
	30—40 слой	1,5	80,6	6,4	4,0	0,2	2,5	4,8	7,5
	65—75	1,8	75,1	6,1	7,2	1,2	3,1	5,5	9,8
	80—90	1,9	70,9	9,1	9,9	0,8	3,0	4,4	8,2
	130—140	2,4	80,6	3,9	5,4	1,2	2,3	4,2	7,7
	170—180	1,8	30,7	55,3	2,9	1,2	2,7	5,4	9,3
	200—210	2,4	87,0	3,1	1,2	1,0	0,5	4,8	6,3
225, пустынная песчаная почва	0—4	4,2	85,4	4,6	2,2	0,3	0,2	3,1	3,6
	4—14	6,5	79,9	9,0	1,0	0,3	0,3	3,0	3,6
	45—55	2,8	82,7	7,7	2,7	0,3	0,5	3,3	4,1
	80—90	2,4	85,5	6,3	1,3	0,3	0,3	3,9	4,5
	160—170	1,3	80,2	9,5	4,3	1,1	0,9	2,7	4,7
226, формирующийся такыр	0—2	1,5	45,0	12,0	20,0	4,0	4,8	12,7	21,5
	2—10	0,6	21,9	19,5	41,9	3,5	3,7	8,9	16,1
	20—30	1,7	6,9	12,5	62,6	2,5	4,6	9,2	16,3
	40—50	0,8	4,2	0,4	32,0	14,1	20,8	27,7	62,6
	90—100	2,2	91,9	2,3	0,3	0,5	0,8	2,0	3,3
	180—190	2,7	90,2	3,7	0,3	0,1	0,3	2,7	3,1

Продолжение

№ разреза, положение по рельефу и название почвы	Глубина почвенного слоя, см	Размер частиц, мм						
		1—0,25	0,1—0,25	0,05—0,01	0,01—0,005	0,005—0,001	<0,001	<0,01
157, такыр на делювиально - озерных отложениях	0—2	0,2	33,7	12,1	3,8	14,8	21,1	39,6
	0—12	0,2	33,4	7,5	3,1	20,5	23,6	47,2
	15—27	0,5	11,9	8,3	13,4	32,3	30,7	76,3
	50—60	0,3	2,5	4,9	9,4	36,4	46,5	92,3
	85—95	1,9	5,6	11,0	13,0	30,3	36,0	79,2
	130—140	0,2	**2,1**	7,1	11,9	35,1	41,7	88,7
	207—214	1,0	**10,7**	19,6	11,3	24,2	27,3	62,7
	322—337	0,0	**16,1**	41,1	0,5	1,4	1,5	3,4
155, пустынная песчаная почва	0—2	0,9	77,7	4,6	0,4	0,5	3,5	4,4
	2—10	0,7	80,0	2,3	0,1	0,6	5,7	6,3
	15—25	0,6	75,2	4,3	0,4	2,1	5,6	8,1
	52—62	0,5	82,2	0,7	0,4	0,1	5,6	6,1
155, погребенный такыр	72—82	0,4	31,2	17,0	3,3	8,0	20,8	32,2
165(а), ирригационный нанос	0—10	0,1	25,5	27,2	5,1	10,2	14,0	29,3
165, песчаный нанос	3—13	0,3	78,0	5,0	0,9	1,5	6,6	9,0
	15—25	0,4	77,1	5,0	0,8	1,2	5,5	7,4
165, погребенная ирригационная почва	30—40	0,1	33,4	27,9	4,3	7,8	10,7	22,8
	45—55	0,0	19,2	30,8	4,5	7,8	12,4	24,8
	70—80	0,4	10,5	31,0	8,7	16,3	16,4	41,5
	92—102	0,1	12,9	50,5	2,5	2,5	5,7	10,7
	102—118	0,2	0,4	19,6	15,2	32,3	31,7	79,2
	120—130	0,2	8,0	36,7	7,9	14,6	17,6	40,1
	165—175	0,0	20,4	40,9	1,6	1,9	3,7	7,3
	210—220	0,1	3,7	17,7	14,2	29,7	31,0	74,9
	240—250	1,0	89,7	0,5	0,5	1,0	4,0	5,6

сятся током воды, а песок, незначительно перемещаясь, аккумулируется в виде русловых и прирусловых отложений. Если мощность почвенно-аккумулятивных и водно-седиментационных отложений измеряется несколькими десятками сантиметров, то мощность эрозионно-аккумулятивных слоев — метрами, но в местах прохождения временных случайных протоков бывает и меньше метра.

Эоловые дефляционно-аккумулятивные отложения — это переработанные ветром аллювиальные и почвенные образования. Формирование отложений происходит при длительных перерывах в обводнении в связи с изменением направлений русел в той части дельты, которая обсыхала и опустынивалась. Но эолово-дефляционная деятельность обычно была не очень продолжительной, переотложенные ветром слои снова затапливались. Такие отложения имеют песчанисто-пылеватый состав, иногда в местах аккумуляции — пылеватый. От водных аллювиальных отложений отличаются отсутствием слоистости, своеобразной микроагрегационной структурой, рыхлостью отложений, наличием следов пустынного почвообразования в виде корочек на неровной поверхности прикустовых бугров, карбонатно-известковых трубочек по ходам корней и следов деятельности термитов. Мощность этих слоев часто от 10 см до 1 м и более. При затоплении часть эоловых отложений смывается и переотлагается.

На древних дельтах образовался покров в несколько метров из эоловых песков, которые в связи с сокращением стока речных вод уже не подвергались обводнению. На этих отложениях формируются настоящие пустынные песчаные почвы, описанные в особом разделе.

Кроме вышеназванных почвенно-литологических слоев, необходимо назвать еще горизонты такырной почвы по своей природе почвенно-делювиально-аккумулятивного или солончаково-дефляционного происхождения и эллювиальные почвенные образования. Такырные горизонты очень характерны даже в погребенном состоянии.

Выше охарактеризованные горизонты и слои обнаруживаются в профиле почв и верхней толще аллювиальных отложений в разных сочетаниях и разной последовательности в зависимости от того, как складывались

условия на каждом участке дельты. Вблизи крупных русловых протоков и в верхней части дельты большее место занимают эрозионно-аккумулятивные, во внутридельтовых депрессиях и в местах периферийных разливов — водно-седиментационные и почвенно-аккумулятивные песчаные отложения. К периферии дельт все чаще вклиниваются эолово-дефляционно-аккумулятивные и такырные почвенно-делювиально-аккумулятивные горизонты.

В процессе формирования на поверхности новых отложений прежде сформировавшиеся образования испытывают метаморфическое воздействие поверхностных и грунтовых вод, нарушаются поверхности слоев или горизонтов, появляются следы миграции и перераспределения железа в виде сизых ржавых пятен, происходит обогащение карбонатами, реже гипсом, по трещинам и ходам попадает новый, не свойственный этому слою материал. Но все же прежде сформировавшиеся образования сохраняют главные черты своего первоначального строения, по которым они могут быть распознаны и определены.

Изложенное показывает, что в качестве главной черты почвенно-литологического строения сухой дельты может быть выделена гетерогенность и пестрота в строении почвенных профилей.

Таким образом, наблюдая за развитием почвенного покрова в периферийной части Мургабской субаэральной дельты при переходе от гидроморфных к пустынным условиям почвообразования, нельзя сделать вывода, что профиль гидроморфной почвы постепенно эволюционирует и превращается в зональную серо-бурую пустынную почву. При опустынивании гидроморфные почвы как таковые разрушаются физически и почвенный материал перевевается ветром, пересортировывается по крупности частиц. Он испытывает длительное воздействие пустынных условий и становится материнской породой для пустынных почв.

Соленакопление в природных гидроморфных и опустыненных почвах. Процессы соленакопления в природных гидроморфных почвах изучены и обобщены в ряде работ советских ученых (Ковда, 1946, 1947; Егоров, 1954, 1959; Герасимов, 1940; Иванова и др.). Процессы гидроморфного соленакопления в условиях дельт и изменения засоления под влиянием опустынивания детально

изучались В. В. Егоровым (1959). Охарактеризованные им закономерности в общих чертах распространяются и на Мургабскую дельту. Ниже отмечены некоторые из особенностей соленакопления в условиях сухих дельт.

Почвы сухих дельт практически принимают весь солевой сток реки, тогда как в приморских дельтах бóльшая часть стока сбрасывается за их пределы. В свою очередь, грунтовые воды сухих дельт к периферии находятся глубоко от поверхности почв и не испытывают влияния со стороны. В приморских дельтах грунтовые воды в периферийных частях испытывают подпор морскими водами, периодически подпитываются ими и обмениваются солями. В таких дельтах уровень грунтовых вод более стабилен, чем в сухих. В последних он динамичен во времени, пространстве и зависит только от гидрологического фактора. Эти особенности определяют характер распределения солей и солевой режим почв.

В сухих дельтах практически все почвы в той или иной мере засолены. Периодически рассоляются почвы мест разливов поверхностных вод, но с прекращением разливов они также засоляются (табл. 5).

Пестрота в литологии, неравномерность в поступлении поверхностного стока приводят к большой пестроте в засолении. Общие запасы солей, аккумулирующиеся в почвогрунтах зоны аэрации сухих дельт, превосходят запасы солей в насыщенных грунтах долин и влажных дельт, где минерализация грунтовых вод редко превосходит 15 г/л; для сухой дельты минерализации 15—20 г/л (вне влияния орошения) обычны.

Состав солей определяется в основном составом речных вод. Но в процессе соленакопления и перераспределения отмечается дифференциация солей по элементам аллювиального рельефа и в зависимости от режима затопления и обсыхания участков. Почвы понижения, пока их заливают поверхностные воды, рассоляются, несколько закарбоначиваются, боковые части понижений загипсовываются, а верхние части и прилегающие повышения, которые не заливает вода, засоляются сульфатами и хлоридами.

С прекращением затопления и перемещением разливов на другие участки пресные запасы фильтрационных вод срабатываются, а под влиянием окружающих разливов поднимаются более минерализованные глубин-

Таблица 5

Данные анализа водных вытяжек из образцов почв молодой генерации Мургабской дельты

№ разреза и название почвы	Глубина взятия образца, см	Плотный остаток, %	В мг-экв. на 100 г сухой почвы								Гипс	$CaCO_3$ по CO_2
			щелочность									
			CO_3''	общая HCO_3'	NO_3'	Cl'	SO_4''	Ca^{++}	Mg^{++}	Na^{+}	K^{+}	%
217, луговая темноцветная почва	0—22	0,16	Нет	0,72	0.40	0,47	0,86	0,56	0,40	1,22	0,15	—	—
	22—32	0,08	»	0,76	Нет	0,19	0,29	0,36	0,20	0,96	0,05	—	—
	45—55	0,26	»	0,76	»	1,13	1,82	0,72	0,68	2,91	0,08	—	—
	85—95	0,51	»	0,72	»	2,65	3,84	1,51	1,43	5,44	0,13	—	—
	116—126	0,11	»	0,60	»	0,38	0,67	0,44	0,36	0,96	0,05	—	—
	140—170	0,13	»	0,60	»	0.68	0,77	0,44	0,40	1,31	0,05	—	—
215, луговая тугайная засолившаяся почва	Ветви тамарикса 1:20	29,94	»	26,0	0,3	112,4	158,8	56,8	94,4	126,1	15,8	—	—
	0—17	2,18	»	0,9	2,5	12,7	13,9	13,6	4,0	10,5	2,7	0,75	12,0
	17—30	2,85	»	0,8	1,8	12,3	24,5	12,9	8,1	16,9	3,2	0,88	14,7
	30—54	1,45	»	0,9	0,4	7,0	12,5	5,3	4,3	9,6	1,5	Нет	15.4
	54—110	0,45	»	0,9	0,4	2,6	3,4	1,8	1,4	3,7	0,4	»	12,4
	110—210	0,10	»	0,9	0,2	0,7	0,5	0,7	0,3	1,2	0,1	»	12,4
	410—430	0,09	»	1,1	Нет	0,2	0,4	0,7	0,3	0,6	Следы	»	19,9
113, тугайный солончак	0—10	8,68	»	0,5	»	44,5	80,9	12,5	37,0	80,5	1,9	0,89	12,3
	30—40	0,59	»	0,3	Следы	2,7	4,1	0,8	1,6	4,1	0,2	1,29	12,7
	77—100	0,76	»	0,3	Нет	2,4	7,9	2,4	2,8	4,9	0,1	1,29	13,6
228, луговая почва в середине понижения	0—15	0,10	Нет	0,56	0,18	0,23	0,19	0,72	0,16	0,35	0,13	Не определяли	15,0
	16—45	0,24	»	0,56	0,18	0,68	1,82	1,03	0,84	1,57	0,13	То же	23,4
	45—70	0,32	»	0,56	0,11	1,02	2,78	1,35	1,51	1,70	0,20	» »	23,4
	70—80	0,35	»	0,60	Нет	0,79	3,22	1,39	1,83	1,57	0,23	» »	26,1
	110—135	0,95	»	0,40	»	Следы	12,24	11,06	1,39	0,30	0,15	1,3	20,0
	135—160	1,15	»	0,40	»	»	14,40	14,09	1,35	0,17	0,15	3,1	17,5
	160—200	0,73	»	0,40	»	»	9,12	8,68	1,00	0,13	0,13	0,5	15,7
227, солончак, боковая часть понижения	0—10	2,00	»	0,76	0,03	0,07	27,60	12,39	0,75	13,48	0,28	9,8	9,8
	10—12	33,62	0,16	1,20	1,56	24,05	437,00	13,07	1,98	435,0	1,79	17,6	3,2
	13—30	4,20	Нет	0,56	1,38	28,30	30,00	15,15	7,52	37,54	1,25	16,0	8,0
	30—55	3,77	0,16	0,64	0,80	19,06	33,60	12,97	11,58	27,18	0,77	3,5	13,8
	55—80	3,14	0,16	0,60	0,16	12,40	33,60	6,14	14,85	23,92	0,56	0,6	22,7
	80—100	2,91	0,20	0,58	0,08	12,21	28,80	4,26	12,77	21,75	0,46	0,6	23,6
	103—150	1,90	0,08	0,56	0,03	6,48	18,72	5,45	7,27	13,48	0,26	0,9	22,7
	150—200	0,47	Нет	0,88	0,02	1,26	4,56	1,31	1,70	3,70	0,01	Не определяли	14,8
Вода р. Мургаб *	—	0,49	Нет	2,7	Не определяли	2,1	2,8	2,6	1,9	2,7	0,1	—	—
Вода озера на весеннем паводке	—	3,23	То же	9,8	То же	16,7	24,9	7,4	12,4	25,0	1,0	—	—
Сбросные воды ** осенью	—	5,56	» »	4,6	» »	33,4	32,4	10,9	32,4	26,1**	Не определяли	—	—

* Пробы взяты в октябре 1957 г.
** Na рассчитан по разности.

Таблица 6

Состав водных вытяжек из образцов опустыненных почв периферии Байрам-Алийской дельты

№ разреза и название почвы	Глубина взятия образца, см	Плотный остаток, %	В мг-экв. на 100 г сухой почвы								
			щелочность		NO'_3	Cl'	SO''_4	$Ca^{\cdot\cdot}$	$Mg^{\cdot\cdot}$	$Na^{\cdot}$	$K^{\cdot}$
			CO_3''	HCO_3'							
157, такыр среди песчаных отложений	0—2	0,16	0,24	0,96	0,03	0,68	Нет	0,20	Нет	1,44	0,07
	2—12	0,17	0,16	0,88	0,02	0,49	То же	0,24	»	1,04	0,10
	15—27	2,03	Нет	0,32	0,32	9,07	19,00	12,00	2,00	15,10	0,09
	50—60	2,24	»	0,20	0,30	8,52	21,50	7,50	1,0	23,96	0,17
	85—95	2,14	»	0,20	0,33	6,19	22,50	11,00	0,50	19,5	0,17
	130—140	0,96	0,12	0,66	Не определяли	7,00	7,50	1,00	Нет	13,9	0,07
	172—175	0,61	0,16	0,68	То же	3,90	5,50	1,00	»	8,70	0,04
	207—214	1,09	Нет	0,36	» »	4,66	10,75	3,25	0,50	12,40	0,10
	250—260	0,22	0,40	1,08	» »	0,68	0,75	0,10	0,15	2,61	0,01
	322—337	0,18	0,40	1,40	» »	0,42	0,60	0,20	Нет	2,39	0,04
	387—400	0,25	0,16	1,04	» »	0,30	0,30	0,65	»	3,17	0,01
	527—540	0,24	0,12	1,14	» »	0,64	0,25	0,20	0,15	3,35	0,07
162, такыр с культурным погребенным слоем	0—4	0,21	0,32	1,44	0,06	1,53	0,10	0,20	Нет	3,18	0,10
	6—16	1,21	Нет	0,56	0,40	18,95	1,50	1,25	0,25	18,05	0,15
	26—36	1,44	»	0,56	0,70	20,22	2,25	0,75	0,75	21,10	0,10
	40—80	1,56	0,04	0,58	1,55	22,13	2,75	1,00	1,00	22,83	0,13
	49—59	0,96	0,04	0,94	0,88	11,96	3,75	1,00	0,25	13,05	0,08
	145—155	0,42	0,04	0,50	Не определяли	1,61	3,90	1,10	0,20	5,00	0,05
163, такыр ископаемый, разрушающийся	0—8	0,17	0,04	0,85	0,07	1,44	0,30	0,30	0,10	2,17	0,18
	30—40	0,60	Нет	0,56	0,23	6,95	0,80	0,30	1,40	6,83	0,10
	160—170	0,04	»	0,56	Не определяли	0,17	Нет	0,30	0,20	0,43	0,05
155, песчаный нанос	0—2	0,11	Нет	0,56	0,02	0,08	0,31	0,65	0,16	0,09	0,10
	2—10	0,08	»	0,56	Следы	0,03	0,25	0,50	0,16	0,09	0,10
	15—25	0,76	»	0,64	»	0,03	0,21	0,50	0,16	0,13	0,13
	52—62	0,29	»	0,72	»	0,14	0,25	0,45	0,16	0,43	0,05
Погребенный такыр **165(а),** песчаная	72—82	0,20	»	1,00	»	1,01	0,27	0,15	0,16	2,39	0,03
	0—10	0,08	»	0,61	0,10	0,08	0,10	0,45	0,16	0,22	0,10
165, окультуренная ископаемая	3—13	0,05	»	0,56	0,02	0,08	0,17	0,45	0,16	0,17	0,15
	15—25	0,09	»	0,56	0,03	0,08	0,08	0,30	0,16	0,43	0,05
	30—40	0,12	»	0,72	0,02	0,54	0,15	0,25	0,16	1,43	0,03
	45—55	0,24	»	0,88	Следы	2,14	0,48	0,15	0,08	3,56	0,03
	70—80	1,18	»	0,52	0,08	3,91	12,17	6,80	2,06	7,17	0,05
	92—102	0,36	»	0,44	0,05	1,72	2,83	1,15	0,57	3,38	0,05
	102—118	1,09	»	0,52	Следы	6,45	8,79	2,55	1,56	11,9	0,18
	120—130	0,59	»	0,52	0,10	3,10	5,23	1,95	1,07	7,17	0,03
	165—175	0,16	»	0,47	Не определяли	0,76	0,75	0,30	0,16	2,13	0,03
	210—220	0,70	»	0,67	0,13	3,91	5,27	2,05	1,56	6,39	0,20
	240—250	0,25	»	0,52	Не определяли	0,59	0,58	0,40	0,01	1,22	0,07
225, пустынная песчаная почва	0—4	0,07	Следы	1,24	То же	Следы	0,19	0,86	0,16	0,09	0,15
	4—14	0,07	»	1,16	» »	»	0,19	0,86	0,12	0,04	0,18
	45—55	0,17	Нет	1,08	» »	1,04	0,07	1,54	0,44	0,65	0,26
	80—90	0,17	»	1,16	» »	1,48	0,48	1,24	0,44	1,13	0,08
	160—140	0,18	»	1,06	» »	1,48	0,96	1,18	0,42	1,39	0,05
226, молодой такыр	0—2	0,54	0,08	0,68	0,13	6,01	1,73	0,60	0,12	8,05	0,23
	2—10	0,27	0,08	0,64	0,03	3,06	0,58	0,48	0,16	3,18	0,23
	20—30	2,23	Следы	0,36	0,21	11,40	19,68	12,34	0,56	17,40	0,05
	40—50	2,46	»	0,60	0,19	17,0	13,44	3,46	1,23	27,18	0,05
	90—110	0,28	»	1,20	Следы	1,81	1,29	0,56	0,20	3,26	0,05

ные воды, что приводит к засолению почв обсохших понижений и образованию солончаков.

При дальнейшем обсыхании и опускании уровня грунтовых вод солончаковые корки развевает ветер, происходит некоторое перераспределение солей под влиянием атмосферных осадков, что еще больше засоляет почвы понижений.

При опустынивании и перевевании почвенно-аллювиальной массы соли выносит ветер, часть их, наиболее подвижные — хлоридные соли, вымываются и накапливаются в такырных почвах понижений (табл. 6).

В процессе опустынивания идет вынос солей, главным образом сульфатов натрия и магния и перемещение делювиальными водами хлоридных, нитратных солей в понижения, а также вмывание их на глубину нескольких сантиметров, где они защищены от выдувания. В процессе сработки ветром верхних слоев почвы хлориды перемещаются ниже. Горизонт максимального засоления в такырных почвах обнаруживается на глубине 25—35 см.

Песчаные почвы, освободившиеся от накопленных в гидроморфной фазе солей, вступают как бы в новый цикл автоморфного соленакопления в связи с поступлением солей эоловым путем и с минерализацией растительных остатков. Однако количества солей, накопленных этим путем, невелики и легко вмываются атмосферными водами на глубину промачивания — 1—1,5 м. Состав солей бикарбонатный щелочной и реже сульфатный кальциево-натриевый.

При опустынивании в почвах резко понижается содержание водорастворимых солей магния как абсолютно, так и относительно от суммы солей. Если в гидроморфных засоленных и незасоленных почвах содержание магния колеблется в пределах 15—35% от суммы катионов, то в опустыненных почвах содержание магния всегда меньше 10% для верхних горизонтов почвы и меньше 15% от суммы катионов в средней части почвенного профиля. В пустынных почвах, не орошавшихся речными водами, по крайней мере около 3 тысяч лет, магний исчезает из состава легкорастворимых солей в верхнем горизонте, а в средней части почвенного профиля его количество не превышает 7% от суммы катионов.

Уменьшение количества водорастворимого магния, по мере опустынивания почв только отчасти можно

объяснить тем обстоятельством, что магний как наиболее подвижный элемент уходит в виде раствора с опускающимися грунтовыми водами: такой процесс возможен только на первых стадиях обсыхания почв и снижения грунтовых вод с 1,5 до 10 м от дневной поверхности. В дальнейшем связь почвы с грунтовыми водами прекращается, а содержание водорастворимого магния продолжает убывать, особенно резко в верхних горизонтах. Отсюда следует вывод, что растворимый магний при опустынивании почв переходит в нерастворимое состояние, как бы фиксируется почвой, что мы связываем с глинообразованием. Отмечается и фиксация калия, вследствие чего уменьшается содержание водорастворимого калия.

Гипс ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$). Гипс накапливается в почвах из растворов почвенногрунтовых и поверхностных вод. Речные воды не насыщены сульфатом кальция, содержание последнего в них редко превышает 1 мг-экв/л. Растворимость же тонкокристаллического гипса в чистой воде может достигать 36 мг-экв/л. Некоторое значение в транспортировке гипса имеет эоловое перемещение его при развевании соленосных и гипсоносных корок пустыни.

Почвы дельты Мургаба, как было замечено еще А. Н. Розановым (1954), небогаты гипсом, если сравнивать их с почвами Голодной степи или Ферганы, что объясняется бедностью мургабских вод кальцием, который при их испарении выпадает в виде карбоната (табл. 7). В грунтовых водах абсолютное и относительное содержание сульфата кальция сильно возрастает по сравнению с речными водами.

В гидроморфных природных почвах Мургабской дельты гипс накапливается слабо. Даже в солончаках его содержание редко превышает 1—2% (разрез 215, 113). Содержание гипса существенно увеличивается по периферии оазиса и в древнеорошаемых почвах, во вторично обогащенных сульфатами водах. Накопление этого вещества приурочено к понижениям и нижним частям слабо выраженных склонов депрессий. Наибольшее содержание гипса в почвах обычно приурочено к верхней части зоны капиллярной каймы и контакту почвы с грунтовыми водами. В верхней части зоны капиллярного насыщения почвы гипс представлен в виде жилок из мелких кристаллов, чаще чечевицеобразной формы, об-

Таблица 7

Содержание гипса в почвах Мургабской дельты

№ разреза	Глубина взятия образца, см	$CaSO_4 \cdot 2H_2O$, %	№ разреза	Глубина взятия образца, см	$CaSO_4 \cdot 2H_2O$, %	№ разреза	Глубина взятия образца, см	$CaSO_4 \cdot 2H_2O$, %
Тугайные солончаки			Отакыренный солончак			Такыр		
215	0—17	1,6	45	0—4	Нет	84	0—6	0,4
	17—30	0,9		4—9	1,0		6—16	0,1
	30—54	0,4		9—16	0,1		18—30	0,8
	54—110	0,1		17—22	1,0		48—58	0,4
	110—210	Нет		30—40	0,5		75—85	0,2
				60—70	0,7		94—104	0,5
113	0—10	1,7		100—110	0,5		125—135	0,3
	30—40	1,3		135—145	0,3		165—175	0,4
	77—100	1,4		160—170	0,4		195—205	0,7
227	0—10	10,6		170—185	0,1		220—248	0,5
	10—12	18,4		199—213	0,3		248—281	0,3
	12—30	17,1		233—246	0,3		281—306	0,1
	30—55	4,4		261—270	0,3		306—351	0,4
	55—80	3,4		276—286	0,3		351—362	0,2
	80—100	0,3		296—303	0,1		362—384	0,1
	100—150	1,3		340—345	0,1		392—405	0,5
	150—200	0,1		Такыр			405—425	4,7
							451—474	0,4
228	0—15	0,1	152	0—4	Нет		474—521	0,2
	16—45	0,3		5—10	»		521—525	0,5
	47—70	0,5		16—26	7,8		555—620	0,4
	70—80	0,5		35—45	7,4		620—695	2,5
	110—135	2,1		49—54	5,0		712—738	0,1
	135—160	4,2		61—71	Нет		738—768	0,2
	160—200	1,0		85—95	»		768—810	0,1
				110—120	»			

разующих друзы. Очень часто гипс в этих жилках выкристаллизовывается вместе с мирабилитом и глауберитом. При залегании грунтовых вод ближе 1 м гипс нередко образует на поверхности почвы щетки из волокнистых кристаллов.

В зоне контакта с грунтовыми водами, где сохраняется более равномерное высокое увлажнение, кристаллы гипса становятся крупнее.

При опустынивании почв гипс солончаковых корок обезвоживается, превращается в пыль и выносится ветром. Верхние слои почвы, промываемые атмосферной влагой, освобождаются от гипса, который выкристаллизовывается на глубине 15—60 см (разрез 152). В глубоких слоях, по-видимому, также происходит перераспределение гипса. В опустыненных почвах отмечается небольшая концентрация гипса на глубине 15—30 см, глубже наблюдаются колебания в содержании гипса в зависимости от механического состава прослоек. Глинистые прослойки содержат больше гипса, чем легкие супесчаные и песчаные.

Гипс в опустыненных почвах, как уже упоминалось, выделяется в виде жилок из микрокристаллов (псевдоморфозы и трубочки по ходам корней). На развалинах наиболее древних поселений домонгольского периода можно обнаружить в выветривающейся массе культурных отложений псевдоморфозы гипса на костях и черепках.

Карбонаты. Источником карбонатов для почв Мургабской дельты служат материнские породы, которые содержат около 16% карбоната кальция и около 2% карбоната магния.

Материнские породы представляют собой продукты переотложений размываемых в горной части терригенных неогеновых песчаников и более ранних осадочных пород. В процессе развития почв происходит дальнейшее обогащение их карбонатами, выпадающими из грунтовых вод, что особенно заметно для почв, формирующихся в понижениях. Часто карбонаты приносят также и поверхностные воды.

В молодых луговых и лугово-тугайных почвах содержание карбонатов хорошо коррелируется с механическим составом. Почвы гривистых повышений супесчано-песчаного механического состава содержат всегда меньше карбонатов (5—6% CO_2), чем тяжелые почвы межгривистых и дельтово-озерных понижений, где количество CO_2 достигает 10—12% (табл. 8). Роль вторичного обогащения почв понижений становится особенно заметной, если принять в расчет, что собственно илистые частицы содержат мало карбонатов, по CO_2 обычно менее 3%, пылеватая фракция содержит около 15%, мелкий песок около 6%.

При опустынивании содержание карбонатов уменьшается из-за выноса пылеватой фракции, в которой сосредоточено до 80% от общего количества карбонатов.

Таблица 8

Содержание карбонатов в почвах Мургабской дельты

Почва, положение по рельефу	№ разреза	Глубина взятия образца, см	CO_2 карбонатов, %	Частиц <0,01 мм, %
Опустыненные почвы				
Такыр	157	0—2	5,9	41,9
		2—12	5,9	52,0
		12—27	7,4	76,2
		50—60	8,4	94,2
		85—95	9,1	78,8
		130—140	10,4	90,7
Песчаная пустынная на гряде	225	0—4	4,3	3,7
		4—14	3,9	4,2
		45—55	3,9	4,2
		80—90	4,0	4,4
		160—170	4,0	4,7
Отакыренная в котловине между бугрями	226	0—2	6,1	21,5
		2—10	6,8	16,4
		20—30	7,9	16,4
		40—50	9,9	62,6
		90—100	3,9	3,3
		180—190	3,9	3,1
Гидроморфные почвы Марыйской периферийной части дельты				
Тугайный солончак на гривистом повышении	217	0—17	5,3	9,3
		17—30	6,5	11,3
		30—54	6,8	11,3
		54—100	5,9	8,3
		110—120	5,9	6,4
		410—430	8,9	41,2
Луговая темноцветная в понижении	215	0—22	5,2	37,9
		22—32	7,8	67,9
		45—55	9,7	88,9
		85—95	9,8	82,4
		116—126	5,6	4,8
		140—170	5,4	3,8
Луговая темноцветная в понижении	228	0—15	6,6	Суглинок
		16—45	10,3	Тяжелый суглинок
		45—70	10,4	Глина
		70—80	11,5	Супесь
		110—135	8,3	Песок
		135—160	7,5	"
		160—200	6,9	"

Поэтому как пустынные песчаные почвы, так и делювиальные слои такырных почв обеднены карбонатами. Поступление карбонатов в почву из минерализующихся растительных остатков по сравнению с исходными запасами настолько мало, что не вносит существенных изменений ни в общее количество, ни в распределение карбонатов по профилю. При этом надо также учитывать и молодость почвообразования.

Элементы плодородия и питания растений. *Изменение содержания и состава гумуса в почвах.* Природные гидроморфные почвы содержат высокое количество гумуса для условий пустыни до 2,0%. Наибольшее количество гумуса обнаруживается в темноцветных луговых почвах Марыйской террасы. Темноцветные почвы нередко обнаруживаются в погребенном состоянии под новейшими аллювиальными отложениями. Гумусовый горизонт таких почв чаще всего имеет глинистый механический состав. Цвет почвы очень темный, иногда даже смолисто-черный.

Таблица 9

Изменение содержания гумуса в почвах под влиянием орошения и опустынивания

Гидроморфные почвы			Опустынивающиеся почвы		
№ разреза, почвы	глубина взятия образца, см	гумус, %	№ разреза почвы	глубина взятия образца, см	гумус, %
215, лугово - тугайная на гривистом повышении	0—17	1,28	**71,** такыр на мощных ирригационных отложениях, межканальное понижение	0—4	0,50
	17—30	1,48		5—11	0,47
	30—54	0,60		14—24	0,42
	54—110	0,26		40—50	0,37
217, луговая темноцветная в межгривном понижении	0—22	1,50		70—100	0,35
	22—32	0,78	**157,** такыр на дельтово - аллювиальных отложениях	0—2	0,46
	48—55	0,48		2—12	0,28
	85—95	0,38		12—27	0,36
128, лугово-оазисная почва	0—10	1,25		50—60	0,46
	10—20	1,04		85—95	0,28
	20—30	1,04	**158,** пустынная почва на перевеянных песках	0—9	0,16
	60—70	0,45		10—20	0,13
	95—105	0,63		33—43	0,12
				70—80	0,11

Однако, по данным анализа (табл. 9), содержание гумуса здесь редко превышает 2%. Эти почвы Г. И. Доленко (1951) называл остаточно-лугово-темноцветными и считал, что современные условия не благоприятствуют образованию таких почв. Темноцветные почвы встречаются среди современных луговых почв, развивающихся в понижениях, по северо-западной периферии Мургабской дельты. Гумусовый профиль луговых почв очень четко выражен.

В луговых почвах в средней и нижней части почвенного профиля нередко имеются гумусированные горизонты погребенных темноцветных почв.

При опустынивании происходит разрушение фиксированного органического углерода, хотя относительное его содержание от общего изменяется мало. Если в луговых почвах содержание неизвлекаемого углерода равно 0,4% и более от веса сухой почвы, то в пустынных почвах его количество меньше 0,16%. При этом изменяется и групповой состав гумуса, извлекаемого пирофосфатной смесью. На первой стадии опустынивания происходит как бы относительное увеличение фракции гуминовой кислоты за счет уменьшения количества прочно фиксированного гумуса, а затем уменьшается и содержание гуминовых кислот.

Отношение валового углерода к азоту в верхнем горизонте для луговых неорошаемых почв обычно укладывается в пределы 10—16, в то время как в орошаемых при глубоких грунтовых водах и экстенсивном использовании оно составляет 6—8, а в пустынных неорошаемых — 4—6.

А з о т и к а л и й*. В пустынных почвах Мургабской дельты содержание общего азота обычно не превышает 0,04%. Но при небольшом количестве валового азота значительная его часть находится в легкодоступной для растений нитратной форме, что отмечалось многими исследователями (Кононова, Лобова, 1960; Розанов, 1951). Накопление нитратов в почвах Мургабского оазиса является одной из специфических особенностей пустынного почвообразования.

Процесс накопления нитратов в почвах периферии дельт пустынных районов Ковда рассматривает как проявление солончакового процесса. Причем источником нитратов считаются грунтовые воды. Можно предполагать, что в условиях Мургабской дельты также существует солончаковая миграция и аккумуляция нитратов в почвах. О последнем свидетельствует накопление нитратов в сильно засоленных почвах (табл. 10). Незасоленные луговые темноцветные почвы понижений содержат значительно меньшее количество нитратов, которые обнаруживаются только в самом верхнем горизонте. Однако прямой зависимости в накоплении нитратов, легкорастворимых и других солей натрия не обнаруживается. Не всегда можно считать, что источником нитратов являются грунтовые воды. Периферийные части Мургабской субаэральной дельты имеют глубокие грунтовые воды, глубже 10 м, но они периодически подпитываются поверхностными паводковыми и сбросными водами, которые перераспределяют нитраты, образующиеся при минерализации органического вещества.

Рассматривая изменения содержания нитратов в ряду почв от гидроморфных луговых к пустынным, можно заметить, что на первых стадиях опустынивания с разрушением гумуса и растительных остатков происходит увеличение содержания нитратов. Одновременно накапливается и водорастворимый калий, что дает основание заключать, что при опустынивании происходит образование калийной селитры за счет ранее накопленных запасов органического вещества. При дальнейшем опустынивании содержание KNO_3 в почвах уменьшается. В зоне контакта пустыни и тугайной части дельты песчаные почвы содержат следы нитратов. При многократном перевевании продуктов разрушения гидроморфных почв содержание водорастворимых солей, в том числе и нитратов, сильно уменьшается. Только под отдельными кустами и в котловинах (разрез 228), где задерживается тонкая пыль и опад растений, обнаруживается более значительное содержание NO_3, K, Na, однако и здесь количество их значительно меньше, чем в гидроморфных почвах.

В северной (Байрам-Алийской) части Мургабской дельты пустынные такыры содержат нитраты в количестве до 300 мг/кг почвы, а нередко и более. Распределение нитратов связано с общими процессами миграции солей и коррелируется с распределением натрия. Содержание последнего в солевых горизонтах достигает 0,3—

* Здесь не рассматривается аккумуляция калийной селитры на культурных отложениях на месте древних поселений.

Таблица 10

Изменение содержания водорастворимых NO_3', K^+, Na^+ при опустынивании почв Мургабской дельты

№ разреза, почва	Глубина взятия образца, см	NO'_3 (мг/кг почвы)	K^+ (мг/кг почвы)	Na^+, % от веса почвы
Марыйская часть дельты				
217, темноцветная луговая	0—22	250	60	0,028
	22—32	Нет	20	0,022
	45—55	»	30	0,067
	85—95	—	50	0,125
215, тугайный солончак под зарослями тамарикса	0—17	1520	1050	0,242
	17—30	1120	1240	0,390
	30—54	260	600	0,220
	54—110	260	170	0,085
	110—210	140	20	0,028
227, то же	0—10	20	110	0,310
	10—12	970	700	10,000
	13—30	860	490	0,813
	30—55	500	300	0,625
	55—80	100	220	0,550
	80—100	60	180	0,500
223, завеянная тугайная почва	0—2	20	100	0,006
	4—20	60	120	0,016
	30—40	630	200	0,132
	65—75	410	340	0,125
	80—90	340	500	0,118
	130—140	550	500	0,235
	170—180	270	340	0,130
	200—210	190	240	0,100
225, песчаная пустынная почва (грядовое повышение)	0—4	Следы	60	0,002
	4—14	»	70	0,001
	45—55	Нет	100	0,015
	80—90	»	30	0,026
228, котловина между бугристыми грядовыми повышениями. Слаборазвитый такыр	0—15	100	50	0,008
	16—45	100	50	0,036
	45—70	70	80	0,039
	70—80	60	90	0,036
	110—135	—	60	0,007

Продолжение

№ разреза, почва	Глубина взятия образца, см	NO'_3 (мг/кг почвы)	K^+ (мг/кг почвы)	Na^+, % от веса почвы
Байрам-Алийская часть дельты				
157, такыр на дельтово-аллювиальных отложениях	0—2	20	30	0,033
	2—12	10	40	0,024
	15—27	200	40	0,347
	50—60	190	70	0,550
	85—95	210	70	0,500
	130—140	—	30	0,250
	172—175	—	20	0,200
152, то же	0—4	50	30	0,055
	5—10	220	30	0,160
	16—26	260	100	0,395
	35—45	280	80	0,487
	49—54	280	80	0,486
	61—71	280	50	0,375
	85—95	220	30	0,145
	110—120	660	30	0,182
	150—160	—	10	0,044
158, пустынная почва на песчаной гряде	0—9	10	30	0,001
	10—20	Следы	20	0,001
	39—49	»	20	0,001
	70—80	»	30	0,001
	127—137	»	30	0,004
	200—210	Нет	20	0,003
	210—216	»	50	0,067
159, пустынная супесчаная почва в котловине выдувания	0—4	Следы	20	0,001
	4—14	10	40	0,001
	20—30	10	50	0,001
	37—47	10	60	0,013
	100—110	60	40	0,245
	164—174	10	20	0,077

0,5%. Наиболее низкое содержание солей и нитратов отмечается в корке. Обращает на себя внимание очень низкое содержание калия в такырах несмотря на их высокое засоление. В гидроморфных почвах при таких степенях засоления содержание калия колеблется в пределах 100—300 мг/кг почвы. Здесь, в пустынных же такырах, его содержание даже в солеиосных горизонтах не поднимается выше 80 мг/кг почвы (единичный случай 100 мг), а в верхних количество этого элемента составляет лишь 3 мг/кг почвы. В пустынных почвах количество нитратов в эквивалентном выражении всегда превышает содержание калия, а в гидроморфных обычно наоборот. Здесь, очевидно, проявляется известная тенденция к фиксации калия глинистыми минералами при иссушении почв (Горбунов, 1948). В такырах и пустынных почвах наряду с нитратами калия всегда содержатся и нитраты натрия.

В заключение можно отметить, что пустынные почвы Мургабской дельты в целом богаты нитратами. Даже песчаные пустынные почвы содержат заметное количество NO_3 по всему профилю, что является одной из причин пышного развития на них растительности во влажный весенний период.

Несколько неожиданным оказалась обедненность пустынных почв (в сравнении с луговыми почвами) водорастворимым калием. Однако в такырах и такырных почвах содержится около 250—500 мг/кг почвы обменного калия (в песчаных пустынных почвах 70—180 мг/кг почвы), что характеризует пустынные почвы как обеспеченные калием.

В Мургабских почвах имеются, кроме того, большие запасы валового калия (2—3%), входящего в состав гидрослюд и других калийсодержащих минералов, которые пополняют при выветривании легкодоступные для растений запасы этого элемента.

Фосфор. Строгих закономерностей в содержании фосфора в почвах и изменений его при опустынивании не обнаружено. Установлено, что илистые частицы значительно богаче фосфором, чем пылеватые и песчаные, следовательно, почвы более тяжелые по механическому составу имеют большее количество валового фосфора, чем песчаные. С развитием процесса опустынивания имеется тенденция уменьшения содержания как валового, так и легкодоступного для растений фосфора

Таблица 11

Содержание фосфора в почвах Мургабской дельты (данные Сучкова и Валиева, 1957)

№ разреза, почва	Глубина взятия образца, см	P_2O_5 валовой, %	P_2O_5 в углекислотной вытяжке, мг/кг
14, такырные почвы с опесчаненным верхним горизонтом	0—12	Не определяли	15,0
	12—21	То же	12,0
	21—29	» »	6,5
44, то же	0—15	0,067	13,3
	15—19	0,078	7,8
	20—30	0,099	5,5
42, то же	0—26	0,071	10,1
	30—40	0,105	5,5
46, такыр на аграрно-ирригационных отложениях	0—3,5	0,093	20,7
	3,5—8	0,091	13,5
	8—17	0,087	8,8
	22—32	0,105	7,3
6, луговая темноцветная	0—13	0,108	37,5
	14—24	0,118	38,7
	27—35	0,102	13,9
	40—50	0,053	7,5
24, то же	0—7	Не определяли	150,0
	7—20	То же	30,7
	30—40	» »	12,5
	70—80	» »	5,5
45, такыр	0—7	0,089	18,7
	7—11	0,097	10,1
	11—25	0,110	8,8

(табл. 11). В целом же надо отметить, что мургабские почвы бедны фосфором и очень сильно нуждаются в фосфорных удобрениях.

Таким образом, данные по изменению гумуса, N, K, P свидетельствуют об уменьшении их валового количества при опустынивании почв, что происходит в основном вследствие разрушения и развеивания наиболее активных верхних почвенных горизонтов. Кроме того, остающиеся количества K и P переходят в малодоступные формы вследствие их фиксации почвой.

Следовательно, пустынные почвы характеризуются не только низким активным современным плодородием, но и малым потенциальным запасом питательных элементов, в связи с чем необходимо окультуривание и обогащение питательными элементами при их освоении.

Емкость обмена и состав поглощенных оснований. Емкость поглощения в почвах определялась по методу Бобко и Аскинази в модификации Грабарова и Уваровой (Аринушкина, 1961), количества поглощенных натрия и калия (предварительно эти элементы извлекали углекислотной вытяжкой по Гедройцу) спектрально; кальций и магний (предварительно извлекались солевой вытяжкой по Шмуку) — трилонометрическим методом. Поскольку для засоленных почв нет пока надежных методов выделения поглощенных оснований, их определяли лишь в незасоленных или слабозасоленных безгипсовых почвах (за исключением разрезов 69 и 71, где соли отмывались спиртом).

Представленные данные (табл. 12) показывают, что мургабские почвы имеют малую поглотительную способность. В пустынных почвах емкость поглощения зависит от механического и минералогического состава, поскольку содержание гумуса в них практически одинаково мало — 0,2—0,5%. Песчаные и супесчаные почвы, широко распространенные в пустынных районах, содержат 2—3% частиц ила. Емкость поглощения таких почв колеблется в пределах 2—4 мг-экв. на 100 г почвы. В котловинах, где в большем количестве, чем на грядах и буграх, аккумулируются тонкие частицы, наблюдается увеличение емкости поглощения до —8 мг-экв. при содержании 4—7% ила.

В такырных почвах и такырах емкость обмена обычно не превышает 9—10 мг-экв., несмотря на высокое содержание ила — до 30% и более. Низкая емкость об-

Таблица 12

Емкость поглощения и сумма поглощенных оснований в почвах Мургабской дельты (мг-экв. на 100 г почвы)

№ разреза	Глубина взятия образца, см	Емкость поглощения	Сумма поглощенных оснований	№ разреза	Глубина взятия образца, см	Емкость поглощения	Сумма поглощенных оснований
	Пустынные песчаные и супесчаные почвы						
158	0—9	2,6	2,4	159	0—4	3,4	3,6
	10—20	6,3	6,4		4—14	4,9	4,8
	33—43	4,2	4,0		20—30	2,8	2,5
	70—80	2,7	2,5		37—47	3,1	3,2
	Пустынные такырные почвы и такыры (тяжелосуглинистые)						
152	0—4	10,3	9,8	154	0—5	9,2	10,0
	5—10	12,3	9,2		7—17	10,2	8,0
157	0—2	9,2	9,4		32—42	8,6	9,3
	2—12	10,9	10,6			7,9	9,8
					70—100	9,7	7,6

Продолжение

№ разреза	Глубина взятия образца, см	Емкость поглощения	Сумма поглощенных оснований	№ разреза	Глубина взятия образца, см	Емкость поглощения	Сумма поглощенных оснований
Оазисные легкосуглинистые и суглинистые почвы							
126	0—10	6,1	5,7	122	0—10	13,8	9,9
	10—20	6,2	5,9		10—20	13,1	9,8
	20—30	6,1	5,5		20—30	10,7	11,1
	45—55	8,0	7,4		60—70	7,9	7,9
	90—100	12,1	11,6		95—100	7,2	6,4
Экстенсивно орошаемые и гидроморфные тяжелосуглинистые и глинистые почвы							
217	0—22	13,0	12,6	61	0—10	12,3	15,6
	22—32	13,6	13,3		20—30	12,8	15,2
	45—55	18,1	17,3		40—50	12,8	18,2
	85—95	20,2	19,7		65—75	9,3	14,4
	—	—	—		100—110	5,2	7,2

мена характерна для всех такыров Средней Азии, что не имеет удовлетворительного объяснения до настоящего времени. Отмечается определенная зависимость уменьшения емкости поглощения почв от длительности их опустынивания или от возраста пустынных почв. По данным Е. В. Лобовой (1960) наиболее древние в Средней Азии серо-бурые почвы на останцовых возвышенностях имеют емкость поглощения около 3—5 мг-экв. на 100 г почвы.

Уменьшение емкости обмена катионов в процессе развития пустынного почвообразования, по-видимому, объясняется изменением микроструктуры глинистого вещества почвы. В пустынных условиях при резкой смене гидротермических показателей глинистая часть почвы приобретает конденсационную структуру из оптически ориентированных частиц. При этом размеры кристаллов глинистых минералов как бы укрупняются и свободная их поверхность сокращается.

Различия в микростроении глинистого вещества отчетливо видны в шлифах из почв. Кроме того, в пустынных почвах больше содержится железа, окристаллизованных минералов из гидроксилов и окислов железа, частицы которого блокируют поверхности глинистых минералов и снижают емкость обмена.

В гидроморфных неорошаемых почвах при высокоилистом составе аллювия (частиц $<0{,}001$ мм — 35—45%) емкость поглощения возрастает до 12—15 мг-экв., на 100 г сухой массы редко — больше.

Состав поглощенных оснований. Исходным материалом для почвообразующих пород Мургабской дельты являются речные наносы. Взвеси р. Мургаба имеют легкосуглинистый механический состав с емкостью поглощения 6—7 мг-экв. на 100 г взвесей. $Mg^{\cdot\cdot}$ занимает 50% от емкости, $Ca^{\cdot\cdot}$ — 45% и на долю К приходится около 5%. Поглощенный натрий отсутствует.

В аллювиальных отложениях, подстилающих почвы, в отличие от взвесей в небольшом количестве появляется поглощенный натрий и соответственно несколько уменьшается содержание магния. Хотя абсолютные величины обменивающихся катионов небольшие в расчете на 100 г. сухого вещества почвы, но, учитывая огромную толщу аллювия, реакции обмена могут оказать некоторое влияние на изменение солевого состава почвенных и грунтовых вод.

Верхние горизонты почв имеют иной состав поглощенных оснований, чем аллювиальные отложения. Прежде всего в них значительно возрастает содержание поглощенного кальция и уменьшается количество поглощенного магния (табл. 13). В мургабских орошаемых почвах обнаруживается до 2—5% поглощенного натрия и до 5—8% поглощенного калия.

Таблица 13

Состав поглощенных оснований в луговых и опустыненных почвах

№ разреза, почва	Глубина взятия образца, см	Ca⁺⁺	Mg⁺⁺	Na⁺	K⁺	Сумма поглощенных оснований, мг-экв. на 100 г сухой почвы
		% от суммы оснований				
217, луговая темноцветная почва в понижении между гривами	0—22	62	30	3	5	12,7
	22—32	64	29	3	4	13,3
	48—55	54	41	3	2	17,3
	85—95	52	47	0	1	19,7
71, опустыненная почва древнего орошения (такыр), возраст 700 лет	0—4	81,4	13,6	0,2	4,8	10,0
	5—11	84,3	10,1	0,3	5,3	10,3
	14—25	72,2	26,0	0,4	1,4	8,6
	40—50	69,0	27,0	0,2	7,2	7,9
	70—100	77,9	17,7	0,3	4,1	9,7
	100—140	91,5	6,6	0,3	1,6	8,3
	140—170	76,7	21,8	0,2	1,3	7,9
154, то же (заброшенная, возраст 2 тыс. лет)	0—5	87,6	4,4	0	8,0	9,08
	7—17	78,7	15,0	0	6,3	10,19
	32—42	93,7	6,3	0	0	6,37
152, такыр на дельтово-аллювиальных отложениях. Периферийная часть Марыйской дельты	0—4	69,1	8,2	14,6	8,1	9,80
	5—10	60,4	17,2	14,2	8,2	9,21
157, то же	0—2	72,0	8,5	12,4	7,1	9,40
	2—12	75,3	3,7	14,8	6,2	10,57
2, такыр на древнетедженских аллювиально-делювиальных отложениях. Геоксюр	0—22	69	23	—	8	8,6
	22—40	66	27	—	7	9,0
	40—50	69	21	5	5	9,3
	50—75	63	31	1	5	7,6

При опустынивании гидроморфных почв происходят заметные изменения в составе поглощенных оснований, еще больше увеличивается содержание поглощенного кальция и уменьшается содержание поглощенного магния (табл. 13, разр. 71, 154). При этом несколько снижается и емкость поглощения — на 1—3 мг-экв. на 100 г почвы. В почвенном растворе незасоленной почвы отношение Na^{+} к Ca^{++} равно 1 и меньше. В почвенных растворах опустыненных почв древнего орошения обнаруживаются хлориды кальция, составляющие до 20—30% от суммарного количества солей. Таким образом, при иссушении почв растворы все больше насыщаются наиболее растворимыми хлоридами кальция. Натрий из поглощающего комплекса будет вытеснен. Поэтому в такырах и такырных почвах, сформировавшихся на агроирригационных отложениях, при анализе состава поглощенных оснований натрия почти не обнаруживается. Отсутствие поглощенного натрия в такырах опустыненных районов древнего орошения отмечалось У. У. Успановым (1940) и для дельты Амударьи.

Состав поглощенных оснований в более древних пустынных такырных почвах и такырах, расположенных на периферийной части дельты, характеризуется еще меньшим содержанием поглощенного магния, чем в опустыненных почвах древнего орошения. Но в отличие от последних такыры на дельтово-аллювиальных отложениях, сформировавшиеся по периферийной части дельты, содержат заметное количество поглощенного натрия (в корке и надсолевом горизонте — до 14% от суммы поглощенных оснований) и поглощенного калия (6—8% от суммы).

Таким образом, можно отметить следующие закономерности в изменении физико-химических свойств опустынивающихся почв. Прежде всего уменьшается емкость обмена из-за укрупнения кристаллов глинистых минералов и блокирования их поверхности гидроокислами железа, что приводит к уменьшению поверхности активного обмена катионами. Происходит фиксация магния с переходом его в необменные формы. В опустыненных почвах, сформировавшихся на древних ирригационных отложениях, в составе поглощенных оснований преобладает кальций, содержание натрия очень мало (менее 5%). В такырах на древних ирригационных наносах в числе хлоридных солей обнаруживается хлорид каль-

ция, который, обладая более высокой растворимостью, препятствует вхождению натрия в поглощающий комплекс. В надсолевых горизонтах более древних такыров на делювиально-аллювиальных отложениях содержание натрия увеличивается до 15% от суммы поглощенных оснований, а по литературным данным — до 30—40% (Каменир-Бычков, 1966; Бурдыгина и Фалеева, 1962). Причиной осолонцевания почв такыров в периферийной части может служить повышеннощелочной состав солей в деллювиальном стоке. Натриевые растворы, циркулируя в верхней части почвенного профиля, выносят вниз кальциевые соли, которые аккумулируются на глубине 30—50 см, а надсолевая часть осолонцовывается.

Сущность опустынивания и микроструктура такыров. Такырные почвы, особенно такыры, долгое время рассматривались как геологические образования. Новейшие исследования также показывают, что такыры наиболее бедны в отношении микробиологического населения среди других почв среднеазиатской пустыни и характеризуются самой низкой биологической активностью (Палецкая, Киселева, 1961). Эти почвы почти не содержат органического вещества, количество гумуса в них обычно колеблется в пределах 0,3—0,5%. При изучении таких почв трудно решить, какие из признаков обязаны своим формированием почвенным процесам, а какие физическим, в том числе гидро-гравитационным и термическим, которые имеют место при формировании любых мелкоземистых отложений непочвенного происхождения.

Описанию условий образования такыров посвящена обширная литература (Герасимов, 1933; Зонн, 1936; Успанов, 1940; Розанов, 1951; Болышев, 1955; Генусов, 1958; Егоров, 1959; Лобова, 1960; Ковда, Базилевич, Кузнецова и др., 1956; Джумаев, 1959, и т. д.).

Наибольшие дискуссии развернулись вокруг так называемой солончаково-солонцовой сущности такырообразования (Сушко, 1932; Герасимов, 1933; Ковда, 1956, и др.). В. В. Егоров (1957) рассматривал влияние солевого режима как косвенный фактор такырообразования. Наиболее ярко выраженные такыры Кизил-Арватской равнины, развитые на делювии-пролювии солеиосных пород, показывают высокую насыщенность поглощающего комплекса ионом натрия. Поэтому плохие в агрономическом отношении физические свойства

такыров связывались с их солонцеватостью. Но уже исследования У. У. Успанова (1940) показали, что такыры, сформировавшиеся на опустыненной поверхности древне-амударьинской дельты, не содержат в своем составе поглощенного натрия. Тем не менее морфологически и по всем другим свойствам они схожи с ярко солонцеватыми такырами. Плохие физические свойства такыров У. У. Успанов связывал с их тяжелым механическим составом, который считался главным условием их формирования. В связи с этим был предложен метод пескования, который рассматривался основным мелиоративным мероприятием в окультуривании такыров.

Такыры на наиболее древних поверхностях всегда в той или иной мере засолены и солонцеваты, это следствие их залегания в понижениях, куда поступают солевые растворы с делювиальными водами.

Наряду с такырами глинистого состава обнаружены и более легкие суглинистые такыры (Палецкая, 1950). Л. Н. Палецкая и А. П. Лавров (1965) большое значение в формировании такыров придавали углекислотному режиму почв.

Н. Н. Болышев (1955) и Н. И. Базилевич (1965) считали, что особая роль в такырообразовании принадлежит водорослям, под влиянием которых происходит разрушение минеральной части почв и их осолодение. Однако потом, кроме водорослевых, стали выделять лишайниковые, намытые, хаковые и другие такыры. По-видимому, формирование такыров может происходить и под влиянием других факторов. Кроме того, водорослей очень много на поверхности почв гидроморфного ряда, в том числе периодически орошаемых поверхностными водами и пойменных почвах, но такыров среди них не образуется. Водоросли на затопленных такырах скорее следствие, а не причина такырообразования и затакыривания поверхности.

И. И. Феофаровой (1956) были опубликованы материалы микроморфологического изучения солонцеватых такыров Западной Туркмении с микрофотографиями и детальным описанием микроморфологии этих почв.

Автором также изучались шлифы как солонцеватых, так и несолонцеватых такыров. Солонцеватые такыры были взяты из периферической части Тедженской и Мургабской дельт, где они развиты на засоленных натриевыми солями субаэрально-аллювиальных отло-

жениях. Несолонцеватые такыры сформировались на древних агроирригационных отложениях Мургабского оазиса, где ирригационная сеть была разрушена во время монгольского нашествия (XIII в.).

По морфологическим и водно-физическим свойствам солонцеватые и несолонцеватые такыры Мургабской дельты не имеют существенных различий, если не принимать во внимание различий в подстилающих породах. Первые из них подстилаются слоистыми субаэрально-аллювиальными отложениями, а вторые — очень однородными, в глубоких слоях хорошо микроагрегированными, ирригационными отложениями. Верхние горизонты, или по меньшей мере такырная корка, сформировалась в том и другом случае на почвенно-делювиальных отложениях. Сравнительное изучение в шлифах этих такыров и анализы их состава позволяют прийти к следующему заключению:

1. Все такыры и такырные почвы, которые в соответствии с представлениями В. В. Егорова (1959) объединяются в один тип такыровых почв, в принципе характеризуются одинаковым микростроением верхнего корково-слоеватого горизонта и разным составом и строением материнских пород. Среди них есть такыры незасоленные и несолонцеватые. Различия между ними по микростроению носят количественный, а не качественный характер. Это дает основание подтвердить независимость такырообразования от состава поглощенных оснований и засоления. Микростроение верхних горизонтов всех такыровых почв близко к микростроению осолонцованных горизонтов, если даже в них нет поглощенного натрия. Главной чертой их является высокая дисперсность глинистого вещества почвы, пептизированность и оптическая ориентированность глинистых частиц, образующих натеки по порам, пленки по первичным минералам и агрегатам и отдельные сгустки глин.

2. При опустынивании луговых и орошаемых почв, характеризующихся хорошей микроагрегированностью почвенной массы, происходит разрушение микроагрегатов, переотложение части материала и пептизация глинистого вещества. При этом чем длительнее опустынивание почвы, тем бóльшая часть глинистого вещества находится в пептизированном состоянии, тем сильнее разрушена исходная почва. Поэтому можно считать, что наиболее характерным микроморфологическим призна-

ком такыровых почв является сепарация высокодисперсного глинистого вещества и конденсация глинистых частиц в виде оптически анизотропных пленок и одежд по стенкам пустот, поверхностям наиболее крупных частиц и отдельных сгустков по трещинам и ходам с образованием оптически ориентированных глин.

В верхнем горизонте — корке такыра мощностью до 4—6 см пленки оптически ориентированных глин очень тонкие. Они выстилают поверхности многочисленных замкнутых, «такыровых», по терминологии И. И. Феофаровой, пор и образуют, после высыхания такую же тонкую, блестящую пленку на поверхности такыра. С иссушением вследствие дегидратации эта поверхностная пленка распадается на отдельные микрофрагменты, чешуйками скручивается вместе с водорослями и затем выдувается ветром. Часть этих чешуек попадает в трещины такыра и таким образом задерживается в почве. После разрушения пленки поверхность такыра становится матовой и шероховатой. Кроме того, на многих такырах видны следы микронамыва новых слоев из глинистых и пылевато-глинистых частиц.

3. Сепарированные скопления глинистых частиц при увлажнении после дождей сильно набухают, а при дальнейшем увлажнении глинистые частицы рассеиваются и образуют суспензии и коллоидные растворы. Эти растворы просачиваются вглубь до 4—8 см, редко глубже, по наиболее крупным ходам и трещинам, образуя натеки глин. Такие натеки хорошо видны под микроскопом во всех такырах. Чем больше и сильнее отакырена почва, тем больше таких натеков. Можно было бы предположить, что осолонцевание ускоряет этот процесс, но такие же натеки обнаружены и в несолонцеватых почвах.

Часть наиболее тонких и подвижных глинистых частиц, образующих коллоидные растворы, с обсыханием возвращается по капиллярам к поверхности почвы, образуя блестящие тонкие розовые корочки. Этот процесс имитировался автором в лабораторных условиях (Минашина, 1964). Блестящая глинистая корочка образуется в лабораторных условиях даже на песчаной почве, если есть близко к поверхности непроницаемая прослойка.

4. В более глубоких горизонтах такырного профиля (15—25 см) глинистое вещество почвы также находится в пептизированном состоянии, хотя не имеет такой чет-

кой сепарации от песчано-пылеватых частиц почвы. Морфологически пептизированность глинистого вещества в этих горизонтах проявляется в образовании плитчатой и пластинчатой структуры. Глинистые индивидуальные частицы почвы, представленные преимущественно гидрослюдами, имея пластинчатую форму и будучи в пептизированном состоянии, стремятся занять наиболее устойчивое положение, ориентируясь своими базальными плоскостями под влиянием сил гравитации горизонтально поверхности почвы. Но в этих же слоях по трещинам всегда обнаруживаются натеки глинистого вещества, часто «спекшегося» с навеянным в них песком, которое И. И. Феофарова назвала «смешанным суглинком».

5. Характерным для верхних, а иногда и более глубоких горизонтов всех такыров, в том числе и подстилаемых агроирригационными отложениями, является чередование намытых микронаслоений пептизированного глинистого вещества и пылеватых частиц, иногда с примесью навеянного песка. Это явление обязано своим происхождением влиянию делювиальных струй, стекающих с более повышенных прилегающих участков. Такыры всегда занимают наиболее пониженные поверхности. На древнеорошаемых территориях такыры, сформировавшиеся в когда-то вогнутых межканальных понижениях, приобрели совершенно плоскую поверхность за счет постоянных намывов со склонов и микроповышений. В такырных почвах на агроирригационных отложениях этих наслоений нет.

6. Причина высокой пептизированности глинистого вещества в такырах пока не имеет удовлетворительного объяснения. Стабильность коллоидов в водах, стекающих на поверхность такыров, настолько велика, что они оказываются устойчивыми при кипячении и пропускании суспензий через колонки песка с гипсом и карбонатами. В природных такырах также часто можно видеть включение кристаллов гипса, изолированных от общей массы почвы пленками глинистого вещества. Присутствие в твердой фазе почв карбонатов (20—25% от общей массы) не препятствует миграции глинистого вещества.

При изучении различия в составе глинистого вещества пустынных и орошаемых почв в Мургабском оазисе было обнаружено, что опустыненные почвы содержат

больше магния в составе илистой и особенно коллоидной фракции, чем гидроморфные почвы, в которых высокой подвижности глинистых частиц не наблюдается. По-видимому, при опустынивании происходит образование магнезиальных силикатов типа палыгорскита, обладающих очень высокой подвижностью коллоидных растворов даже в солевых системах *. Они стабилизируют в пептизированном состоянии менее устойчивые к коагуляции гидрослюдистые и монтмориллонитовые минералы. Факт увеличения магнезиальности илистой и коллоидной фракции по мере увеличения возраста опустыненных почв был замечен ранее А. Н. Розановым (1951) и Е. В. Лобовой (1960), но ему не было дано должной оценки. Присутствие минералов палыгорскитовой группы (атапульгит — в американской терминологии) в пустынных почвах также неоднократно отмечалось в литературе (Ван Лиир, 1965; Muir, 1951). А. И. Перельман (1960) обнаружил значительное накопление палыгорскита в ископаемых почвах Заунгузья, которые в прошлом сформировались тоже в аридных условиях. Палыгорскит обнаружен в серо-бурых почвах бассейна Зеравшана и Кашкадарьи (Турсунов, 1970).

Рентгеновским и дифрактометрическим исследованиями илистой фракции, выделенной из пустынных и полупустынных почв Египта, обнаружен палыгорскит как преобладающий глинистый минерал в так называемом субтропическом сероземе присредиземноморской полосы Ливийской пустыни.

Накопление магния в илистой фракции в опустыненных почвах, сформировавшихся на агроирригационных отложениях Мургабского оазиса, обнаруживается вполне определенно по данным валового анализа (Минашина, 1965).

Другие особенности в микростроении такыров не имеют повсеместной выраженности. Например, Феофаровой были описаны случаи декарбонизации по отдельным пятнам в такырах Кизыл-Арватской равнины. В такырах Тедженской и Мургабской дельт такого явления не обнаружено.

И. И. Феофарова большое значение в такырообразовании придавала обезыливанию отдельных участков, что

* Минералы палыгорскитовой группы используют как поверхностно-активные вещества, предупреждающие коагулирование глинистых растворов при бурении соленосных пластов.

она связывала с почвенным осолонением и вымыванием или нисходящими токами воды. Обезыливание отдельных микроучастков наблюдалось и автором, но оно рассматривается как одно из проявлений более общего процесса пептизации и сепарации глинистого вещества. Кроме того, сопряженность обезыленных участков и микроскоплений глин в виде пленок и сгустков не позволяет утверждать, что это во всех случаях связано с иллювированием. Часто такое явление наблюдается при передвижении глинистых частиц с восходящими и боковыми токами влаги. Вымывание коллоидов дождевыми и делювиальными водами из песчаных навеянных масс с приподнятых относительно такыровых поверхностей и вынос их в понижения — тоже один из широкораспространенных видов бокового перемещения глинистых частиц.

Таким образом, нет оснований считать иллювирование глин при такырообразовании главным процессом формирования такыров (осолодения). Такырообразование можно определить как распад почвенных агрегатов на индивидуальные составляющие частички при изменении их физико-химических свойств. Дальнейшее поведение частиц определяется их формами и размерами, а также физическими и водно-термическими условиями среды. При этом глинистая часть, обогащаясь магнием из растворов, приобретает способность противостоять солевой коагуляции, отделяется от песчано-пылеватой массы почвы и мигрирует под влиянием капиллярных и гравитационных сил в виде коллоидных растворов и водных суспензий. Такие процессы по своей сущности противоположны процессам почвообразования в гидроморфных условиях, где происходит накопление органического вещества и агрегация, при равномерном перемешивании тонких и более крупных почвенных частиц с образованием рыхлой, хорошо проницаемой, но в то же время и хорошо адсорбирующей массы. Опустынивание же — это разрушение почвы, если под почвой имеется в виду продукт биологической переработки минеральной массы материнской породы.

Пустынно-песчаные почвы и их сравнительная характеристика с сероземными песчаными почвами. Пустынные песчаные почвы становятся господствующими компонентами почвенного покрова уже на территориях древних оазисов, заброшенных более 2,5—3 тыс. лет,

если эти места не получали дополнительного поверхностного увлажнения. Песчаные почвы занимают здесь 70—90% площади.

На стадии развития пустынных песчаных почв рельеф и поверхность стабилизируются. Песчаные гряды в результате многократного перевевания приобретают наиболее устойчивую форму относительно господствующих в сухое время года ветров. Почва приобретает связность, и поверхность ее закрепляется растительностью. Это не означает, что перемещение песка прекращается, но оно становится незначительным. По разным причинам время от времени появляются небольшие очаги выдувания и новой аккумуляции, которые имеют локальный характер. По литературным данным (Нечаева, 1958) площадь незакрепленных песков в Каракумах составляет всего лишь 7% от общей площади песчаной пустыни.

Пустынные песчаные почвы в сравнении с гидроморфными и отакыривающимися почвами аллювиальных равнин и дельт очень слабо изучены с генетической стороны и в отношении структуры почвенного покрова. Больше изучалась растительность пустынных песчаных почв с целью оценки продуктивности растительного покрова для животноводства (Родин, 1940; Нечаева, 1958, и др.). В настоящее время интерес к пустынным песчаным почвам возрастает прежде всего в связи с возросшими техническими возможностями ирригационного строительства. Большие пространства пустынных песчаных почв уже пересекают магистральные каналы — Каракумский, Аму-Бухарский. Увеличиваются количества дренажных вод, которые из-за повышенной солености могут быть применены только на почвах легкого механического состава, где легче регулировать солевой режим.

Все это заставляет уделять все большее внимание изучению пустынных песчаных почв, их генезису и путям вовлечения в орошаемое земледелие.

Песчаные почвы в бассейне р. Мургаба очень широко распространены. Они простираются на огромном пространстве и занимают разное высотное положение от 170 до 700 м над уровнем моря, включая зону пустынных и полупустынных степей в пределах Мургабской дельты и древние холмистые равнины Бадхыза и Карабиля. Последние, по Герасимову (1937), представляют

собой остатки древнего доплювиального плато, разрушенного эрозионными и дефляционными процессами, где дефляция неогеновых и древних пролювиально-аллювиальных отложений обусловила широкое развитие суб-аэральных песков.

По высотным отметкам эта территория соответствует зонам распространения пустынных почв, светлых и типичных сероземов. Однородная перевеянная материнская порода и сходный рельеф позволяют проследить особенности почвообразования во всем ряду в зависимости от разных эколого-климатических условий и возраста.

Наиболее молодые пустынные песчаные почвы относятся к переходной стадии от гидроморфных условий к автоморфным, когда пойменный режим сменялся пустынным, аллювиальные почвы были частично разрушены и перевеяны, но в составе и свойствах почвенной массы еще сохранились признаки былого влияния лугово-болотного процесса почвообразования. Такие почвы развиты в периферийной части Марыйской дельты и занимают самые низкие отметки — около 180 м над уровнем моря в изученном ряду. В низовьях Мургабской дельты, но на более древней ее генерации — Байрам-Алийской в районе такыра Кызыл-Катты (высота около 190 м над уровнем моря) заложены разрезы 156, 158, 159. Поверхность почв закреплена илаком, саксаулом, черкезом и другими псаммофитами. Почвенный профиль вполне сформирован, имеет свои генетические горизонты, свойственные развитой пустынной песчаной почве.

Морфологическое строение песчаных почв

Разрез 158. Песчаная грядово-бугристая территория, прилегающая к такыру Кызыл-Катты. Поверхность покрыта илаком, саксаулом, дроком и др. Разрез заложен на грядовом повышении.

0—9 см. Желтовато-сероватый песок, сухой, сыпучий, но местами на поверхности образовалась сцементированная корочка, очень хрупкая, но устойчивая к воздействию ветра. В этом горизонте мало корней и он отделяется по этому признаку от нижерасположенного, густо пронизанного корнями.

9—27 см. Желтовато-серый песок. Горизонт максимального скопления корней илака, луковиц тюльпанов. Корни густо переплетают почвенную массу, придают ей связность. В большом количестве ходы насекомых, пустоты. Почва слегка сцементирована. По ходам корней образовались глинисто-известковистые трубочки, которые, вероятно, и придают некоторую связность почве. Переход постепенный.

27—45 см. Желтовато-серый песок, сухой, несколько более сцементированный, чем в нижележащем слое, имеются элементы почвенной структуры, но почва легко рассыпается при механическом воздействии. Много корней и трубочек по ходам корней. Переход постепенный.

45—118 см. Желтовато-серый песок, рыхлый, включает корни. Переход постепенный.

118—190 см. Серовато-желтый песок, слегка увлажненный, рыхлый, при просыхании осыпается.

190—220 см. Желтовато-серый песок свежий, рыхлый, слегка сцементированный, видны крапинки гипса.

Разрез 159. Небольшая котловина между бугристо-грядовыми повышениями. Поверхность покрыта кустарником, илаком, изредка солянками. Много нор грызунов.

0—4 см. Рыхлый, желтовато-серый песок. Переход резкий.

4—17 см. Желтовато-серая пористая супесь, густо пронизанная корнями илака. Почвенная структура выражена слабо. Много ходов корней. Переход постепенный.

17—37 см. Желтовато-серая, сухая, супесь непрочно-порошисто-комковатая. Наблюдается примесь крупного песка. Переход постепенный.

37—72 см. Желтовато-светло-сероватый супесчаный, свежий, порошистый горизонт с норами грызунов. Переход резкий.

72—134 см. Слоистый, супесчаные слои чередуются с очень тонкими суглинистыми делювиальными прослойками (1,5—2 см). Переход резкий.

134—210 см. Горизонт желтоватого цвета, слегка увлажненный, с резкими сизыми пятнами и ржавыми разводами, преимущественно супесчаный; слабо уплотнен; встречаются жилки солей.

Разрез 82. Заложен на правобережной древней части Мургабской дельты, в 20 км юго-восточнее станции Захмет, высота примерно 250 м. Зона пустынных песчаных почв *. Поверхность покрыта саксаулом и илаком. Местами пески разбиты и образуют барханы. Разрез расположен между недавно навеянными бугорками песка, на гряде.

0—6 см. Желтый сухой сыпучий песок. Переход заметен по более обильному скоплению корней в нижерасположенном горизонте.

6—18 см. Желтый песок, сухой, очень густо переплетен корнями. Переход постепенный.

18—63 см. Желтый песок, сухой, слегка сцементированный, пористый, много корней растений. Переход постепенный.

63—105 см. Несколько более светлый песок, слегка сцементированный, сухой. Переход постепенный.

105—120 см. Более рыхлый песок, слегка увлажненный. Никаких новообразований не обнаружено.

---

* Эта часть относится к юго-восточной Каракумской пустыне, почвы которой были описаны Л. Н. Палецкой (1954).

Разрез 25. Расположен на более древней возвышенности Карабиль на высоте около 400 м над у. м. Зона светлых сероземов.

Рельеф грядово-волнистый с редкими котловинами выдувания. Разрез заложен на очень слабо покатой ровной поверхности. Растительность — полынь песчаная, эфемеры, песчаная осока и др. Территория используется как пастбище.

0—12 см. Дернина, густо переплетенная корнями растений. Почва супесчаная, серого цвета, комковатой структуры. Переход постепенный.

12—41 см. Горизонт серый с палевым оттенком, сухой, супесчаный, со слабо выраженной комковатой структурой. Много корней растений. Переход постепенный.

41—86 см. Серовато-палевый, сухой песок, содержит корни растений в заметном количестве. Включает много жилок карбонатов, состоящих из изометричных по форме кристаллов кальцита. Переход постепенный.

86—150 см. Песок палевого цвета, сухой, слегка сцементированный карбонатом кальция, редко включает мелкие конкреции, корни растений. Переход постепенный.

150—200 см. Песок палевого цвета, свежий, аналогичен вышерасположенному. Новообразований карбонатов не обнаруживается.

Разрез 32. Заложен на высоте около 500 м над уровнем моря, в Бадхызском заповеднике на ровной поверхности повышения. Растительность образует здесь высокий, почти сплошной покров, состоящий из полыни песчаной, псеролен, ирисов, осоки песчаной. По аналогии с лёссовыми равнинами — это зона обыкновенных сероземов.

0—11 см. Дернина, густо переплетенная корнями растений. Почва светло-серого цвета, супесчаная, комковато-слоеватая. Структурные отдельности непрочные. Переход постепенный.

11—36 см. Горизонт палево-сероватый, песчаный, сухой, слегка сцементированный, трещиноватый, слабо пористый, содержит много корней растений и ходов насекомых. Переход постепенный.

36—69 см. Серовато-палевый, сухой песок, слегка сцементированный, слабо трещиноватый. Содержит корни растений. Появляются новообразования из карбонатов в виде жилок. Переход постепенный.

69—210 см. Светло-палевый песок, слабо сцементированный, с точечными скоплениями карбонатов. Встречаются корни растений.

Разрез 34. Заложен в районе более высокой южной части, имеющей широко волнистый рельеф, возвышенности Бадхыз на неогеновых песках. Высота около 600—650 м над уровнем моря. Увалы чередуются с лощинами. Разрез заложен на очень слабо покатой поверхности повышения, имеющей густой травянистый покров.

0—12 см. Дернина, густо переплетенная корнями растений. Почва серого цвета, сухая, супесчаная, комковатая. Переход постепенный.

12—35 см. Горизонт светло-серый, с коричневатым оттенком, сухой, супесчаный, комковатый, слегка сцементированный, трещиноватый, пористый, сильно переплетенный корнями. Переход постепенный.

35—78 см. Красновато-желтый супесчаный с серым оттенком, сухой, рыхлый, много жилок карбонатов по ходам корней. Слегка сцементированный, пористый, трещиноватый. Видны ходы насекомых и землероев. Переход постепенный.

78—137 см. Желтовато-красноватый песок, слабо сцементированный, пористый. Обнаружены ходы корней и жилки карбонатов, но в меньшем количестве, чем в верхнем горизонте. Переход постепенный.

137—220 см. Песчаный, несколько более светлый и более сцементированный горизонт, свежий, корни растений идут до самого дна ямы. Карбонаты в виде пятен в небольшом количестве прослеживаются до 180 см.

Здесь приведено описание почв, сформировавшихся на ровных повышениях или на очень пологих склонах в верхней части. Автором также изучались почвы на нижней части склонов и в понижениях. Эти почвы отличаются более тонким составом слагающих их частиц, они чаще супесчаные, имеют повышенное содержание гумуса (обычно на 20—50% против почв повышений). Различия между почвами повышений и понижений с увеличением высоты над уровнем моря проявляются более четко, особенно в зоне сероземов. Среди пустынных песчаных почв различий по содержанию гумуса не обнаружено или они незначительны. Почвы понижений часто более пылеваты.

Главнейшее морфологическое отличие пустынных песчаных почв от песчаных сероземов — разное расположение горизонта максимального скопления корневых систем растений. В пустынных песчаных почвах его верхняя граница глубже на 5—10 см, мощность корневого горизонта 15—25 см. Верхний слой песка над горизонтом максимального скопления корней образует как бы мульчу, которая смягчает тепловой режим и способствует сохранению влаги в корнеобитаемом горизонте. На поверхности мульчирующего горизонта образуется сцементированная корочка, мощностью в несколько миллиметров, которая в какой-то мере защищает песок от выдувания.

В песчаных сероземах горизонт максимального скопления корней начинается с самой поверхности почвы и представлен дерниной, очень густо переплетенной корнями эфемеров, мощностью 12 см. Глубже, до 35—40 см, идет тот же горизонт, но образованный корневыми массами многолетних растений. Далее содержание корней уменьшается, но они, так же как и в пустынных

песчаных почвах, идут на глубину нескольких метров. В пустынных песчаных почвах при вскрытии профиля часть песка со стенок разреза осыпается, обнажая корни растений, что создает впечатление их обилия.

Второе морфологическое отличие пустынных песчаных почв от песчаных сероземов — характер выделения карбонатов. В песчаных сероземах заметно проявляется иллювиирование карбонатов, которые образуют и морфологически выраженные новообразования в виде жилок по ходам корней, а в нижней части почвенного профиля и карбонатные пятна. Кристаллы вторичного кальцита в песчаных почвах отличаются от сероземных почв на лёссе крупностью, изометричностью (размер кристаллов 0,05—0,1 мм), в то время как в сероземах на лёссе вторичный кальцит всегда пелитоморфный (размер частиц — 0,005—0,001 мм), реже несколько крупнее, часто игольчатый по форме.

В пустынных песчаных почвах также видны следы перекристаллизации кальцита, но без выраженного иллювиирования. Влияние перекристаллизации проявляется в некоторой цементации песчаных частиц и образовании известковисто-глинистых трубочек по ходам корней, что и придает связность почве и слабо выраженную комковатую структуру. Перекристаллизация кальцита является причиной образования хрупкой корочки на поверхности почвы, которую всегда замечают почвоведы, но иногда считают кремневой.

Третье морфологическое различие — выраженность гумусового профиля. В пустынных песчаных почвах содержание гумуса настолько мало (почти всегда меньше 0,3%), что по окраске гумусовый горизонт не отличается от других горизонтов профиля. Органическое вещество вместе с окислами железа и кристаллически связанной водой образуют на поверхности песчинок пленку желтоватого или красноватого цвета.

Гумусовый горизонт песчаных сероземов хорошо выделяется морфологически, при этом его выраженность и мощность увеличивается с подъемом поверхности предгорных равнин. Содержание гумуса от подзоны светлых до темных сероземов увеличивается от 0,4 до 1,5%. Вместе с тем содержание гумуса в песчаных сероземах значительно меньше, чем в сероземах на лёссе. Пониженная гумусность — несомненно следствие отсутствия фиксации органических частиц глинистыми минералами — обычная черта песчаных почв во всех зонах (а в аридной в особенности) в связи с наличием более благоприятных, чем в других зонах, условий минерализации растительных остатков.

По данным анализа почв, различия между пустынными песчаными почвами и песчаными сероземами по вещественному составу менее выражены, чем по морфологии, и количественно не выходят за рамки колебаний внутри типа.

Механический состав. Особенности формирования песчаных почв с точки зрения механического состава в процессе перевевания отмечались выше. После завершения цикла перевевания и стабилизации поверхности дальнейшее изменение в составе происходит благодаря почвообразовательным процессам. Все представленные в таблице 14 анализы механического состава почв указывают на большое количество тонко песчаных частиц, что характерно для мургабских отложений, а также крупной пыли (0,05—0,25 мм). Содержание их в сумме колеблется от 55 до 95% от общего веса почв. Содержание среднепылеватой фракции размером 0,01—0,05 мм заметно увеличивается с переходом от пустынных песчаных почв к светлым и обыкновенным песчаным сероземам. Однако нельзя считать, что эта особенность связана с влиянием почвообразования.

При просмотре под бинокулярной лупой почвенной массы песчаных сероземов следов заметного выветривания частиц не обнаруживается. Песчаные частицы округлы, имеют отполированную ветром поверхность, в то время как при выветривании образуются угловатые частицы с травленой поверхностью. Эти различия в механическом составе приходится отнести за счет особенностей материнской породы. Несущая сила ветра в центральных частях пустынь больше, а на возвышенных предгорных равнинах во время формирования эоловых отложений — меньше. Возможно, что на поверхностях предгорных возвышенностей Карабиль и Бадхыз оседала часть пыли, вынесенной из центральной пустыни.

Тонкая пыль (0,001—0,01 мм) почти отсутствует во всех почвах. В пустынных почвах ее содержание меньше 1%, а в песчаных сероземах меньше 5%, причем больше, чем наполовину, она представлена вторичным кальцитом, то есть большей частью это вторичные образования.

Таблица 14

Механический состав песчаных почв на эоловых отложениях

№ разреза, почва	Глубина взятия образца, см	Содержание фракций, % (размер частиц, мм)						Сумма частиц, %	
		1—0,25	0,25—0,10	0,10—0,05	0,05—0,01	0,01—0,005	0,005—0,001	<0,001	>0,01
158, пустынная песчаная	0—9	0,4	92,1	3,7	2,1	0,3	0,1	1,3	92,5
	10—20	0,4	91,9	3,9	2,3	0,2	0,1	1,2	92,3
	33—43	0,3	90,1	4,5	3,0	0,7	0,2	1,2	90,4
	70—80	0,8	94,2	1,9	1,7	0,2	0,2	1,0	95,0
	127—137	0,3	93,1	4,1	1,0	0,4	0,4	0,8	93,4
	200—210	0,9	90,7	4,9	2,1	0,4	0,4	0,6	91,6
		0,1	47,6	33,2	10,6	0,7	2,5	5,3	47,7
Трубочки									
32, песчаный обыкновенный серозем	0—10	0,3	53,7	26,6	12,3	0,1	2,1	4,9	54,0
	15—25	0,1	56,7	29,5	8,4	0,3	0,8	4,2	56,8
	46—56	0,1	45,9	40,8	7,1	0,4	1,3	4,4	46,0
	95—105	0	20,3	48,1	24,6	0,5	1,2	5,3	20,3
	160—170	0	34,9	43,7	15,1	0,2	0,3	5,8	34,9
	200—210	0	34,6	44,6	10,3	4,6	0,6	5,3	34,9
34, темный песчаный серозем на неогеновых песках	0—10	0,4	34,4	33,9	20,6	2,3	3,8	4,6	34,8
	16—26	0,1	30,5	41,3	19,9	0,9	2,5	4,8	30,6
	50—60	0,1	40,5	30,7	19,6	2,2	1,4	5,5	40,6
	105—115	0	45,4	30,1	16,1	1,7	1,6	5,1	45,4
	150—160	0	40,5	33,4	19,6	0,5	0,8	5,2	40,5
	186—196	0	22,7	32,9	32,9	1,3	4,3	5,9	22,7
	220—230	0	25,7	37,1	28,2	0,8	3,0	5,2	25,5

Илистые частицы размером менее 0,001 мм, значение которых так велико в плодородии почв, содержатся в незначительном количестве: 1—3% в пустынных песчаных почвах и до 5—6% в песчаных сероземах. Увеличение их количества в сероземах может быть связано с внутрипочвенным выветриванием. Задержка 1—3% ила в пустынных песчаных почвах — результат адсорбции глинистых частиц на поверхности песчаных, что предохраняет их от выдувания в процессе перевевания. Путем адсорбции при перевевании задерживается до 2—3% ила от общего веса почвы. То, что накапливается сверх этого,— результат выветривания или наличия прочных агрегатов, не поддающихся механическому разрушению в процессе перевевания. По существующим классификациям эти пустынные почвы относятся к песчаным. Почвы предгорий в верхней части профиля приближаются к супесчаным. Отсутствие накопления ила в сероземах, сформировавшихся на древних песках, показывает на медленное развитие процессов внутрипочвенного выветривания в этой зоне.

А. Н. Розанов (1951) на основе анализов механического состава сероземов на лёссе пришел к заключению о наличии более интенсивного оглинивания минералов в средней части почвенного профиля, что особенно часто обнаруживается при пересчете механического состава на бескарбонатную массу почвы. В песчаных сероземах различия в содержании илистой фракции по профилю почвы настолько малы, что не выходят за пределы ошибки анализа. Но постоянная тенденция некоторого увеличения ила с глубиной заставляет думать, что это явление не случайное. Однако делать вывод об оглинении средней части почвенного профиля нет оснований. В сероземах на лёссе, как это было установлено автором (Минашина, 1965), при детальном микроморфологическом анализе повышенно оглиненный горизонт оказывался погребенным гумусовым горизонтом ископаемых почв, что подтверждается и минералогическим составом.

Емкость поглощения и состав поглощенных оснований. Несмотря на легкий механический состав, песчаные почвы благодаря тонкопленочной форме гумусово-глинистого вещества обладают физико-химической поглотительной способностью. Емкость поглощения пустынных песчаных почв небольшая — 2—5 мг-экв. на 100 г почвы. В сероземных песча-

ных почвах она возрастает до 5—9 мг-экв. на 100 г почвы, то есть становится немногим меньше, чем для почв на лёссе. По составу поглощенных оснований они не отличаются от обычных сероземов на лёссе; преобладает поглощенный кальций, с глубиной возрастает доля поглощенного магния (до 40—50%). Поглощенный натрий отсутствует, но всегда имеется поглощенный калий — до 5—8% от суммы поглощенных оснований (табл. 15). Таким образом, по поглотительной способности несмотря на песчаный состав, эти почвы мало уступают почвам на лёссовой материнской породе, что очень важно для оценки плодородия.

Водорастворимые соли. В пустынных песчаных почвах содержится мало водорастворимых солей. В верхних горизонтах они представлены бикарбонатами кальция, магния и натрия. В нижней части профиля появляются следы нормальной соды, что обычно связывается с богатством карбонатами щелочей растительного опада. В нижней части профиля появляются хлориды и сульфаты (табл. 16).

Малое содержание солей связано с тем, что исходные соли были вынесены ветром в процессе перевевания аллювия, новое их поступление из грунтовых вод невозможно вследствие глубокого залегания последних. Частично они пополняются благодаря наличию продуктов минерального распада растений и эолового поступления. Почва хорошо промываема и промывается атмосферными водами.

В песчаных сероземах абсолютное содержание солей тоже очень невелико, но, несмотря на более высокое увлажнение атмосферными осадками, во всех случаях отмечается наличие ионов легкорастворимых солей, наличная с поверхности почвы. По-видимому, их в виде органических комплексов задерживает растительная масса, которая здесь более обильна, чем в районах пустынных песчаных почв.

В песчаных почвах всегда обнаруживается некоторое количество нитратов несмотря на бедность их органическим веществом. При этом в пустынных песчаных почвах содержание нитратов более высокое, чем в песчаных сероземах. Почти всегда в них содержится водорастворимый калий и подвижный фосфор. В общем запасы питательных веществ, хотя и небольшие, но легко доступные. Эти особенности, способность поглощать ат-

Таблица 15

Содержание гумуса, карбонатов, ила и состав поглощенных оснований и песчаных почв Мургабского бассейна

№ разреза, почва	Глубина взятия образца, см	Гумус по Тюрину	$CaCO_3$ по количеству CO_2	Ил <0,001 мм	Поглощенные основания, % от суммы				Сумма поглощенных оснований	Емкость поглощения
		на сухую почву, %			Ca	Mg	Na	K	мг-экв. на 100 г почвы	
158, пустынная песчаная почва	0—9	0,16	10,6	1,5	64	31	Нет	5	2,4	2,6
	10—20	0,13	10,6	1,4	49	48	То же	3	6,4	2,2
	33—43	0,12	10,6	1,4	20	78	»	3	4,0	2,0
	70—80	0,11	11,6	1,1	62	30	»	3	2,5	2,0
	127—137	Не определяли	10,2	0,9	Не определяли					2,0
	200—210	То же	10,2	0,7	То же					2,1
32, серозем обыкновенный, Бадхыз	0—10	0,81	11,4	5,5	75	21	Нет	5	7,2	7,2
	10—25	0,58	12,0	4,8	79	15	То же	6	4,9	5,0
	46—56	0,30	12,9	5,1	54	41	» »	5	5,6	5,3
	95—105	0,20	15,7	6,3	43	54	» »	3	5,0	5,4
	160—170	Не определяли	14,7	6,8	Не определяли					
	200—210	То же	15,7	6,3						
34, темный серозем на песчаных неогеновых отложениях, Бадхыз	0—10	1,40	10,4	5,1	87	8	Нет	5	8,8	9,0
	16—26	0,76	11,8	5,4	72	23	»	5	6,4	6,0
	50—60	0,65	13,4	6,3	47	47	»	6	6,5	6,1
	105—115	Не определяли	14,8	6,0	94	Нет	»	6	4,1	4,3
	150—160	То же	12,6	6,0	Не определяли					
	186—196	» »	14,6	6,9	То же					
	220—230	» »	14,4	6,1	» »					

Таблица 16

Данные анализа водных вытяжек из песчаных почв Мургабского оазиса

№ разреза, почва	Глубина взятия образца, см	Плотный остаток, %	Мг-экв. на 100 г сухой почвы								
			NO_3'	щелочность		Cl'	SO_4''	$Ca^{\cdot\cdot}$	$Mg^{\cdot\cdot}$	$Na^{\cdot}$	$K^{\cdot}$
				CO_3''	общая в HCO_3'						
223, пустынная почва на переотложенных ветром продуктах разрушения луговых и тугайных почв, марыйская часть дельты	0–2	0,08	0,03	Нет	0,72	0,07	0,10	0,28	0,20	0,26	0,26
	4–20	0,11	0,09	»	0,64	0,38	0,10	0,24	0,04	0,70	0,31
	30–40	0,64	1,01	»	0,40	5,41	0,39	2,39	0,79	5,74	0,51
	65–75	0,86	0,66	»	0,60	5,48	4,08	3,38	1,19	5,44	0,87
	80–90	1,12	0,55	»	0,40	4,76	8,88	6,96	1,83	5,13	1,28
	130–140	1,00	0,81	»	1,00	8,70	5,52	1,60	2,60	10,22	1,28
	170–180	0,58	0,44	»	0,94	4,58	3,74	1,30	1,42	5,65	0,87
	200–210	0,42	0,31	»	1,00	2,65	2,98	1,20	0,72	4,35	0,60
158, пустынная песчаная почва на гряде, Байрам - Алийская часть дельты	0–9	0,024	0,02	»	0,64	Нет	Нет	0,56	0,10	0,04	0,07
	10–20	0,024	Следы	»	0,60	»	»	0,54	0,06	0,04	0,05
	33–43	0,060	»	»	0,56	»	»	0,48	0,04	0,04	0,05
	70–80	0,048	»	»	0,68	»	0,10	0,50	0,16	0,04	0,07
	127–137	0,026	»	0,08	0,76	»	0,05	0,56	0,14	0,17	0,07
	200–210	0,032	Нет	0,08	0,80	»	0,05	0,56	0,14	0,13	0,05
	210–216	0,246	»	0,08	0,68	1,40	1,59	0,48	0,16	2,91	0,13
159, то же, в котловине на склоне гряды	0–4	0,020	Следы	Нет	0,56	Нет	Нет	0,54	0,04	0,04	0,05
	4–14	0,016	0,02	»	0,60	»	»	0,46	0,10	0,04	0,10
	20–30	0,040	0,02	»	0,64	»	»	0,44	0,10	0,04	0,13
	37–47	0,056	0,02	0,08	0,72	0,34	0,10	0,24	0,06	0,56	0,15
	100–110	0,948	0,10	Нет	0,40	7,08	6,00	2,72	1,24	10,66	0,10
	164–174	0,200	0,20	0,16	0,80	2,33	0,68	0,20	0,08	3,35	0,05
82, пустынная песчаная почва на гряде более древней части дельты	0–5	0,022	0,02	Нет	0,48	0,08	0,29	0,50	0,08	0,03	0,10
	7–17	0,020	Нет	»	0,44	0,03	0,12	0,35	0,08	0,03	0,10
	23–33	0,030	»	»	0,44	0,03	0,12	0,35	0,08	0,02	0,08
	74–84	0,056	»	Следы	0,48	0,03	0,12	0,40	0,16	0,04	0,05
	180–190	0,102	»	»	0,39	0,08	0,65	0,55	0,25	0,35	0,05
25, серозем песчаный на гряде, Карабиль	0–10	0,102	Следы	Нет	0,56	0,03	0,33	0,55	0,08	0,13	Нет
	14–24	0,084	»	»	0,52	0,03	0,50	0,45	0,16	0,13	»
	47–57	0,092	Нет	Следы	0,48	0,03	0,12	0,40	0,08	0,13	»
	100–110	0,084	Следы	Нет	0,44	0,08	0,06	0,40	0,16	0,04	0,03
	160–170	0,050	»	»	0,39	0,03	0,04	0,25	0,16	0,04	0,05
32, то же, Бадхыз	0–10	0,074	Не определяли	Нет	0,52	0,03	0,29	0,65	0,08	0,04	0,10
	15–25	0,088	То же	»	0,61	0,03	0,17	0,65	0,08	0,04	0,08
	46–56	0,052	» »	»	0,48	0,03	0,46	0,60	0,08	0,04	0,08
	95–105	0,052	» »	»	0,39	0,03	0,19	0,45	0,08	0,04	0,05
	160–170	0,046	» »	»	0,39	0,03	0,25	0,40	0,16	0,08	0,03
	200–210	0,066	» »	»	0,48	0,03	0,17	0,45	0,16	0,04	0,03
34, темный серозем на неогеновых песчаных отложениях, Бадхыз	0–10	0,102	Следы	Нет	0,56	0,08	0,35	0,55	0,08	0,17	0,01
	16–26	0,080	»	»	0,48	0,08	0,06	0,45	0,16	0,13	0,01
	50–60	0,068	»	»	0,39	0,08	0,96	0,35	0,16	0,09	0,01
	105–115	0,066	»	»	0,44	0,08	0,33	0,35	0,08	0,04	0,03
	150–160	0,060	Не определяли	»	0,39	0,03	0,25	0,30	0,16	0,09	0,03
	186–196	0,068	То же	Следы	0,44	0,08	0,33	0,35	0,25	0,09	0,05
	220–230	0,060	» »	»	0,44	0,56	0,56	0,25	0,25	0,04	0,08

Таблица 17

Валовой химический состав почв на эоловых песках

№ разреза, почва	Глубина взятия образца, см	Гигроскопическая вода, %	Потери при прокаливании, %	SiO_2	R_2O_3	Fe_2O_3	Al_2O_3	TiO_2	P_2O_5	CaO	MgO	MnO	Na_2O	K_2O	SO_3
				% на прокаленную бескарбонатную почву											
158, пустынная песчаная	0—9	0,26	5,16	77,84	15,49	2,58	12,51	0,39	—	0,80	1,98	0,08	1,96	1,73	0,12
	10—20	0,19	5,69	77,90	15,01	1,98	12,76	0,27	—	1,20	2,44	0,07	1,73	1,64	0,01
	33—43	0,27	5,68	77,29	14,71	2,19	12,25	0,27	—	1,19	2,83	0,09	2,15	1,73	0,01
	70—80	0,28	5,91	76,80	15,29	2,63	12,31	0,35	—	1,77	2,50	0,10	1,93	1,60	0,01
	127—137	0,24	5,49	77,65	14,44	2,19	11,99	0,27	—	1,28	3,20	0,09	1,66	1,67	0,01
	200—210	0,28	5,89	78,63	13,70	2,22	11,21	0,27	—	1,30	3,20	0,09	1,65	1,42	0,01
	В среднем			77,68	—	2,30	12,17	0,30	—	1,26	2,69	—	1,85	1,63	0,03
	Среднее квадратическое отклонение			1,86	—	0,28	0,89	—	—	0,31	0,48	—	0,20	0,12	—
32, песчаный серозем	0—10	0,43	7,67	76,10	15,51	3,34	11,56	0,50	0,12	2,86	2,30	0,14	1,62	1,39	0,08
	15—25	0,45	7,24	76,54	15,49	2,91	11,92	0,58	0,08	2,48	2,18	0,14	1,49	1,52	0,16

	46—56	0,52	7,32	76,95	15,39	2,50	12,36	0,49	0,04	2,20	2,13	0,14	1,65	1,38	0,16
	95—105	0,53	8,86	74,98	15,09	2,75	11,82	0,50	0,01	2,18	4,07	0,17	1,71	1,79	0,01
	160—170	0,64	8,34	75,18	16,02	2,71	12,79	0,44	0,08	2,70	2,53	0,15	1,70	1,71	0,01
	200—210	0,1	8,38	76,84	15,89	3,15	12,12	0,33	0,07	1,74	2,62	0,18	1,36	1,36	0,01
	В среднем			76,10	—	2,89	12,10	0,47	—	2,36	2,64	0,15	1,59	1,52	0,07
	Среднее квадратическое отклонение			0,85	—	0,31	0,44	0,07	—	0,35	0,73	—	0,14	0,18	—
34, песчаный темный серозем	0,10	0,71	8,23	74,40	17,39	2,90	13,81	0,58	0,10	2,26	2,64	0,17	1,53	1,53	0,08
	16—26	0,61	7,78	75,67	16,24	3,11	12,47	0,52	0,14	2,47	2,41	0,16	1,52	1,50	0,03
	50—60	0,55	7,97	76,08	16,56	3,20	12,71	0,53	0,11	1,97	2,50	0,14	1,38	1,29	0,08
	105—115	0,61	8,58	75,26	16,78	2,74	13,42	0,50	0,12	2,17	2,44	0,18	1,58	1,58	0,01
	150—160	0,63	7,95	75,23	16,36	2,67	13,09	0,49	0,10	2,10	2,45	0,16	1,78	1,91	0,01
	220—230	0,59	8,81	75,81	16,25	2,62	13,06	0,49	0,07	1,44	2,85	0,18	1,70	1,76	0,01
	В среднем			75,41	—	2,87	13,09	0,52	—	2,07	2,55	0,16	1,58	1,60	0,04
	Среднее квадратическое отклонение			0,58	—	0,24	0,48	0,77	—	0,35	0,17	0,01	0,14	0,22	—

мосферные осадки и конденсировать влагу из воздуха, объясняют причину наличия здесь хорошего растительного покрова. По запасам растительной массы песчаные почвы значительно превосходят почвы на суглинистых отложениях не только в пустынной части их распространения, но и в зоне сероземов.

Валовой химический состав почв. По валовому химическому составу песчаные почвы пустынной и сероземной зоны очень мало различаются. Если считать на сухую навеску почвы, то можно заметить, что песчаные сероземы несколько богаче кальцием, что связано с несколько более высокой их карбонатностью, в них больше потери от прокаливания за счет органического вещества и углекислоты карбонатов. Песчаные сероземы содержат несколько больше полуторных окислов, а содержание кремнекислоты в них несколько меньше (табл. 17).

При пересчете на прокаленную и бескарбонатную навеску эти различия практически исчезают. Почвы по составу силикатной части очень однородны, и в них не обнаруживается никакой дифференциации ни по профилю почвы, ни по зонам. Можно лишь отметить тенденцию некоторого увеличения содержания полуторных окислов в сероземных почвах, в особенности на неогеновом песке (разрез 34), но это связано с особенностью материнской породы.

Таким образом, на основании данных валового анализа почвы можно сделать заключение, что все три изученных профиля формируются на одинаковой материнской карбонатной породе, состоящей из слабовыветрелых минералов, богатых силикатными формами кальция, калия и натрия. В процессе почвообразования заметных изменений в валовом составе силикатной части почвы, а также различий по профилю почв не обнаружено. Различия между песчаными сероземами и песчаными пустынными почвами по валовому химическому составу незначительны. Исходя из климатических условий, трудно ожидать существенных различий в дифференциации силикатной части почвы, так как нет условий для полного вымывания из почвенного профиля даже легкорастворимых солей.

Не обнаруживается качественных различий и в распределении подвижного железа (Fe_2O_3), определяемого по Миру и Джексону. В пустынных песчаных почвах и

песчаных сероземах 15—35% от валового содержания железа находится в пленочной форме, в то время как в глинистых такыровых почвах подвижное железо составляет всего лишь 1—2% от валового, хотя абсолютное содержание железа в пленочной форме в такырах почти такое же или лишь немногим больше по сравнению с этим показателем в песчаных почвах.

Имеется тенденция увеличения количества подвижных форм железа в песчаных сероземах, что, по-видимому, связано с несколько большей степенью выветрелости первичных минералов.

Несколько повышенная выветрелость минеральной части песчаных сероземов в сравнении с пустынными песчаными почвами подтверждается и анализом состава декальцината, полученного при отмывании почвы от кальция раствором 0,05 н. HCl при подготовке образца к определению емкости поглощения (табл. 18).

Из почв песчаного серозема извлекается больше кальция и магния, не связанных с CO_2 карбонатов из-за растворения выветрелых форм силикатных минералов.

Таким образом, разница в составе пустынных песчаных почв и песчаных сероземов касается главным образом органической части почв — содержания и распределения гумуса и корневых систем. Различия в минеральной части почв количественного, а не качественного порядка. Состав исходных пород одинаковый. Отмечается несколько бо́льшая выветрелость силикатной части сероземных почв, которая обнаруживается с помощью статистического анализа.

Серо-бурые почвы. Рассматривая развитие почвенного покрова в естественных условиях пустынь, нельзя обойти вопрос о серо-бурых почвах, хотя в бассейне р. Мургаба и на территории Юго-Восточных Каракумов такие почвы отсутствуют. Многие почвоведы (Лобова, 1960; Егоров, 1959; Кимберг, 1968, и др.) считают серо-бурые почвы зональным типом пустынных почв, которые простираются от суббореального до тропического пояса.

На основе имеющихся материалов и собственных наблюдений автор пришла к убеждению, что тропический, субтропический и суббореальный пояса пустынь имеют качественно разнородный характер почвенного покрова. Выделение в них одного типа почвообразования не обосновано.

Таблица 18

Состав солянокислой вытяжки (по декальцинату) из образцов пустынной песчаной почвы и песчаного серозема и CO_2 карбонатов

Разрез	Глубина взятия образца, см	мг-экв. на 100 г почвы					$Ca^{\cdot\cdot}+Mg^{\cdot\cdot}-CO_2'$
		$Ca^{\cdot\cdot}$	$Mg^{\cdot\cdot}$	$Na^{\cdot}$	$K^{\cdot}$	CO_2	
Песчаные серозёмы							
25	0—10	235	71	0,26	1,07	240	66
	14—24	273	57	0,26	1,05	252	78
	47—57	302	57	0,22	1,00	260	99
	100—110	292	57	0,26	0,77	260	99
32	0—10	221	62	0,26	1,05	228	55
	15—25	230	66	0,26	0,82	240	56
	46—56	245	47	0,26	0,82	260	32
	95—105	292	76	0,26	0,82	312	56
34	0—10	206	76	0,26	1,23	208	74
	16—26	235	62	0,26	1,05	226	71
	50—60	259	57	0,26	1,10	268	48
	105—115	287	90	0,22	0,92	296	81
Пустынные песчаные почвы							
158	0—9	163	43	0,26	0,79	212	—9
	10—20	178	30	0,35	0,82	212	—4
	33—43	192	33	0,30	0,77	212	13
	70—80	206	34	0,30	0,77	232	4
159	0—4	182	52	0,30	0,59	192	42
	4—14	201	52	0,30	0,92	212	41
	20—30	245	52	0,43	1,28	240	57
	37—47	297	52	0,96	1,41	292	57
82	0—5	240	47	0,30	0,52	268	19
	7—17	249	52	0,30	0,89	252	49
	23—33	246	52	0,26	0,92	231	67
	74—84	246	47	0,52	0,72	256	37

В тропической части Ливийской пустыни современный покров почв отсутствует. Об этом уже сообщалось в нашей литературе (Ковда, 1959; Розанов, Якубов, Минашина, 1961, 1968). Начиная с оазиса Фаюм и южнее в Ливийской пустыне дождей не выпадает. Здесь нет биологического фактора почвообразования. Коры выветривания — каменисто-известковые, каменисто-железистые, каменисто-кремневые, каменисто-гипсовые, песчано-гравелисто-кварцевые — постепенно разрушаются, а материал выносится ветром (рис. 8, 9). Ветровая деятельность в Ливийской пустыне более активна, физическое выветривание более интенсивно, чем в наших среднеазиатских пустынях. На поверхности остаются кремневые камни, кварцевый гравий и крупный кремневый песок. Все мягкие породы и минералы, постепенно разрушаясь, выдуваются. В северной части пустыни в районе субтропиков в ископаемом состоянии обнаруживаются почвы, похожие на наши серо-бурые. Такие почвы находятся либо в погребенном состоянии (под кварцевым гравием и галечником), либо на поверхности там, где они недавно освободились от покрова более поздних отложений и при этом разрушаются ветром. В современных условиях растительного покрова на них нет.

Самая северная, тоже субтропическая, часть Ливийской пустыни в присредиземноморской полосе, где выпадает до 200—250 мм осадков за год, имеет полупустынный растительный и почвенный покров. Почвы несут реликтовые черты, унаследованные от несколько более влажного периода почвообразования, встречаются почвы с плотным известковым горизонтом, залегающие на самых древних поверхностях.

Почвы молодых поверхностей на суглинистых лёссовидных материалах и более древних, с карбонатным горизонтом, по морфологическим признакам имеют черты сходства с нашими сероземами и были названы А. Н. Розановым «субтропическими сероземами». Арабы называют их «почвы степей» (Ковда, 1959; Розанов, Якубов, Минашина, 1961; Минашина, 1966). Эти почвы распространены и за пределами пустыни.

В южной части среднеазиатской пустыни господствуют пустынные песчаные почвы. Они занимают всю поверхность древнеаллювиальных равнин в комплексе с небольшим количеством такыров и солончаковых шоров. Песчаные пустынные почвы занимают также значитель-

Рис. 8. Кора выветривания в Ливийской пустыне.

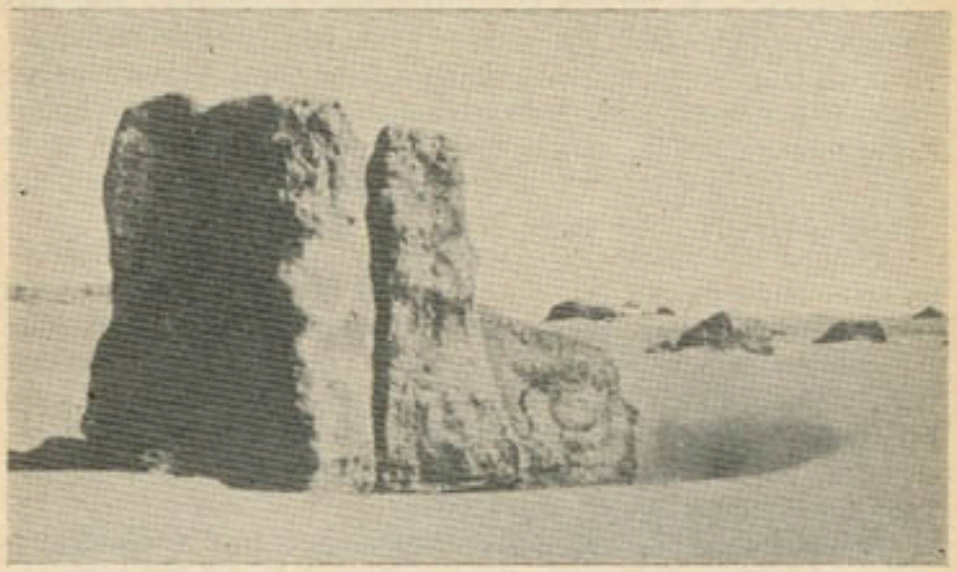


Рис. 9. Останцы из аллювиально-озерных отложений Харгинской депрессии.

ную часть поверхностей древних третичных плато (Девханинского и Заунгузских Каракумов).

В. П. Костюченко (1959), изучавшая Заунгузские Каракумы, выделила здесь следующие почвы и комплексы.

Пески незакрепленные барханные, распространены сплошным единым массивом, простирающимся на юг и юго-запад в 50—60 км от Хивы. Пески совершенно лишены растительности, имеют ярко-желтый цвет и образуют барханы резко очерченной формы.

Пустынные песчаные почвы на полузакрепленных и закрепленных грядовых песках занимают основную часть обследованной поверхности, формируются под кустарниково-растительным покровом из белого саксаула и песчаной осоки.

Распространены в юго-западной части Заунгузских Каракумов. Основной фон — пустынные песчаные почвы, а серо-бурые почвы размещаются среди них небольшими и редкими пятнами. Они, как считает В. П. Костюченко, очень слабо развиты. Верхний 10—20-сантиметровый слой состоит из хрящеватого песка, глубже расположенный на 70—90% — из щебня, остальная часть представлена песком и гипсом в смеси с красноватым мелкоземом. Среди этих почв обнаружены такыровые пятна, окаймленные песчаными грядами и уступами песчаника высотой 30—40 м. Из описаний Костюченко следует, что почвы Заунгузья в настоящее время находятся в стадии разрушения и опесчанивания.

По описаниям А. П. Лаврова (1969) также можно прийти к заключению, что в Заунгузье, на плато, а иногда и в межгрядовых понижениях встречаются серо-бурые почвы с очень укороченным профилем. Они частично разрушены или завеяны песком и на частично уже разрушенном иллювиальном карбонатно-суглинистом горизонте развивается такыровая корка. В суглинистых почвах непосредственно под припесчаненной или такыровой коркой с 8-сантиметровой глубины залегает горизонт с обильными глазками карбонатов, который переходит в каменистый слой, смешанный с гипсом.

Отмечено широкое распространение пустынных песчаных почв в котловинах, на склонах гряд и на плато. В межгрядовых понижениях Заунгузья на современных пролювиально-делювиальных отложениях развиты глинистые такыры. На выходах коренных пород, где серо-бурые почвы полностью смыты, образуются каменистые,

слаборазвитые почвы. Поверхность их покрыта сплошным каменистым покровом. Выходы соленосных глин покрыты такыровидной коркой с подкорковым слоем мощностью 10—15 см. Крутые склоны западной экспозиции — каменистые, восточные покрыты плащом эолового песка. Во впадинах в зонах разломов при сильно минерализованных водах образуются солончаки.

Эта характеристика также подтверждает наличие серо-бурых почв Заунгузья — реликтов ископаемых почв, которые в современных условиях неустойчивы и разрушаются. Их верхние горизонты опесчанены, а на выходах иллювиального горизонта формируется такыровая корка.

Автору удалось познакомиться с серо-бурыми почвами Девханинского плато, которое расположено в южной части Узбекистана на правобережье Амударьи — в низовьях р. Кашкадарьи. Поверхность Девханинского плато тоже большей частью покрыта песчаными пустынными и серо-бурыми почвами, а также выходами каменистых пород. Поверхность серо-бурых почв местами покрыта щебнем и такыровой коркой. Интересно, что в Каршинской степи серо-бурые почвы, только с более мощным профилем и без ярко выраженной ноздреватой корки, обнаруживаются в погребенном состоянии под аллювиальными, пролювиальными и эоловыми отложениями на большой площади. Эти почвы вскрыты глубокими траншеями по трассам прохождения Каршинского машинного канала, южного коллектора и котлованами в местах сооружения насосных станций. Особенно часто встречаются серо-бурые почвы под эоловыми супесчаными отложениями, на которых в современных условиях формируются светлые сероземы (Расулов, 1969). Поскольку мощность эолового слоя небольшая, от 40 см до 2 м, а глубже залегают серо-бурые почвы, некоторые почвоведы называют их сероземно-серо-бурыми почвами. Они занимают большую площадь в юго-западной части Каршинской степи.

Верхняя пористо-ноздреватая корка, мощностью до 6 см, очень рыхлая, пластинчато-слоеватая, белесовато-сероватая с коричневыми пятнами. Под микроскопом видно, что корка состоит из обломков первичных минералов и тонкозернистого карбоната. Последний образует на зернах обломочных минералов одежды из тонкозернистого кальцита, пропитанного тонкодисперсным

глинистым веществом. Они, сливаясь вместе с микрокристаллами кальцита, образуют единую, сильно преломляющуюся глинисто-кальцитовую массу. Но в целом корка обеднена илом, только отдельные крупные ячейки-пузырьки воздуха облачены в пленки оптически ориентированных глин.

Глубже залегает столбчатый, переходящий в глыбистый, горизонт ярко-красновато-бурого цвета; глубже 40 см идет горизонт шестоватого гипса с крупными обломками песчаника, который подстилает эту почву. В верхней части столбиков проявляются черты осолодения. В нижней части стенки столбиков покрыты блестящими корочками глины с яркими сизыми пятнами. Внутри столбиков, иногда у самой их вершины, видны яркие пятна белоглазки. Глинистая масса иллювиального горизонта находится в сильно дисперсном состоянии. В сухой почве частички глинистых минералов образуют агрегаты оптически ориентированных глин, имеющих в общем струйчато-пленочное и спутанно-волокнистое строение. Карбонатная белоглазка состоит из изометричных пылеватых зерен кальцита.

Микростроение этой почвы такое же, как микростроение, описанное И. И. Феофаровой (1956) для так называемых осолоделых такыров.

А. В. Виноградов, Э. Д. Мамедов, И. Н. Степанов (1969), изучавшие возраст почв по археологическим данным в Южных Кызылкумах (район озера Лявлякен), пришли к заключению, что серо-бурые почвы возникли в среднем голоцене или даже раньше, в условиях более влажного, чем современный, климата.

Накопленных материалов уже достаточно, чтобы решить вопрос о принадлежности типа серо-бурых почв (Неуструев и Никитина, 1926; Герасимова, 1931; Розанов, 1951; Шувалов, 1966) к числу почв, в которых черты палеогенного происхождения доминируют, определяют их колорит. Серо-бурые почвы ранее назывались структурными сероземами, кыровыми сероземами.

Главнейшие черты строения профиля серо-бурой почвы — наличие пористой, чешуйчато-слоеватой, хрящеватой или опесчаненной корки, комковатого или комковато-глыбистого оглиненного горизонта с морфологическими признаками солонцеватости и наличием крупной белоглазки, гипсоносного горизонта шестоватого строения с включением щебня. Образование такого профиля

не очень характерно для современного зонального почвообразования, здесь черты древнего (не пустынного) почвообразования выражены ярче, чем современного пустынного (карбонатная белоглазка встречается уже в верхней части профиля, отмечается сильная оглиненность коричневато-бурого иллювиального горизонта, наличие шестоватого гипсоносного горизонта).

Е. В. Лобова (1960), В. В. Егоров (1959) и др. уже не считали наличие гипсоносного горизонта обязательным для профиля серо-бурой почвы. Однако оставались другие признаки, которые не смогли сформироваться в условиях современного пустынного климата: например, образование сильно оглиненного иллювиального горизонта, местами очень мощного, а также карбонатного иллювиального горизонта, начиная с самой верхней части современного профиля. Одновременное развитие процесса сильного внутрипочвенного выветривания, образование в одном и том же горизонте карбонатов, белоглазки и оглинения, а также расположение этих горизонтов почти у самой поверхности в современных условиях исключены. Эти процессы могли происходить в условиях более влажного и теплого климата с периодической сменой влажных и теплых, сухих и жарких сезонов года. О наличии таких условий в Средней Азии в прошлом свидетельствуют палеогеографические данные (Бабаев, Федорович, 1970).

В понимании автора серо-бурые почвы южной части среднеазиатских пустынь — результат развития современного отакыривания на остатках профиля древних ископаемых субтропических почв, условно названных «пра-серо-бурыми», верхняя часть профиля которых уже разрушена и снесена в результате пустынных процессов. Ненарушенный профиль реликтовой пра-серо-бурой почвы южной части пустыни без следов влияния современного почвообразования может быть изучен в погребенном под эоловыми отложениями законсервированном состоянии в юго-западной части Каршинской степи. По-видимому, такие почвы имеются в погребенном состоянии и в других районах аккумуляции эоловых отложений.

По имеющимся наблюдениям пра-серо-бурые почвы имеют большую мощность профиля с ярко выраженными признаками внутрипочвенного оглинения, интенсивного иллювиирования карбонатов, отличаются мощным

надкарбонатным эллювиальным горизонтом и карбонатной белоглазкой в оглиненной и ожелезненной массе, возникших в результате дегидратации и кристаллизации коллоидных форм. Там, где эти почвы оказались на поверхности, от их профиля сохранилась только нижняя часть карбонатного иллювиального горизонта, на которой и развиваются процессы современного отакыривания и пустынного почвообразования.

Полноразвитый профиль пра-серо-бурых почв напоминает строение почв присредиземноморской полосы, которые Розановым были названы «субтропическими сероземами», однако последние менее мощны, слабее оглинены. Хотя оглиненность «субтропических сероземов» и ожелезнение несравненно больше, чем это характерно для наших среднеазиатских сероземов, в них также наблюдается большая выраженность иллювиирования карбонатов по профилю. Среднеазиатские пра-серо-бурые почвы, по-видимому, сформировались в условиях более теплого и влажного климата, но в то же время с наличием сезонов контрастного водного режима, когда интенсивное выветривание, промывание и течение иллювиального процесса во влажный сезон сменялись интенсивным прогреванием и иссушением почвы в сухой период, что вызывало восходящее движение растворов и формирование в уже оглиненном горизонте с разрушенным первичным кальцитом горизонта с наличием белоглазки.

В южной части среднеазиатских пустынь к настоящему времени большая часть пра-серо-бурых почв на повышенных элементах рельефа разрушена. На третичных плато мы имеем дело с остатками почвенного покрова, приуроченного ранее к понижениям древнего рельефа поверхности. Поэтому серо-бурые почвы всегда солончаковаты, нередко гипсоносны. Солончаковатость несколько метаморфизирована современными процессами эоловой и делювиальной дифференциации почвенного материала. Отсюда повышенно хлоридный состав серо-бурых почв. На продуктах разрушения древних «пра-серо-бурых» почв и подстилающих их пород, так же как и на продуктах разрушения аллювиальных почв, сформировались новые пустынные песчаные почвы, которые занимают теперь большую часть площади пустынь, включая третичное плато — понижения древней поверхности.

Итак, эволюция почвенного покрова в южной пустыне Средней Азии направлена в сторону развития пустынных песчаных почв, они более устойчивы в ландшафте и получают наибольшие площади распространения. Е. В. Лобова считает, что в каждом из типов пустынного почвообразования можно видеть зональные черты. Они выражаются в образовании структуры сильно дисперсной массы глинистого вещества в верхних горизонтах почв, отсутствии агрегирующей роли органического вещества (так как оно быстро минерализуется), а также условий для внутрипочвенного выветривания и иллювиальной дифференциации веществ. При этом типе почвообразования очень активно проявляются процессы наземной эоловой и делювиальной дифференциации почвенной массы, что приводит к сортировке почвенных частиц по крупности и парусности зерен в зависимости от способности перемещаться под влиянием ветра. Пустынные песчаные почвы образуются на повышенном месте из продуктов разрушения исходных почвогрунтов, а в первичных и вторичных понижениях на делювиальных отложениях образуются такыры. Пылеватые частицы выносит ветер за пределы пустыни, водные токи аккумулируют их в переотложенном виде на пролювиально-аллювиальных и делювиальных частях подгорных равнин; местами образуются и делювиально-эоловые аккумуляции, на которых формируются сероземные почвы. Каждый из этих типов почв — серо-бурые, пустынные, песчаные, такыры, сероземы — получил распространение в условиях, обеспечивающих его устойчивость.

Таким образом, в среднеазиатских условиях процесс почвообразования идет попутно с литологическими изменениями материнской породы. Свойства почв определяются в основном их литологическим составом, в то время как различия по химическому и минералогическому составу оказываются менее существенными. Каждый из названных типов автоморфных почв, включая сероземные и серо-бурые почвы, можно рассматривать как литоморфный.

В условиях пустынного ландшафта наиболее устойчивы пустынно-песчаные почвы благодаря тому, что в них преобладают свойства, которые способствуют аккумуляции атмосферной влаги и развитию растительности, которая противостоит перевеванию. Растительность

песчаных почв способна переходить в состояние анабиоза в периоды иссушения, а затем быстро образовывать вегетативную массу в периоды увлажнения и переносить изменения в нарушении почвенного покрова при навевании и выдувании части песка.

Такыры — производное пустынного почвообразования. Они устойчивы, пока получают дополнительное поверхностное увлажнение за счет стока, но как только в силу изменения рельефа лишаются дополнительного увлажнения, масса их иссушается, дегидратирует и развевается; иногда такыры запесчаниваются.

Плодородие и мелиоративные особенности почв дельты. Площадь почв гидроморфной фазы, не затронутых орошением, в пределах Мургабского оазиса невелика. С точки зрения требований орошаемого земледелия приходится прежде всего говорить о необходимости коренных мелиоративных преобразований рельефа в пределах распространения этих почв — регулирования стока поверхностных и улучшения солевого режима грунтовых вод, почв, или на небольшой части почв — осушения.

В процессе выполнения такого рода работ целостность почвенного покрова будет нарушена. Поэтому при оценке плодородия приходится рассматривать не столько свойства гумусового горизонта (он будет перемещен или засыпан), сколько всей почвенной толщи, которая будет затронута мелиоративными преобразованиями.

Почвы гидроморфной фазы — мелкоземистые, хардпены отсутствуют, почвенная масса богата (для условий пустыни) органическими и минеральными веществами, обладает удовлетворительной структурой и хорошей микроструктурой. Поэтому в проведении ирригационно-мелиоративных работ на гидроморфных почвах сухих дельт препятствий не возникает. Правда, здесь имеется большая пестрота почвенного покрова по механическому составу, которая уже в освоительный период будет несколько сглажена. Поэтому проведение планировок не будет связано с резким снижением естественного плодородия почв.

Основной задачей последующих освоительных работ является необходимость учитывать пестроту в механическом составе почв, дифференцировать поливы, нормы и сроки внесения удобрений.

Земли с почвами переходной фазы от гидроморфных к пустынным, как уже отмечалось, для массива незатронутого орошением, представлены комплексом почв и грунтов, унаследованных от гидроморфной фазы, и эолово-аккумулятивных образований, динамичных в своем пространственном размещении. Они отличаются очень неровным, динамичным, бугристым, бугристо-барханным и барханно-грядовым рельефом, что наряду с большой опасностью заноса песком ирригационной сети и орошаемых участков всегда служило главным препятствием для широкого ирригационного освоения. Тем не менее в прошлом такие земли, правда, небольшими участками по понижениям орошались.

С помощью механических защит и фитомелиоративных работ рельеф может быть улучшен и стабилизирован. Но широкое освоение таких земель для орошения дело очень сложное.

Менее пестрый почвенный покров развит на территориях, которые ранее орошались, или в условиях, где опустынивание задерживается периодическим поступлением вод поверхностного стока (шлейфы подгорных равнин). Почвы этой фазы широко развиты на Байрам-Алийской части дельты и в междуречье Мургаба и Теджена («Хаузханский массив»).

С точки зрения более легкой доступности для проведения ирригационно-строительных работ, эти массивы всегда были предпочтительнее других. Наиболее важная их особенность — выравненность рельефа. Контрасты, унаследованные от гидроморфной фазы, здесь уже в значительной мере сглажены под влиянием делювиальных процессов и древней ирригационной деятельности. Грунтовые воды залегают глубоко, механический состав почв и связанные с ним водно-физические свойства также более выравнены, чем на молодых поверхностях. Но отакыренные почвы, развитые на таких массивах, обладают и рядом отрицательных свойств, которые приходится преодолевать в процессе окультуривания. Это прежде всего плохие водно-физические и физико-химические свойства, бедность органическим веществом и питательными элементами, в особенности азотом и фосфором, склонность к образованию корки, малая биологическая активность.

К настоящему времени накоплен научно-производственный опыт по освоению отакыренных почв. С по-

мощью культур-освоителей — суданской травы, ячменя, люцерны и глубокой обработки, а также внесения органических и минеральных удобрений удается сравнительно быстро ввести эти почвы в сельскохозяйственный оборот и получить удовлетворительные хотя всегда более низкие, чем на староорошаемых землях, урожаи.

Почвогрунты отакыренных земель всегда в той или иной степени засолены. Но благодаря глубокому залеганию уровня грунтовых вод и сильной иссушенности подстилающих грунтов промывки в начале освоения удаются очень легко. Однако уровень грунтовых вод быстро поднимается до критической глубины, поэтому здесь имеется опасность вторичного засоления, начинающаяся через 10—15 лет, а иногда и ранее, после начала освоения, меры борьбы с которым не разработаны.

Менее всего изучена возможность широкого освоения пустынных песчаных почв в районах со стабилизовавшимся рельефом и покровом, хотя небольшие участки таких почв орошаются и сейчас вокруг колодцев (Морозов, 1970).

Большой опыт по освоению песчаных почв накоплен в Египте и других странах Ближнего Востока. В частности, в провинции Ат-Тахрир осваивается более 100 тыс. га песчаных почв, освоены местами песчаные почвы древней части дельты Нила, где около 30 лет назад создана специальная опытная ферма Инчасс и ведутся регулярные наблюдения за изменением почв (Гамаль, 1961).

Пустынные песчаные почвы бассейна р. Мургаба и Юго-Восточных Каракумов по своим качествам и плодородию значительно превосходят кварцевые и кальцитово-кремнистые пески, которые осваиваются в Египте. У нас пустынные песчаные почвы более мелкопесчаны, влагоемки, богаче минеральными веществами и свежими невыветрелыми минералами. Благодаря наличию адсорбированных пленок глинистых частиц они обладают физико-химической емкостью, лишь немного уступая такыровидным почвам. Хорошая проницаемость и дренажные свойства позволяют применять для их орошения воды с повышенной минерализацией. Таким образом, с точки зрения свойств самих почв препятствий для их освоения под орошение не имеется. При применении удобрений они способны давать хорошие урожаи.

Особенно плодородны почвы Бадхыза и Карабиля, которые обладают еще более тонкими частицами, чем пустынные песчаные.

Трудности широкого освоения таких почв заключены в сложности рельефа, затрудняющего подачу и распределение воды, большой ветроэрозионной опасности в строительный период. С началом орошения и поселения влаголюбивой растительности эта опасность будет уменьшаться или отпадет полностью. Однако на освоительный период потребуется примерно 10—15 лет. Освоение этих земель требует разработки новой технологии и техники орошения; перспективно использование автоматизированных систем.

ГЛАВА IV

ВЛИЯНИЕ ОРОШЕНИЯ НА ПОЧВЫ

Изменение условий почвообразования. Природные ландшафты аллювиальных, аллювиально-пустынных и пустынных равнин в результате ирригационно-земледельческой деятельности человека значительно преобразуются. Оросительные каналы и вдоль них густая сеть населенных пунктов в зелени древесных насаждений, орошаемые поля сельскохозяйственных культур, дренажная сеть, а в ее отсутствии — внутриоазисные озера и заболоченные земли, солончаки, перелоги — придают специфический облик оазисному ландшафту. Оазисные земли составляют лишь 3—5% от общей площади пустынь, но в них сосредоточена жизнь всего населения пустынных областей.

Повышенная обводненность этих земель благодаря ирригации, интенсивный производственный и строительно-бытовой ритм в оазисах, ежегодная очистка ирригационных каналов, нарезка временных оросителей, сооружение заградительных валиков, разравнивание старых, планировки, промывки, поливы, удобрение, обработка полей, посев, уборка урожая и т. д. направляют почвообразование по новому руслу и меняют структуру ландшафта. Ирригационно-земледельческая деятельность оказывает влияние не только непосредственно на почвы, но и изменяет гидрогеологические, гидрологические, рельефные условия и постоянно обновляет материнские почвообразующие породы за счет ирригационных наносов.

Изменение рельефа происходит под влиянием планировок, неравномерного распределения ирригационных наносов и строительной деятельности человека. Планировки выравнивают поверхность орошаемых полей. За долгое время постепенно исчезают или сглаживаются поверхности доирригационного аллювиального, эолового или другого происхождения (старые русла, мелкие гривы, барханы или дюны и т. д.). В то же время под

влиянием орошения и строительной ирригационно-бытовой деятельности появляются новые элементы рельефа.

Мутные речные воды, попадая в оросительную сеть, теряют скорость, и частицы наносов, вначале наиболее крупные, песчаные, а затем все более мелкие пылеватые, задерживаются и воды становятся менее мутными (табл. 19).

Таблица 19

Мутность вод (г/л) в разных звеньях оросительной сети канала Шурабад II (Вахшская долина, Шейнкин, 1957).

Звенья сети	5 сентября 1952 г.	26 августа 1953 г.	5 августа 1954 г.
В голове канала	1,7	3,4	4,3
Средняя и мелкая сеть	0,8—0,9	2,2—2,5	2,75—3,5
В голове поливных борозд	0,4—0,8	1,4—1,5	1,4—3,3
В конце поливной борозды	0,1	0,5—0,9	0,8—1,8

По нашим подсчетам, в Мургабском оазисе около 30—50% общей массы поступивших с речными водами наносов задерживались в ирригационной сети. За многие годы эксплуатации каналов их ложа поднимались, а вдоль русел накапливались раши (наносы), выброшенные при очистке канала. Местами из-за большого количества накопившихся отложений старые каналы приходилось бросать и рядом строить новые.

Каналы обычно расходятся веером от водозаборных узлов на реке или крупных магистральных каналов. Поверхность у водозаборных узлов быстрее поднимается, чем на нижерасположенных по течению землях. У водозабора образуется как бы вершина искусственных конусов выноса с наклонной поверхностью. Водозаборные узлы и плотины обычно располагаются на вершинах разных генераций дельт.

Неравномерное распределение наносов наблюдается и на орошаемых полях. Больше отложений накапливается в верхних частях орошаемых полей, что вместе с накоплением наносов вдоль каналов создает условия для образования специфического «чашеобразного» рельефа, обусловленного чередованием приканальных повышений и чашеобразных понижений между каналами (рис. 10). Превышение поверхности почв вдоль каналов над дном «чаш» достигает иногда 3—6 м.

Наиболее ярко выраженный ирригационный чашечный рельеф сформировался в долинах и дельтах рек, имеющих наибольшую мутность вод и крупночастичный (песчано-супесчаный) состав наносов в весенне-летний период, совпадающий с максимальным потреблением вод на орошение. К числу таких рек относятся Амударья, Сырдарья, Тигр, Евфрат и др.

В ирригационных звеньях бассейнов рек, несущих более тонкие частицы (например, р. Нил), наносы попадают во все звенья ирригационной сети, а затем на орошаемые поля. Но и при бассейновой системе, характеризующейся высокой заиляемостью, две трети от общего количества ила задерживается в каналах (табл. 20). После очистки каналов ил используют на приготовление компостов и тоже вносят на поля.

В прошлом мутные воды в орошаемом земледелии всегда предпочитались осветленным и ирригационная сеть строилась в расчете на пропуск наносов на поля. С переходом на инженерные оросительные системы встал вопрос о сооружении специальных отстойников и водохранилищ, где задерживался бы ил, который за-

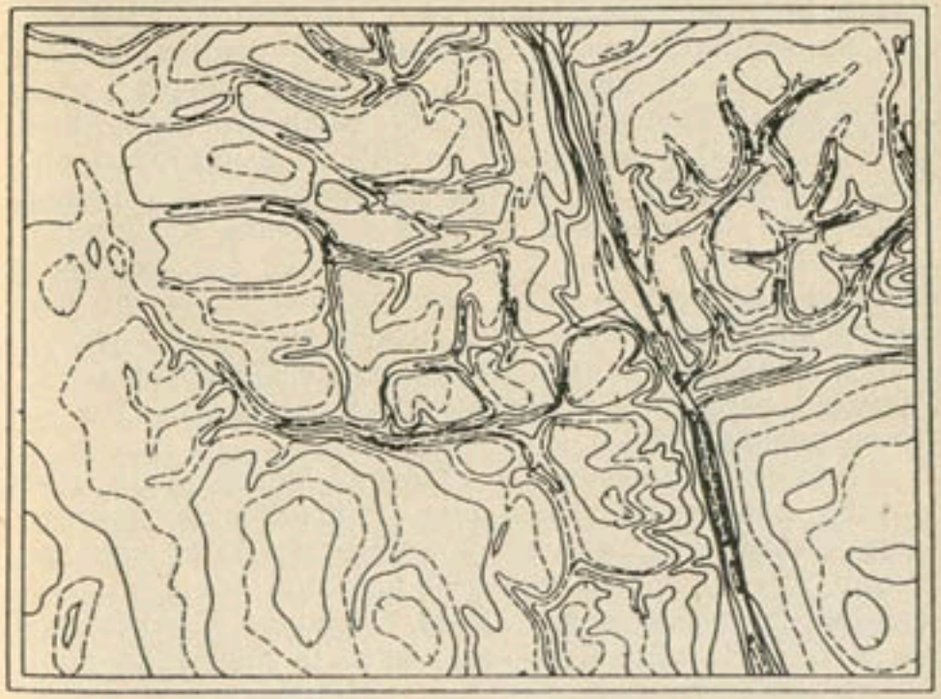


Рис. 10. Ирригационный рельеф (площадь участка около 300 га). Сплошные горизонтали — через 1 м, штриховые — через 0,5 м.

Таблица 20

Мутность и механический состав (в %) ирригационных наносов в паводок в верхней части дельты Нила (1959—1960 гг.)

Звенья сети	Мутность вод, кг/м³	Фракции, мм			
		>0,2	0,02—0,2	0,002—0,02	<0,002
Нил	1224	0,3	15,9	32,2	51,6
Канал Зомор	727	0,4	6,4	33,5	59,7
Распределитель Абдел	608	0,2	8,9	27,5	63,5
Картовый оросительь	446	0,3	10,5	19,6	69,6
Коллектор Мохеат	109	Не определены		—	—

Примечание. По данным Abedine, Fathi, Hafez, 1964.

трудняет эксплуатацию ирригационной сети (Шейнкин, 1957).

С осветлением вод в водохранилищах и отстойниках состав ирригационных наносов утяжеляется, уменьшается их количественное содержание. Например, количество взвешенных веществ в нильских водах после сооружения Ассуанской плотины по определению (Abedine и др., 1964) уменьшится на 50%, а в картовых оросителях — на 67%, а против количества взвешенных частиц при бассейновой системе орошения в 10 раз.

В настоящее время с оросительными водами всюду поступает на поля меньше наносов, чем ранее, но идет перераспределение древних отложений в связи с укрупнением поливных карт и перепланировкой поверхности. Рельеф поверхности и механический состав почв все более выравнивается.

Заметные изменения в строении поверхности почв оазисов вносит ирригационная строительная деятельность человека: строительство и переустройство каналов, плотин, выемка грунта, который используется для строительства, и перенесение его на сооружение дамб, плотин и т. д. За тысячелетнюю давность орошения образованы искусственные бугры и возвышенности, иногда высотой более 10 м и площадью от нескольких квадратных метров до сотен гектаров.

Рельеф поверхности древних оазисов своеобразен и за ним утвердился в литературе термин «культурно-ирригационный».

Планировки. Планировки являются непременным приемом освоения всяких земель под орошение и применяются для выравнивания микрорельефа, оформления поливных карт, придания их поверхности необходимых для того или иного способа полива уклонов, разравнивания валиков и т. д. Например, для риса лучше, когда уклоны поверхности меньше 0,002, при этом легко осуществляются поливы затоплением. Для полива по бороздам уклоны могут колебаться в пределах 0,002—0,02. При уклонах поверхности более 0,1 приходится прибегать к террасированию склонов.

По объему земляных работ планировки разделяются на освоительные, капитальные и эксплуатационные, которые периодически повторяются по мере нарушения микрорельефа. Необходимость в капитальных планировках возникает при переустройстве ирригационной сети, переходе на новые способы полива, укрупнении поливных карт и т. д. Повторение планировок требуется для устранения деформаций поверхности почвы, происходящих в результате набухания почвогрунтов пестрого литологического состава, изменения засоленности почв, вспучивания, усадок, оседаний поверхности и др.

Планировки необходимы для обеспечения равномерного увлажнения почв при поливах и промывках. Особенно тщательные планировки требуются при поливе затоплением и по бороздам.

Влияние планировок на почвы оказывается существенно различным в зависимости от почвенного покрова, его мощности и однородности. При комплексном почвенном покрове с разными водно-физическими свойствами его компонентов и разным плодородием генетических горизонтов этот процесс требует большего внимания и значительных затрат.

Планировки чаще выполняют «сухим способом» специальными планировочными орудиями, которые совершенствовались по мере развития техники орошения от примитивных ручных приспособлений и волокуш на конной тяге до мощных грейдеров, скреперов и специальных планировщиков на тракторной тяге. В настоящее время при тяжелых планировках на участках со сложным рельефом перемещается до 1000—1500 м³/га

земли, если это допускает характер почвенного покрова. По исследованиям американских специалистов, большие орудия, наиболее эффективные при планировках, оказывают плохое влияние на структурные почвы, особенно если процесс производится на влажных почвах.

К средним по сложности относятся планировки, когда объем земляных работ составляет 500—1000 м³/га. При их осуществлении сплошной срезкой микроповышений почвенный покров нарушается на площади 60—80% (наибольшие срезки достигают 40 см), что отражается и на плодородии.

Более часто, практически ежегодно, более простыми приспособлениями производятся текущие планировки поверхности после вспашки, устройства временной оросительной сети, промывных чеков, разравнивания заградительных валиков. Влияние этих операций на рельеф менее значительно, но проведение их очень важно для равномерного распределения поливной воды.

Поливы и изменение водного режима почв под влиянием орошения. Орошение изменяет водный режим и влажность почв прямым путем или косвенным вследствие поднятия уровня грунтовых вод. В отличие от природного очень контрастного режима влаги в пустынных почвах орошаемые почвы равномерно увлажняются на протяжении всего вегетационного периода. Только ко времени уборки почвам дают просохнуть до влажности завядания или даже ниже. Большинство сельскохозяйственных культур, в том числе хлопчатник, сахарная свекла, овощные культуры, люцерна и др., требуют равномерного увлажнения почвы в интервале 70—100% НВ (наименьшая влагоемкость — важный показатель почвенных свойств, по которому ведутся все расчеты регулирования почвенной влажности при орошении). Уменьшение влажности в предполивной период до 60% НВ даже на короткое время приводит к подсыханию растений и потере части урожая. Для Средней Азии установлено (Николаев, 1947; Рыжов, 1948, 1968, и др.), что наилучшие условия для получения высокого урожая хлопчатника создаются при влажности почв 75—85% НВ.

Величина наименьшей влагоемкости измеряется количеством адсорбированной влаги, которое почва может удержать после полива в корнеобитаемом слое (обычно расчет делают на 60 или 100 см). При близких грунто-

вых водах расчет ведут на предельную полевую влагоемкость (ППВ), величина которой несколько больше НВ, так как она включает и часть капиллярных вод, подпертых грунтовыми водами.

Расход воды на орошение рассчитывают обычно по дефициту влаги в корнеобитаемом слое, не допуская его иссушения ниже 70% НВ, или 60% ППВ, влажность больше 100% НВ также не допускается, если при этом не предусматривается специальных промывных поливов для удаления солей из почвы. Нормы полива в Средней Азии колеблются в интервале от 600 до 1500 м³/га, а оросительные нормы за вегетацию — 4—16 тыс. м³/га в зависимости от климатических, гидрогеологических условий и характера возделываемой культуры.

Расход воды зависит и от величины планируемого урожая. Повышенный урожай требует большего расхода воды на орошение, с одной стороны, потому, что растения, обладая большей вегетативной массой, больше расходует воды на транспирацию, а с другой стороны, потому, что необходимо поддерживать почву в условиях оптимальной влажности, которая обеспечивает более легкое поступление воды в растение на протяжении всего вегетационного периода.

Водопотребление хлопчатника для условий Средней Азии колеблется в интервале 500—800 мм воды нетто за вегетационный сезон. Фактический же расход воды обычно больше.

Под орошаемыми почвами периодически или постоянно возникают нисходящие токи вод, которые удаляют накапливающиеся в пахотном слое соли. Нисходящие токи вертикального направления, встречая на своем пути горизонты с разной проницаемостью, трансформируются в боковые и горизонтальные (Розанов, 1958). Этому способствует подпахотное уплотнение, прослойки более тяжелого механического состава и зона капиллярного насыщения.

Боковому перемещению влаги способствует ирригационный рельеф с уклоном поверхности почв от каналов к межканальному понижению.

Перераспределение влаги по рельефу имеет важное значение в дополнительном увлажнении почв нижних частей иригационных склонов и межканальных понижений, где формируются повышенно увлажненные и более засоленные почвы. Это происходит не только за счет

внутрипочвенных токов влаги, но и из-за подпитывания грунтовыми водами, испытывающими давление со стороны каналов.

Уровень грунтовых вод на орошаемых территориях пустынной зоны, как правило, стоит высоко. Только на отдельных участках, обычно в периферийных частях систем, где низкие показатели КЗИ (коэффициента земельного использования), они оказываются глубже 3—5 м и не принимают участия в увлажнении почв.

Орошение способствует поддержанию равномерного увлажнения почвы, усилению ее влагообмена, в связи с чем биохимические и другие процессы развития почв протекают активно на протяжении всего времени орошения. На целинных почвах эти процессы прерываются в сухие периоды года и возобновляются на короткий влажный период.

Обработка почв. Обработка оказывает на почву заметное влияние. В орошаемом земледелии эти процессы ведутся более интенсивно, чем в богарном, они сами могут иметь мелиоративное значение (например, плантажная вспашка) или проводятся с целью заделки мелиорирующих веществ, рыхления перед промывками и создания благоприятных условий для обитания растений, заделки семян, удобрений, борьбы с сорняками, регулирования водного режима и т. д.

В процессе развития орошаемого земледелия характер обработок изменялся, поэтому и влияние их на почвы на разных стадиях было неодинаковым. В практике орошаемого земледелия стран Ближнего Востока до сих пор используются в мелких хозяйствах кетмень, омач, деревянные бороны и другие примитивные орудия. При использовании таких орудий почва обрабатывалась на небольшую глубину, в несколько сантиметров, но очень многократно и тщательно (например, из дореволюционной практики в Средней Азии известно, что весной вспашка производилась до восьми раз). Орошаемое земледелие при интенсивности обработки почвы приравнивалось к огородной культуре.

С переходом на механизированную обработку глубина вспашки все время увеличивалась. В настоящее время она достигает 27—30 см, а на новых землях вначале освоения — 45—50 см (плантажная вспашка на такыровых почвах). При этом вспашкой затрагивается по существу весь профиль такыровой почвы и нарушается

возникшая при пустынном почвообразовании дифференциация ее на генетические горизонты. При многократном перемешивании и под влиянием биологической переработки создается однородный пахотный слой.

Влияние механической обработки почв выходит за пределы пахотного горизонта и распространяется на подпахотные слои.

В результате образуется так называемая плужная подошва, которая обнаруживается в верхней части подпахотного слоя. В тридцатых и сороковых годах этому вопросу было посвящено ряд исследований (Рыжов и Тихонова, Дурновцев, Лебедев и др.). Образование подпахотного уплотненного слоя связывали с разными причинами: уплотняющим влиянием обрабатывающих орудий, иллювиированием илистых частиц, усадкой почвогрунта при сильном иссушении корнями и другими причинами. В Мургабском оазисе на старопахотных землях подпахотное уплотнение, особенно в понижениях, также имеет яркое выражение. Уплотненные слои имеют значительно больший объемный вес — 1,6—1,7 против 1,4—1,5, чем в пахотном горизонте, и всегда больше обогащены илистыми частицами.

Для преодоления плужной подошвы, которая, безусловно оказывает отрицательное влияние на плодородие почвы, было рекомендовано периодически увеличивать глубину обработки почвы или производить подпочвенное рыхление с помощью специальных орудий и приспособлений (чизелей, почвоуглубителей). Почвоуглублению придается большое значение при окультуривании почв. М. В. Мухамеджанов (1962) считает, что дальнейшее совершенствование агротехники и углубление пахотного слоя суглинистых и глинистых почв до 50—60 см, а иногда и более позволит сократить количество поливов и междурядных обработок. Глубокое рыхление почв создает благоприятные условия для развития мощной корневой системы, более полного использования питательных веществ и влаги не только из верхних, но и из нижних горизонтов почвы. По опытам М. В. Мухамеджанова, глубоко вспаханные почвы значительно больше запасали влаги в метровой толще. При этом запасы корней хлопчатника увеличивались на 30—60% против запасов корней при обычной вспашке. Глубоко вспаханная почва увеличивает воздухоемкость, улучшает состав микрофлоры и почвенной фауны.

Другие виды обработок тоже очень интенсивны, хотя затрагивают почву на меньшую глубину. К их числу относятся боронование, дискование, малование, прикатывание, которые проводятся для борьбы с сорняками, а также окучивание растений, нарезка поливных борозд, борьба с почвенной коркой и уменьшение испарения с поверхности, выравнивание поверхности, внесение подкормок и т. д.

В результате многократных и интенсивных обработок (по существующим правилам для хлопчатника в год выполняется около 20 операций) почвенная масса окультуренного слоя, мощность которого все время увеличивается по мере накопления агроирригационных наносов, приобретает большую однородность. Первоначальная слоистость и дифференциация по строению и структуре исчезают. Создается новый окультуренный генетический горизонт, аналога которому в природных почвах нет.

Влияние сельскохозяйственных растений и внесения удобрений. В прошлом в орошаемом земледелии для мелиорации широко использовались органические (навоз), землистые удобрения (выветрелые массы с развалин глинобитных стен, древних поселений, раши, накопившиеся при чистке каналов и т. д.) и специально приготовленные компосты из навоза и арычных илов или землистых удобрений.

Как показали многочисленные анализы, землистые удобрения содержат значительные запасы питательных элементов NO_3 — 0,2—5%, P_2O_5 — 0,2—1,5%, K_2O — 2—5% (в том числе водорастворимого до 1%). Они богаты микроэлементами, полезными бактериями и, что очень существенно, в них много легкорастворимого кальция в виде сульфатов, хлоридов, нитратов и очень мало токсичного и плохо влияющего на физические свойства почв магния.

Землистые удобрения служили не только в качестве источника питательных веществ для растений, но и мелиорирующего вещества для улучшения физико-химических свойств почв, нейтрализации повышенной щелочности.

Количества вносимых землистых удобрений и компостов были огромны — 100—150 т/га под пшеницу, джугару, хлопчатник, дыни. Иногда на орошаемых полях полностью заменяли пахотный слой свежевыветрелой землей, а старую собирали в бурты и выдерживали

таким способом несколько лет, много вносили также навоза (до 30—150 т/га). Широко использовали для удобрений помет голубей, которых специально разводили для этой цели. Все эти приемы применяются во многих странах Ближнего Востока до настоящего времени.

Следствием такого интенсивного удобрения было наращивание хорошо оструктуренного окультуренного слоя, обогащенного питательными элементами и гумусом. Но такое интенсивное земледелие велось на небольшой части земель, площадь которой вряд ли превышала 15% от общей площади оазиса. Интенсивно используемые земли, расположенные всегда в верхней части поля и в верхних частях массивов в наилучших условиях локального оттока почвенно-грунтовых вод, обычно вдоль каналов, не засолялись, не заболачивались, на них сажали плодовые и сеяли наиболее ценные овощные и технические культуры и люцерну, часто собирая по 2 урожая в год.

Другие оазисные земли, за пределами интенсивно используемых участков, засевали ячменем, бобовыми, джугарой и другими зерновыми и бахчевыми. На этих землях меньше применяли удобрений, а окультуренный слой наращивался в основном за счет поступления ила с ирригационными водами; такие участки часто забрасывали из-за истощения или засоления.

Часть наиболее пониженных земель, в большей мере подверженных засолению или заболачиванию, использовалась очень редко или даже совсем не использовалась, хотя и на них наращивался новый слой за счет оседания частиц из сбросных вод. Временами их тоже орошали и удобряли, главным образом арычными супесчаными илами, и засевали, но они скоро вновь засолялись.

Такая система удобрений и использования оазисных земель не могла привести к созданию однородного почвенного покрова. Оазисные почвы тоже дифференцированы в зависимости от их положения в оазисе по рельефу и относительно ирригационной сети, характера обработок, удобрений и т. д.

С развитием хлопководства, широким использованием укрупненных карт и минеральных удобрений общий агротехнический фон начал выравниваться, хотя положение почвы по рельефу и относительно ирригационной сети продолжает играть большую роль в почвенных процессах.

На поля стало меньше поступать навоза, землистых удобрений и очень много минеральных туков. На 1965—1966 гг. в среднем на 1 га посевов хлопчатника приходилось 2 т навоза и 8—12 ц/га минеральных туков, в основном фосфорных и азотных. Использование азотных удобрений в отдельных хозяйствах доходит до $N_{250-300}$. Меньше вносят калийных удобрений, потребность в которых появляется при выращивании высоких урожаев. Имеются сведения, что калий снижает токсичность других легкорастворимых солей.

Благодаря минеральным удобрениям средний урожай хлопчатника во многих оазисах составил 30—35 ц/га. Но самые высокие и устойчивые урожаи все же собирают при дополнительном внесении органических и землистых удобрений (40—45 ц/га).

В Мургабском оазисе и при большом применении минеральных удобрений, из-за низкого агротехнического и ирригационно-мелиоративного уровня, урожаи значительно ниже, чем в оазисах Узбекистана.

В связи с расширением посевов хлопчатника, вовлечением для орошения менее плодородных земель, укрупнением орошаемых полей увеличивается пестрота в плодородии почв в пределах одной карты. Уровень запасов питательных элементов в современных орошаемых почвах в связи с этим неодинаков и зависит как от исторических условий формирования почв каждого участка, так и от современного их использования и мелиоративного состояния. Однако для условий пустынной зоны староорошаемые почвы всегда более плодородны, чем новоосвоенные целинные.

За последние годы все более широкое применение получают гербициды, пестициды, дефолианты и другие химические вещества, которые также не могут не оказывать влияния на почвы.

Последствие насыщения земель химическими веществами становится уже заметным не только на составе почв (некоторое снижение содержания органического вещества, значительное увеличение содержания фосфора, повышение в почвенных растворах и дренажных водах нитратов), но и в морфологии почв. Современный пахотный слой почв покрывается коркой, сплывается, менеее микроагрегирован, чем древние ирригационные наносы, имеет худшие физические и фильтрационные свойства.

Люцерна. В связи с химизацией, механизацией и широким распространением технических культур в орошаемом земледелии особо возрастает роль люцерны в восстановлении плодородия почв. Люцерне в севообороте с хлопчатником принадлежит мелиорирующая роль. Она обогащает почву органическим веществом, улучшает скважность почв, агрегированность, дает пищу полезной микрофлоре и микрофауне орошаемой почвы. Определено, что 2—3-летняя люцерна оставляет около 100 ц/га корневых масс в почве и повышает содержание гумуса в пахотном слое на 0,4—0,5%. По данным Беляковой (1957), на полях Вахшской мелиоративной опытной станции за 3 года на люцернике разложилось более 500 ц/га корневых масс, а более 300 ц/га осталось неразложившимся. После однолетней культуры люцерны наблюдалось увеличение гумуса на 5—6 т/га, азота — на 100—120 кг/га, после 2-летней — гумуса на 15—17 т/га и азота на 300—400 кг/га, после 3-летней — соответственно на 25 т/га и на 500—600 кг/га азота.

Интересные данные получены на Иолотанской селекционной станции В. Н. Фурсовым (1966) по численности дождевых червей под посевами хлопчатника и люцерны (таблица 21). По минеральному фону под монокультурой хлопчатника дождевые черви обнаружены в количестве 83 кг/га, под 3-летней люцерной в количестве 902 кг/га и под 5-летней — в количестве 1204 кг/га.

Таблица 21

Количество и распределение дождевых червей по различным агрофонам на площади 1 га в слое 0—30 см (В. Фурсов, 1966 г.)

Показатели	1955—1956 гг., травы, годы стояния					Хлопчатник, годы				Монокультура хлопка, удобрение	
	1	2	3	4	5	1	2	4	6	полное	минеральное
Общий вес червей, кг	297	649	902	1083	1204	548	273	235	130	142	83
Численность, тыс. шт.	670	1854	2270	2240	2772	975	670	690	534	577	270
Вес 1 червя (живого), мг	443	349	398	484	434	562	408	341	243	245	308

Дождевые черви — очень существенный фактор почвообразования; интересно, что в природных почвах пустынной зоны дождевые черви отсутствуют.

Под влиянием люцерны улучшаются водно-физические свойства, влагоемкость, скважность и другие свойства почвы (Фурсов, Недиров, 1966). В Мургабском оазисе эти вопросы изучались на Иолотанской станции, где выявлена бесспорная положительная роль люцерны. Культура хорошо влияет и на водно-солевой режим почвы. При близком стоянии грунтовых вод уровень их зеркала на люцерниках всегда ниже на 30—40 см, чем под хлопчатником.

Однако, по заключению М. В. Мухамеджанова, если урожай люцерны меньше 50 ц/га, то она не дает должного положительного экономического эффекта и не влияет существенно на свойства почв.

Сады и многолетние насаждения в оазисах сильно воздействуют на условия почвообразования. Они всегда размещаются вдоль ирригационной сети. В прошлом, когда сеть картовых оросителей была постоянной, древесных насаждений в оазисах было больше. С переходом на временные оросители и укрупненные поливные карты их стало значительно меньше.

Древесные насаждения играют весьма положительную роль в почвообразовании, они увлажняют микроклимат, способствуют поглощению и транспирации фильтрационных вод в приканальной полосе и тем самым снижают уровень грунтовых вод и, наконец, улучшают условия местообитания людей.

Перелоги и залежи. При отсутствии дренажа на естественных слабодренированных землях всегда большая площадь (50—70%) занята перелогами и залежами. Таким образом, это тоже неотъемлемый элемент оазиса, который выполняет очень важную водо- и солерегулирующую роль на орошаемых землях. Незасоленные почвы обычно покрываются очень мощными зарослями верблюжьей колючки, которая улучшает физико-химические и физические свойства почв и фиксирует азот воздуха.

Интересными исследованиями, проведенными в Ираке (Hardan), установлена важная роль верблюжьей колючки, в предупреждении образования карбонатных плохопроницаемых горизонтов.

Засоленные почвы покрываются буйными зарослями различных солянок, заболоченные — тростником и другой влаголюбивой растительностью.

В прошлом большая часть возделываемых земель оазиса была занята зерновыми: пшеницей, ячменем, горохом, фасолью, джугарой и др. В настоящее время зерновые почти вытеснены хлопчатником и занимают только около 6% общей площади посева. Но они по-прежнему очень важны как культуры-освоители по мелиоративному клину после промывок засоленных земель, в качестве сидератов и второй культуры на корм.

Изменение физических и водно-физических свойств почв. *Механический состав почв.* Изменение механического состава орошаемых почв зависит от нескольких процессов, наиболее существенными из которых являются: а) накопление ирригационных наносов, б) внесение землистых удобрений, в) внутрипочвенное оглинение и иллювиирование тонких частиц, г) перемещение почвенных масс при планировках.

Изменения механического состава в связи с накоплением ирригационных отложений могут быть благоприятными и неблагоприятными для сельскохозяйственных культур в зависимости от качества и количества наносов, природы орошаемых почв.

Дифференциация наносов по течению каналов и на орошаемых полях приводит не только к изменению рельефа, но и к дифференциации почв по механическому составу. Вокруг распределительных узлов и в верхних частях ирригационных систем накапливаются легкие по механическому составу отложения: песчано-супесчаные и легкосуглинистые. Вниз по течению ширина полосы приканальных отложений легкого механического состава уменьшается от 200—300 м до 20—30 м. С уменьшением разницы в отметках поверхности у канала и в межканальном понижении, а также с уплощением рельефа к периферии ирригационных систем утяжеляется и механический состав почв. На староорошаемых землях всюду выражена дифференциация почв по механическому составу по элементам ирригационного рельефа (рис. 11). Содержание ила вниз по ирригационному склону нарастает, а пыли и в особенности песка уменьшается (табл. 22). Некоторое изменение в эту схему вносят мелкие звенья ирригационной сети, которые, мигрируя по ирригационному склону, оставляют облегченные арычные отложения.

Дифференциация ирригационных наносов ограничивается агрегированностью наиболее тонких частиц в

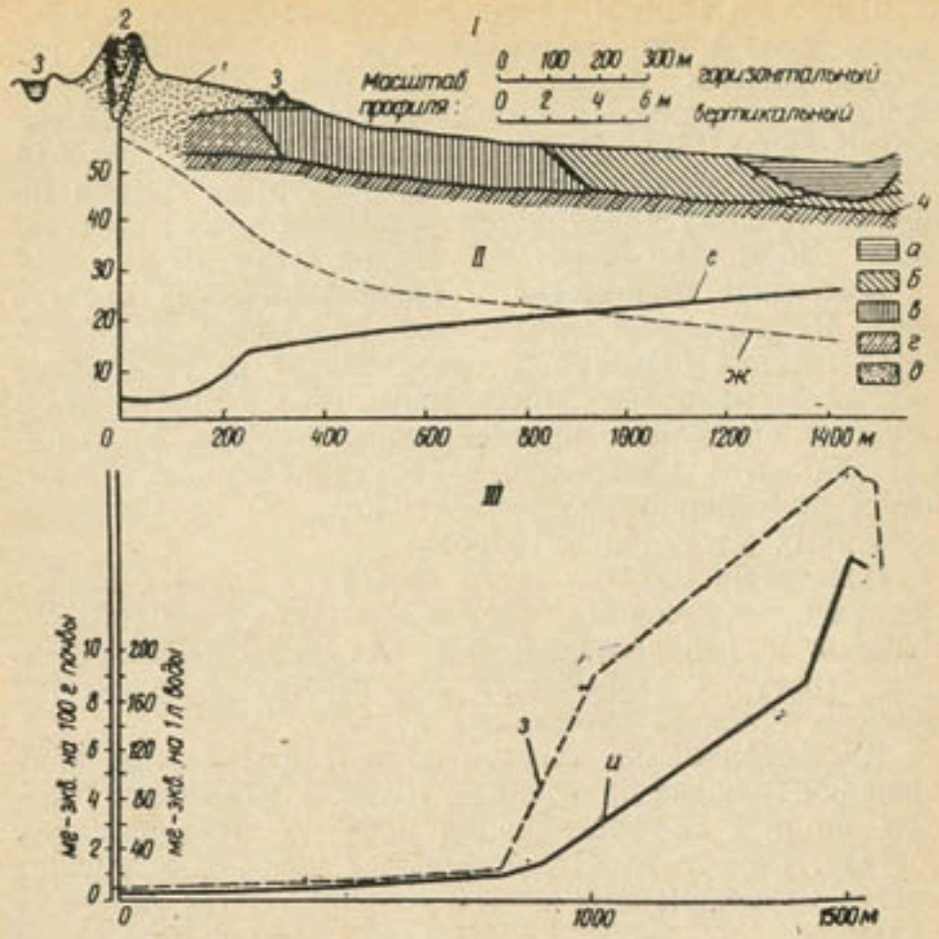


Рис. 11. Распределение и состав ирригационных отложений от канала к межканальному понижению:

I — Строение: *1* — поверхность почвы; *2* — заброшенный древний канал; *3* — действующие современные каналы; *4* — поверхность аллювиальных отложений. Состав: *а* — глинистый, *б* — тяжелосуглинистый, *в* — суглинистый, *г* — легкосуглинистый, *д* — супесчаный и песчаный. II. Распределение частиц ирригационных отложений в слое 0—50 см, %. *е* — фракция меньше 0,001 мм; *ж* — фракция более 0,05 мм. III. Распределение солей: *з* — в почвах, в слое 0—50 см; *и* — в верхнем слое грунтовых вод 1,5—2 м.

речных водах. В мургабских водах частицы менее 0,01 мм микроагрегированы и не дифференцируются по склону, подтверждением чему является постоянное соотношение фракции ила (меньше 0,001 мм) и фракции физической глины (частицы размером менее 0,01 мм). Содержание ила во фракции физической глины постоянно и равно 45—50%, независимо от механического состава почвы и положения ее по ирригационному рельефу (рис. 12).

Таблица 22

Механический состав древнеорошаемых почв на агроирригационных отложениях по профилю от канала к понижению (длина профиля 1350 м)

№ разреза	Глубина взятия образца, см	Содержание фракций (размер частиц в мм)							
		0,25—1,0	0,1—0,25	0,05—0,1	0,01—0,05	0,005—0,01	0,001—0,005	<0,001	<0,01
454	0—5	<1	23	32	31	3	4	7	14
	10—15		27	31	30	2	3	6	11
	20—25		20	35	32	3	4	6	13
	30—35		20	36	31	3	4	7	14
	40—45		24	38	28	2	3	5	10
	50—55		24	46	25	1	1	3	5
	70—75		32	39	24	1	1	3	5
	90—95		27	44	24	1	1	3	5
	120—125		19	30	33	5	5	8	18
	160—169		10	26	38	5	8	11	24
	200—205		37	38	19	1	1	3	5
449	0—5	<1	11	6	37	6	12	17	35
	10—15		13	19	35	6	12	16	34
	20—25		13	19	35	6	11	15	32
	30—35		12	21	35	6	11	15	32
	40—45		8	20	39	7	11	15	33
	50—55		7	14	39	10	13	17	40
	70—75		5	14	32	10	17	22	49
	90—95		7	17	31	8	16	20	44
	120—125		6	18	35	8	15	18	41
	170—175		24	34	30	2	4	6	12
448	0—5	<1	6	14	35	11	14	20	44
	10—15		6	15	35	11	14	20	45
	20—25		5	13	34	12	15	21	48
	30—35		2	6	32	18	19	23	50
	40—45		3	8	30	14	19	25	58
	50—55		3	9	30	12	20	26	58
	70—75		4	10	29	11	20	26	57
	90—95		7	12	35	9	15	21	45
	125—130		9	22	35	7	12	15	34
	175—180		11	27	47	3	5	7	15
167	0—10	<1	6	12	28	10	21	22	53
	10—20		6	8	30	9	18	28	48
	20—30		5	8	25	10	21	30	61
	30—50		3	5	22	10	27	33	70
	50—80		2	7	19	10	29	33	72
	80—105		4	8	27	8	24	29	51
	105—115		7	7	44	8	17	18	43

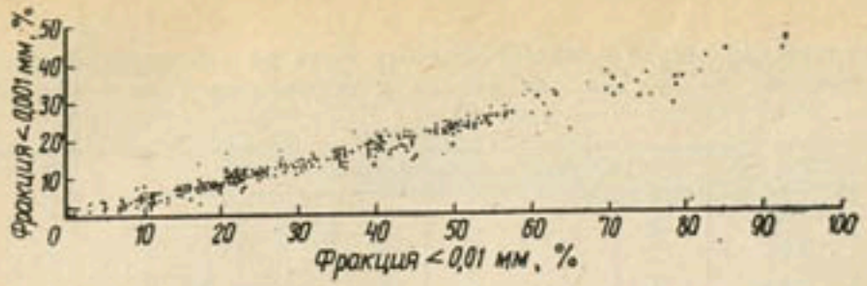


Рис. 12. Зависимость содержания ила от механического состава отложений Мургабской дельты.

Микроагрегированность тонких частиц во взвесях ирригационных вод способствует образованию более однородного по плодородию почвенного покрова. Если бы все частицы в воде были в раздельном состоянии, то почвы верхней части полей были бы лишены ила, а почвы понижений, наоборот, состояли бы из чисто илистых частиц. На это обстоятельство приходится обращать внимание в связи с тем, что микроагрегация частиц в воде зависит от солевого и физико-химического состава оросительных вод. Ухудшение этих качеств, уменьшение содержания кальция и повышение количества катионов натрия в оросительных водах, которое наблюдается почти во всех оросительных системах, в связи со сбросом в реки дренажных вод, прогреванием вод в водохранилищах и др., приводит к диспергации частиц в воде со всеми отрицательными последствиями для свойств почв. Эти процессы необходимо строго контролировать.

Ирригационные отложения разных исторических эпох на землях древних оазисов отличаются по составу в зависимости от техники орошения и особенностей конструкций ирригационных систем. Ирригационные отложения античного времени, сформировавшиеся при бассейновой системе орошения, отличаются тяжелым суглинистым и глинистым, однородным по площади бассейна, составом. Земли, орошавшиеся из средневековых оросительных систем, наоборот, характеризуются большой дифференциацией почв по механическому составу, по элементам ирригационного склона. В современных условиях дифференциация ярко выражена. Причем происходит отрицательное явление — дезагрегация частиц наносов, что связано с изменением физико-химических свойств оросительных вод.

Немалое значение в формировании механического состава орошаемых почв имело внесение землистых удобрений: выветрелых масс глинобитных стен, выбросов из древних каналов, продуктов выветривания сланцев, лесса и специально приготовленных компостов из навоза и арычных илов.

Труднее оценить размеры внутрипочвенного выветривания минералов при орошении. М. А. Орлов (1937), А. Н. Розанов (1951) считали, что орошение благоприятствует оглинению минеральной массы почвы за счет выветривания, хотя определенных доказательств ими не было приведено.

В Мургабском оазисе оглинение почвы из-за выветривания выявляется при сравнении содержания тонкопылеватых и глинистых частиц в аллювии и в почвах на агроирригационных отложениях. В орошаемых почвах происходит уменьшение содержания фракции размером 0,001—0,005 мм за счет выветривания при одновременном возрастании количества частиц размером менее 0,001 мм, в то время как в глинистом и песчаном аллювии эти фракции содержатся в равном количестве. Оглинение в условиях орошения подтверждается также данными анализа минералогического состава фракции с размером частиц 0,01—0,1 мм, которая в ирригационных почвах и аллювиальных отложениях Мургабского оазиса составляет от 40 до 80% от общего их веса. В орошаемых почвах на древних агроирригационных отложениях обнаруживается значительно меньше полевых шпатов, а относительное содержание кварца в них больше, чем в свежих ирригационных наносах и аллювиальных отложениях. Отношение кварца к полевым шпатам в аллювии и свежих наносах — 4,6—4,8, а в древнеорошаемых почвах — 6,3—6,5 (Минашина, 1965).

Некоторые изменения в механическом составе почв возникают из-за иллювиирования тонких частиц, что наблюдается в солонцеватых и слабоокультуренных почвах пустынной зоны (табл. 23), а также при орошении щелочными водами.

По данным Х. Хамди, иллювиирование глинистых частиц имеет место в почвах дельты р. Нила. Глубина иллювиирования варьирует от 15 до 25 см.

В Мургабском оазисе отмечены случаи иллювиирования ила и дифференциации почвы по механическому составу даже в пределах пахотного горизонта в солон-

Таблица 23

Распределение ила в пахотном горизонте орошаемых почв Мургабского оазиса

№ разреза, почва	Глубина взятия образца, см	Частицы <0,001 мм	№ разреза, почва	Глубина взятия образца, см	Частицы <0,001 мм
Почвы экстенсивного использования			Почвы интенсивного использования		
20, такыр двух лет освоения	0—10	13	**60,** оазисная древнеорошаемая на мощных агроирригационных отложениях	0—10	15
	10—20	25		15—25	15
177, солонцеватая под древесными насаждениями	0—5	20			
	10—15	19			
	20—25	27			
	30—35	30	**166,** то же	0—15	14
				15—35	14
144, древнего орошения нерегулярного использования	0—10	17	**121,** оазисная высокоокультуренная	0—10	13
	10—20	21		10—20	12
				20—30	13
61, подверженная периодическому засолению — рассолению	0—10	28	**122,** то же	0—10	9
	20—30	32		10—20	9
				2)—30	9
			Мелиорированная гипсоносная после промывки	0 - 5	20
167, то же (перелог)	0—10	22		10—15	20
	10—20	28		20 - 25	21
	20—30	30			

цеватых и недавно освоенных такыровых почвах, а также в слабоокультуренных нерегулярно орошаемых почвах, которые периодически забрасывают в перелог и подвергают опустыниванию. Замечено передвижение ила и при промывках засоленных почв (разрез 167). Дифференциация пахотного слоя по механическому составу в слабоагрегированных почвах свидетельствует о большой скорости этого процесса.

Иллювиирование частиц распространяется и на более глубокие горизонты орошаемой почвы, но его труднее установить, так как в этом же направлении происходит утяжеление почв, благодаря большей давности выветривания в подпочвах, которые по абсолютному возрасту древнее пахотного слоя.

Орошаемое земледелие благодаря постоянным обработкам способствует выравниванию механического состава оазисных почв. Наибольшая однородность достигается на интенсивно используемых землях, которые

приурочены к верхней и средней части ирригационного поля. Не обрабатываемые части приканальных полос и периодически заливаемые сбросными водами межканальные понижения не имеют такой однородности механического состава, отложения их часто слоисты.

Итак, при орошении происходит утяжеление механического состава почв благодаря задержке песка в водохранилищах и верхних частях ирригационных систем и увеличению интенсивности выветривания минералов.

По нашим проработкам, средний механический состав мургабских аллювиальных отложений (легкосуглинистый с содержанием частиц <0,01 мм) — около 28%. Средний механический состав верхних 2 м орошаемых почв, сформированных преимущественно ирригационными наносами,— среднесуглинистый, среднее содержание физической глины в них около 34% (табл. 24).

Таблица 24

Распределение физической глины в почвах Мургабского оазиса

Содержание частиц < 0,01 мм, %	0—20	20—40	40—60	60—80	80—100	Всего
Частота	89	134	116	34	7	380
То же, %	24	35	30	9	2	100
Механический состав	Пески, супеси	Легкие средние суглинки	Тяжелые суглинки	Глины	Глины тяжелые	

Среднеарифметическое содержание частиц <0,01 мм в почвах — 34,2%, среднеквадратическое отклонение — 7,8%, коэффициент варьирования — 23%.

Под влиянием орошения происходит выравнивание механического состава по профилю почв на орошаемых полях и дифференциация частиц по элементам ирригационного рельефа и вниз по течению в системе, с образованием легких супесчаных и песчаных почв в головной части и вдоль каналов, суглинистых — на орошаемых полях, глинистых — во внутриоазисных депрессиях.

Механический состав почв, орошаемых осветленными (артезианскими) водами, изменяется под влиянием усиления выветривания и оглинения, а при близком соседстве пустыни происходит навевание песка и облегчение состава почвы.

Структура почвы. Пустынные, также как и целинные сероземные почвы, характеризуются очень слабой водопрочностью почвенных агрегатов. Содержание водопрочных агрегатов крупнее 1 мм, как правило, не превышает 5—10% от общей массы почв. Количество агрегатов размером 0,25—1 мм даже в сероземных почвах редко достигает 30—50% (табл. 25). Более высокую агрегированность имеют луговые почвы, особенно в зоне выклинивания грунтовых вод, где почвы содержат больше гумуса и карбонатов.

Таблица 25

Содержание агрегатов>0,25 мм в почвах Средней Азии (по данным Горбунова, 1942, Рыжова и Гуссак, 1957; Зиминой, 1957; Умарова, 1971, и др.)

Почвы	Зона сероземов			Зона пустынных почв		
	темные серозе-мы	типичные сероземы	светлые се-роземы	луго-вые	такыр-ные	пустын-но лу-говые
Целинные	27—49	23—34	15—30	40—82	0—10	5—13
Орошаемые	27—53	15—40	5—25	14—32	2—5	2—5

В почвах пустынной зоны водопрочные агрегаты крупнее 0,25 мм практически отсутствуют.

При орошении, особенно в первые годы освоения, происходит некоторое уменьшение агрегированности почв под влиянием механического воздействия оросительных вод, растворения гумуса, выщелачивания солей. Затем при длительном окультуривании агрегированность несколько возрастает в зависимости от культуры, физико-химических свойств почв, качества поливных вод.

В качестве агрегирующего, цементирующего вещества в малогумусных орошаемых почвах Мургабского оазиса служит в основном кальцит. Более увлажненные почвы понижений и нижние горизонты почв, формирующихся при близком уровне грунтовых вод, богаче тонкозернистым кальцитом (вторичным, выпавшим из раствора) и имеют более высокую микроагрегированность частиц ила.

Почвы массивов с глубоким залеганием уровня грунтовых вод, экстенсивно используемые в переложной системе, в большей мере дисперсны, чем окультуренные.

Количество свободного ила, не связанного в водопрочные агрегаты, в них превышает 30%, а нередко достигает 50% и более (табл. 26).

Таблица 26

Степень дисперсности ила в орошаемых почвах экстенсивного использования при глубоких грунтовых водах

Глубина взятия образца, см	Содержание ила, %		Коэффициент дисперсности, %	Глубина взятия образца, см	Содержание ила, %		Коэффициент дисперсности, %
	механический анализ	микроагрегатный анализ			механический анализ	микроагрегатный анализ	
	Разрез 60				Разрез 144		
0—10	15,5	5,3	34	0—12	17,4	10,5	60
15—25	14,5	8,5	58	20—30	20,6	13,6	66
35—45	21,5	9,2	42	40—50	25,8	5,0	19
62—72	13,6	2,9	21	70—80	25,3	2,6	10
81—91	11,5	1,6	13				

Надо заметить, что методы изучения агрегированности почв и водопрочности микроагрегатов путем расчленения почвенной массы в воде не дают правильного представления о структуре почвы. В этом отношении более перспективен метод анализа микроструктуры в шлифах.

По данным микроморфологического исследования, сероземные целинные почвы характеризуются очень хорошей микроагрегированностью. Илистые частицы в такырных и других пустынных почвах большей частью пептизированы. Хорошо микроагрегированы древние агроирригационные отложения. В последних микроагрегаты значительно крупнее, чем в целинных сероземных почвах. Глинистое вещество равномерно распределено среди песчано-пылеватых частиц, связывая последние в агрегаты. Агрегаты рыхло сложены. Между ними много видимых пор. Древние агроирригационные отложения переработаны дождевыми червями, которые в целинных почвах пустынной зоны отсутствуют.

Верхние современные окультуренные слои не обладают такой хорошей агрегированностью, как древние. В них имеются потеки и сгустки пептизированной глины. Причиной может быть более высокая пептизированность ила вследствие подверженности почвы пустынному поч-

вообразованию в недавном прошлом во время длительного перерыва в орошении (около 200 лет), а также и переложная экстенсивная система земледелия. Подробные описания микростроения орошаемых и неорошаемых сероземных и пустынных почв имеются в опубликованных работах (Минашина, 1963, 1964, 1965).

Благоприятное влияние дренажа на почвенную структуру состоит, очевидно, в том, что он создает возможность почвам и подпочвам периодически увлажняться и просыхать, что уже само по себе благоприятствует агрегации почвы. Кроме того, корни растений на дренированных почвах проникают глубже, чем на постоянно влажных почвах с высоким уровнем грунтовых вод. Засоление, осолонцевание или заболачивание почв при орошении приводит к ухудшению микроструктуры.

При изучении шлифов из образцов солончаковых почв, промывавшихся в монолитах без перерыва, обнаружено, что почва при этом сильно диспергируется и ее проницаемость значительно ухудшается в сравнении с исходным состоянием. При промывках с периодическими перерывами и просушиванием верхних слоев почвы в монолитах разрушение почвенной структуры и пептизация глин произошли в значительной мере меньше, чем при постоянных промывках, проницаемость почвы также была более высокой (Хабиб, 1961; Минашина, 1963).

Объемный вес и порозность. Объемный вес, общая и дифференциальная порозность являются важными показателями физических свойств и сложения почв, которые используются в расчетах мелиораций. Данные полевых определений, сгруппированные в зависимости от использования почв, расположения их по элементам ирригационного рельефа (табл. 27), характеризуют почвы, например, Байрам-Алийской части дельты. Такырные неорошаемые почвы исследовались в Северной части Байрам-Алийского массива до строительства Каракумского канала. Почвы сформированы в процессе 700-летнего опустынивания массива на древних агроирригационных отложениях бассейновой системы орошения. Такырные почвы и подстилающие их отложения по морфологии были очень однородны, располагаясь на уплощенной поверхности поливных бассейнов. Данные по опесчаненным почвам приканальной зоны, большей частью дефлированным, и отакыренным солончакам внутриоазисных депрессий, составляют особые группы.

Таблица 27

Среднестатистические данные, характеризующие физические свойства почв Мургабской дельты

Глубина взятия образца, см	Неорошаемые такырные почвы	Оазисные почвы			средний удельный вес почвы
		орошаемые прикатальной полосы	орошаемые на средней части склона	солончаки нижней части склона	
Средний объемный вес почв ± ошибка среднего					
0—10	1,46±0,024	1,39±0,023	1,30±0,023	1,24±0,125	1,53±0,043	2,654
10—30	1,55±0,013	1,50±0,030	1,58±0,027	1,43±0,039	1,70±0,017	2,656
30—50	1,52±0,010	1,51±0,046	1,55±0,024	1,56±0,026	1,67±0,018	2,673
50—100	1,52±0,019	1,47±0,040	1,56±0,019	1,56±0,021	1,57±0,035	2,702
100—150		1,50±0,040	1,57±0,029	1,57±0,021	1,59±0,042	2,716
150—200		1,48±0,038	1,58±0,051	1,58±0,007	1,64±0,042	2,713
Отношение порозности общей к эффективной, % от объема						
0—10	46,4/11,6	47,8/20,0	51,0/18,0	53,5/20,0	42,5/3,5	—
10—30	43,0/8,0	43,5/16,5	40,5/7,5	46,0/13,0	36,0/0	—
30—50	44,0/11,0	43,5/16,5	42,0/9,0	42,0/8,0	37,5/0	—
50—100	44,0/11,0	45,5/16,5	42,2/9,2	42,0/8,0	41,7/2,7	—
100—150		44,5/18,0	42,2/9,2	42,2/8,2	42,0/3,0	—
150—200		50,0/24,0	42,2/9,2	42,0/8,0	39,5/0,5	—

Как видно из результатов анализа, объемный вес такырных почв, включенных в обработку, варьирует мало. Их плотность, глубже 30 см, где свойства древних агроирригационных отложений слабо затронуты опустыниванием, невысока — 1,519, при коэффициенте варьирования меньше 6% и сравнительно большом числе анализов (37). Более уплотнен иллювиальный горизонт отакыренных почв, где и микроморфологически обнаруживаются потеки глин по трещинам и порам. Объемный вес этого горизонта в среднем равен 1,547 при очень низком коэффициенте варьирования. Верхняя сухая растрескивавшаяся и сильно пористая (часто ноздреватая) корка легче иллювиального горизонта, но имеет бо́льший объемный вес, чем аналогичный слой в орошаемых почвах, хотя последние не имеют таких крупных такыровых пор, что объясняется лучшей микроагрегированностью почв. Глинистая часть такыровой корки пептизирована, частицы между крупными порами слиты.

Заметны различия в плотности почв разных элементов ирригационного рельефа. Величина объемного веса по всем горизонтам (за исключением слоя в 0—10 см) от верхних частей ирригационного склона к нижним увеличивается. В наибольшей мере эти различия выражены для слоя почв 30—50 см. В приканальной зоне объемный вес в этом слое — 1,51, вниз по склону он увеличивается до 1,67. Особенно велик контраст в уплотнении почв приканальной полосы и в межканальных понижениях, где почвы большей частью слитые, слабо микроагрегированные, сильно вторично закарбоначенные. Орошаемые почвы ирригационного склона, где они наиболее интенсивно используются под посевы хлопчатника, реже люцерны, имеют бо́льшую уплотненность пахотного горизонта (за исключением верхнего слоя 0—10 см), который разрыхляется летней культивацией после каждого полива. Особенно выделяется нижняя часть пахотного слоя, сливающаяся к осени с плужной подошвой. Это вызвано уплотнением при поливах, культивации, усадкой почвы при периодическом увлажнении и высыхании в вегетационный период и обусловлено слабой агрегированностью частиц, что свойственно современным окультуренным слоям. Глубже объемный вес стабилизируется на уровне 1,56—1,57.

Различия в порозности и сложении почв разных элементов ирригационной чаши иллюстрируют также дан-

ные эффективной порозности, которая показывает объем пор, остающихся в почве свободными при увлажнении до наименьшей влагоемкости, когда влага не может стекать и удерживается в мелких порах почв. При насыщении почвы до полной влагоемкости по эффективным порам происходит гравитационное стекание воды, обеспечивающее рассоление почв при промывках и т. д.

Эффективная порозность в приканальных отложениях очень высокая, а в почвах межканального понижения в отдельных слоях равна 0, отчего глинистые и тяжелосуглинистые отложения межканальных понижений не только очень плохо фильтруют воду, но и служат водоупорной кровлей для грунтовых вод, которые здесь приобретают местную напорность от ирригационных каналов и вышерасположенных орошаемых полей. При вскрытии грунтовых вод в межканальных понижениях они очень быстро поднимаются на 50 см и более.

Аэрированность этих почв очень слабая. Почвы проявляют признаки избыточного увлажнения и заболачивания.

Изменение скорости впитывания и фильтрации. Скорость впитывания зависит от состояния поверхности почвы, ее увлажнения и растительного покрова и является величиной очень динамичной для одной и той же почвы. Поэтому для оценки различных почв по этому признаку важно обеспечить сравнимость условий опыта.

Почти для всех почв, за исключением такыровых, скорость впитывания под влиянием орошения чаще снижается. Оросительные воды, частая обработка, минеральные удобрения способствуют уплотнению почвы и заплыванию крупных ходов и пор. Особенно низка скорость впитывания для почв с пептизированной глиной, которая способна образовывать пленки в пахотном и подпахотном горизонтах почвы. Такие пленки могут появляться и в результате промывок засоленных почв. Солончаки обычно характеризуются высокими показателями впитывания в начале проведения промывок, однако эти величины очень скоро снижаются.

По данным Н. К. Балябо (1954), скорость впитывания после распашки пласта трав в 5—6 раз выше, чем на старопахотных землях, где высевался хлопок. Однако определения этих величин, произведенные на орошаемых почвах Иолотанской станции Мургабского оазиса

(Фурсов, Недиров, 1966), показывают менее значительные различия по полям севооборотов.

Установившаяся скорость фильтрации под влиянием длительного орошения также варьирует для одной и той же почвы. Ее величина зависит тоже от химического состава оросительных вод и от природы почвы. Например, в хорошо агрегированной почве изменения фильтрационных свойств более значительны при орошении, структура разрушается и коэффициент фильтрации почв снижается. Однако для почв пустынной зоны, которые в естественных условиях не имеют водопрочной структуры и под влиянием орошения улучшают агрегированность, ухудшения фильтрации не наблюдается.

Целинные сероземы имеют рыхлое сложение, небольшой объемный вес (1,2—1,3), высокую порозность (55—56% от объема почвы). В их профиле всегда много пустот, по которым в первую очередь проникают фильтрационные воды. Вследствие высокой проницаемости сероземов в начальный период их освоения происходят большие потери оросительных и катастрофически быстрый подъем грунтовых вод.

В противоположность сероземам такырные почвы и такыры пустынной зоны в целинном состоянии характеризуются крайне неблагоприятными водно-физическими свойствами (Зимина, 1957; Умаров, 1971). Объемный вес их колеблется в пределах 1,5—1,7, порозность занимает всего лишь 38—44% от объема почвы. Такыры имеют сильно диспергированную глинистую часть в верхних горизонтах, которая мешает фильтрации. Скорость фильтрации на такырах измеряется малыми величинами, обычно около 0,05 мм/мин и менее. Однако удаление верхнего слоя в 10—15 см или глубокая вспашка увеличивают фильтрацию вод.

Как в сероземных почвах, так и в пустынных в начальный период освоения происходит некоторое снижение скорости фильтрации оросительных вод вследствие заплывания трещин и заиления пустот. В процессе окультуривания свойства почв стабилизируются. Объемный вес сероземов под влиянием орошения нередко увеличивается до 1,4—1,5, порозность уменьшается до 45—50% от объема почвы. Скорость фильтрации уменьшается, особенно в пахотном и подпахотном слое, нередко до 0,1—0,2 мм/мин. Под влиянием длительного орошения порозность пахотного горизонта такырных почв

возрастает до 45—50% от объема почвы, соответственно в несколько раз по сравнению с целинными почвами увеличивается скорость фильтрации этого слоя. Длительное окультуривание такырных и сероземных почв при орошении сглаживает различия в водопроницаемости, которая колеблется обычно для орошаемых почв в пределах 0,1—0,5 мм/мин. Большое значение приобретают местные условия, связанные с особенностями накопления и свойствами ирригационных наносов, обработкой почвы и качеством оросительных вод. Почвы вдоль магистральных каналов на легких по механическому составу отложениях, имеют наиболее высокие размеры фильтрации. В Ферганской долине (Балябо, 1954) скорость фильтрации супесчаной почвы на приканальном повышении составляла 1,2 мм/мин, а суглинистой почвы в нижней части поля — 0,3—0,4 мм/мин. По данным Николаева (1947), в Вахшской долине водопроницаемость древнеорошаемых почв на повышенных ровных пространствах равна 0,16 мм/мин, в верхней части склона чаши — 0,8 мм/мин, а в понижениях — 0,2 мм/мин.

Сильное снижение впитывания и фильтрации происходит вследствие образования корки на поверхности почвы и подпахотного уплотнения (Рыжов, 1939; Устинович, Рыжов, Дурновцев, 1938; Горбунов и Бекаревич, 1951; Gerard, Cowley, Barleson, 1962).

Изменения минералогического, химического состава и физико-химических свойств почв. *Химический и минералогический состав.* Химический и минералогический состав почв под влиянием орошения изменяется главным образом из-за приноса ирригационных наносов и в меньшей мере благодаря внесению удобрений, внутрипочвенному выветриванию и другим почвенным процессам. При большой длительности орошения последние факторы тоже могут существенно изменить состав почвы. Особо стоит вопрос об изменении содержания и состава органического вещества и солей в почвах, а также запасов питательных веществ.

К числу наиболее плодородных наносов всегда относили нильские. Большое их поступление при бассейновой системе орошения позволило тысячелетиями использовать орошаемые почвы и получать на них высокие урожаи. Они обеспечивали растения питательными элементами и создавали благоприятную физическую и физико-химическую среду для почвенно-биохимических и

других процессов. Нильские наносы действительно обладают высоким плодороднем, содержат много органического вещества, питательных элементов. Благодаря наличию тонких частиц они легко выносятся на поля, агрегируются при почвообразовании и придают почве хорошую агрономическую структуру (табл. 28).

Таблица 28

Распределение и состав ирригационных наносов в верхней части дельты р. Нила *, %

Звенья ирригационной сети	Средняя мутность за 1959—1960 гг., г/л	Механический состав		Органическое вещество	N
		пыль 0,02—0,002 мм	ил <0,002 мм		
Паводок					
р. Нил	1,22	21,5	71,7	1,93	0,13
Канал Зомор	0,73	24,6	70,2	2,07	0,17
Распределитель Абделаал	0,61	23,0	72,6	2,03	0,16
Оросительь	0,45	17,4	74,9	2,02	0,16
Межень					
р. Нил	0,06	32,2	51,5	7,78	1,03
Канал Зомор	0,15	33,5	59,7	3,00	0,43
Распределитель Абделаал	0,12	27,5	63,5	2,65	0,39
Оросительь	0,18	19,6	69,6	2,72	0,36

* По данным A. Seinelabedine, A. Fathi, A. Hafez, 1964.

В Средней Азии местное население мутные оросительные воды всегда предпочитало осветленным. Выветрелые арычные илы и раши широко использовались для приготовления компостов и других землистых удобрений. В таблице 29 показано количество различных веществ, которое поступает на орошаемое поле за один сезон. За вегетационный сезон в бассейнах этих рек делают 4—12 поливов, поступление наносов за это время составляет десятки тонн. Только из-за поступления ирригационных наносов поверхность почвы каждый год поднимается на 0,5—3 мм в год. Почти половина от веса ирригационных наносов состоит из кремнезема, поступающего в виде кварца и алюмосиликатных минералов — полевых шпатов, слюд, гидрослюд, глинистых и других минералов. Значительная часть наносов пред-

Таблица 29

Среднее поступление веществ на орошаемую территорию при норме оросительных вод 10 000 м³/га, ц/га

Источник орошения	Взвешенные наносы						Водорастворимые		
	алюмосиликаты	гумус	азот	P_2O_5	K_2O	$CaCO_3+MgCO_3$	$CaCO_3$	$CaSO_4$	токсичные соли
Нил	123	3,5	0,18	0,34	1,45	3,3	6,0	0	1,6
Амударья	248	2,7	0,37	0,41	12,00	67,0	12,6	10,5	1,9
Мургаб	103	1,2	0,07	0,16	2,18	27,0	12,5	0,3	2,3

ставлена карбонатами кальция и магния и свободными гидроокислами железа. Остальные вещества составляют небольшую часть наносов, которые, однако, имеют важное значение в почвообразовательных процессах и поэтому всегда принимаются в расчет при оценке качества ирригационных наносов. В их числе на первом месте стоит органическое вещество, азот, фосфор, калий.

В прошлом ирригационные наносы больше всего изучались как источник питательных веществ (Цинзерлинг, 1927, Розанов, 1951, 1957; Ковда, Захарьина, Шелякина, 1957; Молодцов, 1963, и др.). В настоящее время, когда запасы питательных элементов в орошаемых почвах пополняются в основном путем внесения минеральных удобрений, критерии оценки ирригационных наносов должны быть изменены. К тому же большая часть питательных элементов в них находится в труднодоступной для растений форме, так как в процессе транспортировки легкоподвижные вещества вымываются или поглощаются водной растительностью. Запасы питательных веществ в наносах всегда ниже, чем в почвах, поэтому их нельзя рассматривать как собственно удобрения. Наносы следует оценивать по влиянию на комплекс почвенных свойств и может быть в первую очередь на физические и физико-химические свойства. В этом отношении интересны результаты исследования амударьинских наносов, полученные Горбуновым (1958), где анализируются минералогический состав взвесей, их физические и физико-химические свойства. Именно потому, что наносы оказывают большое влияние на физические свойства почв, они применялись для кольматации пес-

чаных, каменистых и других бесплодных почв пустыни, а также для мелиорации такыров.

Нильские отложения содержат в сравнении с отложениями рек Средней Азии более высокое количество азота, фосфора, калия, они обладают высокой емкостью обмена (40—60 мг-экв. на 100 г почвы) благодаря каолинитово-монтмориллонитовому составу илистой фракции. Они богаче полуторными окислами, которые наряду с глинистыми минералами играют структурообразующую роль. В нильских наносах меньше балласта в виде карбонатов и кварца. Карбонаты же, если их содержится слишком много и имеются условия для перекристаллизации, могут ухудшать свойства почв и проницаемость почв.

Нильские наносы на 60—70% состоят из вторичных глинистых минералов, представленных по одним данным преимущественно монтмориллонитом с примесью каолинита (Buursink, 1971), по другим,— иллитом (Хамди, 1959). Сейчас уже можно считать доказанным, что главный минерал глинистой фракции — монтмориллонит с примесью иллита и каолинита, отсюда высокая емкость обмена ила и всей почвы в целом.

Первичные минералы в нильских наносах составляют небольшую долю от общей массы, слабо слюдисты и представлены полевыми шпатами, пироксенами. Источником питания наносов р. Нил служат в основном продукты выветривания базальтов Эфиопии в области тропических саванн. Эти продукты поступают с водами Голубого Нила. Воды Белого Нила, который питают экваториальные озера, почти не содержит минеральных веществ, но содержат органические вещества.

Мургабские наносы отличаются от нильских не только меньшим содержанием питательных элементов, но и более высоким содержанием кремнезема и карбонатов кальция (в 8 раз), меньшим содержанием полуторных окислов. Но, несмотря на большую окварцованность в крупных фракциях наносов, мургабские отложения в сравнении с нильскими содержат значительно больше обломочных первичных минералов, что обязано более легкому механическому составу. Мургабские наносы относятся к легкосуглинистым и супесчаным по механическому составу, а нильские — к тяжелосуглинистым и глинистым. Повышенное содержание кварца среди первичных обломочных минералов в мургабских наносах

связано с тем, что источником питания для них служат уже выветрелые третичные песчаники в верховьях реки. Как и все среднеазиатские реки, Мургаб несет слюдистые взвеси, в составе вторичных минералов преобладают смешаннослойные монтмориллонитово-гидрослюдистые образования, более дисперсные по сравнению с амударьинскими и зеравшанскими гидрослюдистыми наносами; емкость обмена илистой фракции из Мургабских наносов — 20—30 мг-экв. на 100 г почвы. Еще более грубодисперсный, песчаный материал несет Амударья. Илистая фракция амударьинских отложений отличается малой дисперсностью и представлена гидрослюдой (Горбунов, 1958). Ратеев обнаруживал в их составе еще и каолинит и сепиолит в небольшом количестве. Емкость обмена наносов невысокая — 5—8 мг-экв. Первичные минералы амударьинских наносов слабо выветрелы, содержат много полевых шпатов и слюд.

Наносы среднеазиатских рек имеют более низкую агрегационную способность в сравнении с нильскими, но имеют преимущество — они менее склонны к образованию корки. В этом отношении мургабские наносы с более дисперсной илистой фракцией могут более сильно покрываться коркой, чем амударьинские, но в благоприятных физико-химических и биохимических условиях лучше оструктуриваются и в этом отношении стоят ближе к нильским.

В целом же орошаемые почвы под влиянием ирригационных наносов как бы все время обновляют минералогический состав и омолаживаются, что не дает возможности проявить себя в полной мере собственно почвенным процессам. Пахотный слой, толщиной в 20—30 см, за 200—300 лет заменяется полностью вновь образованным ирригационным слоем.

В последние годы в связи со строительством водохранилищ количество поступающих наносов на поля уменьшится и состав их сильно изменится в сторону обогащения вторичными, наиболее дисперсными минералами глинистого состава, что в общем плохо скажется на свойствах почв. И в этом случае отрицательные последствия для среднеазиатских районов будут больше, чем для бассейна Нила, так как его воды богаче органическим веществом и содержат менее минеральных солей.

Одно из неблагоприятных последствий осветления вод — изменение соотношения между стоком, содержащим растворенные вещества, и стоком, несущим твердые частицы. Причем доля первого увеличивается. Для вод, богатых бикарбонатами кальция, что означает пропитывание грунтов кальцитом, а это повлечет за собой целый ряд неблагоприятных последствий в связи с ухудшением физических, главным образом фильтрационных, свойств почв.

Сравнение данных по содержанию растворенных и взвешенных веществ в водах р. Нила за 1909—1934 гг. и за 1959—1960 гг. показывает, что сумма солей в водах возросла с 0,135 до 0,250 г/л, а мутность в паводок уменьшилась с 1,45 до 1,22 г/л, соответственно доля растворенных веществ от твердого стока увеличилась с 9,4 до 20,4%. Для среднеазиатских рек эти различия будут более существенными, так как поступление твердого стока практически прекратится, а соленость вод значительно возрастет.

Изменение в содержании карбонатов. Большое значение карбонатов в свойствах почвы определяется не только их количеством, но и физико-химической и кристалло-химической активностью вследствие способности растворяться в почвенных растворах, перекристаллизовываться и тем самым влиять на физические и физико-химические свойства почв.

Карбонаты на орошаемые земли поступают со стоком, содержащим твердые частицы в виде кальцита, доломита, арагонита и со стоком, содержащим растворы, в виде ионов бикарбоната кальция и магния. В наносах Нила карбонаты составляют около 2,3% (в расчете на $CaCO_3$), а в наносах Амударьи и Мургаба — 18% от их веса. Кроме того, от 4 до 7% к весу наносов карбонат кальция поступает в растворенном виде.

В отличие от легкорастворимых солей карбонаты и бикарбонаты кальция достигают насыщения уже в речных водах, а при прогревании, испарении выпадают в осадок.

За один полив при норме воды — 1000 м³/га в среднем на 1 га вносилось карбоната кальция в почвы дельты р. Нила 36 кг в виде твердого стока и 57—60 кг в виде раствора; в почвы дельты р. Амударьи — соответственно 670 и 130 кг, на орошаемые земли дельты р. Мургаба — 270 и 130 кг. За 8—12 поливов в год количество

карбонатов, поступивших на орошаемые земли, измеряется центнерами и тоннами на каждый гектар.

В молодых аллювиальных отложениях р. Мургаб содержание карбонатов зависит от механического состава почв. Для легко- и среднесуглинистых почв эта зависимость подчиняется уравнению: $У=0{,}1\times X+5\pm0{,}5$, где У — содержание CO_2 в почвах, X — содержание частиц менее 0,01 мм, в % от веса почвы. Для глинистых почв — $У=0{,}5\times X+5\pm1$.

Орошение сглаживает различия в содержании карбонатов в прослойках разного механического состава. Количество CO_2 в орошаемых почвах Мургабского оазиса обычно не снижается более 8,5% и очень редко превышает 11,0%. Орошение способствует увеличению карбонатов в почвах благодаря выпадению из растворов при испарении оросительных и грунтовых вод. Древнеорошаемые почвы Мургаба при одинаковом механическом составе содержат на 2—3% больше $CaCO_3$, чем природные неорошаемые почвы (табл. 30).

Таблица 30

Среднее содержание CO_2 карбонатов в орошаемых почвах Мургабского оазиса

Почва	Глубина взятия образца, см	Число образцов, n	X	S	S_x	Средний удельный вес	Средний объемный вес	Средняя пористость, %
Неорошаемые и орошаемые (менее 100 лет)	0—20	71	7,60	1,47	0,175		1,34*	49,5
Древнеорошаемые (600 и более лет)	0—30	144	7,93	1,80	0,15	2,65	1,55**	42,0
	30—50	73	8,86	1,04	0,13	2,67	1,57	41,3
	50—100	112	9,05	0,285	0,028	2,70	1,54	43,0
	100—150	71	9,40	1,03	0,122	2,72	1,56	42,5
	150—200	64	9,50	1,045	0,13	2,72	1,57	42,7
	0—200	465	8,97	1,32	0,006			

Примечание: X — среднее содержание CO_2; S — среднеквадратическое отклонение; S_x — ошибка среднего;
* — в слое 0—10;
** — в слое 10—30.

Количество накопившихся в орошаемых почвах карбонатов зависит от положения их по элементам ирригационного рельефа и от гидрогеологических усло-

вий. Наиболее заметное закарбоначивание наблюдается для почв межканальных понижений при близких грунтовых водах, где больше испаряется грунтовых растворов. В хорошо дренированных почвах карбонатов накапливается меньше, чем в почвах понижений.

В Мургабском оазисе замечено, что щелочные почвы, подверженные осолонцеванию, имеют больше карбонатов в профиле, чем это свойственно нейтральным почвам тех же элементов рельефа (табл. 31). Это показывает на наличие повышенной щелочности, которая в какой-то мере нейтрализуется оросительными водами. Верхние слои грунтовых вод под солонцеватыми почвами обедняются кальцием и магнием вследствие их перехода в нерастворимое состояние в виде карбонатов. Эти почвы (разрез 177) на границе с грунтовыми водами содержат до 10% карбонатов в илистой фракции, тогда как в несолонцеватых орошаемых почвах на тех же элементах рельефа количество CO_2 в илистой фракции не бывает выше 5% (чаще 2—3%).

Таблица 31

Накопление карбонатов кальция в щелочных (солонцеватых) почвах Мургабского оазиса, %

Глубина взятия образца, см	Разрезы					
	177		451		450	
	CO_2	$CaCO_3$	CO_2	$CaCO_3$	CO_2	$CaCO_3$
0—10	8,3	18,7	7,8	17,6	8,6	19,4
10—15	8,6	19,4	8,7	19,7	8,6	19,4
15—30	8,6	19,4	9,9	22,4	10,0	22,6
30—50	9,8	22,2	10,3	23,2	10,1	22,8
50—70	10,5	23,8	10,4	23,5	10,3	23,2
70—100	10,6	24,0	10,2	23,0	10,3	23,2
100—130	11,2	25,3	10,5	23,8	11,4	25,8
130—160	10,8	24,4	11,5	26,0	13,3	30,0
160—200	8,7	19,7			10,5	23,8

Высокое содержание карбонатов во фракциях тонкой пыли (0,005—0,001 мм) характерно для всех орошаемых и неорошаемых почв и достигает по CO_2 до 20% от веса фракции, а в разрезе 177 — до 25% в нижней части почвенного профиля. Но поскольку фракция части размером 0,005—0,001 мм содержится в почве в небольшом количестве, то CO_2 этой фракции от веса почвы составляет 1—3% (рис. 13). Наибольшая масса

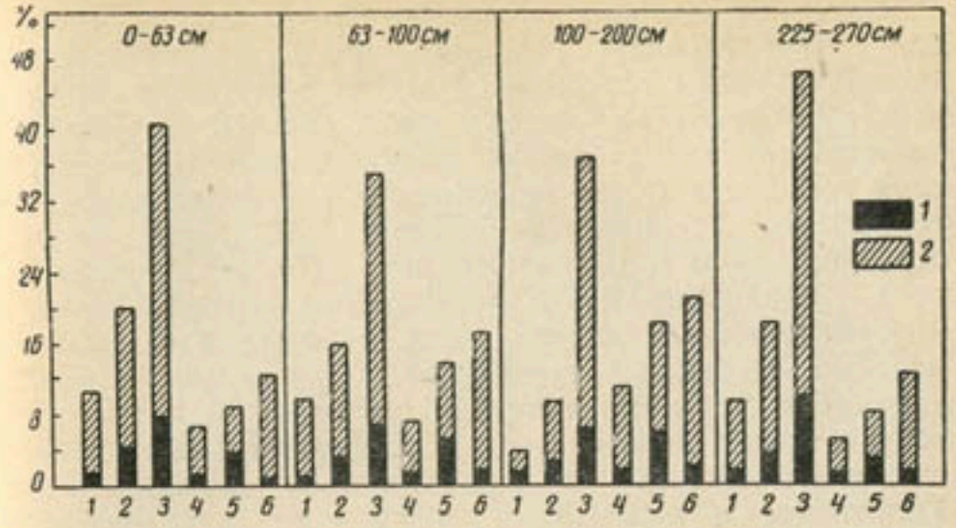


Рис. 13. Распределение карбонатов по фракциям в древнеорошаемой почве, % на сухую почву:

1 — $CaCO_3$; *2* — бескарбонатная часть. Фракции механического состава: *1* — 0,1—0,25 мм; *2* — 0,05—0,1 мм; *3* — 0,01—0,05 мм; *4* — 0,005—0,01 мм; *5* — 0,001—0,005 мм; *6* — <0,001 мм.

карбонатов сосредоточена в крупной и мелкой пыли. Это обломочный первичный кальцит, принесенный в виде взвеси. Во фракции крупной пыли (0,01—0,05 мм) сосредоточено до 30—40% от общей массы карбонатов почв, 25—35% от суммы карбонатов приходится на фракцию 0,001—0,005 мм. Остальные 20—30% карбонатов распределяются среди других четырех фракций частиц почвы.

$MgCO_3$ накапливается больше в почвах, плохо дренированных (межканальных понижениях, склонных к закарбоначиванию и пр.). Это соединение распределяется по профилю так же, как $CaCO_3$, количество его увеличивается по направлению к грунтовым водам. На хорошо дренированных незасоленных и несолонцеватых почвах карбонат магния не накапливается.

Вопрос о влиянии форм и количества карбонатов на плодородие почв при орошении не вполне ясен. Карбонат кальция как соль малорастворимая не относится к числу токсичных для растений. Но в то же время его влияние на физические свойства почв не вызывает сомнений, ведь $CaCO_3$ составляет до 20—25% от общей массы почвы, хотя прямой зависимости между средними величинами $CaCO_3$ и объемным весом нет.

Карбонат кальция, перекристаллизовываясь, способен цементировать частицы почвы. Искусственно (вспашкой) при орошении удается регулировать физические свойства только пахотного горизонта. Поэтому влияние карбонатов на физические свойства пахотного слоя горизонта будет меньшим, чем в более глубоких горизонтах. Значительное влияние $CaCO_3$ на микростроение почвы можно видеть при изучении шлифов из почв (Минашина, 1963), которые показывают, что закарбоначенные в нижней части профиля почвы более плотные, особенно в понижениях. Кристаллы кальцита заполняют поры, цементируют частички. В этих горизонтах можно видеть следы восстановительных процессов, указывающих на недостаточную аэрацию почв. Уплотнение и цементация затрудняют передвижение гравитационных вод и затрудняют освобождение почвы от легкорастворимых солей, создают условия для появления вредных для растений продуктов восстановительных реакций (сероводород, закисное железо и пр.). Д. М. Кугучковым и его сотрудниками изучались высококарбонатные почвы в Зеравшанской долине. Было выявлено, что плодородие таких почв ниже, чем плодородие менее карбонатных оазисных почв.

Интересные исследования проведены в Ираке по распределению карбонатов в почвенном профиле при испарении грунтовых вод (Hardan, 1969). Эти исследования показывают, что окарбоначивание почв при постоянном уровне грунтовых вод приводит к ухудшению проницаемости и снижению плодородия почв. Надо иметь в виду, что от карбонатов, накапливающихся в нижних горизонтах, практически невозможно освободиться. С сооружением отстойников и водохранилищ, где будет задерживаться большая часть твердого стока, проблема окарбоначивания орошаемых почв приобретает большое значение для практики орошаемого земледелия.

Изменение содержания в почвах солей и гипса под влиянием орошения. С каждым поливом нормой 1000 м³/га на поля поступает 160—310 кг легкорастворимых солей натрия и магния. А общая сумма солей составляет 300—500 кг. Легкорастворимые соли при расходе воды на испарение и транспирацию концентрируются в почвенных растворах, изменяется соотношение ионов, катионы вступают в реакции обмена с почвенным поглощающим комплексом. Со временем устанавливается равновесное состояние, в растворах стабилизируется состав солей и поглощенных катионов. Часть солей с фильтрационными водами попадает в грунтовые воды. Дальнейшая судьба солей зависит от режима грунтовых вод и дренажных условий данного участка и оазиса.

Изучению миграции солей в почвах и грунтовых водах, особенностям распределения и перераспределения посвящено очень много работ (Ковда, 1947, 1948; Егоров, 1959; Розанов, 1958, 1946 и др.). При близком уровне грунтовые воды подпитывают почвы и обогащают их солями и сами все время обогащаются более концентрированными почвенными растворами. Грунтовые воды, пополняясь водами с орошаемых полей, постепенно отжимаются и оттекают на неорошаемые участки — перелоги и внутриоазисные понижения, а также на периферию оазисов. В процессе такого очень сложного движения почвенно-грунтовых вод, их постоянного взаимодействия с почвенными растворами, фильтрационно-оросительными и подтекающими подземными водами происходит дифференциация солей на землях оазиса, метаморфизация солевого состава, появление содовых, сульфатных и хлоридных типов засоления почвенных растворов и грунтовых вод.

Орошаемые и интенсивно используемые почвы в условиях удовлетворительного общего или локального дренажа, как правило, не засоляются, хотя и их растворы несколько обогащаются сульфатно-бикарбонатными солями кальция. Почвы, подверженные периодическому засолению — рассолению при недостаточном дренаже грунтовых вод имеют обычно сульфатный магниево-натриевый состав растворов, а твердая фаза почв обогащается гипсом. Эти почвы используются нерегулярно, в переложной системе. Растворы неорошаемых или переставших орошаться почв при близких грунтовых водах, не имеющих стока внутри оазисов и по периферии, обогащены хлоридно-натриевыми и магниевыми солями. Накопления гипса в твердой фазе также достигают здесь заметных величин.

Солевой состав почвенных растворов и грунтовых вод, а также и соотношение площадей засоленных и незасоленных почв зависят от состава и минерализации оросительных, грунтовых вод и условий их естественной или искусственной дренированности.

С точки зрения влияния оросительных вод на накопление гипса в почвах оазиса можно отметить, что воды р. Нил по своему гидрохимическому составу не могут служить источником гипса для почв, они бедны кальцием. Бедны кальцием и воды р. Мургаб. Воды Амударьи, напротив, богаты сульфатом кальция, они могут рассматриваться как существенный источник гипса в орошаемых почвах, каждый полив здесь приносит 97—111 кг/га сульфата кальция.

Почвы дельты р. Нил практически гипса не содержат, хотя почвенные растворы содержат сульфат кальция. Количество гипса в почвах, извлеченное солянокислой вытяжкой, измеряется десятыми и сотыми долями процента на сухую почву. Только в периферийной части дельты, где грунтовые воды дельты смешиваются с морскими и восходящими подземными, обнаружены гипсовые почвы и имеются гипсы лагунного происхождения.

Многочисленные анализы показывают, что незасоленные орошаемые почвы дельты Мургаба, сформировавшиеся в условиях удовлетворительного оттока почвенных растворов, гипса не содержат. Он появляется в зонах капиллярной каймы и контакта с грунтовыми водами почв, формирующихся при режиме периодического засоления — рассоления. Но и в этих случаях содержание гипса не превышает 1—2% от веса массы почвенного горизонта. Вторичные солончаки тоже, как правило, не содержат гипса в количестве больше 3% даже по отдельным горизонтам.

Почвы с повышенным содержанием гипса в Мургабском оазисе обнаружены в понижениях, которые подпитываются сульфатными метаморфизированными водами доирригационной фации. В таких солончаках содержание гипса в отдельных горизонтах достигает 10—15%, и в одном случае обнаружено 18%. Распространение таких солончаков небольшое.

Почвы дельты Амударьи, по-видимому, более гипсоносны. По данным В. В. Егорова (1959), имеются солончаки с содержанием гипса до 25% от веса почв.

Изменение физико-химических свойств и емкости обмена почв. Природные почвы пустынных областей характеризуются низкой физико-химической поглотительной способностью, карбонатны, часто гипсоносны, иногда соленосны. Их поглощающий комплекс обычно насыщен

кальцием, но имеются также и почвы с повышенным содержанием поглощенного натрия (солонцеватые).

Для успешного возделывания сельскохозяйственных культур необходимы условия, стабилизирующие физико-химические свойства почв: показатель pH почвенного раствора не должен выходить за пределы 6—8, а поглощающий комплекс не менее как наполовину должен быть насыщен кальцием, концентрация солей должна быть всегда менее 10 г/л. Последнее важно не только для обеспечения стабильной реакции раствора, но и для поддержания удовлетворительных физико-механических свойств почв.

Большинство орошаемых почв удовлетворяет этим требованиям.

В орошаемых условиях пустынной зоны опасность токсичного подкисления почв исключена, в них всегда имеется большой резерв кальциевых солей (карбонатов). Однако здесь в процессе эксплуатации земель приходится контролировать щелочность почв.

Смещению реакции в щелочную сторону противостоит активный кальций в почвенном растворе, который, нейтрализуя соду, выпадает в виде осадка — карбоната кальция. Ближайший резерв активного кальция в почвах — поглощенный кальций, способный к физико-химическому обмену. Емкость физико-химического обмена и состав поглощенных оснований — очень важное свойство, способствующее регулированию реакции почвенной среды.

Кальций, замещенный в поглощающем комплексе на щелочной катион, должен быть восстановлен. Источником восстановления кальция в почве служит гипс. Оросительные или грунтовые воды вносят новые количества водорастворимого кальция. Меньшая роль принадлежит карбонатам, так как в условиях щелочной среды они нерастворимы. Для его активизации применяют специальные меры подкисления почвенного раствора: внесение кислых промышленных отходов, или органических веществ, которые, разлагаясь, дают органические кислоты и углекислоту.

Гипсоносные почвы обычно безопасны в отношении осолонцевания. Но при интенсивном продуцировании соды или подтоке содовых вод кальций почвенных растворов быстро выпадает в осадок и не успевает восстановиться за счет растворения гипса. Гипс покрывается

кальцитовой одеждой и перестает растворяться. Псевдоморфозы кальцита по гипсу и гипс в кальцитовой оболочке — явление очень частое как в орошаемых, так и в природных почвах.

Емкость обмена под влиянием орошения возрастает по мере обогащения почв илом и органическим веществом. Разница в емкости орошаемых и неорошаемых почв зависит от исходной почвы, главным образом ее механического состава. Емкость неорошаемых почв Средней Азии колеблется в интервале 3—10 мг-экв. на 100 г почвы, орошаемых 5—14 мг-экв. (чаще 7—12 мг-экв.).

Еще более значительное увеличение емкости обмена наблюдается при освоении тропических, пустынных, песчаных и других кор выветривания, на которых почвы по существу создаются заново. Образующиеся искусственные почвы на агроирригационных отложениях имеют там высокую емкость обмена — 20—50 мг-экв. на 100 г почвы и более, что связано с образованием в составе почвы монтмориллонита.

Особенно важно для плодородия почв увеличение емкости обмена при освоении под орошение песчаных почв и кор выветривания. Из-за кольматации илом, усиленного внутрипочвенного выветривания, накопления органического вещества емкость обмена за 15—20 лет достигает уровня, характерного для орошаемых почв данной зоны. По данным El — Abedine, Mahfouz (1958), за 18 лет орошения нильскими водами емкость обмена в пахотном слое песчаных почв возросла с 1 до 12,5 мг-экв. на 100 г почвы.

Состав поглощенных оснований зависит больше всего от качества оросительных вод в районах, где нет подпитывающего влияния грунтовых вод неирригационного происхождения. Но известны случаи, когда метаморфизация грунтовых вод ирригационного происхождения приводит к обогащению почв бикарбонатами и даже карбонатами натрия. Наличие бикарбоната или карбоната натрия в оросительных или грунтовых водах приводит к осолонцеванию почв и повышению pH почвенного раствора. Случаи массового осолонцевания под влиянием орошения (ощелачивания) приурочены в основном к районам южной субтропической и тропической зон: они известны в Пакистане, Турции, Египте, Судане, Индии, в странах Латинской Америки и т. д. Причиной этого может служить то обстоятельство, что воды жарких

стран беднее кальцием, в них нередко имеется бикарбонат натрия.

Орошаемые почвы, находящиеся в культурном интенсивном использовании, обычно не содержат поглощенного натрия в пахотном слое. Но в подпахотных горизонтах, особенно на орошаемых почвах жарких стран, где последствия осолонцевания особенно значительны в связи с более высокой емкостью обмена и илистостью почв, он нередко обнаруживается.

При малой емкости обмена, пылеватом составе орошаемых среднеазиатских почв и отсутствии макроструктурности наличие поглощенного натрия не проявляется так ярко, как в более глинистых монтмориллонитовых почвах. Отрицательные последствия в них связаны не столько со структурным состоянием почвенной массы, сколько со смещением реакции в щелочную сторону, токсическое влияние которой особенно проявляется после разбавления почвенного раствора при поливе. Повышение щелочности приводит к гибели всходов растений, что особенно часто наблюдалось на посевах люцерны (Ковда, 1947). Зависимость pH от соотношения почвы и воды представлена в таблице 32.

Таблица 32

Зависимость pH от соотношения почвы и воды
(Moystafa, 1958)

Глубина взятия образца, см	Отношение почвы и воды				
	1:0,3	1:0,5	1:1	1:2,5	1:5
0—25	6,40	7,82	8,25	8,62	9,04
25—50	6,90	7,80	8,18	8,75	9,25
50—75	6,95	7,65	8,10	8,45	9,00
75—100	7,01	7,62	7,92	8,31	8,72

Наличие очагов щелочных почв на территориях оазисов и в Средней Азии явление, по-видимому, более распространенное, чем это представлялось ранее. Это явление мало изучено. На территории Мургабского оазиса такие очаги обнаружены в разных местах. Среди орошаемых почв встречаются солонцевато-содовые почвы с содержанием 15—21% от емкости обмена поглощенного натрия и до 9% поглощенного калия в горизонте, расположенном глубже 50 см. При этом содержание по-

глощенного магния повышается до 64—68%, а содержание кальция снижается до 5—8% от суммы поглощенных оснований. В подпахотном слое на глубине 22—50 см в составе поглощенных оснований преобладает поглощенный магний, составляющий 74% от суммы поглощенных оснований. Солонцеватость средней и нижней части этой почвы хорошо выражена и морфологически. Понятно, что растения на таких почвах сильно угнетены, а многолетние насаждения погибают.

В итоге следует подчеркнуть, что орошение в целом благоприятно влияет на физико-химические свойства орошаемых почв: повышается емкость обмена, улучшается состав катионов пахотного слоя почв культурного интенсивного использования. В отличие от неорошаемых в составе поглощенных оснований орошаемых почв всегда больше поглощенного кальция. В почвах южных субтропиков и тропиков нередки осолонцеванные почвы в средней и нижней части почвенного профиля, но пахотный слой орошаемых почв, как правило, не солонцеват и обогащен кальцием.

Изменения содержания гумуса и питательных элементов. Вопросам изменения гумуса и питательных элементов в почвах под влиянием орошения посвящено много работ. В них освещается влияние агротехники, севооборотов, минеральных и органических удобрений. Нередко результаты от одних и тех же приемов противоречивы из-за динамичности почвенных процессов, что не всегда учитывалось. Объекты не всегда получали полную почвенно-географическую характеристику. Поэтому результаты этих работ трудны для обобщения, и нередко авторы приходят к противоположным выводам. Ознакомление с условиями опытов показало, что они относятся к разным почвенно-географическим образованиям. В одном случае ученые имели дело с пустынными или светло-сероземными почвами, где исходное содержание гумуса было около 0,5—1%, а под влиянием длительного орошения повышалось до 1—1,5%, в другом же случае исходная почва имела повышенное содержание гумуса (луговые, типичные и темные сероземы) — 2—3%, а под влиянием орошения содержание гумуса уменьшилось до 1,2—1,8%.

Возникали разногласия и по причине несогласованности терминологии. Говоря о влиянии орошения, они имели в виду изменения содержания гумуса в самом

начале освоения, когда ход процесса природного почвообразования резко нарушался, усиливалось разрушение гумуса, а новые условия, ускоряющие синтез и накопление органических веществ, еще не установились. Другие исследователи оценивали влияние длительной культуры орошаемого земледелия, когда уже создавался новый тип почвы и процессы динамики веществ стабилизировались. К настоящему времени накоплено достаточно материала, чтобы вопрос изменения содержания гумуса и питательных элементов в почве оценить с учетом природных и хозяйственных факторов.

В данной работе рассматривается влияние длительного орошения и анализируются данные, характеризующие содержание веществ во вполне сформированных орошаемых и древнеорошаемых почвах.

Переход от почвообразования в природных условиях к развитию почв под влиянием орошения и обработки всегда сопровождается снижением накопленных запасов в связи с минерализацией, потерей веществ с фильтрационными водами, активизацией микробиологических процессов.

В условиях орошения интенсивность процессов накопления и разрушения органического вещества в сравнении с процессами в природных условиях сильно возрастает, поскольку растение в первом случае произрастает на протяжении всего вегетационного периода. Но вместе с тем усиливается активность почвенной микрофлоры и микрофауны. Часть органического вещества отчуждается с урожаем. Устанавливается новый ритм гумусообразования и соответствующие ему запасы исходных, промежуточных и устойчивых форм органического вещества, которые обычно определяются в почвах суммарно.

Имеющиеся данные позволяют сделать заключение, что содержание гумуса в почвах зависит от многих факторов: от давности освоения, от механического состава почв, от гидрогеологических условий, от интенсивности орошаемого земледелия, уровня культуры, вида сельскохозяйственных растений, вида применяемых удобрений и т. д.

Влияние давности орошения. Пустынные почвы содержат очень мало органического вещества. Даже такырные почвы, сформировавшиеся на землях древнего орошения с мощными, более 2 м, агроирригационными

слоями, не составляют исключения. С началом орошения содержание гумуса начинает очень медленно прибавляться. Так, на опустыненных землях совхоза «Москва» (Мургабский оазис) в почвах через 5 лет орошения содержание гумуса увеличилось всего на 0,2—0,5%. Более сильное обогащение гумусом слоя 60—100 см, по-видимому, связано с вмыванием органического вещества, которое еще по составу не приобрело устойчивости при поливах. Факт возможности вмывания гумуса на эту глубину при промывках подтверждался прямыми определениями В. С. Бурдыгиной (1963). Но обогащение наблюдается и в более глубоких слоях, очевидно, не только благодаря вмыванию, но и из-за разложения отмирающих корневых систем люцерны, сорных растений, таких, как верблюжья колючка, тростник и др., которые с началом орошения в изобилии появляются на орошаемых полях. Но все же сдвиги в содержании гумуса за 5 лет очень небольшие. Запасы гумуса в метровом слое увеличились на 6,4 т/га, а в 2-метровом слое на 14 т/га.

Под влиянием более длительного орошения опустыненных почв древнего орошения, вновь освоенных после сооружения канала в начале нашего столетия, увеличение в содержании гумуса стало более значительным. Запасы органического вещества в метровом слое увеличились на 48,6 т/га. В более глубоком метровом слое прибавки этого вещества не произошло.

Наибольшее увеличение гумуса произошло, как и следовало ожидать, в пахотном и подпахотном слое толщиной до 40 см. Содержание гумуса в слое 0—20 см увеличилось в 3 раза, в среднем для всех почв, включая и легкие орошаемые почвы на рашах.

При дальнейшем увеличении срока орошения содержание гумуса остается примерно на том же уровне, запасы эти стабильны для данной зоны и хозяйственных условий. Различия проявляются в зависимости от механического состава орошаемых почв, гидрогеологических условий, культуры земледелия и других хозяйственных причин.

Влияние механического состава. При равной продуктивности легкие по механическому составу почвы всегда беднее гумусом, чем суглинистые. Органическое вещество в них разлагается более полно до конечных продуктов минерализации и меньше задерживается в почве

в виде гумуса. Глинистые минералы, фиксируя органическое вещество в виде органо-минеральных соединений, предохраняют его от полной минерализации. В таблице 33 представлены данные содержания гумуса в легких и тяжелых почвах в равных гидрогеологических условиях, исключающих влияние грунтовых вод.

Таблица 33

Содержание гумуса в орошаемых почвах разного механического состава

№ разреза, почва	Глубина взятия образца, см	Гумус, %	№ разреза, почва	Глубина взятия образца, см	Гумус, %
454, супесчаная на рашах	0—5	0,61	60, суглинистые и тяжелосуглинистые почвы, агроирригационные отложения	0—10	1,10
	10—15	0,57		15—25	1,10
	20—25	0,57		35—45	0,98
	30—35	0,62		62—72	0,64
	40—45	0,55		81—91	0,54
	70—75	0,20		106—116	0,58
	90—95	0,19		170—180	0,35
	120—125	0,38	65, то же	0—10	1,87
	160—165	0,40		20—30	0,87
	200—205	0,18		47—57	0,75
50, супесчаная на ирригационно-аллювиальных отложениях	0—10	0,64		84—94	0,61
	15—25	0,59		155—165	0,17
	45—55	0,19		200—215	0,51
	59—69	0,31		250—283	0,48
	77—87	0,45		283—311	0,42
	110—120	0,50			
	150—160	0,45			
	180—190	0,26			

Содержание органического вещества в суглинистых и тяжелосуглинистых староорошаемых почвах вдвое выше, чем в супесчаных. Даже при высокой агротехнике и внесении повышенной нормы удобрений не удается поднять гумусированность легких почв до уровня суглинистых. Первые оказываются на 30—40% беднее гумусом против обычных суглинистых почв.

Влияние рельефа и гидрогеологических условий. Орошаемые почвы при близких грунтовых водах в прочих равных условиях всегда богаче гумусом тех почв, которые формировались без воздействия грунтовых вод. При близких грунтовых водах увлажнение почв более равномерное и высокое, следовательно, обеспечиваются лучшие условия произрастания растений, получения бо-

лее высокой органической массы и интенсивного гумусонакопления.

Разница в содержании гумуса в почвах при близком и далеком стоянии грунтовых вод в пределах одной ирригационной элементарной ячейки (ирригационной чаши) определяется тем, что от верхней части склона к нижней уровень грунтовых вод приближается к поверхности и улучшаются условия увлажнения. В этом же направлении утяжеляется механический состав почв, что также способствует большему закреплению гумусовых веществ.

Все эти особенности пространственного распределения гумуса указывают на различные условия почвообразования по элементам ирригационного рельефа, что должно быть учтено при классификационных построениях.

Уровень залегания грунтовых вод на орошаемых землях обычно связан и с интенсивностью использования земель. Если они не обеспечены оросительной водой, а коэффициент земельного использования менее 0,15, то и орошаются нерегулярно в переложной системе. Периоды орошения (год-два) чередуются с несколькими годами перерыва в подаче воды, а, следовательно, с иссушением. Такие почвы бедней в 3—4 раза гумусом по сравнению с почвами ежегодного орошения, наиболее плодородными, регулярно используемыми, не подверженными засолению.

При интенсивном использовании земель массива и высоком уровне грунтовых вод часть земель, подверженных засолению, используется также нерегулярно после промывок. Несмотря на повышенное увлажнение, такие почвы оказываются вдвое—втрое беднее гумусом, чем регулярно используемые в аналогичных условиях (положение по рельефу, увлажнение, одинаковый механический состав). Содержание гумуса в таких почвах колеблется в интервале 0,6—1% против 2—3% в незасоленных почвах, регулярно промываемых поверхностными водами.

Таким образом, почвы на землях интенсивного регулярного орошения при прочих равных условиях характеризуются более высоким содержанием гумуса по сравнению с почвами нерегулярного, экстенсивного орошения как при близких, так и при глубоко расположенных грунтовых водах.

Влияние удобрений, агротехники, севооборотов. Принято считать, что под влиянием внесения удобрений, правильной агротехники, травопольных севооборотов содержание гумуса в почвах возрастает (Дорман, Малинкин, 1958; Рыжов, 1954—1970; Фурсов, 1966). Хотя эта тенденция иногда отчетливо проявляется, но количественно подтвердить прибавку в содержании органического вещества можно было бы только с помощью статистического определения достоверности полученных результатов. В таблице 34 представлены данные анализа органического вещества почвы под хлопчатником пятого года в ротации люцерно-хлопкового севооборота (почвы суглинистые) по делянкам, получившим за 5 лет азота 425 кг/га, фосфора — 325, калия — 140 кг/га. Опыты проводились на Иолотанской селекционной станции Г. А. Дюжевым (1966).

Таблица 34

Содержание органического углерода и общего азота в почве,
(% на сухую почву)

Вариант	Пахотный слой 0—30 см		Подпахотный слой 30—50 см	
	углерод	азот	углерод	азот
Контроль	0,718	0,067	0,481	0,045
PK	0,769	0,074	0,497	0,056
NP	0,815	0,082	0,527	0,065
NK	0,804	0,087	0,513	0,060
NPK	0,847	0,088	0,564	0,069

Эти различия не выходят за пределы природного варьирования в содержании гумуса в почвах в пределах одного и того же поля. За пять лет опыта обнаружена небольшая тенденция увеличения содержания гумуса, причем величина прибавки невелика.

По опытам Р. Недирова, проведенным на полях Марыйской опытной сельскохозяйственной станции, за 7 лет применения минеральных удобрений произошло некоторое снижение содержания гумуса по всем вариантам опыта. Но количественная разница часто даже не превышает ошибку анализа и во всех случаях меньше природного варьирования этой величины. Поэтому прихо-

дится говорить лишь о тенденции снижения. В опытах Р. Недирова имеется еще одно обстоятельство, которое тоже могло повлиять на некоторое снижение содержания органического вещества в почвах — это подверженность почвы засолению. Со временем проведения опыта совпало резкое ухудшение мелиоративного состояния земель опытной станции в связи с подъемом уровня грунтовых вод и засолением почв, которое в процессе проведения опыта изменилось от слабого к среднему, а на отдельных участках даже к сильному, что сопровождалось и снижением урожая в 1961—1962 гг., несмотря на тщательность проведения опыта. Со строительством коллектора в 1963 г. засоление почв стало снижаться.

По нашим данным, при определении гумуса в почвах станции в разные сроки на производственных посевах тоже отмечается снижение содержания гумуса в почвах, что подтверждается и статистической обработкой. Она показала, что за 8 лет, когда в почвах возросло засоление и превысило критический уровень, произошло снижение количества гумуса пахотного слоя в среднем на 0,13% при уровне существенности различий 0,1. В эти годы часть полей была заброшена в перелог.

Таким образом, можно считать, что внесение минеральных удобрений в разных случаях приводит к неодинаковым результатам изменения гумуса в почвах, а в общем его влияние незначительно изменяет общий уровень гумусированности почв.

Под влиянием севооборотов, посева трав в составе чередующихся культур имеется тенденция к медленному обогащению почв гумусом. Причем последствия этой тенденции накапливаются в почвах очень медленно. По данным В. Н. Фурсова (1966), средняя разница в содержании гумуса в почвах, использовавшихся в люцерно-хлопковом севообороте и в монокультуре хлопчатника за 18 лет, составляет всего лишь 0,10% для пахотного слоя (табл. 35).

Почвы, на которых проводились опыты, относятся к числу легких — супесчаных и легкосуглинистых, реже суглинистых, возможно при более тяжелом составе почв эти различия были бы более заметными. Севообороты, посев трав и люцерны изменяют не только количество гумуса в почве. Как варьирует содержание гумуса в почвах, видно из данных анализа по полям севооборотов (табл. 36).

Таблица 35

Изменение содержания гумуса в люцерново-хлопковом севообороте

Год взятия образцов	Глубина взятия образцов, см	Схема севооборотов		В среднем	Монокультура хлопчатника
		хлопчатник 2:4	люцерна 3:6		
1939	0—25	0,91	1,01	0,96	0,86
	25—50	0,58	0,58	0,58	0,68
	0—50	0,75	0,80	0,78	0,77
1957	0—25	0,99	1,01	1,00	0,80
	25—50	0,60	0,56	0,58	0,58
	0—50	0,80	0,78	0,79	0,89

Таблица 36

Содержание гумуса в почвах разных полей севооборота
(анализы автора, образцы супесчаных и легкосуглинистых почв Иолотанской станции)

Глубина взятия образца, см	Люцерна			Хлопчатник				Монокультуры	
	II год	III год	III год	II год	IV год	IV год	VI год	полное удобрение	минеральные туки
0—10	0,97	1,23	1,18	1,02	1,25	1,10	1,21	0,78	0,63
10—20	1,12	1,04	1,13	1,12	1,25	1,14	1,03	0,78	0,67
20—30	0,97	1,04	1,10	0,86	1,19	0,86	0,91	0,93	0,69
30—50	Не определялся	Не определялся	0,48	0,48	Не определялся	0,32	0,46	Не определялся	Не определялся
50—70	0,32	0,45	0,64	0,59	0,65	0,58	0,51	0,67	0,48
70—100	0,71	0,63	0,50	0,62	0,65	0,61	0,67	0,69	0,60

Из всего представленного материала следует, что величина содержания гумуса в почве зависит от ее механического состава, давности орошения, условий увлажнения, интенсивности использования (непрерывности ее использования), что возможно в условиях, исключающих влияние засоления и осолонцевания почв, при высоком обеспечении поливной водой и при наличии других факторов. В противном случае использование почв становится прерывистым, переложным, что ограничивает возможности накопления гумуса в почвах и даже приводит к его частичной потере. Меньше проявляется действие краткосрочных агротехнических, агрономических

и других хозяйственных мероприятий, хотя влияние длительного их воздействия, которое определяется уровнем культуры орошаемого земледелия, достаточно велико.

Высокий уровень культуры орошаемого земледелия подразумевает максимальное использование природных и хозяйственных возможностей на устойчивом мелиоративно-обеспеченном фоне, который определяет оптимальные физико-химические и водно-солевые условия. Этого фона в некоторых случаях можно достигнуть искусственными мерами по борьбе с засолением, подщелачиванием почв и подъемом уровня грунтовых вод.

В Мургабском оазисе, где агротехнические, агрохимические и другие сельскохозяйственные опыты велись на мелиоративно необеспеченном фоне, почвы постепенно засолялись и ценные опыты по изучению длительного последействия для свойств почв, севооборотов, трав и других мероприятий во многом потеряли свое значение.

Процесс накопления гумуса обладает определенной устойчивостью для каждого из условий увлажнения и использования. Изменения в содержании гумуса происходят очень медленно: за десятки лет в пределах 0,1—0,3%, но в то же время в 0—10-сантиметровом слое почвы содержание гумуса оказывается почти всегда больше, чем в слое 10—30 см, несмотря на то, что пахотный слой ежегодно перемешивается. Следовательно, в пределах пахотного слоя процесс превращения органических веществ идет с разной скоростью и успевает проявиться на протяжении одного сезона.

Азот. Почвы Мургабского оазиса, как и других районов пустынной зоны, бедны общим азотом. Содержание его в верхнем горизонте обычно колеблется в пределах 0,04—0,10%. Только в некоторых наиболее высокогумусированных почвах его содержание повышается до 0,14%.

Содержание азота в орошаемых почвах коррелируется с содержанием гумуса. Отношение C : N для гумусового горизонта колеблется от 8 до 11 и чаще бывает около 9; наиболее высокие показатели отмечены для гидроморфных почв. По направлению вглубь профиля почв отношение C : N становится более узким — 4—8, несколько увеличиваясь в погребенных гумусированных слоях. Все общие закономерности в распределении и содержании гумуса в зависимости от давности орошения, механического состава почв, гидрогеологических условий и засоления полностью распространяются на распределение и содержание общего азота. Однако имеются и некоторые особенности, которые касаются главным образом его подвижных форм.

Ранее многие исследователи (Кононова, Розанов, Лобова и др.) отмечали, что для почв пустынной зоны характерна высокая мобильность азота. При небольшом содержании валового азота в почвах нередко отмечается большое количество его подвижных форм, особенно в неорошаемых почвах. Повышенное содержание нитратов в почвах Мургабского оазиса — одна из особенностей, по-видимому, распространяющихся на всю пустынную зону.

Накопление нитратов в почвах сухих дельт рассматривается некоторыми исследователями (Ковда) как проявление солончакового процесса. Источником нитратов считаются грунтовые воды. Наши данные тоже показывают, что роль грунтовых вод для перераспределения нитратов в почвах очень велика, особенно если питание грунтовых вод осуществляется благодаря фильтрации воды с орошаемых полей, почвы которых по каким-либо причинам были обогащены минеральными формами азота. Среди этих причин — минерализация органического вещества при опустынивании бывших луговых и болотных почв, размещение орошаемых полей на участках с селитроносными культурными отложениями (на местах бывших селений, кошар). В этих случаях в почвах и грунтовых водах много нитратов. Так, было обнаружено наличие 6 г/л NO_3 в грунтовой воде под старой крепостью. Примером в этом отношении может быть образование нитратных растворов и вторично обогащенных нитратами солончаков на новых землях орошения совхоза «Москва» (Мургабский оазис). Здесь также обнаружена повышенная концентрация нитратов на участках, позднее вовлеченных в орошение, с неровным рельефом или даже на неорошаемых участках с поверхностью не подкомандной оросителю. В этих случаях увлажнение почв окружающих орошаемых участков сопровождалось боковыми токами вод в направлении сухих неорошаемых почв. Распределение солей в боковом направлении по всему фронту смоченной почвы началось, когда грунтовые воды располагались еще на глубине 6—10 м от поверхности. С подъемом грунтовых вод накопление

нитратов в почве продолжалось и усиливалось. На таких участках из-за бокового перераспределения образовались вторичные нитратные солончаки даже там, где почвы до начала орошения содержали мало азота. Содержание NO_3' в грунтовых водах на землях нового орошения колеблется от 0,005 до 0,2 г/л и более (в среднем из 37 анализов 0,085 г/л NO_3').

Динамика накопления нитратов на орошаемых землях выражена более ярко, чем на пустынных. Последние большей частью находятся в сухом состоянии, и нитраты несколько вмываются в период дождей и снова поднимаются с иссушением поверхности. Недостаток влаги на неорошаемых почвах ограничивает возможности полного потребления нитратов растениями. Поэтому образцы всяких пустынных почв, даже песчаных, всегда обнаруживают нитраты в составе легкорастворимых солей. На орошаемых почвах наряду с образованием NO_3' идет и интенсивное потребление азота растениями, поэтому временами нитраты исчезают из почвенных растворов или содержатся в незначительном количестве.

Нитраты дольше задерживаются на засоленных почвах отчасти потому, что потребление азота из них оказывается меньше из-за угнетенности растений и почва больше обогащается этими соединениями за счет грунтовых и боковых почвенных вод. Нитраты аккумулируются обычно на гребнях микроповышений и в вегетационный сезон выключаются из оборота. После малования и промывок нитраты частично попадают в грунтовые и дренажные воды и перераспределяются по орошаемой территории. Почвы понижений имеют бо́льшую вероятность высокого накопления нитратов. Однако это заметно появляется только по элементам ирригационного мезорельефа. Так, например, среднее содержание NO_3' в грунтовых водах на севооборотной площади Иолотанской станции равно 0,011 г/л (среднее из 60 проб); на территории Марыйской опытной станции, расположенной в средней части дельты, среднее содержание NO_3' в 40 пробах 0,0023 г/л. На ключевом участке нового орошения совхоза «Москва», примыкающем к Каракумскому каналу, после того как уровень грунтовых вод поднялся до 2—4 м от поверхности, средняя концентрация NO_3' равна 0,085 г/л; ниже по периферии Марыйской части дельты содержание NO_3' в грунтовых

водах редко превышало 0,003 г/л, а чаще было меньше 1 мг/л.

В почвах более заметно обогащение нитратами в периферийных частях дельты, где больше перелогов. В целом же запасы общего азота и подвижных его форм при интенсивном использовании орошаемых земель недостаточны для получения высоких урожаев. Азот в почве находится в первом минимуме, и растения очень хорошо отзываются на азотные удобрения, особенно на амидные формы и мочевину (Недиров, Дюжев).

Ф о с ф о р. Орошение и удобрение почв способствует увеличению содержания валового и подвижного фосфора. Количество фосфора по сравнению с количеством других питательных элементов наиболее заметно увеличивается под влиянием орошения, что связано с внесением суперфосфата и фиксацией P_2O_5 кальциевыми солями почвы.

В Мургабском оазисе зафосфачивание почвы меньше выражено, чем в других районах Средней Азии с более интенсивным возделыванием хлопчатника. Сказывается переложная система орошаемого земледелия, которая здесь долго господствовала из-за недостатка оросительных вод и наличия больших площадей свободных земель. Содержание валового фосфора обычно колеблется от 0,10 до 0,25% и чаще составляет 0,12—0,20%. Так же, как и для других питательных элементов, высокое содержание фосфора отмечается на более тяжелых повышенно карбонатных почвах. Так как илистые фракции содержат больше валового фосфора, содержание валовых и подвижных форм этого элемента на более тяжелых почвах нижних частей ирригационных склонов больше, чем на почвах, расположенных выше, причем Мургабский оазис не составляет исключения. Его почвы, по данным агрохимической службы, очень нуждаются в фосфорных удобрениях.

Наши анализы показывают, что почвы опытных станций, имеющие высокую обеспеченность фосфором, тем не менее отзывчивы на фосфорные удобрения, так как содержание подвижного фосфора здесь не стабильно; он со временем фиксируется кальциевыми солями и становится труднодоступным для растений.

Солончаковые пятна на орошаемых полях содержат до 100—120 мг/кг подвижного фосфора, больше чем менее засоленные участки того же поля. Солончаки же

залежных земель содержат подвижного P_2O_5 немного, обычно не более 30 мг/кг.

Калий. Мургабские почвы, как и почвы всей Средней Азии, богаты калийсодержащими минералами, поэтому валовое содержание калия в них всегда высокое — 1,3—3,5%. Основные калийсодержащие минералы здесь слюды и гидрослюды, которые легко разрушаются при выветривании и выделяют калий в раствор в процессе ионного обмена. Гидрослюды — главный компонент илистой фракции, и поэтому почвы тяжелого состава любого генезиса всегда содержат больше валового калия. При выявлении того или иного фактора, влияющего на запасы калия в почвах, следует учитывать сходства или различия прежде всего в механическом составе, о чем иногда забывают. С валовым содержанием калия коррелируется и содержание его подвижных форм, извлекаемых водными, углекислотными и другими вытяжками. Более тяжелые по механическому составу почвы понижений всегда богаче всеми формами соединений калия в сравнении с почвами приканальной и повышенной зон, где почвы имеют более легкий механический состав. Почвы с повышенным засолением на орошаемых полях и солончаки всегда содержат бо́льше водорастворимого калия в сравнении с незасоленными. Этот калий вымывается вместе с другими легкорастворимыми солями в грунтовые и дренажные воды, однако часть его задерживается в поглощенном состоянии, вполне доступном растениям.

Староорошаемые почвы, которые имеют более тяжелый механический состав, всегда богаче калием, чем почвы нового орошения. Почвы пустынного режима до начала орошения содержат калий в фиксированном состоянии. Нередко оказывается, что даже более легкие орошаемые почвы содержат больше доступных форм калия, чем тяжелые опустыненные почвы на древних ирригационных отложениях.

ГЛАВА V
КЛАССИФИКАЦИЯ ОАЗИСНЫХ ПОЧВ

К истории вопроса о классификации оазисных почв. Особенности формирования почв оазисов, отмеченные в предыдущей главе, выделяют их из ряда природного почвообразования пустынной зоны. Классификация оазисных почв не может быть построена без учета интенсивности, длительности и направленности орошаемого земледелия и тех последствий в изменении структуры покрова и всего ландшафта, которые происходят под влиянием ирригации (рис. 14, 15, 16).

Первые почвоведы, исследовавшие почвы Средней Азии (Димо с сотр.), правильно отразили в своих классификациях большое влияние ирригационного земледелия, выделив орошаемые почвы в оазисах в особый антропогенно-генетический тип под названием культурно-поливных почв. Они были показаны на картах Ферганской долины (Розанов, 1912—1914 гг.), Чарджоуского оазиса (Скворцов, 1928), Мургабской долины (Воскресенский, 1928), Шерабадского, Бухарского, Самаркандского (Розанов, Орлов, 1933, 1937; Лебедев, 1937, 1954) и других древних оазисов.

Культурно-поливные почвы (синонимы: древнеорошаемые, староорошаемые, сероземно-оазисные) можно видеть на картах, составленных до пятидесятых годов (Лобова, 1950; Герасимов, 1940; Доленко, 1954, и др.), хотя многие почвоведы и отмечали, что термин «культурно-поливные земли» не отражает всего разнообразия почв оазисов, среди которых имеются не только окультуренные высокоплодородные, но и малоплодородные — слабо окультуренные или испорченные орошением, а также неорошаемые почвы и т. д.

Позже оазисные почвы уже не указывают в систематических списках почв Средней Азии (Кимберг, Кочубей, Сучков, 1960). Это привело к обеднению информации о давности орошения, о распространении специфичных древнеорошаемых почв и их особых качествах.

Рис. 14. Древний ирригационный канал в земляном русле (Хорезмский оазис).

Рис. 15. Оазис в северной части Ливийской пустыни (1959 г.).

Рис. 16. Самоизливающиеся воды из артезианского колодца римского периода. Оазис Харга (1959 г.).

К концу шестидесятых годов вновь был поставлен вопрос о почвах оазисов как особых генетических типах почвообразования (Горбунов и Кимберг, 1962, 1965).

Для пустынной зоны выделено 3 типа и 14 подтипов оазисных почв (Кимберг, 1968).

I. Такырно-оазисные; подтипы почв:

1 — орошаемые такырные, 2 — орошаемые пустынные, 3 — орошаемые серо-бурые, 4 — такырно-оазисные, 5 — орошаемые лугово-такырные, 6 — лугово-такырно-оазисные.

II. Лугово-оазисные; подтипы почв:

1 — орошаемые луговые, 2 — лугово-оазисные, 3 — орошаемые такырно-луговые, 4 — такырно-лугово-оазисные, 5 — орошаемые болотно-луговые, 6 — болотно-лугово-оазисные.

III. Болотно-оазисные; подтипы почв:

1 — орошаемые, болотные, 2 — болотно-оазисные.

Давность орошения и степень его влияния на почвы находит свое косвенное отражение в этой классификации на уровне подтипа. Разделение орошаемых почв на типы производится в зависимости от уровня грунтовых вод, то есть от степени грунтового гидроморфизма.

В классификации не нашли своего отражения различные вторичные солончаки и другие почвенные образования, которые хотя и не орошаются, но имеют культурное происхождение и являются неотъемлемым элементом оазисного ландшафта (например, почвы на рашах и др.). Не нашли отражения почвы, не орошаемые в результате потери плодородия, или по другим причинам. Не видна роль интенсивности орошения, не отражена в данной классификации даже на уровне подтипа. Она не решает и других важных вопросов положения орошаемых почв пустынь среди других зональных почв земного шара. Известно, что области пустынь распространяются на разные географические пояса земли. Орошаемые почвы известны в тропической, субтропической, суббореальной пустыне. Не выяснено, есть ли необходимость разделять орошаемые почвы разных зон, выражено ли в свойствах орошаемых почв пустынь влияние зональности, имеются ли сходства и различия в свойствах орошаемых почв разных географически-зональных общностей, созданных под одновременным воздействием орошения и географической среды.

Различия почв в зависимости от степени гидроморфности учтены в классификации Б. В. Горбунова и Н. В. Кимберга, которые положили этот признак в основу типовых подразделений орошаемых почв. Значение этого показателя очень велико.

Состав почв и грунтовых вод определен длительностью и интенсивностью орошения, что в принятой классификации тоже не учитывается. Изменение и создание культурной почвы происходит во времени и зависит от уровня культуры орошаемого земледелия. В одном и том же оазисе встречаются почвы от вновь освоенных под орошение и очень мало измененных до искусственно созданных за 2—3 тысячи лет орошения. Встречаются почвы разной интенсивности использования, а также выпавшие из оборота, но продолжающие развиваться внутри оазиса. Их дальнейшие превращения от-

личаются от превращений в орошаемых природных почвах данной зоны. Все эти особенности почвенного покрова оазисов не отражены в рассматриваемой классификации среднеазиатских почвоведов. Детализация оазисных почв имеет важное практическое значение для учета и оценки мелиоративного качества орошаемых земель.

Автором произведены проработки для следующих классификационных уровней.

1. Зональные общности орошаемых почв.

2. Классы почв по стадиям, давности и интенсивности воздействия орошаемого земледелия на почвенный покров.

3. Типы оазисных почв в пределах класса, выделенные по гидроморфности (по грунтовому гидроморфизму).

Зональная общность орошаемых почв. В данном разделе предстоит выяснить, в чем сходство и различие оазисных почв разных зон, зависит ли качество орошаемых почв, развитых в пустынях, от географических поясов, которые определяют радиационный и тепловой баланс; достаточны ли эти различия, чтобы их принимать в расчет в классификационных построениях.

Как уже излагалось, при формировании оазисных почв по активности воздействия среды и почвообразующих факторов на первое место выходит ирригационно-хозяйственная деятельность человека. Исследования почв оазисов, расположенных в зоне сероземов и пустынных почв Средней Азии, показали, что под влиянием орошения различия в свойствах почв стираются: рыхлые в природных условиях сероземные почвы при орошении уплотняются, а плотные такырные почвы под влиянием орошаемого земледелия разрыхляются. В сероземах сокращается содержание гумуса, уменьшается водопроницаемость, а в такырных почвах содержание гумуса возрастает, водопроницаемость улучшается (Минашина, Пенман, 1967; Умаров, 1971). Таким образом, орошаемые почвы сероземной зоны и пустыни сближаются по своим свойствам, хотя идентичными и не становятся. Однако это почвы одного географически-широтного пояса, и их изучение не может дать ответа на вопрос сходства и различия почв разных зон.

Свойства почв разных широтных зон выравнивают агротехническими, мелиоративными и другими мерами, чтобы создать оптимальные условия для орошаемых

культур, состав которых примерно одинаков в разных поясах пустынь. Ранее это были в основном пшеница, ячмень, джугара, люцерна или берсим (александрийский клевер), овощные и бахчевые культуры, виноград, теперь главным образом хлопчатник. Поскольку эти культуры предъявляют примерно одинаковые требования к почвам, то различия природно сформированных почв разных зон приходится искусственно преодолевать мелиоративными и агротехническими мерами, как это рассмотрено в предыдущей главе.

Орошение земель имеет как бы ведущее значение в процессах оазисного почвообразования, что придает самостоятельность развитию оазисных почв, независимо от положения в широтном отношении оазиса в пустыне. Однако, как показывает анализ, самостоятельность условий развития оазисных почв не исключает влияния природных факторов географической среды, хотя и уменьшает, а иногда усиливает степень их участия.

Географическая среда регулирует процессы почвообразования через климатические и биологические условия развития почв. Орошение несколько снижает температуру воздуха (на 2—4° С в жаркое время) и значительно охлаждает почву, способствует повышению влажности воздуха, коренным образом изменяет водный режим почв и связанные с ним биохимические и геохимические процессы. Благодаря орошению становится возможным выращивание растений на протяжении всего вегетационного периода, который в тропиках и субтропиках становится непрерывным.

В природных условиях, вне влияния грунтовых вод, даже наиболее ксероморфные виды растительности могут вегетировать всего несколько месяцев во время естественного увлажнения почв, а тропические пустыни совсем не имеют растений. В оазисном почвообразовании искусственно созданный режим увлажнения может поддерживать высокую активность почвенных процессов на протяжении всего года, независимо от хода естественного увлажнения. Воздействие климатической сухости проявляется через высокую испаряемость влаги, температурный и тепловой режимы почв и через их воздействия на темпы и качество почвенных процессов. В оазисных условиях радиационный режим солнечной энергии наименее подвержен изменению.

Оазисное почвообразование не может существенно

выйти в своем развитии за пределы зонального ограничения радиационного, температурного, теплового и испарительного режима, зависящих от широты, абсолютной высоты и континентальности места расположения оазиса. Поскольку эти режимы в пустынях разных широт суббореальной, субтропической и тропической полосы сильно различаются, то и оазисные почвы, несмотря на их ирригационное происхождение, не могут в своем развитии не подчиняться законам зональности. Это не противоречит тому, что различия между орошаемыми почвами сероземной и пустынной зон среднеазиатской части сглаживаются: различия в радиационном и тепловом балансе почв там менее значительны. По-иному может проявиться влияние орошения в условиях разных широт, где орошаемое земледелие не только не сглаживает зональные различия, но усиливает их. Следует учитывать, что в природных условиях пустынь из-за отсутствия влаги многие почвенные процессы подавлены или исключены совсем, и преобладающее развитие получают процессы физического выветривания. При орошении ведущая роль в почвообразовании переходит к процессам биохимического, физико-химического выветривания минеральной массы и антропогенной аккумуляции веществ. К такому заключению можно прийти априорно, учитывая известные зависимости развития почв от условий почвообразования, к тому же тепловой режим почв, испаряемость влаги и другие — это одновременно и почвенные процессы.

Ниже представлены данные анализа почв оазисов Средней Азии, Египта и Судана, которые показывают, что орошаемые почвы не составляют исключения из этого общего закона, установленного основателем науки о почвах В. В. Докучаевым.

Местоположение и морфология орошаемых почв разных пустынь. Для сравнительной характеристики представлены описания староорошаемых почв по разрезам, которые были заложены на ирригационных полях, в условиях наиболее благоприятных для ведения орошаемого земледелия. Это типичные орошаемые почвы, на что указывают анализы многих других почв, развитых как в аналогичных условиях, так и на других элементах ирригационного ландшафта, структурно сопряженных с интенсивно орошаемыми полями. Свойства менее интенсивно орошаемых почв несколько отклоняются в ту или

иную сторону от типичных и мешают их регулярному возделыванию (засоление, заболачивание). Эти почвы тоже изучены, однако представить все эти варианты не представляется возможным из-за большого объема материала.

Разрез 301. Заложен в верхней части дельты Амударьи в Хорезмском оазисе осенью на поле хлопчатника, в 120 м от магистрального канала. Этот массив представляет северную часть хлопководческой зоны Средней Азии, где возделываются средневолокнистые сорта хлопчатника. Почва плодородная, обеспечивает получение до 35—40 ц/га хлопка-сырца.

0—30 см. Подпахотный слой буровато-серого цвета, слабо увлажнен, суглинистого механического состава, однородный, хорошо микроагрегированный. Кое-где по поверхности гребней отмечены слабые выцветы соли.

30—52 см. Подпахотный агроирригационный горизонт почвы буровато-серого цвета, увлажненный, однородного тяжелосуглинистого механического состава. Почва уплотнена, кое-где включает крапинки мелких кристаллов гипса. Переход постепенный.

52—87 см. Агроирригационный слой буровато-серого цвета, влажный, легкосуглинистый, агрегирован, менее уплотнен, чем вышерасположенный, пористый, переход постепенный.

87—119 см. Измененный обработкой, неравномерно перемешанный слой почвы, влажный легкосуглинистый с включением комочков красноватой глины. Переход ясно заметен.

119—146 см. Аллювиальный слой, желтовато-бурый, слегка оглеен, влажный супесчаный, с тонкими прослойками суглинка, слабо уплотнен и пористый. Переход резкий.

146—210 см. Аллювиальный слой сизовато-бурого цвета, супесчаный, однородный. Переход резкий.

210—215 см. Погребенный гумусированный слой болотной почвы сизовато-серого цвета, песчаного состава с обильным содержанием полуперепревшей органической массы и обломками ракушек. Грунтовые воды на глубине 215 см.

Разрез 60. Мургабский оазис, южная часть Среднеазиатской пустыни. Зона тонковолокнистого хлопчатника, разрез заложен в 150 м от канала, на слегка террассированном склоне, в октябре. Посев хлопчатника в хорошем состоянии.

0—29 см. Пахотный слой, серого цвета, суглинистый, увлажнен, однородный, слабо уплотнен. Переход заметный по плотности.

29—56 см. Подпахотный окультуренный слой, серый, увлажненный, тяжелосуглинистый с включением комочков красной глины (арычный ил неполно перемешанный с общей массой почвы). Несколько плотнее пахотного слоя. Переход постепенный.

56—106 см. Агроирригационный слой, буровато-палевого цвета, свежий, суглинистый, хорошо микроагрегирован и переработан биологически, много ходов корней и землероев. Переход постепенный.

106—128 см. Агроирригационный слой коричневато-бурый, тяжелосуглинистый, хорошо агрегированный, переработанный, пористый, много ходов корней растений. По-видимому, это гумусированный слой когда-то очень интенсивно орошаемой плодородной почвы.

128—158 см. Агроирригационный слой, бурый, неоднородный по цвету, состоит из перемешанных слоев разного состава (глинистого и легкосуглинистого), агрегирован, много ходов корней, имеются ржавые трубочки. Переход заметный.

158—206 см. Палевого цвета, свежий, тонко супесчаный, пористый, по ходам корней покрашен несколько темнее, по истлевшим кориям видны ржаво-сизоватые трубочки. Глубже 206 см идут слоистые аллювиальные глинисто-супесчаные отложения.

Разрез 8. Заложен в южной части пригорода Каира, начало верхней части дельты р. Нила. Поле занято александрийским клевером. Разрез заложен в 200 м от магистрального канала весной. На поверхности почвы образуется мелкокомковатая мульча в 1 см.

0—23 см. Пахотный слой темно-бурый, сероватый, сухой, тяжелосуглинистый, трещиноватый. По трещинам сероватый налет (карбонаты), хорошо агрегирован, слегка уплотнен, густо переплетен корнями, имеются черепки. Переход заметный.

23—48 см. Подпахотный слой агроирригационный буровато-серый, слабо влажный, глинистый, плотный (подпахотное уплотнение), комковатый, включает расплывчатые крупные карбонатные пятна (их мало). Переход постепенный.

48—68 см. Агроирригационный бурый с сероватым оттенком, глинистый, крупнокомковатый, с редкими карбонатными пятнами. Включает мелкие обломки кирпича, черепки. Переход постепенный.

68—88 см. Агроирригационный слой серовато-бурого цвета без глееватости, влажный, тяжелосуглинистый, комковатый, уплотнен, комки с раковинистой поверхностью, плотно примыкают друг к другу в ненарушенном залегании. По ходам корней карбонатные трубочки, включает черепки. Переход постепенный.

88—111 см. Агроирригационный слой серовато-бурого цвета, слабо оглеен, влажный, пористый, включает черепки.

Разрез 53. Северная часть тропической пустыни (Ливийской), оазис Харга. Разрез заложен весной на ступенчатом склоне от селения к пустыне после уборки зерновых.

0—18 см. Пахотный горизонт. Влажный буровато-серый, крупнопесчанистый тяжелый суглинок с большим количеством включенных угольков, комочков глинистых сланцев, внесенных как удобрение. По цвету переход постепенный, по плотности более ясный.

18—50 см. Окультуренный подпахотный слой буроватого цвета, увлажненный, тяжелосуглинистый с включением большого количества крупнозернистого песка. Сильно уплотнен, слитой. Включает комочки непереработанных глинистых сланцев размером до 3 см, которые внесе-

ны с землистыми удобрениями, имеют сизый цвет с ржавыми крапинками. Встречаются корни растений.

50—80 см. Окультуренный увлажненный бурый суглинок, сильноуплотненный, включает непереработанные комки глинистого сланца. Имеются корни растений. Переход неровный.

80—125 см. Желтовато-бурый песчаный суглинок, увлажнен, грубоскелетный с прослойками глинистого сланца, пронизан корнями растений. Глубже видны более опесчаненные отложения.

Для сравнения взяты также почвы Судана, развитые в тропическом поясе пустынной области, представленные по терминологии арабских почвоведов серией «сулейми».

Серию «сулейми» представляют орошаемые почвы тропической зоны. Сформировалась в долине Голубого Нила на слабовыраженном склоне, в верхней его части; самая плодородная для условий Судана орошаемая почва. Анализы образцов выполнены по принятой у нас методике в Почвенном институте Узбекской ССР и Почвенном институте им. В. В. Докучаева, что очень важно для сравнительного анализа почв разных зон.

Насколько можно судить по образцам, почвы похожи на орошаемые нильские (разрез 8). На поверхности имеется слой мелкой крошки (мульча), которая образуется в результате сильного обезвоживания и дегидратации глинистой части поверхностного слоя. Скорость капиллярной подачи в этой глинистой почве настолько мала, что создает очень большие контрасты влажности почвы по профилю. Верхние слои глубиной до 3—10 см могут быть совершенно сухими и даже дегидратированными и превратиться в мелкую крошку, в то время как под ними влаги достаточно для произрастания растений.

Верхние и средние горизонты почвы до 70 см, судя по образцам, агрегированы, темно-бурого цвета, глинистые, включают ожелезненные черные и белые конкреции карбонатов размером 2—4 мм и обломки раковин улиток. Нижние горизонты, глубже 70 см, более плотные и даже слитые, но агрегированы, легко крошатся на комки с раковинистым изломом. Включает много крапинок и конкреций карбонатов, хотя анализ и дает небольшое количество карбонатов. Конкреции, очевидно, состоят в основном из глинистых частиц с небольшим количеством карбонатного цемента, придающего им твердость.

Строение почвенного профиля всех староорошаемых почв в разных по климату пустынях обобщенно можно представить следующим образом.

1. На поверхности почвы после полива образуется тонкая корочка, которая с высыханием твердеет, а при обезвоживании распадается и превращается в мелкую крошку. Мощность ее от нескольких десятых до 3 см. Сильно дисперсные и слабоагрегированные почвы могут образовывать более мощную и прочную корку, причиняющую много хлопот земледельцу (обычно это слабо окультуренные варианты орошаемых почв).

2. Пахотный горизонт мощностью 18—30 см. Нижняя граница его определяется глубиной вспашки. Почвенная масса постоянно перемешивается путем вспашек, культиваций и жизнедеятельности обильной почвенной фауны. Водные и физические свойства очень динамичны и зависят от времени, прошедшего после полива и обработки, а также от времени вегетационного периода. Нередко к концу вегетационного сезона под влиянием поливов, культиваций и других причин происходит дифференциация пахотного слоя по плотности, водо- и воздухопроницаемости. Нижняя часть пахотного слоя часто очень уплотняется, а верхняя благодаря культивациям после полива остается рыхлой. Наблюдаются различия и по содержанию корней. Верхняя часть, которая быстрее пересыхает и имеет более контрастный режим влажности, нередко беднее мелкими корнями.

3. Подпахотный горизонт мощностью 25—35 см морфологически характеризуется заметной уплотненностью, что находит выражение и в более высоком объемном весе и меньшей порозности. Нередко горизонт приобретает плитчатую форму агрегатов в результате постоянного давления почвообрабатывающих орудий. С применением глубоко обрабатывающих орудий он периодически рыхлится. Горизонт обычно равномерно гумусирован, пронизан крупными ходами дождевых червей и корней, которые ярко выделяются на уплотненном фоне. Этот горизонт менее проницаем, чем верхний, задерживает воду при поливах, в результате в нем создаются временные условия для восстановительных процессов, которые с иссушением сменяются на окислительные. Об этом свидетельствуют следы в виде ржавых железистых и карбонатных крапинок и полосок. Иногда (когда почва высыхает) видны более крупные расплыв-

чатые карбонатные пятна, что тоже указывает на периодическое переувлажнение почвы. В целом слой очень однородный с заметным уменьшением плотности в нижней его части.

4. Горизонт древних агроирригационных отложений, мощность его зависит от давности орошения, иногда достигает 1 м и более. Отличается очень хорошей агрегированностью, порозностью, однородностью, с очень постепенными переходами между слоями. Включает угольки, черепки, обломки строительных материалов и других предметов антропогенного происхождения, попадающих на поля во время обработок или с удобрениями. В тропических почвах этот горизонт всегда более плотный, часто слитой.

5. Горизонт, характерной особенностью которого является грубая перерытость, неоднородность и слабая переработанность отложений, образуется обычно в пограничном слое агроирригационных отложений и остатков профиля почв доирригационного происхождения.

Вся толща агроирригационных отложений повышенно гумусирована против подстилающих материнских пород и в той или иной степени агрегирована, хорошо биологически переработана (ходы червей, насекомых и др., заполненные продуктами их жизнедеятельности, многочисленные ходы корней). Мощность повышенно гумусированного горизонта всегда значительно большая, чем это характерно для неорошаемых почв.

Традиционное разделение почвенного профиля на горизонты А, В, С для орошаемых почв не подходит, профиль формируется по типу аккумулятивного, все время наращивается с поверхности.

При близком стоянии грунтовых вод нижняя часть зоны капиллярного насыщения обычно несколько оглеена, включает расплывчатые пятна карбонатов, иногда друзы гипса, по ходам корней наблюдаются ржавые и сизые пятна, а в верхней части по капиллярной кайме нередки выцветы гипса или сульфатов магния и натрия.

Механический состав орошаемых почв. Все представленные в таблице 37 данные анализа характеризуют орошаемые почвы на агроирригационных наносах мощностью около 1 м и более, подстилаемые аллювиальными отложениями, за исключением разреза 53, который заложен в Харге, где почвы подстилаются пустынными

Таблица 37

Механический состав староорошаемых почв субтропических и тропического поясов пустынных областей (пептизация частиц почвы производилась гексаметафосфатом натрия)

№ разреза, местоположение	Глубина взятия образца, см	Содержание фракций, % (размер частиц, мм)						Отношения фракций	
		1—0,25	0,25—0,1	0,1—0,05	0,05—0,01	0,01—0,005	<0,005	<0,001 / <0,01	<0,005 / <0,01
						<0,01			
301, Хорезмский оазис, верхняя часть дельты Амударьи	0—30	1,4	18,4	13,2	27,8	8,8	30,4	35	77
	30—52	0,9	9,5	7,1	22,5	17,1	42,7	29	76
	52—87	0,7	12,3	9,1	43,8	10,6	23,2	31	68
	87—118	0,7	2,5	2,0	57,8	8,6	20,8	23	57
	118—146	0,1	3,1	17,6	67,8	4,0	6,1	35	58
	146—200	0,5	6,0	16,9	64,8	4,2	7,0	35	58
60, Мургабский оазис, верхняя часть дельты р. Мургаба (субтропическая зона)	0—10	0	4,5	10,0	45,5	15,5	29,5	40	74
	15—25	0	4,3	13,0	46,0	13,0	27,5	40	75
	35—45	0	2,5	7,0	39,1	19,0	40,5	42	79
	62—72	0	3,5	9,4	50,6	12,7	26,3	37	72
	81—91	0	3,0	7,9	58,0	10,2	21,7	37	70
	106—116	0	4,2	8,9	44,2	14,3	30,6	38	72
	170—180	0	8,1	19,0	64,3	2,2	6,5	45	75
	213—253	0	1,0	3,2	15,5	14,8	65,5	44	81

Продолжение

№ разреза, местоположение	Глубина взятия образца, см	Содержание фракций, % (размер частиц, мм)						Отношения фракций	
		1—0,25	0,25—0,1	0,1—0,05	0,05—0,01	0,01—0,005	0,005—0,001	<0,01 / <0,001	<0,005 / <0,01
							<0,01		<0,005
							<0,001		
Е-8, Верхняя часть дельты Нила (южная часть субтропической зоны).	0—15	5,5	4,4	14,3	28,1	10,1	14,9	47	79
	30—40	1,8	2,8	6,7	30,7	10,5	17,6	44	82
	50—60	2,0	1,4	6,9	28,4	12,4	18,6	50	80
	72—82	3,5	3,4	13,5	28,3	9,5	14,3	54	81
	104—111	1,6	13,7	23,9	29,6	5,5	7,2	46	63
Е-53, Харгинский оазис (северная часть тропической зоны)	0—5	47,0	8,8	6,6	4,0	2,1	6,0	76	94
	18—28	42,9	14,9	5,5	2,5	0,9	4,6	81	97
	35—45	54,2	9,9	4,2	1,7	0,8	3,7	82	97
	60—70	65,1	6,8	1,4	2,0	0,5	2,7	87	100
	115—125	62,6	11,1	2,7	14,3	4,9	23,5	54	90
Судан.	3—35	8,2	3,1	13,7	12,8	5,0	22,4	54	92
Тропическая зона долины Голубого Нила	35—70	7,6	3,5	14,8	11,8	4,7	14,0	71	93
	70—100	6,1	3,2	15,1	12,7	4,5	12,0	76	94
	100—135	5,4	2,6	12,5	10,9	6,0	11,5	74	91
	135—150	6,0	2,1	13,3	11,9	5,7	12,2	73	91
	150—200	5,3	2,4	14,2	12,2	5,7	18,6	65	91
	200—300	4,3	2,0	14,3					

песчаными образованиями и сланцами. Агроирригационный слой почвы Харгинского оазиса образовался из-за внесения землистых удобрений, главным образом выветрелых глинистых сланцев и навевания эолового песка естественным путем, поскольку орошаемые участки окружены пустыней. Оросительные артезианские воды светлые и не могут служить источником нового минерального субстрата.

Для остальных почв, характеризуемых вышеописанными разрезами, основным источником материала для образования агроирригационных слоев послужили взвешенные в оросительных (речных) водах частицы и внесенные с землистыми удобрениями выветрелые массы арычного ила и продуктов разрушения глинобитных стен, смешанных с бытовыми отходами. Очень небольшая часть поступает в виде эоловых наносов.

Механический состав орошаемых почв в какой-то мере определен составом исходных аллювиальных наносов, которые в процессе почвообразования изменяются благодаря оглинению неустойчивых минералов, обогащению вторичными минералами, выкристаллизовавшимися из растворов (главным образом кальцитом и доломитом), и приноса эолового песка и пыли.

Степень вторичной измененности механического состава зависит не только от условий почвообразования, но и от времени воздействия почвенных факторов. В этом отношении время образования рассматриваемых почв, как это следует из приведенных в предыдущей главе данных о скорости накопления ирригационных наносов, для представленных объектов не имеет больших различий (в год накапливается по 1—2 мм осадков), а верхние слои все время обновляются за счет свежепоступающих масс.

Таким образом, во всех почвах верхние горизонты агроирригационных отложений имеют более молодой возраст, чем глубже расположенные, что в равной мере относится к орошаемым почвам разных зон.

Обращает внимание незначительное содержание или полное отсутствие частиц размером крупнее 0,25 мм во всех почвах за исключением почв оазиса Харга (разрез 53). Это объясняется задержкой песка в руслах магистральных каналов. Орошаемые почвы Харгинского оазиса с повышенным содержанием крупного песка получают его в виде эоловых наносов со стороны пустынь,

которые окружают небольшие орошаемые участки вокруг артезианских колодцев.

Общим для всех орошаемых почв является более высокое содержание ила в средней и нижней части почвенного профиля, что отмечалось многими почвоведами и ранее. Обогащение илом подпахотных и более глубоких слоев орошаемой почвы объясняли иллювиированием тонких частиц из пахотного слоя почвы (Хамди, Доленко, 1954), и внутрипочвенным оглинением (Орлов, 1937; Розанов, 1951). Имеющиеся факты действительно подтверждают возможность перемещения ила при наличии высокодисперсных частиц в солонцеватых или опустыненных дезагрегированных почвах. Приходилось наблюдать дифференциацию механического состава по глубине даже в пахотном горизонте, которая происходит за один или два сезона при освоении такыровых почв и при промывках засоленных почв понижений (Минашина, 1965). В окультуренных агрегированных почвах вмывания частиц вниз обнаружить не удавалось. Имеется еще одна причина разного распределения ила по современному профилю орошаемой почвы — это разная техника орошения на разных этапах развития орошаемого земледелия. В прошлом, в период бассейновой техники орошения, в ирригационной сети задерживалось больше крупных и средних частиц, и состав наносов, поступавших на поля, был более тяжелым в сравнении с его составом, поступавшим в более позднее время из более развитой ирригационной сети. Усовершенствование техники орошения, как уже отмечалось, шло в направлении большего пропуска ирригационных наносов на орошаемые поля. Особенно большой пропускной способностью отличались средневековые системы. Переход на инженерную сеть снова привел к осветлению оросительных вод, но последствия этого периода из-за его малой давности пока еще не выявлены.

Данные, представленные в таблице 37, показывают на существенные различия в механическом составе орошаемых почв разных широт. Эти различия прежде всего касаются содержания ила и крупнопылеватых частиц (0,01—0,1 мм). Илистые частицы и тонкая пыль размером менее 0,005 мм представлены в основном глинистыми вторичными минералами, а крупная пыль — это первичные породообразующие минералы. Понятно, что увеличение доли вторичных минералов и уменьшение

первичных в орошаемых почвах по мере перехода от северных границ субтропических пустынь к южным тропическим пустыням показывает на возрастание интенсивности процессов выветривания в этом же направлении, чему способствует возрастание тепловой, радиационной и биохимической энергии при круглогодичном выращивании растений в более южных районах (если говорить только о северном полушарии).

Орошаемые почвы дельты Амударьи имеют малое содержание ила и очень высокое — средней и крупной пыли. Мургабские орошаемые почвы, расположенные в южной части Среднеазиатской пустыни, характеризуются в сравнении с амударьинскими более высоким содержанием ила. Однако в целом те и другие почвы характеризуются преимущественно пылеватым составом.

Почвы дельты Нила и в еще большей мере оазиса Харга качественно отличны от среднеазиатских почв своим высокоилистым составом. В почвах оазиса Харга навеянный из пустыни крупный песок несколько облегчает состав почв, но не снижает их высокой илистости. Увеличение илистости почв в результате почвенного выветривания проявляется и в сравнении почв дельты и долины р. Нила. Суданские почвы в долине Нила значительно более илисты, чем египетские почвы в дельте Нила, несмотря на то, что Судан расположен выше по течению реки и там должны бы были отлагаться более крупные частицы первичных минералов, которые, однако, в результате увеличенной интенсивности выветривания быстрее превращаются в тонкие глинистые вторичные минералы.

Закономерное увеличение содержания тонких частиц от северной границы субтропической пустыни к южной и в направлении тропической пустыни особенно рельефно проявляется при сравнении отношения количества частиц фракции меньше 0,001 мм к содержанию фракций частиц размером менее 0,01 мм. Для Хорезмского оазиса эта величина колеблется в пределах 30—35%, Мургабского 37—40, для дельты Нила составляет 44—45%, а для тропических орошаемых почв Харги и Судана от 54 до 80%.

Таким образом, орошаемым почвам субтропической зоны Средней Азии свойственна большая пылеватость отложений и меньшая илистость в сравнении с орошаемыми почвами тропической зоны. Субтропические почвы

пылеватые и иловато-пылеватые, тропические — иловатые и песчано-иловатые, что придает почвогрунтам существенно различные водно-физические свойства. Как известно, пылеватые почвогрунты отличаются очень высокой капиллярной водопроводимостью как в отношении скорости передвижения почвенной влаги, так и высоты капиллярного поднятия (Рыжов, 1960). Глинистые иловатые грунты имеют очень слабую капиллярную водопроводимость, хотя при высокой оструктуренности они удовлетворительно водопроницаемы, что способствует рассолению почв. В результате при прочих равных условиях почвы тропической пустыни слабее подвержены засолению и легче рассоляются.

Минералогический состав. Состав первичных и в значительной мере вторичных — глинистых, минералов орошаемых почв — во многом предопределен составом ирригационных наносов, которые в той или иной мере разбавляются эоловыми осадками и землистыми удобрениями. Для почв, орошаемых осветленными водами, последние два источника оказываются основными в формировании минеральной массы почвы, как, например, в оазисе Харга.

В процессе почвообразования происходит дальнейшее разрушение малоустойчивых минералов и появление новых в результате выветривания и выкристаллизовывания из почвенных растворов, например, карбонатов, сульфатов кальция и магния (кальцит, арагонит, доломит, гипс и др.).

Орошаемые почвы по своему абсолютному возрасту относятся к числу молодых, которые постоянно обновляются с поверхности за счет новых поступлений, поэтому уловить вторичные изменения, происшедшие на месте, после накопления агроирригационных наносов, задача непростая.

В таблице 38 представлен состав первичных минералов в почвах Мургабского оазиса и долины р. Нила. Как видно из этих данных, состав минералов очень близок к составу взвешенных наносов этих рек. Это касается минералов крупных фракций: частиц крупнее 0,01 мм — для Мургабского оазиса и крупнее 0,05 мм — для долины Нила. Выветриванию легче и быстрее поддаются наиболее тонкие частицы, имеющие большую поверхность соприкосновения с растворами. К сожалению, данными о минералогическом составе фракций 0,01—

Таблица 38

Минералогический состав почв древнего орошения Мургабского оазиса (разрез 60) **и долины Нила** (разрез 11), % **от фракций**

Минерал	Мургабская дельта			Долина Нила*		Дельта Нила**
	Глубина взятия образца, см					
	0–10	35–45	170–180	0–15	15–65	
Кварц	39,93	39,26	37,18	51,8	46,6	52–70
Кварц ожелезненный	1,94	3,58	2,70	—	—	—
Слюдисто-кварцевые агрегаты+обломки пород	8,88	9,81	9,82	5,86	5,84	9–14
Халцедон+опал	0,81	0,83	0,84	—	—	—
Полевые шпаты	9,86	8,36	10,99	29,36	32,06	15–27
Мусковит	6,00	6,94	8,73	—	—	—
Биотит	3,51	4,20	4,94	0,97	0,97	—
Серицит+гидрослюдистые агрегаты (продукты выветривания)	6,87	8,81	6,14	2,9	2,91	1–2
Гидрослюдисто - глинистые агрегаты+цеолиты	6,70	6,09	5,26	1,95	3,79	—
Углистые частицы	—	—	—	—	—	—
Ожелезненные агрегаты	0,50	0,46	0,28	0,12	0,11	—
Рудные+непрозрачные частицы	3,12	2,58	1,82	0,29	0,22	—
Кальцит	7,81	3,01	6,43	—	—	—
Доломит	0,60	0,10	0,56	—	—	—
Карбонатно-кварцевые агрегаты	2,49	0,88	0,89	—	—	—
Роговые обманки	1,28	1,10	0,89	0,96	1,34	—
Пироксены	0,89	0,89	0,63	0,49	0,41	—
Эпидот+цоизит	1,06	1,87	0,86	0,78	0,88	—
Ставролит	0,19	0,18	0,17	Единично	Единично	—
Турмалин	0,23	0,22	0,23	То же	То же	—
Силлиманит	0,25	0,16	0,06	» »	» »	—
Дистен	0,25	0,12	0,11	—	—	—
Сфен	0,35	0,22	0,23	Единично	Единично	—
Циркон	0,13	0,06	0,06	То же	То же	—
Апатит	0,13	0,12	0,11	—	—	—
Рутил	Единично			Единично	Единично	—
Гранат	0,13	0,12	0,11	0,01	То же	—
Содержание фракции 0,01—0,1 мм, % от веса почвы	55,6	46,1	83,2	—	—	—
Отношение количества кварца к количеству полевых шпатов	4,8	6,3	4,6	1,8	1,5	2

* Buursink, 1971.
** Buursink, 1960.

0,001 мм для почв Мургабского оазиса и фракций 0,05—0,002 мм для почв долины Нила мы не располагаем. Можно только отметить на основе данных гранулометрического анализа, что содержание этих фракций в сравнении с взвешенными наносами рек и аллювиальными отложениями уменьшается, что объясняем их выветриванием и переходом в более мелкую фракцию.

По количеству илистой фракции, доля которой в составе почв в направлении к тропикам все больше увеличивается, можно заключить, что интенсивность оглинения усиливается в этом направлении.

Минералогический состав фракций из крупных частиц в орошаемых почвах долины и дельты Нила богат полевыми шпатами, пироксенами, в той или иной степени выветрелыми обломками базальта, эпидотом, роговыми обманками, рудными минералами. Источником материала для наносов являются продукты выветривания базальтов Эфиопии (истоки Голубого Нила, поставляющего для долины и дельты Нила наносы). Но, несмотря на основной состав пород, области сноса бассейна р. Нила, орошаемые почвы богаты и кварцем, количество которого преобладает над другими минералами. Он накапливается в наносах и почвах как остаточный минерал, поскольку не подвержен выветриванию и оглинению. Имеет значение также и обогащение почв кварцем, поступающим эоловым путем из пустыни.

В массе первичных минералов среднеазиатских почв больше содержится кварца, меньше полевых шпатов, отношения этих минералов более широкие, чем в почвах на нильских отложениях. Почвы содержат много слюд, кальцита, роговых обманок, эпидота, что определяется составом продуктов выветривания в районах питания стока, где преобладают осадочные и метаморфические породы: известняки, сланцы, кварциты, песчаники, алевролиты. Малая измененность минеральной массы крупной фракции орошаемых почв подчеркивает абсолютную их молодость.

В то же время на примере почвы Мургабского оазиса видно, что с глубиной в профиле почв на ирригационных наносах, а стало быть, и с давностью их преобразования под влиянием орошения после отложения, увеличивается окварцеванность, уменьшается содержание полевых шпатов. Отношение кварца к полевым шпатам возрастает с 4,8 в пахотном слое, до 6,3 в более глубо-

ких слоях, при одновременном уменьшении общего содержания фракции крупных частиц.

Почвы верховий Нила богаче полевыми шпатами, чем почвы дельты Нила. Очевидно, в процессе транспортировки наносов идет разрушение полевых шпатов и обогащение наносов кварцем, в результате навевания его из пустыни. Имеются данные (Фахми, 1963) о более сильной окварцеванности минеральной массы орошаемых почв долины Нила в 120 км выше Каира. Однако эти данные выпадают из результатов других анализов. В этом случае приходится искать другие причины сильного обогащения наносов в исследованном месте. По данным Буурсинка (Buursink, 1971), такое сильное обогащение почв кварцем характерно для более высоких террас Нила, где отношение кварца к полевым шпатам достигает величины 95 (а по данным Фахми эта величина равна 83).

Интересно отметить еще одну особенность в образовании минералов орошаемых почв субтропической и тропической пустыни. При изучении шлифов почв Харгинского оазиса было обнаружено образование в почвах доломита (Минашина, 1965), который в виде хорошо выраженных ромбоэдров заполнял вторичные пустоты в почвах (трещины, ходы корней). В орошаемых почвах субтропической зоны нам никогда не приходилось наблюдать подобного явления. Вторичные карбонаты в среднеазиатских почвах представлены мелкозернистым кальцитом, магнезитом или арагонитом органического происхождения.

Различия в содержании карбонатов в орошаемых почвах субтропической и тропической зоны очень велики, что отчасти объясняется большей карбонатностью исходных наносов субтропических районов. Но и в условиях мелких оазисов в Ливийской пустыне, где преобладают известняки среди слагающих пород, почвы все же малокарбонатны. Таким образом, содержание карбонатов в почвах определяется почвенным режимом, а не материнской породой. В природных условиях тропической пустыни минеральная масса продуктов выветривания подвергается значительно более интенсивному истиранию, и механически малопрочные карбонаты разрушаются и выносятся ветром. Песчаные покровы состоят из кварца и кремниевых образований. Коры выветривания на глинистых сланцах также бедны кар-

бонатами. Поэтому орошаемые тропические почвы, которые образуются на корах выветривания и обогащаются путем эоловых наносов кварцем, тоже бедны карбонатами.

Различное содержание карбонатов мы склонны рассматривать как важный диагностический показатель различия орошаемых почв субтропической и тропической пустыни. Значительные различия между орошаемыми почвами тропической и субтропической зоны наблюдаются также в содержании и составе илистой фракции (анализ илистой фракции произведен в лаборатории минералогии Почвенного института им. В. В. Докучаева, термический анализ проведен Шурыгиной, рентгеновский — на рентгендифрактометре УРС-50ИМ (Минашина, Градусов, 1973).

Орошаемая почва Мургабского оазиса в качестве преобладающего минерала содержит диоктаэдрическую гидрослюду и развитые с ней смешанно-слойные слюдомонтмориллонитовые образования с неупорядоченными чередованием калиевых межслоевых промежутков и промежутков монтмориллонитового типа. Норма переслаивания промежутков переменна, но не превышает 30—50%. Этому компоненту соответствует во всех фракциях триоктаэдрический хлорит, часть связующих прослоек которого замещена монтмориллонитовыми межслоевыми промежутками. Второй сопутствующий глинистый минерал — каолинит. Кроме глинистых минералов, имеются кварц и полевой шпат. Эти данные согласуются с определениями автора в шлифах (Минашина, 1965).

Орошаемая почва долины Нила содержит в илистой фракции в качестве преобладающего минерала монтмориллонит с примесью каолинита. В почвах южных районов дельты Нила монтмориллониту сопутствует гидрослюда и меньше хлорит. А в северных районах дельты в почвах преобладает гидрослюда. Поскольку р. Нил не имеет дополнительных источников питания в нижнем течении, то увеличение гидрослюдистости почв можно отнести за счет влияния субтропического почвообразования, при котором слабее проходит выветривание первичных минералов и больше остается гидрослюд, или же происходит образование гидрослюд из-за выветривания полевых шпатов и других процессов.

Орошаемая почва в оазисе Харга содержит как преобладающий минерал монтмориллонит, в меньшем количестве каолинит, гидрослюду и хлорит. В процессе подготовки образцов к минералогическому анализу ил обрабатывали перекисью водорода и соляной кислотой и при этом удаляли SiO_2 до 1—2%, R_2O_3 — 1,5—5%, MgO — 1% от сухой навески ила, а также все карбонаты. О размерах потерь при подготовке ила к рентгеновскому анализу можно судить по данным анализа декальцината и валового анализа ила после обработки его соляной кислотой (табл. 39). Различия существенны.

Сравнение химического состава илистой фракции из почв разных широтных зон показывает небольшие различия в ее физико-химических свойствах и составе (табл. 40). Прежде всего илистая фракция из египетских почв содержит вдвое или втрое больше гигроскопической влаги, чем среднеазиатские илы, что свидетельствует о более высокой дисперсности ила орошаемых почв тропической зоны.

Большие различия отмечаются и в содержании карбонатов в илистой фракции. Особенно высококарбонатной оказалась илистая фракция, выделенная из почв Хорезмского оазиса. Ил всех почв обогащен органическим веществом, при этом больше его обнаружено в подпахотном слое. Илистая фракция, выделенная из образцов египетских почв, менее гумусирована, чем выделенная из среднеазиатских почв.

Очень большие различия между почвами разных широт отмечаются по емкости обмена декальцинированного ила, которая в почвах южных субтропиков и тропической пустыни превышает вдвое или втрое емкость ила среднеазиатских почв. При этом отмечается тенденция увеличения емкости обмена у ила более южных почв. Наиболее низкая емкость обмена у ила из хорезмских почв — 20—26 мг-экв. на 100 г ила, что в расчете на бескарбонатный ил составит 25—31 мг-экв. Емкость поглощения ила мургабских почв — 36—44 мг-экв., а у египетских — 50—68 мг-экв. на 100 г ила. Эти цифры показывают на существенные количественные и качественные различия в составе минералов илистых фракций почв.

Минеральная часть ила почв рассчитана на прокаленную бескальциевую навеску, чтобы иметь возможность сравнивать содержание разных элементов без маскирующего эффекта более изменчивых ее частей (кар-

Таблица 39

Солянокислая вытяжка из почвы в целом, %

Номер разреза, оазис	Глубина взятия образца, см	Гигроскопическая вода	Емкость обмена, мг-экв.	SiO_2	R_2O_3	Fe_2O_3	Al_2O_3	Ca	Mg	K	Na
301, Хорезмский	0—30	0,88	7,2	0,90	2,56	0,75	1,81	6,93	0,69	0.082	0,067
	30—52	0,93	7,6	0,74	2,30	0,78	1,52	6,93	0,61	0,077	0,067
	52—87	0,66	5,7	0,70	1,90	0,59	1,31	6,53	0,55	0,062	0,042
	87—118	0,77	6,0	0,69	1,88	0,56	1,32	7,26	0,61	0,060	0,044
	118—146	0,25	3,6	0,60	1,62	0,56	1,06	6,26	0,54	0,062	0,047
	146—200	0,34	3,7	0,66	1,82	0,56	1,26	6,03	0,52	0,050	0,030
60, Мургабский	0—10	0,60	10,0	0,36	0,74	0,19	0,55	7,39	0,66	0,072	0,049
	15—25	0,77	10,0	0,47	0,76	0,25	0,51	7,40	0,66	0,075	0,031
	30—40	1,20	10,6	0,52	0,83	0,28	0,65	7,72	0,55	0,075	0,040
	62—72	1,06	10,4	0,45	0,70	0,23	0,47	7,13	0,75	0,057	0,041
	85—95	0,77	9,3	0,32	0,61	0,18	0,43	7,01	0,69	0,038	0,046
	115—125	1,16	11,4	0,25	0,53	0,15	0,38	7,38	0,67	0,038	0,050
8, дельта р. Нила	0—15	4,48	28,4	1,53	5,10	1,74	3,36	1,93	1.22	0,17	0,11
	30—40	4,89	31,7	1,40	4,76	1,79	2,97	1,33	0,96	0,07	0,13
	50—60	5,59	32,8	3,20	3,83	1,54	2,29	0,89	0,87	0,03	0,16
	72—82	5,29	29,3	1,60	5,68	2,44	3,24	0,78	1,27	0,06	0,16
	104—111	3,36	16,5	1,50	4,83	2,42	2,41	0,65	1,11	0,04	0,16
53. Харгинский	0—15	2,15	17,0	0,24	1,36	0,43	0,93	2,31	0,65	0,11	0,06
	18—28	2,23	14,8	0,18	1,19	0,35	0,84	2,69	0,42	0.10	0,13
	35—45	2,15	14,4	0,20	1,21	0,39	0,82	2,80	0,52	0,10	0,14
	60—70	1,42	10,1	0,17	1,06	0,36	0,70	2,41	0,42	0,08	0,09
	115—125	1,09	7,7	0,14	0,88	0,32	0,56	2,29	0,35	0,05	0,11

Таблица 40

Емкость обмена (мг-экв.), **гигроскопическая влага, потери прокаливания, CO_2 карбонатов, гумус** (% на абсолютно сухую навеску) **и валовой химический состав илистой фракции** (% на прокаленную бескальциевую навеску).

№ разреза, оазис	Глубина взятия образца, см	Гигроскопическая вода	Потери при прокаливании	Емкость обмена, мг-экв.	CO_2	Гумус	SiO_2	R_2O_3	Fe_2O_3	Al_2O_3
301, Хорезмский	0—30	2,62	17,10	26,6	10,2	4.21	52,6	34,6	10,5	23,2
	30 - 52	2,42	15,39	20,5	9,5	3,83	53,0	35,8	10,8	24,0
	52—87	2,47	17,96	20,5	12,4	3,83	52,7	36,3	11,5	23,8
	87—118	2,43	17,10	20,8	11,3	2,69	52,7	36,3	11,8	23,5
	118—146	2,52	19,30	20,5	13,8	2,83	52,4	37,4	12,4	24,0
60, Мургабский	0—10	2,83	13,08	35,9	4,4	2,60	57,6	35,2	10,7	23,6
	35—45	4,41	12,29	38,1	3,6	2,67	37,10	34,4	9.7	24,4
	180—140	4,28	12,50	44,0	3,5	2,53	55,40	34,7	8,8	25,3
8, дельта Нила	0—15	9,23	13,36	58.1	0,90	3,18	56,1	39,0	13,5	24,4
	30—40	10,14	12,21	61,6	0.90	1,97	55,7	40,6	13,5	26,3
	72—82	10,81	12,41	68,1	1,10	1,64	56,4	39,2	14,2	24,1
	101—111	10,41	15,40	61,1	3,8	2,08	56,7	39,4	14,8	23,8
53, Харгинский	0—15	5.40	13,57	49,0	1,6	1,07	60,1	36,6	9,1	26,8
	18—28	5.60	13,70	52,4	2,6	0.79	59,2	36,7	9,2	25,8
	35—45	5,18	13,60	51,5	2,4	0,72	59,9	36,0	9,0	26,2
	60—70	5,02	12,76	51,7	1,8	0.63	59,40	35,1	9,7	24,7
	115—125	4,42	13,27	49,9	2,1	0,61	60,3	35,3	9,8	24,7
Фракция, отмытая 0,01 н. HCl до потери реакции на кальций										
301	0—30	4,97	9,34	—	—		55,7	33,7	8,76	24,3
	30—52	4,11	8,08	—	—		55,3	34,2	8,00	25,7
	52—87	4,87	8,86	—	—		54,6	34.1	9,66	23,8

Продолжение

№ разреза, оазис	TiO_2	P_2O_5	MgO	MnO	K_2O	Na_2O	SO_3	Молекулярные отношения		
								$\frac{SiO_2}{Al_2O_3}$	$\frac{SiO_2}{Fe_2O_3}$	$\frac{SiO_2}{R_2O_3}$
301, Хорезмский	0,71	0,23	7,09	0,17	4,07	0,81	0,17	3,9	13,3	3,0
	0,80	0,16	5,92	0,18	2,28	1,01	0,08	3,7	13,0	2,9
	0,80	0,20	5,63	0,17	4,38	0,83	0,15	3,7	12,2	2,9
	0,80	0,16	5,35	0,17	4,22	0,85	0	3,8	11,9	2,9
	0,78	0,19	5,30	0,16	4,37	0,79	0,13	3,7	11,3	2,9
60, Мургабский	0,52	0,35	3,60	0,09	2,94	0,33	0,45	4,2	14,1	3,1
	0,41	0,32	4,63	0,12	3,10	0,32	0,25	4,0	15,8	3,2
	0,42	0,23	6,59	0,13	2,58	0,32	0,43	3,7	16,8	3,0
8, дельта Нила	0,64	0,44	2,76	0,13	1,16	0,14	0,07	3,9	11,2	2,8
	0,63	0,26	2,44	0,11	0,80	0,12	0,12	3,5	10,9	2,7
	0,64	0,28	2,48	0,15	0,56	0,09	0	4,0	10,6	2,9
	0,66	0,19	2,88	0,15	0,86	0,11	0,02	4,0	10,2	2,8
53, Харгинский	0,42	0,33	1,37	0,06	1,51	0,54	0,21	3,8	18,2	3,1
	0,40	0,33	2,85	0,05	1,52	0,50	0,27	3,9	18,6	3,2
	0,44	0,36	1,75	0,04	1,48	0,46	0,31	3,8	17,8	3,2
	0,40	0,33	2,35	0,05	1,66	0,71	0,69	4,1	16,4	3,3
	0,41	0,34	1,90	0,06	1,51	0,46	0,59	4,1	16,5	3,3

Фракция, отмытая 0,01 н. HCl до потери реакции на кальций

301	0,56	0,04	4,82	0,04	4,85	0,89	Нет			
	0,49	0,04	4,66	0,05	4,64	1,00	»			
	0,57	0,05	5,59	0,04	4,74	0,89	»			

бонатов, гумуса, влаги). В прокаленном бескальциевом остатке ила в орошаемых почвах более южных районов нарастает содержание кремнезема (по крайней мере имеется отчетливая тенденция к этому), уменьшается содержание магния, калия, натрия. Содержание калия больше в почвах Хорезмского оазиса преимущественно гидрослюдистого состава, содержание гидрослюд меньше всего в тропических орошаемых почвах, и они отсутствуют в почвах долины р. Нила. Уменьшение натрия в илистой фракции указывает на более сильную измененность и выветрелость минеральной части. Натрий не входит в состав вторичных минералов (за исключением поглощенного, который в анализируемых фракциях полностью замещен кальцием). Его присутствие показывает на наличие первичных минералов, главным образом полевого шпата. Магний входит в состав первичных и вторичных минералов. Большое содержание его в илистой фракции в хорезмских почвах объясняется наличием в них слюд, хлорита и смешанно-слойных минералов. Магний входит в состав монтмориллонитовой части смешаннослойных минералов, а в египетских почвах в состав монтмориллонита, который, по данным рентгеновского анализа, является преобладающим во всех проанализированных образцах.

Валовой химический состав древнеорошаемых почв. Валовой химический состав представлен в расчете на абсолютно сухую почву и на прокаленный бескарбонатный остаток (табл. 41 и 42). Результаты химического анализа почв, так же как механического и минералогического, показывают на различия в составе и свойствах орошаемых почв среднеазиатской (северосубтропической), северной ливийской (южносубтропической) и южной ливийской (тропической) пустынь.

Прежде всего орошаемые почвы пустынь более низких широт отличаются высокой гигроскопичностью, что указывает на их высокую дисперсность, и в то же время имеют меньше потерь от прокаливания вследствие меньшего содержания карбонатов. Орошаемые почвы Египта значительно беднее среднеазиатских почв органическим и минеральным углеродом. Сумма минеральной и органической углекислоты не выходит за пределы 6% от общей массы почвы, а чаще меньше 4%, в то время как в среднеазиатских почвах эта величина обычно больше 10%. Для всех почв характерно небольшое со-

Таблица 41

Валовой химический состав древнеорошаемых почв субтропической и тропической пустыни, % на абсолютно сухую почву

№ разреза, оазис	Глубина взятия образца, см	Гигроскопическая вода	Потеря при прокаливании	CO_2 карбонатов	CO_2 органического вещества	N общий	SiO_2	R_2O_3	Fe_2O_3
301, Хорезмский	0—30	1,22	13,11	9,4	1,89	0,07	55,89	13,18	5,14
	30—52	1,10	13,14	10,2	1,81	0,06	52,70	13,56	4,66
	52—87	0,75	11,61	9,8	0,83	0,04	58,06	13,95	3,87
	87—118	0,82	11,68	10,0	0,83	0,04	53,65	13,85	4,73
	118—146	0,61	12,42	9,1	0,78	0,03	55,75	13,38	4,73
	146—200	0,58	11,74	8,6	0,57	Не определяли	56,22	11,22	3,88
60, Мургабский	0—10	1,05	13,08	8,1	2,34	0,07	52,69	15,58	3,65
	35—45	1,24	13,09	8,0	2,08	0,05	50,87	17,15	4,34
	170—180	0,36	10,33	7,2	0,75	Не определяли	59,69	12,86	3,16
8, дельта Нила	0—15	4,35	9,92	1,98	4,67	0,17	51,26	27,50	9,25
	30—40	5,29	8,01	0,88	2,76	0,11	52,77	30,68	10,75
	50—60	5,85	7,89	0,84	2,06	0,08	51,98	30,43	10,83
	72—82	5,37	7,56	0,84	0,91	0,06	52,71	29,60	10,15
	101—111	3,38	5,77	0,84	1,11	0,06	57,56	25,25	8,47
53, Харгинский	0—15	2,37	6,33	1,58	1,11	0,040	74,03	12,02	3,16
	18—28	2,08	6,11	2,64	0,87	0,023	75,14	11,34	3,07
	35—45	2,07	5,80	2,37	0,62	0,076	76,35	11,20	2,83
	60—70	1,42	4,36	1,76	0,29	0,01	81,94	8,01	2,16
	115—125	1,13	4,17	2,11	0,29	0,01	82,95	7,49	2,02

Продолжение

№ разреза, оазис	Al_2O_3	TiO_2	P_2O_5	CaO	MgO	MnO	Na_2O	K_2O	SO_3
301, Хорезмский	7,41	0,51	0,12	12,14	2,76	0,09	1,90	1,49	0,53
	8,25	0,54	0,11	12,16	2,80	0,09	3,13	2,15	0,37
	9,45	0,51	0,12	11,46	1,65	0,09	2,21	1,72	0,51
	8,44	0,55	0,13	11,82	2,11	0,09	3,01	2,31	0,22
	7,99	0,56	0,10	10,76	1,64	0,08	3,39	1,76	0,31
	6,72	0,51	0,11	10,46	2,76	0,07	3,03	2,33	0,38
60, Мургабский	11,56	0,20	0,18	12,72	3,04	0,05	1,02	1,35	0,02
	12,43	0,20	0,18	12,38	3,01	0,06	0,97	1,54	0
	9,36	0,21	0,18	11,19	2,41	0,05	2,66	1,29	0,15
8, дельта Нила	17,18	0,71	0,36	5,62	3,84	0,13	0,90	1,00	0,19
	19,04	0,70	0,19	2,34	4,37	0,15	1,04	0,93	0,13
	18,75	0,69	0,16	2,84	4,41	0,15	1,21	0,91	0,25
	18,56	0,70	0,19	3,10	4,95	0,15	1,23	0,94	0,06
	16,39	0,58	0,15	4,94	4,09	0,13	1,23	0,82	0,04
53, Харгинский	8,52	0,18	0,16	3,80	2,55	0,03	0,27	0,72	0,18
	7,94	0,16	0,17	3,30	3,07	0,03	0,32	0,70	0,20
	8,03	0,16	0,18	3,08	3,15	0,03	0,34	0,67	0,22
	5,64	0,08	0,13	3,02	2,47	Следы	0,23	0,64	0,13
	5,23	0,08	0,11	3,03	1,86	»	0,28	0,49	0,11

Таблица 42

Валовой химический состав древнеорошаемых почв (расчет на бескарбонатную прокаленную почву)

№ разреза, оазис	Глубина взятия образца, см	SiO_2	R_2O_3	Fe_2O_3	Al_2O_3	TiO_2	P_2O_5	CaO (некарбонатные)	MgO (некарбонатные)	MnO	K_2O	Na_2O	SO_3
301, Хорезмский	0—30	71,9	17,0	6,62	9,61	0,66	0,15	3,79	2,06	0,12	1,92	2,45	0,68
	30—52	68,8	17,5	6,07	10,73	0,70	0,14	3,80	2,32	0,12	2,80	4,10	0,48
	52—87	73,1	17,5	4,88	11,90	0,64	0,15	2,90	0,80	0,11	2,17	2,80	0,64
	87—118	70,5	18,5	6,25	11,40	0,73	0,17	1,67	1,46	0,12	3,15	3,98	0,29
	118—146	71,1	17,2	6,16	10,20	0,72	0,13	3,83	0,94	0,10	2,14	4,21	0,39
	146—200	71,4	14,8	5,03	8,70	0,66	0,14	2,58	2,77	0,09	3,02	3,91	0,49
60, Мургабский	0—10	69,0	20,41	4,78	15,13	0,26	0,24	3,17	3,98	0,07	1,77	1,34	0,03
	35—45	66,2	22,3	5,64	16,16	0,26	0,23	2,90	3,91	0,08	2,00	1,26	0
	170—180	74,1	15,95	3,92	16,61	0,26	0,16	2,60	2,99	0,06	1,60	3,30	0,19
8, дельта Нила	0—15	59,3	31,8	10,7	19,9	0,82	0,40	3,98	2,32	0,15	1,16	1,04	0,22
	30—40	59,1	34,3	12,2	21,2	0,78	0,21	0,54	3,46	0,17	1,04	1,17	0,15
	50—60	58,2	34,5	12,1	21,0	0,77	0,18	2,20	2,74	0,17	1,04	1,30	0,28
	72—82	59,0	33,1	11,3	20,8	0,77	0,21	2,44	2,62	0,17	1,05	1,38	0,07
	101—111	62,6	27,9	9,2	17,9	0,63	0,16	4,15	2,86	0,14	0,90	1,34	0,04
53, Харгинский	0—15	82,2	13,35	3,51	9,46	0,20	0,18	0	2,83	0,03	0,20	0,30	0,20
	18—28	82,6	12,5	3,38	8,73	0,18	0,19	0	3,38	0,03	0,77	0,35	0,22
	35—45	83,2	12,2	3,08	8,75	0,17	0,20	0	3,43	0,03	0,73	0,37	0,24
	60—70	87,7	8,6	2,31	6,03	0,09	0,14	0,19	2,64	Сл.	0,68	0,25	0,14
	115—125	87,9	7,9	2,14	5,54	0,08	0,12	0,20	1,97	»	0,52	0,30	0,2
1, Судан (Голубой Нил)	3—35	62,3	29,0	8,55	20,52	Не определяли		4,93	1,56	Не определяли	1,05	1,05	Не определяли
	135—150	60,3	29,3	9,05	20,30	То же		4,22	2,36		1,14	1,53	То же
	75—100	60,5	30,8	9,55	21,30	» »		4,94	1,04	То же	1,21	1,15	» »
2, Судан	130—160	60,5	32,7	10,00	22,70	» »		3,20	1,05	» »	1,29	1,32	» »

держание валового азота, обычно меньше 0,1%; существенных различий его содержания в разных почвах не выявляется.

Различия в содержании кремнезема связаны с разным количеством кварца в общей массе почвы, большим — в почвах легкого механического состава (Хорезмский оазис) и в опесчаненных почвах оазиса Харги, где навеянный из пустыни крупный песок представлен почти исключительно кварцем. Если исключить этот кварц, то почвы Египта содержат меньше кремнекислоты при меньшей карбонатности, и соответственно они богаче полуторными окислами, в особенности, гидроокисью алюминия.

Среднеазиатские почвы значительно богаче кальцием (в 3—5 раз), магнием и щелочными элементами. Эти различия были бы более рельефными, если данные анализа рассчитать на бескварцевое вещество. Однако данные точного содержания кварца среди первичных минералов отсутствуют. По крупным фракциям содержание кварца наиболее высокое в харгинских почвах (только в виде песка 44—65% от общей массы почвы), а затем в почвах Хорезмского оазиса. В почвах Мургаба доля кварца в минеральной массе меньше, а доля других силикатных и несиликатных минералов больше.

Почвы нильских отложений содержат немного кремневой кислоты. Последнее объясняется тем, что наносы Нила формируются на продуктах размыва коры выветривания базальтов.

Состав минеральной части почв в расчете на прокаленный бескарбонатный остаток, где более изменчивые по количеству составляющие — органическое вещество, карбонаты, гигроскопическая и кристаллизационная вода исключены, представлен в таблице 42. Эти данные характеризуют в основном состав материнского материала, который послужил почвообразующей породой для орошаемых почв, и отражают особенности минерально-химического состава продуктов выветривания водосборных районов бассейна, откуда принесены эти продукты.

Различия по профилю характеризуют гранулометрическую неоднородность материнской породы. Легкие продукты более окварцеваны, тяжелые содержат значительное количество глинистых минералов и полуторных окислов. Продукты внутрипочвенного выветривания минералов остаются на месте, за исключением наиболее

подвижных элементов, входящих в состав легкорастворимых солей.

Орошаемые почвы пустынной зоны — это аккумулятивные образования, даже удаление из них легкорастворимых солей требует искусственного дренирования грунтовых вод и почвенных растворов. Здесь нет условий для миграции более труднорастворимых соединений кремнекислоты и полуторных окислов. Они могут перераспределяться лишь на месте их образования.

Богатство минеральной массы орошаемых почв щелочами, щелочно-земельными основаниями тоже свидетельствует об аккумулятивном характере почвенного выветривания, с одной стороны, и молодости орошаемых почв — с другой. Они постоянно находятся в состоянии обновления материнского материала. Исключением оказывается орошаемая почва оазиса Харга, которая формируется на продуктах кор выветривания более древних осадочных пород (глинистых сланцев, песчаников, известняков).

Представляют интерес результаты анализа растворов, полученных при декальцинировании почвы путем отмывки кальция 0,01 н. HCl при подготовке ее к определению емкости обмена. В декальцинат попадает не только кальций и магний, связанные с карбонатами, но и кремнекислота, полуторные окислы. Количество кальция и магния в сумме оказывается всегда несколько выше их содержания в карбонатах. То же самое касается калия, количество которого в декальцинате всегда выше содержания суммы водорастворимых и поглощенных его форм.

Богатство декальцината химическими элементами показывает на наличие в почвах неустойчивых слабоокристаллизованных форм или даже аморфных соединений, образующихся в процессе выветривания первичных минералов и еще не приобретших устойчивости окристаллизованных вторичных минералов. Их можно отнести к промежуточным продуктам почвообразования. Содержание промежуточных продуктов почвообразования в орошаемых почвах Египта гораздо значительнее, чем в среднеазиатских почвах, это указывает на большую интенсивность процесса выветривания.

Емкость обмена и состав поглощенных оснований. Древнеорошаемые почвы Средней Азии очень сильно отличаются по физико-химическим

свойствам от орошаемых почв Египта и Судана. Для всех среднеазиатских почв характерна невысокая емкость обмена, колеблющаяся обычно в интервале 5—18 мг-экв. на 100 г почвы. Почвы Египта, даже наиболее окварцованные, имеют значительную емкость. Емкость обмена суглинистых и глинистых почв долины и дельты Нила равна 28—60 мг-экв. на 100 г почвы. Даже орошаемые почвы Харги, более чем наполовину состоящие из кварцевого песка, имеют емкость обмена, равную 14—17 мг-экв. на 100 г почвы.

Эти величины определены на предварительно отмытых от кальция почвах в расчете на всю, включая и потери от отработки, почву. В процессе декальцинирования 0,01 н. HCl (модификация Грабарова—Уваровой) из почвы вымывается большое количество аморфных веществ, в том числе до 1,5% кремнекислоты, которая в неразрушенной почве принимает участие в физико-химическом обмене, но анализом не учитывается. Поэтому емкость обмена египетских почв, где при анализе вымывается больше аморфных веществ, по-видимому, несколько занижена. Новый метод Айдиняна (Айдинян, Иванова, Соловьева, 1970) позволяет определять емкость карбонатных почв и дает более высокие показатели, как это показано на суданских почвах (разница емкости по Айдиняну и Грабарову—Уваровой равна 10—15 мг-экв. на 100 г — для почв Судана, а для среднеазиатских обычно не превышает 2—3 мг-экв. на 100 г).

Почвы оазиса Харга характеризуются наличием такого количества поглощенного натрия, которое дает основания относить эти почвы к солонцеватым. Почвы дельты Нила содержат небольшое количество натрия — 3—7%, долины Нила — 8—12, Харги — 5—13% от суммы поглощенных оснований. В среднеазиатских орошаемых почвах количества поглощенного натрия не выходят за пределы 3% от суммы оснований, а вместе с калием составляют 5—8% (табл. 43).

Значение поглощенного натрия в свойствах почв надо оценивать с учетом содержания, дисперсности и состава илистой фракции. В среднеазиатских почвах (слабо илистых) с гидрослюдистым составом ила и грубой дисперсностью частиц, значение поглощенного натрия не столь велико, как в орошаемых египетских и суданских илистых почвах, содержащих высокодисперсный

Таблица 43

Содержание гумуса, азота, состав поглощенных оснований и соотношение Ca и Mg в карбонатах древнеорошаемых почв

№ разреза, оазис	Глубина взятия пробы, см	Гумус, % на сухую почву	N общий, % на сухую почву	C:N	Емкость обмена, мг-экв. на 100 г почвы	Поглощенные основания, % от суммы: сумма	Ca	Mg	Na	K	Карбонатные: Ca, мг-экв. на 100 г почвы	Mg, мг-экв. на 100 г почвы	Ca:Mg
301, Хорезм	0—30	0,89	0,07	7,4	7,2	7,8	66,5	28,5	1,0	4,0	346	57	6,1
	30—52	0,85	0,06	8,2	7,6	8,5	54,7	38,1	2,2	5,0	346	51	6,8
	52—87	0,39	0,04	5,6	5,7	6,2	67,5	26,8	2,0	3,7	326	46	7,1
	87—118	0,39	0,04	5,6	6,0	5,8	77,1	17,1	1,0	4,8	363	51	7,1
	118—146	0,36	0,03	7,0	3,6	5,6	60,7	33,9	0	5,4	313	45	7,0
	146—200	0,27	Не определяли		3,7	5,6	54,7	40,1	0	5,2	Не определяли		
60, Мургаб	0—10	1,10	0,07	9,1	10,4	10,9	60,9	31,4	2,1	5,6	364	55	6,6
	10—25	1,10	0,05	10,3	10,0	12,3	55,9	36,5	2,1	5,5	370	55	6,7
	35—45	0,98	0,05	10,1	10,6	13,1	64,8	28,3	2,4	4,5	386	46	8,4
	62—72	0,64	0,03	10,2	9,3	8,3	57,5	36,4	2,1	4,1	356	63	5,7
	81—91	0,55	Не определяли		10,3	12,3	53,9	41,6	2,2	2,5	350	57	6,1
	106—116	0,58	То же		11,4	13,3	46,0	49,9	1,8	2,3	369	56	6,6
	170—180	0,35	Не определяли		5,3	5,9	49,2	44,9	3,0	2,9	Не определяли		
8, дельта Нила	0—15	2,20	0,17	7,6	28,4	44,6	71,2	21,7	3,9	3,2	96	102	0,9
	30—40	1,30	0,11	6,8	31,7	53,2	68,9	27,2	3,2	0,7	66	80	0,8
	50—60	0,97	0,08	7,0	32,8	44,1	38,8	54,9	5,6	0,7	43	72	0,6
	72—82	0,43	0,06	4,0	29,3	60,8	52,3	39,8	7,6	0,3	39	106	0,4
	104—111	0,52	0,06	5,0	16,5	Не определяли					32	92	0,3
53, Харга	0—15	0,52	0,040	7,5	17,0	26,8	45,6	47,0	4,5	2,9	115	54	2,1
	18—28	0,41	0,023	10,0	14,8	20,8	47,0	34,8	12,1	6,1	134	35	3,8
	35—45	0,29	0,076	2,4	14,4	25,7	38,0	47,0	10,1	4,9	140	43	3,3
	60—70	0,14	0,010	8,0	10,2	20,8	23,4	58,0	17,9	0,7	120	35	3,4
	115—125	0,14	0,010	8,0	7,2	17,9	24,3	40,4	26,2	6,1	115	29	4,0
Судан	3—35	0,59	0,029	11,7	59,6*	40,5	72,0	16,0	11,0	1,0	54	15	3,6
	35—70	0,55	0,022	14,5	Не определяли	41,5	71,0	16,0	12,0	1,0	61	13,6	4,5
	70—100	0,61	0,029	12,0	54,6*	57,2	74,0	17,0	8,0	1,0	72	18	4,1
	100—135	0,63	0,024	15,0	Не определяли	50,9	61,0	26,0	12,0	1,0	75	18	4,3
	135—150	Не определяли				44,8	61,0	30,0	8,0	1,0	104	22	4,8
	150—200	»			53,9*	49,9	74,0	19,0	6,0	1,0	114	20	5,7
	200—300	0,21	»		Не определяли	42,6	79,0	18,0	2,0	1,0	110	19	5,7

* По методу Айдиняна.

монтмориллонит с высокой емкостью обмена. Даже небольшой процент натрия от суммы поглощенных оснований придает египетским и суданским орошаемым почвам черты слитости и солонцеватости. Свойства слитости особенно ярко выражены в орошаемых почвах тропической пустыни.

Поглощенный магний также придает черты слитости орошаемым почвам. Все орошаемые почвы характеризуются повышенным содержанием поглощенного магния.

По относительному содержанию поглощенного калия представляются более богатыми почвы Средней Азии, но его количество в мг-экв. на 100 г почвы часто больше в египетских и суданских илистых почвах несмотря на меньший процент в составе их ила гидрослюд.

В качестве преобладающего катиона среди поглощенных оснований во всех орошаемых удовлетворительно дренированных почвах обнаружен кальций. В целом же насыщение почв имеет магниево-кальциевый тип, поглощенные щелочи обычно в сумме не превышают 15% от суммы поглощенных оснований.

В заключение можно сказать, что египетские и суданские почвы отличаются от среднеазиатских значительно более высокой емкостью обмена, солонцеватостью и слитостью со всеми последствиями их влияния на физико-механические и водно-физические свойства почв.

Качественный состав гумуса*. Из всего ряда проанализированных почв более высокой и равномерной гумусностью отличаются почвы дельты р. Нила, в которых содержание органического вещества в верхнем горизонте обычно колеблется в интервале 1,5—2,5%. Большей гумусированности почв дельты способствовал ряд благоприятных условий, прежде всего глинистый состав почвы, повышенный грунтовой гидроморфизм, а также высокая насыщенность севооборотов травами и зерновыми культурами, немалое значение имеет и применение больших норм органических удобрений и компостов.

Орошаемые почвы долины р. Нила, сформировавшиеся в тропической пустыне на глинистых отложениях и при бассейновой технике орошения, значительно беднее гумусом, чем почвы дельты. Они содержат 0,5—

* Анализ качественного состава гумуса произведен по методике В. В. Пономаревой и Т. А. Плотниковой (1968).

0,6% гумуса против 1,5—2,5% в почвах дельты Нила. Различия в содержании гумуса в орошаемых почвах при сходстве ирригационно-хозяйственных условий и состава ирригационных наносов могут быть объяснены тем, что высокие тропические температуры способствуют быстрому сгоранию гумуса в почвах. В этом отношении орошаемые почвы в долине р. Нил оказываются сходными с почвами оазиса Харга, которые тоже очень бедны гумусом. О большей скорости сгорания органического вещества в них свидетельствует меньшая доля в составе гумуса подвижных форм гуминовых и фульвокислот, а также повышение относительного содержания нерастворимого остатка. В почвах оазиса Харга доля неизвлекаемой фракции углерода составляет более 70% от общего углерода (табл. 44).

Распределение гумуса в орошаемых почвах Средней Азии более пестрое, чем в долине и дельте Нила, что объясняется и большей пестротой механического состава и более разнообразными ирригационно-хозяйственными условиями в связи с более обширными площадями пригодных для орошения земель. Но в общем орошаемые почвы Мургабского и Хорезмского оазисов беднее гумусом, чем почвы дельты р. Нила. Главной причиной, на наш взгляд, является меньшее содержание ила, играющего важную роль в закреплении органического вещества.

Тяжелосуглинистые и глинистые орошаемые почвы Средней Азии тоже содержат 1,5—3% гумуса, если они не подвержены засолению, то есть по гумусированности не уступают аналогичным по механическому составу почвам дельты Нила.

В орошаемых почвах Средней Азии абсолютное и относительное содержание (в % от общего количества гумуса) не растворимого щелочью органического вещества ниже, чем в почвах дельты р. Нила, и составляет примерно половину, а иногда и меньше от общего количества углерода. В то время как в более южных районах нерастворимый остаток всегда больше суммы гуминовых и фульвокислот и нередко составляет до $^3/_4$ гумуса. Среднеазиатские почвы отличаются от египетских наличием группы так называемого «свободного органического вещества» в составе групп гуминовых и фульвокислот. В почвах Египта эти фракции не выделяются совсем.

Таблица 41

Групповой состав гумуса древнеорошаемых почв

№ разреза, оазис	Глубина взятия образца, см	С гумуса, % на сухую почву	Гуминовые кислоты				Фульвокислоты				С нерастворимый	$C_г$ / $C_ф$	$E_с$, мя-мг
			$C_г$	Фракций			$C_ф$	Фракций					
				1	2	3		1	2	3			
			% от общего углерода гумуса										
301, Хорезмский	0—30	0,52	28,8	Нет	15,4	13,4	19,2	Нет	13,4	5,8	52,0	1,44	7,0
	30—52	0,39	18,0	»	10,3	7,7	20,5	»	15,4	5,1	61,5	0,88	9,5
449. (вместо 60), Мургабский	0—5	0,71	31,0	4,2	12,7	14,1	24,0	9,9	4,2	9,9	45,1	1,29	9,2
	10—15	0,60	28,3	3,3	13,3	11,7	28,3	10,0	6,7	11,6	43,3	1,00	10,3
	20—25	0,59	25,4	1,7	13,6	10,2	25,4	8,5	3,4	13,5	49,2	1,00	9,7
	30—35	0,38	31,6	Следы	18,4	13,2	34,1	Следы	18,4	15,7	34,3	0,92	11,6
	50—55	0,26	15,4		11,5	3,9	23,0	»	11,5	11,5	61,6	0,67	Не определяли
8, дельта Нила	0—15	1,33	28,5	Нет	16,5	12,0	9,0	Нет	4,5	4,5	62,5	3,16	15,4
	30—40	0,72	34,7	»	30,5	4,2	9,7	»	6,9	2,8	55,6	3,57	24,6
	50—60	0,57	40,3	»	33,3	7,0	10,5	»	3,5	7,0	49,2	3,83	23,1
	70—80	0,50	40,0	»	36,0	4,0	10,0	»	4,0	6,0	50,0	4,00	26,1
	104—111	0,38	34,2	»	26,3	7,9	10,6	»	5,3	5,3	55,2	3,25	Не определяли
53. Харпинский	0—15	0,31	16,1	»	9,7	6,5	9,7	»	6,5	3,2	74,2	1,67	То же
	18—28	0,20	15,0	»	10,0	5,0	15,0	»	10,0	5,0	70,0	1,00	» »

В среднеазиатских почвах содержание органических кислот, связанных с кальцием (2-я группа), полуторными окислами и глинистыми минералами (3-я группа), примерно одинаковое, в то время как в почвах дельты р. Нила фракция гуминовых кислот, связанных с кальцием, преобладает.

Почвы дельты р. Нила характеризуются и большей оптической плотностью гуминовых кислот против среднеазиатских и более высоким отношением фракций гуминовых кислот к фульвокислотам, что показывает на большую их конденсированность. Очевидно, более подвижные фракции легче разлагаются микробами почвы и не накапливаются, хотя может быть быстрее воспроизводятся при разложении органических веществ. В составе фульвокислот устойчивых различий между почвами разных оазисов и поясов не обнаружено.

Гумусообразование и качественный состав гумуса — явления очень динамичные и зависят от многих факторов.

Для почв одного и того же оазиса, но сформировавшихся в разных хозяйственных, гидрогеологических и геоморфологических условиях, характеристика состава органического вещества оказывается разной. Например, наши данные несколько расходятся с данными С. Н. Рыжова и И. А Зиямухамедова (1971), которые характеризуют более легкие почвы Иолотанской станции (наши данные относятся к среднесуглинистым почвам Марыйской опытной станции). Имеются и некоторые расхождения в величине соотношения гуминовых и фульвокислот с данными Фахми (1963). По-видимому, качественный состав гумуса требует специального анализа, поэтому наши выводы следует рассматривать как предварительные.

Бесспорно, что орошаемые почвы тропической зоны гумусированы меньше, чем почва субтропической зоны. Первые отличаются также большей оптической плотностью гуминовых веществ и большей долей в содержании гумуса.

В почвах дельты Нила наблюдается меньше подвижных форм органического вещества и более широкое отношение гуминовых кислот к фульвокислотам. Эти отличия позволяют вполне определенно говорить о качественной разнохарактерности гумусообразования в почвах разных зон.

Обобщая результаты сравнительного анализа свойств и состава орошаемых почв пустынных областей разных широтных поясов, можно отметить, что наряду с общими чертами имеются отчетливые различия между орошаемыми почвами субтропической, переходной и тропической зон. Оазисные почвы северных районов субтропической пустыни характеризуются высоким пылеватым составом, высокой карбонатностью, гидрослюдистым составом глинистых минералов, имеют малую емкость обмена, обладают хорошей микроагрегационной структурой, благодаря чему приобретают лессовидный облик.

Все оазисные почвы тропической пустыни повышенно-иловаты, глинисты, менее карбонатны, часто даже слабокарбонатны, с монтмориллонитовым составом глинистых минералов, высокой емкостью обмена, с большей долей в составе гумуса нерастворимого остатка. Почвы макроагрегированы в пахотном слое и слиты в подпахотном и более глубоких слоях.

Эти различия имеют большое практическое значение, что должно быть отражено и в классификации. Поэтому орошаемые почвы пустынь разделены на зональные общности оазисных почв: 1) общность оазисных почв северных субтропических пустынь; 2) общность оазисных почв южных субтропических пустынь и переходных к тропическим пустыням; 3) общность оазисных почв тропических пустынь.

Почвы разных зональных общностей отличаются мелиоративными качествами. Например, северные районы субтропических пустынь характеризуются высокой капиллярной проводимостью, а также миграционной способностью солевых растворов, что определяет необходимость поддерживать уровень грунтовых вод на большей глубине, чем в оазисах более южных пустынь, где капиллярная проводимость почв низкая, солевая миграция ослаблена и возможно использование более мелкого дренажа с удовлетворительными результатами по регулированию солевого режима (рис. 17, 18).

Классы оазисных почв. В пределах одной зональной общности свойства и состав оазисных почв определяются характером их использования, давностью орошения и условиями грунтового увлажнения. Причем последнее определяется сочетанием гидрогеологических и ирригационных условий.

Рис. 17. Открытая дрена на землях, подверженных засолению, в дельте Нила. Почвогрунты хорошо держат откосы.

Пустынные почвы с начала освоения изменяют режим своего развития. Наиболее резко выражены изменения, происходящие под влиянием мелиораций: щелочные почвы превращают в нейтральные, засоленные почвы рассоляют, почвы, бедные питательными элементами, удобряют и в них создают необходимые для растений запасы веществ; заболоченные почвы осушают, сухие пустынные почвы интенсивно увлажняют и повышают их гидроморфность и т. д. С началом орошения почвы развиваются в новом режиме, и исходные почвы служат для орошаемых материнской породой. При классификации такие почвы выделяются в класс новоорошаемых или недавно орошаемых.

В последующем свойства и состав орошаемых почв постепенно изменяются. Нарастание количественных изменений приводит к образованию качественно новых почв. Эти качественные ступени в развитии оазисных почв выделяются на уровне классов. Во главу классификации ставятся не условия образования, а состав почвы с их качественно неповторимыми свойствами, обусловленными длительностью культуры орошаемого земледелия и характером их использования.

Всего выделено 6 качественно разных оазисно-почвенных групп, составляющих разные классы почв.

I. Недавно орошаемые почвы с неустановившимся режимом почвообразования, возникшие из природных почв или продуктов пустынного выветривания под влиянием мелиораций.

II. Оазисные орошаемые почвы с установившимся режимом почвообразования, сформировавшиеся в результате длительной культуры орошаемого земледелия.

III. Древнеоазисные орошаемые почвы на искусственных агроирригационных отложениях на землях древнего орошения.

IV. Оазисные неорошаемые залежные почвы, выпавшие из орошения по разным причинам.

V. Антропогенные почвы вторичных бугров и низин.

VI. Остаточные почвы природного происхождения, попавшие в контур оазиса, изменившиеся под влиянием орошения окружающих земель.

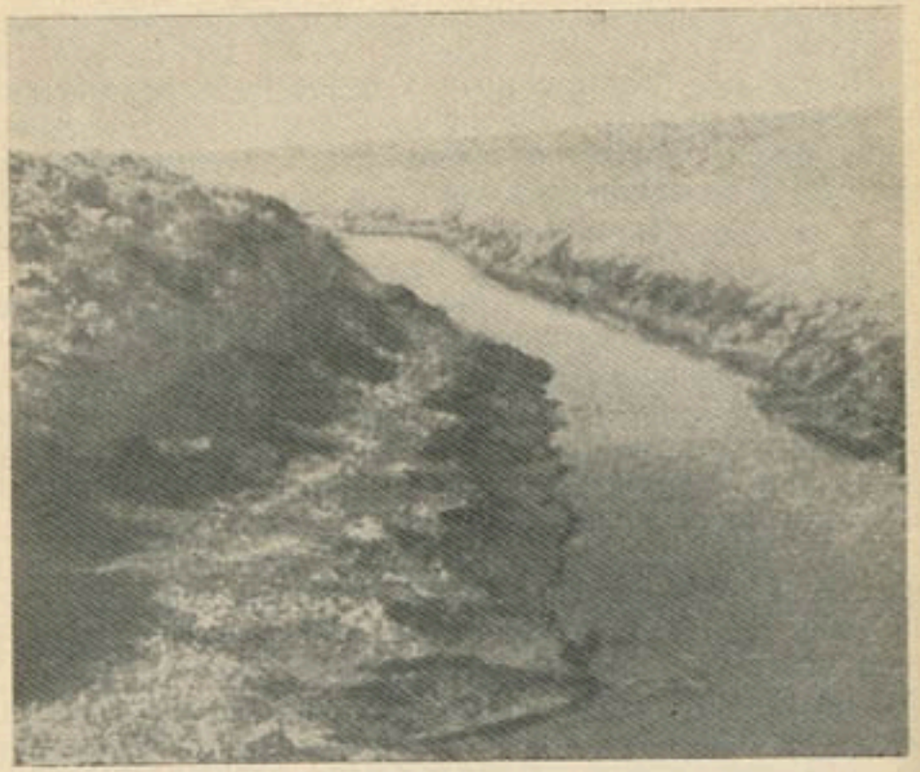


Рис. 18. Открытая глубокая дрена в Мургабском оазисе. Почвогрунты оплывают даже при пологих откосах.

Недавно орошаемые почвы. Недавно орошаемые почвы объединены в один класс по очень важному показателю — неустановившемуся режиму почвообразования. В составе этого класса могут быть почвы любого природного происхождения, свойства которых изменены мелиорацией и приведены в соответствие с требованиями сельскохозяйственной культуры и орошаемого земледелия. В процессе орошения с подъемом уровня грунтовых вод недавно орошаемые почвы могут изменяться в зависимости от степени грунтового увлажнения, за чем следует изменение интенсивности солевых и других почвообразовательных процессов. На этой стадии происходит дифференциация почвенного покрова под влиянием разных сочетаний природных условий и ирригационно-хозяйственного использования. Изменение режима почвообразования происходит до тех пор, пока не стабилизируются режим грунтовых вод и использование орошаемых земель.

Период неустановившегося режима можно назвать первой стадией оазисного почвообразования, когда идет перестройка свойств почв и структуры почвенного покрова в соответствии с новыми условиями почвообразования. Длительность этой стадии может быть различной и зависит от природных и ирригационно-хозяйственных возможностей стабилизации почвенных процессов на благоприятном для сельскохозяйственного использования земель уровне. При неблагоприятном сочетании длительность мелиораций может растянуться на многие десятилетия, в процессе которых придется видоизменять почвы и их использование, мелиоративными средствами противостоять изменению почв в неблагоприятную сторону.

Чтобы стабилизировать процесс на недренированных землях с подъемом уровня грунтовых вод, снижают коэффициент земельного использования. Иногда это происходит стихийно.

При благоприятном сочетании условий на дренированных землях и правильном планомерном освоении на первую переходную стадию — к оазисному почвообразованию может потребоваться 20—30 лет, из них 3—10 лет на мелиоративный период и еще 15—20 лет на закрепление результатов мелиорации, на стабилизацию гидрогеологических режимов, окультуривание почв, введение севооборотов, стабилизацию режимов орошения

и закрепление всего комплекса организации и правильного использования земель.

При стихийном освоении новых земель или при неполном учете всех определяющих условий развития оазисных почв стабилизация процессов их почвообразования растягивается на значительные сроки. Так, приходилось опытным путем выявлять наилучшие земли, которые можно продуктивно использовать под орошаемую культуру, почвы же засоленные, заболоченные, а также те, физические свойства которых ухудшились вследствие засоления, осолонцевания и других причин, либо забрасывать, либо вкладывать новые средства для их мелиорации. В большинстве старых оазисов пустынной зоны стабилизации почвенных процессов достигали, выводя часть земель из орошения и создавая условия для сухого дренажа.

Недавно орошаемые почвы отличаются от природных, из которых они формируются, тем, что поверхность их спланирована, почвенный профиль на части поверхности нарушен срезкой или насыпкой, а местами образован искусственно. Например, при планировке и глубокой плантажной вспашке такыровых почв весь их профиль мощностью в 50—60 см нарушается. Почвы промывают от избытка солей. С началом орошения почвы очень скоро обогащаются микрофлорой.

В дальнейшем после посева культур-освоителей и введения севооборотов, внесения удобрений и других агротехнических и мелиоративно-ирригационных приемов почвы улучшают свой микроагрегатный и механический состав, обогащаются гумусом, полностью освобождаются от токсичных солей. В профиле почв формируется «окультуренный» генетический горизонт. Процессы окультуривания почв происходят очень медленно. Мощность искусственного слоя почв на этой стадии не выходит за пределы пахотного. Быстрее происходит изменение режима влажности почвы вследствие подъема уровня грунтовых вод, перехода ее из одного ряда по гидроморфности в другой или же вследствие орошения в условиях, исключающих такой подъем.

Характерная особенность недавно орошаемых почв— неустановившийся режим почвообразования, проявляется главным образом в том, что по мере подъема уровня грунтовых вод появляются все более влажные почвы. Ряды почв по гидроморфности на вновь орошаемых пустынных почвах могут рассматриваться как последовательные этапы установления новых почвенных режимов. Выделяется по меньшей мере 3 этапа в развитии недавно орошаемых почв.

I этап. Начало освоения. В составе почвенного покрова появился новый тип пустынной недавно орошаемой почвы автоморфно-ирригационного режима.

II этап. Площади пустынных неорошаемых и недавно орошаемых почв автоморфно-ирригационного режима увлажнения сокращаются вследствие подъема уровня грунтовых вод и подпитывания нижней части почвенного профиля, образуются ирригационные почвы.

III этап. Происходит дальнейшее увеличение гидроморфности почв, в низинах появляются ирригационно-переувлажненные болотные и болотно-луговые почвы, усиливается засоление, возникают вторичные солончаки и т. д. В дальнейшем на массиве устанавливается равновесие в поступлении и расходе воды.

Дренажными устройствами процесс может быть стабилизирован на II этапе раньше, чем появятся болотные почвы и солончаки. Таким образом, одна из важнейших задач гидромелиорации — предупредить развитие почв третьего этапа.

Класс оазисных почв. Класс оазисных почв формируется на территориях, где в результате длительного орошения процессы почвообразования относительно стабилизированы, создан новый генетический горизонт из агроирригационных или ирригационных отложений, мощность которого выходит за пределы пахотного слоя (до 60—80 см).

Состав, свойства этого горизонта и водно-солевой режим почвы зависит от ирригационно-хозяйственных и природных условий. Структура почвенного покрова на стадии оазисного почвообразования уже определена, все типы почвообразования при данном сочетании природных и хозяйственных условий проявились. При развитии орошаемых почв возможны только изменения в площадях отдельных почвенных типов, пока не будет переустроена ирригационная и дренажная сеть. Основным фактором, изменяющим соотношение площадей оазисных почв, является водообеспеченность, которая даже при поступательном развитии имеет циклический характер чередования периодов большего и меньшего увлажнения в многолетнем разрезе.

В бездренажных условиях оазисов пустынной зоны использование земель при коэффициенте земельного использования (КЗИ) более 0,5—0,6 обычно неустойчиво, ведет к подъему грунтовых вод, засолению и выпаду части земель из оборота. Более устойчиво использование земель при КЗИ — 0,3—0,4. Неорошаемые земли выполняют роль «сухого дренажа». Они занимают понижения, где грунтовые воды ближе подходят к поверхности и больше испаряются. Более низкий КЗИ определяется низкой водообеспеченностью, недостатком оросительных вод. В оазисах КЗИ обычно уменьшается от центральных их частей, где больше всего орошаемых почв, к периферии, где площади орошения ограничены недостатком воды. В этом же направлении с уменьшением КЗИ уменьшаются и площади переувлажненных почв.

Нарушение сложившегося равновесия происходит при переустройстве ирригационной и дренажной сети или в результате стихийных явлений: смыва при многоводье, разрушения ирригационной сети, вероятность которых с развитием техники регулирования стока становится все меньше.

Почвы класса оазисных обладают всеми присущими культурному почвообразованию признаками, они повышенно гумусированы по сравнению с природными пустынными и недавно орошаемыми почвами, причем степень гумусированности в отличие от последних уже находится в соответствии с механическим составом почвы, степенью ее гидроморфности и уровнем культуры орошаемого земледелия. Почвы улучшили свои водно-физические и физико-химические свойства, создан запас питательных элементов, установился состав почвенной микрофлоры и фауны, которые принимают активное участие в круговороте веществ и биологической переработке ирригационных наносов и т. д. Определились места почв с режимом преимущественного рассоления, с режимом засоления-рассоления и места расположения засоляющихся почв при отсутствии искусственного дренажа.

Класс древнеоазисных почв. Древнеоазисные почвы сформировались на землях домонгольского освоения. Этот класс объединяет орошаемые почвы, профиль которых полностью сформирован на агроирригационных отложениях. Мощность агроирригационных отложений

всегда выходит за пределы 80 см, а обычно составляет 1,5—3 м, они покрывают территории, орошение которых производится на протяжении нескольких столетий и даже тысячелетий.

В составе агроирригационных отложений видны слои, образовавшиеся при разных системах орошения. В профиле почв запечатлены и следы перерывов в орошении, и следы крупных переустройств ирригационной сети. Но каждый этап нового развития орошения в какой-то мере связан с накопленными изменениями за предшествующую историю ирригации. За тысячелетия сформировался совершенно своеобразный «чашечный» рельеф, определивший использование почв, расположенных на разных его элементах.

Реконструкцию ирригационных систем и мелиоративные работы приходится проводить с учетом действия древней ирригации на литологию почв, структуру почвенного покрова и, что очень важно, с учетом изменения гидродинамическо-гидрогеохимической структуры верхней толщи грунтовых вод, состав и режим которых зависят от влияния длительного орошения.

Таким образом, древнеорошаемые почвы — это искусственные почвы на древних (в нижних частях профиля) и современных (в верхних горизонтах) агроирригационных отложениях, состав, свойства и распределение которых определены ирригационно-хозяйственными и природными условиями при ведущем значении первых.

Класс оазисных залежных почв. Со стабилизацией почвенных процессов при длительном орошении в бездренажных условиях или при недостаточном дренаже грунтовых вод часть орошаемых почв засоляется, заболачивается и исключается из орошения периодически вначале на короткое, а потом на все более продолжительное время. Эти почвы расположены в наименее благоприятных мелиоративных условиях, занимая места, куда стекают почвенные и грунтовые воды.

Особенность оазисных залежных почв — наличие агроирригационного горизонта той или иной мощности, когда-то биологически переработанного, перемешанного, обычно тяжелого механического состава вследствие залегания в местах накопления наиболее тонких частиц из оросительных вод. Эти почвы часто занимают межканальные понижения и заброшенные участки в перифе-

рийных частях ирригационных систем, характеризующиеся неблагоприятными условиями для орошения по причине нарушения микрорельефа или плохих водно-физических свойств. В периферийных частях выпавшие из орошения почвы чаще оказываются приуроченными к межканальным понижениям с тяжелыми ирригационными наносами. Эти почвы нередко засоляются поверхностными водами, фильтрация которых через тяжелые грунты затруднена, а испарение на окраине оазисов повышенное.

Претерпев влияние орошения в предыдущую стадию своего развития и располагаясь среди орошаемых земель, занимая определенное положение в ирригационном ландшафте, эти почвы не только испытывают последствия старого орошения, но имеют и своеобразные современные режимы, отражающие полив и подток вод со стороны орошаемых полей и ирригационной сети. В строении, составе, режимах таких почв наблюдаются совершенно иные, чем в оазисных орошаемых или в природных почвах, черты, которые заставляют выделить их в особый класс оазисных неорошаемых залежных почв. Это большей частью слитые, засоленные, переувлажненные и даже заболоченные почвы.

Поверхности таких почв заняты специфической оазисной растительностью, образующей особые ассоциации на переложных и залежных землях. Состав ассоциаций зависит от положения почвы в ряду по гидроморфности и степени засоления. На слабо засоленных почвах наиболее распространена верблюжья колючка, на засоленных — различные солянки, на заболоченных и периодически промываемых сбросными водами почвах — тростник.

При переустройстве ирригационной сети и сооружении дренажных систем эти почвы могут быть мелиорированы и вовлечены в орошение, создавая резерв орошаемого земледелия. Площади таких почв занимают 30—60%, а иногда и более от общей площади земель в контуре оазиса.

Антропогенные почвы вторичных бугров и низин. В древних оазисах большие площади заняты почвами, которые никогда не орошались, но тем не менее созданы под влиянием орошаемого земледелия. Они занимают до 10, иногда и до 15% от всей площади оазиса.

К этому классу относятся прежде всего почвы на

рашах в приканальной полосе. Раши представляют собой супесчано-песчаные иловатые отложения, которые накапливаются при чистке каналов. По мере того как эксплуатация русла канала затруднялась, его забрасывали, строили рядом новое русло. Местами можно видеть по 3—5 идущих рядом старых русл каналов, эксплуатация которых нарушалась из-за того, что их ложа оказались высоко поднятыми, а русла глубоко врезанными в собственные отложения. Ширина полос такого происхождения от головных частей к периферии сужается от 200—300 до нескольких десятков метров в периферийной части ирригационных систем. Почвы на рашах богаты питательными элементами, и поверхность их покрыта буйной растительностью с глубокой корневой системой, получающей влагу из грунтовых вод,— тростником, верблюжьей колючкой, амарантусом и др.

Со временем бугристая поверхность почвы на рашах под влиянием естественных процессов и человеческой деятельности несколько сглаживается и стабилизируется. После достижения определенной высоты нарастание рашей происходит главным образом вширь.

Почвы имеют своеобразное строение на искусственно насыпанном и очень слабо перемешанном грунте, сохраняющем свою неоднородность очень долго. Верхние горизонты незначительно обогащаются гумусом, поскольку отсутствие ила не благоприятствует закреплению органического вещества, несмотря на обилие органической массы.

Кроме почв на рашах, к этой же группе относятся и почвы, сформированные на древних культурных отложениях, образующие многометровые толщи на местах покинутых поселений, которыми изобилуют все древние оазисы. Места поселений обычно располагались вдоль крупных каналов. При этом культурные отложения, образующиеся из материала разрушенных построек (главным образом сырцового кирпича), бытовых отбросов, золы, черепков, костей и других, накапливались вместе с рашами. Развалины древних крупных городов занимают десятки и даже сотни гектаров. В результате более поздних планировочных работ многие бугры резко обособлены от орошаемых полей. На продуктах выветривания культурных отложений формируются большей частью селитроносные солончаки с редкой растительностью.

Почвы на культурных отложениях в пустынных условиях постепенно и очень медленно развеваются и разрушаются. Со временем на их поверхности образуется панцирь из черепков или корка, сцементированная солями, хлоридами и селитрой, которая также несколько препятствует развеванию. Кроме того, на оазисных землях сила ветра меньше, а влажность воздуха выше, чем в пустыне, и дезинтеграция почвенных частиц ослаблена. Образовавшиеся на заброшенных поселениях почвы по своей морфологии напоминают скорее сероземные облессованные, рыхлые, пылеватые образования.

Почвы на культурных отложениях в силу более высокого расположения над окружающими территориями не могут получать дополнительного увлажнения в виде токов делювиальных вод. Эти почвы, хотя и очень медленно, смываются и развеваются ветром, их можно отнести, так же как и почвы на рашах, к слаборазвитым, и мы объединили их в один класс.

К антропогенным почвам относятся и образования заиленных водохранилищ и искусственно созданных периодически пересыхающих мелких озер и депрессий, а со строительством открытых коллекторов и дрен этот класс пополнился, большей частью сильно засоленными почвами, образующимися на бермах и отвалах.

Класс остаточных природных почв. Среди оазиса встречаются почвы, которые не были включены в число орошаемых по причине неровного рельефа, подверженности переувлажнению или очень сильному засолению, промывка которых оказалась неосуществленной из-за неблагоприятных гидрогеологических условий.

К числу таких почв могут быть отнесены песчаные почвы на эоловых буграх, болотные почвы в озерных и аллювиальных депрессиях, первичные солончаки по понижениям аллювиально-озерного происхождения. Попав в окружение оазисных почв, они несколько изменяют свои режимы под влиянием орошения окружающих земель и усиленного подпитывания их грунтовыми и сбросными водами.

Ряды оазисных почв по гидроморфности. В пределах каждой географической зональной общности свойства почв каждого класса и режимы их развития разнообразятся в зависимости от степени дополнительного увлажнения грунтовыми водами, что, в свою очередь, определяется уровнем залегания последних и капиллярной

проводимостью почвогрунтов. Как уже было отмечено, свойства и проводимость почвогрунтов разных зон различны, а потому и глубина грунтовых вод, которая влияет на ход развития почв, будет также неодинаковой.

Оазисы пустынной зоны расположены в условиях слабого притока и еще более слабого оттока грунтовых вод. Если даже до начала освоения почв уровень грунтовых вод залегал глубоко, то с орошением при отсутствии дренажа уровень их очень быстро поднимается. Например, на массиве нового орошения Мургабского оазиса грунтовые воды с глубины 10—30 м поднимались на 1—3 м в год.

Уровень грунтовых вод во времени колеблется. Годовая амплитуда изменяется от 0,20 до 2,5 м, редко достигая более значительных величин. При переложной системе земледелия амплитуда многолетнего колебания может быть равной 3—5 м и более. Поэтому при разделении почв в ряду по гидроморфности приходится учитывать амплитуду колебания уровня грунтовых вод и принимать во внимание то обстоятельство, что периодически, под влиянием хозяйственных, а иногда и природных факторов этот уровень может выходить за рамки обычных средних годовых амплитуд колебания. Только для отдельных мест, где расход компенсируется постоянным притоком вод, амплитуда колебания уровня достигает 1 м.

На основе анализа данных по многолетнему режиму уровня грунтовых вод в Мургабском оазисе и влияния их на почвы установлено, что разделение почв по степени гидроморфности более чем на четыре ряда нецелесообразно. При этом принимался в расчет и солевой режим орошаемой почвы, который во многом определяется уровнем стояния грунтовых вод, подпитывающих почвенные растворы солями и препятствующих стеканию этих растворов за пределы профиля почвы. Выделены следующие ряды.

Ряд А объединяет почвы, в развитии которых грунтовые воды не принимают участия, когда уровень их залегания всегда глубже 5 м. Источником влаги в почвах служат оросительные воды и в незначительной мере атмосферные осадки. Назовем их условно ирригационно-автоморфными.

Такие условия создаются по периферии оросительных систем и на массивах с низкими коэффициентами

земельного использования, менее 0,15. Ирригационно-автоморфные почвы также могут быть на массивах с более высокими КЗИ, но с обеспеченными естественным дренажем грунтовыми водами, что бывает в верхних частях конусов выноса и подгорных равнин. Такие почвы лежат обычно за пределами пустынной зоны.

В Мургабской сухой дельте низкий уровень грунтовых вод обязан низким КЗИ по периферии оазиса — на границе с пустыней, это участки экстенсивного использования земель под орошаемое земледелие. Раньше, до строительства Каракумского канала, такие почвы занимали большие площади на Куйбышевском, Северо-Байрам-Алийском массиве и по периферии Марыйского массива на границе с песками, где воды для орошения всех пригодных площадей не хватало. После строительства Каракумского канала площадь таких почв непрерывно уменьшается, и ранее сплошная широкая полоса ирригационно-автоморфных почв, окружающая Мургабский оазис, теперь сужена и стала прерывистой.

Почвы ряда А с глубокими грунтовыми водами характеризуются целым рядом особенностей, отличающих их от орошаемых почв центральной части оазисов с более высокими КЗИ.

Первая и очень важная в мелиоративном отношении особенность ирригационно-автоморфных почв заключается в том, что они не подвержены засолению. Подпитывание верхних горизонтов почв со стороны грунтовых вод исключено. Сгущающиеся в пахотном слое при испарении почвенные растворы разбавляются оросительными водами и беспрепятственно стекают вниз даже при небольшом избытке поливных норм против водоудерживающей способности почв. Из-за низких КЗИ грунтовые воды получают малое питание, и амплитуда их колебания обычно небольшая, менее 50 см в год, при установившемся соотношении орошаемых и неорошаемых площадей. Но в отдельные наиболее многоводные годы посевные площади здесь могут быть расширены, и уровень грунтовых вод поднимается до 4 м и затем спадает до прежнего равновесного уровня.

Вторая очень важная особенность ирригационно-автоморфных орошаемых почв заключается в том, что при наличии грунтовых вод глубже 5 м эти почвы всегда беднее гумусом, чем более влажные почвы массивов интенсивного орошения. Содержание гумуса в пахотном

слое почти всегда меньше 1%, чаще 0,7—0,9%, только при очень интенсивном земледелии с внесением органических удобрений содержание гумуса в верхнем горизонте почвы может подниматься до 1,2%. Качественный состав гумуса этих почв отличается от его состава в более влажных почвах более низкой долей гуминовых кислот и сужением отношения углерода гуминовых кислот к содержанию углерода фульвокислот до величин 0,6—0,7, отношение углерода гумуса к азоту уменьшается до 4—8. Хотя содержание корневых масс и других органических остатков в почве остается не меньше, а даже больше, чем в почвах более влажных, так как при глубоких грунтовых водах развиваются мощные корневые системы, но после их отмирания остатки быстро минерализуются, что показывает на ускоренный круговорот веществ в сравнении с более влажными почвами. В почвах с глубоким стоянием грунтовых вод содержится много легко гидролизующихся и растворенных форм азота. По запасам питательных веществ в доступной форме такие почвы не уступают более влажным.

Третья особенность ирригационно-автоморфных почв— обычно меньшая агрегированность и бóльшая склонность к образованию корки, а очень часто и слитность почв, из-за чего они имеют пониженную фильтрационную способность. Почвы ирригационно-автоморфного ряда, приуроченные к периферия ирригационных систем, отличаются более тяжелым механическим составом, усиливающим проявление неблагоприятных водно-физических свойств, что особенно ярко выражено в межканальных понижениях. Почвы этого ряда нуждаются в улучшении водно-физических свойств, что достигается агротехническими мерами.

Ряд Б объединяет почвы, развивающиеся преимущественно за счет увлажнения оросительными водами, однако они подпитываются в нижней части почвенного профиля и грунтовыми водами. Почвы этого ряда названы ирригационно-грунтово-гидроморфными.

Ирригационно-грунтово-гидроморфные почвы развиваются на землях оазиса, где орошение ведется при низких КЗИ — 0,25. На массивах с более высокими КЗИ они приурочены к повышенным поверхностям с удовлетворительными условиями локального дренажа, что наблюдается в приканальных полосах верхних частей ирригационных систем. До строительства Каракумского

канала такие почвы были широко распространены в верхней части Мургабской дельты и встречались в нижних частях оазиса вместе с ирригационно-автоморфными почвами.

Таким образом, это почвы понижений при низких КЗИ и почвы повышений при несколько повышенных КЗИ. Среднегодовая глубина залегания уровня грунтовых вод более 2,5 м. Среднемесячная глубина уровня грунтовых вод может колебаться в пределах 2—5 м от поверхности почвы. Для ирригационно-грунтово-гидроморфных почв характерна большая амплитуда колебания уровня грунтовых вод — 1,5—2 м в год.

Расход грунтовой воды на испарение и транспирацию составляет 10—25% от общего расхода воды почвой. Обычно эта влага потребляется корнями растений, так как расход на испарение с поверхности почвы осуществляется за счет оросительных вод. Даже при небольшом избытке поливных норм над влагоудерживающей способностью почв происходит вымывание солей из почвенных растворов. Поэтому орошаемые ирригационно-грунтово-гидроморфные почвы в верхней и средней части почвенного профиля обычно не засолены. Но при жестких нормах поливной воды, при поливе по дефициту влаги, соли скапливаются в нижней части почвенного профиля.

Минерализация грунтовых вод под ирригационно-грунтово-гидроморфными почвами может быть разной и отличаться пестротой в зависимости от положения этих почв и режима орошения. В приканальной зоне с удовлетворительными условиями локального дренажа и промывным режимом орошения грунтовые воды почти всегда пресные. По периферии ирригационных систем с низкими КЗИ минерализация грунтовых вод чаще высокая или средняя.

Ирригационно-грунтово-гидроморфные почвы обычно более гумусированы, чем ирригационно-автоморфные, если они развиваются не на легких отложениях. Содержание гумуса в них обычно колеблется от 0,9 до 1,5%, при супесчаном составе от 0,6 до 0,9%.

Благодаря тому, что почва получает дополнительное увлажнение от грунтовых вод, они менее подвержены разрушающему действию опустынивания. Когда эти почвы остаются в перелог, они покрываются буйной переложной растительностью, которая получает влагу от

грунтовых вод, чаще всего верблюжьей колючкой, которая имеет мощную разветвленную корневую систему и является азотофиксатором.

Ирригационно-грунтово-гидроморфные почвы лучше микроагрегированы, чем почвы ряда А, менее подвержены коркообразованию и имеют несколько лучшие водно-физические свойства. По легкости регулирования солевого и водного режима ирригационно-грунтово-гидроморфные почвы относятся к числу лучших почв оазиса. При орошении на них устанавливается устойчивый режим рассоления даже при очень небольшом избытке поливной нормы над наименьшей влагоемкостью почвы.

Условия питания растений влагой и водой на этих почвах складываются наилучшим образом. Если уровень грунтовых вод здесь связан с низким КЗИ, то с расширением орошаемых площадей он очень скоро поднимается, и почвы при этом могут засоляться. Поэтому ирригационно-грунтово-гидроморфные почвы нуждаются в постоянном контроле за глубиной залегания уровня грунтовых вод и солевым режимом.

Ряд В включает почвы, развивающиеся при залегании среднегодового уровня грунтовых вод на глубине от 1,2 (1,5) до 2,5 м от поверхности. Среднемесячные величины глубин залегания уровня грунтовых вод колеблются от 1 до 3 м. Этот ряд назван рядом ирригационно-гидроморфных почв. Грунтовые воды периодически смачивают почти весь профиль почвы, а в периоды их глубокого стояния — верхнюю и среднюю часть почвенного профиля.

Ирригационно-гидроморфные почвы больше всего развиты в средних частях ирригационных систем и развиваются при высоких КЗИ — 0,3—0,5, занимая больше всего средние части ирригационных склонов, иногда поднимаясь на верхние и спускаясь на нижние склоны. В условиях плохой естественной дренированности эти почвы составляют основной фон в оазисе.

Близкое залегание грунтовых вод способствует большому расходу их на испарение и транспирацию: 30—60% общего расхода почвенной влаги покрывается за счет грунтовых вод, и, в свою очередь, при поливах и промывках верхние 2—3 м грунтовой воды формируются благодаря стеканию разбавленных почвенных растворов. Таким образом, почвенные растворы и верхние слои грунтовых вод становятся единым генетическим обра-

зованием. Благодаря более интенсивному, чем в ряду Б, подпитыванию грунтовых вод при поливах амплитуда уровня грунтовых вод под ирригационно-гидроморфными почвами несколько уменьшается. На перелогах колебание увеличивается более значительно и достигает 1,5 м из-за расхода воды на испарение.

Почвы в таких условиях подвержены сезонному засолению, их использование без промывного режима орошения становится невозможным. Промывной режим на участках без дренажа также невозможен, поэтому орошение приходится вести в переложной системе, используя сухой дренаж. Неорошаемые участки служат аккумуляторами солей. В целом при отсутствии дренажа почвы и грунтовые воды орошаемого массива засоляются. Эти соли сосредоточиваются в основном в почвах и грунтовых водах, под залежами и участками, наиболее часто забрасываемыми в перелог, которые обычно приурочены к нижним частям орошаемых полей.

При промывном режиме орошаемые почвы этого ряда характеризуются повышенной гумусированностью. Содержание гумуса в них достигает 1,5—2%. В составе гумуса повышается доля гуминовых кислот. Из-за подверженности засолению и промывок почвы обычно имеют плохие водно-физические свойства, нижние части их повышенно закарбоначены, нередко содержат гипс, хотя количество его невысоко. Почвы обычно нуждаются в удобрениях, особенно в фосфорных и азотных, но калием, как правило, обеспечены.

Ирригационно-гидроморфные почвы подвержены засолению, они нуждаются в постоянном солевом контроле и промывных режимах орошения. На массивах таких почв следует улучшать дренаж грунтовых вод.

Ряд Г объединяет почвы избыточного увлажнения и заболоченные, формирующиеся вследствие чрезмерно близкого залегания уровня грунтовых вод к поверхности, среднегодовая величина которых выше 1,2 (1,5) м, но колеблется от 0 до 2 м по месяцам. Эти почвы приурочены к нижним частям полей, межканальным и внутриоазисным понижениям. Чем хуже естественная дренированность оазиса и выше КЗИ при отсутствии искусственного дренажа, тем большую площадь в оазисе занимают переувлажненные и заболоченные почвы. В Мургабском оазисе до строительства Каракумского канала площадь их была небольшой из-за низких КЗИ.

Переувлажненные и заболоченные почвы не орошаются или используются под хлопчатник нерегулярно, большая их часть относится к неорошаемым и бросовым землям. Питание грунтовых вод и почвенных растворов происходит в основном за счет подтока вод снизу под влиянием гидродинамических напоров со стороны вышерасположенных каналов и орошаемых полей. Этот напор несколько сдерживается наличием глинистых и тяжелосуглинистых почв, которые формируются в понижениях. Водопроводимость глинистых почвогрунтов, заполняющих понижения, низкая, поэтому амплитуда колебания уровня грунтовых вод тоже небольшая, обычно меньше 1 м.

К этому же ряду могут быть отнесены почвы рисовых полей.

Среди оазисных почв выделяются почвы понижений, которые дополнительно к грунтовому увлажнению затапливаются сбросными водами, в этом случае верхние горизонты могут быть промыты от солей. Среднегодовой уровень грунтовых вод в них выше 0,5 м. Эти бросовые земли не орошаются. Почвы понижений, не затопляемые сбросными водами, всегда очень сильно засолены. В таких понижениях формируются солончаки, лугово-болотные и болотные почвы, характеризующиеся глинистым механическим составом и повышенной закарбоначенностью, а иногда и загипсованностью. Грунтовые воды обычно всегда высокоминерализованные, иногда разбавленные в верхней своей части сбросными поверхностными водами.

Итак, на основе анализа режимов грунтовых вод и зависимости увлажнения почв от уровня залегания первых выделены 4 ряда почв (табл. 45).

Ряд А, ирригационно-автоморфные почвы, не подпитывающиеся грунтовой влагой, уровень вод всегда ниже 4 м, а среднегодовой их уровень ниже 5 м от поверхности почвы.

Ряд Б, ирригационно-грунтово-гидроморфные почвы, подпитываются влагой постоянно в нижней части почвенного профиля, периодически в средней. Среднегодовой уровень грунтовых вод ниже 2,5 м, среднемесячные уровни на протяжении года могут колебаться в интервале 2—5 м от поверхности почвы.

Ряд В, ирригационно-гидроморфные почвы, нижняя и средняя часть почвенного профиля постоянно подпи-

Таблица 45

Классификация и группировка типов оазисных почв северной субтропической пустыни

Класс	Ряды по увлажнению (среднегодовая и среднемесячная глубина уровня грунтовых вод)			
	А. Ирригационно-автоморфные, глубже 5 м	Б. Ирригационно-грунтово-гидроморфные, 2,5 и 2—5 м	В. Ирригационно-гидроморфные, 1,2 (1,5) и 1—3 м	Г. Ирригационно-переувлажненные, 1,2 (1,5) и 0—2 м
	типы почв с режимом устойчивого рассоления		типы почв с режимом переменного засоления-рассоления	
I. Недавно орошаемые	Пустынные недавно орошаемые	Лугово-пустынные недавно орошаемые	Пустынно-луговые недавно орошаемые	Болотно-луговые недавно орошаемые
II. Оазисные орошаемые	Пустынно-оазисные орошаемые	Оазисные орошаемые	Лугово-оазисные орошаемые	Переувлажненные оазисные орошаемые
III. Древнеоазисные орошаемые	Пустынно-древнеоазисные орошаемые	Древнеоазисные орошаемые	Лугово-древнеоазисные орошаемые	Переувлажненные древнеоазисные орошаемые

Продолжение

Класс	Ряды по увлажнению (среднегодовая и среднемесячная глубина уровня грунтовых вод)			
	А. Ирригационно-автоморфные, глубже 5 м	Б. Ирригационно-грунтово-гидроморфные, 2,5 и 2—5 м	В. Ирригационно-гидроморфные, 1,2 (1,5) и 1—3 м	Г. Ирригационно-переувлажненные, выше 1,2 (1,5) и 0—2 м
Типы неорошаемых оазисных почв с режимом засоления и консервации солей				
IV. Оазисные залежные	Пустынно-оазисные отакыривающиеся	Пустынно-лугово-оазисные солончаковые	Оазисно-луговые солончаковые и солончаки	Оазисно-лугово-болотные солончаки
V. Оазисные антропогенные	Пустынно-оазисные на рашах и культурных отложениях	Пустынно-оазисные солончаковые на рашах и культурных отложениях	Оазисно-луговые солончаки на рашах и культурных отложениях	Оазисно-болотные
VI. Остаточные природные почвы внутри оазиса	Пустынные песчаные на эоловых отложениях	Пустынно-луговые солончаки		Болотные

тываются грунтовой влагой, периодически подпитывается и верхняя часть почвы. Среднегодовой уровень грунтовых вод ниже 1,2 (1,5) м, но выше 2,5 м, среднемесячные величины колеблются от 1 до 3 м от поверхности почвы.

Ряд Г, переувлажненные и заболоченные почвы имеют среднегодовой уровень грунтовых вод выше 1,2 (1,5) м и среднемесячный уровень колеблется от 0 до 2 м от поверхности почвы. Весь почвенный профиль постоянно или на протяжении большей части года находится в сфере капиллярного увлажнения грунтовых вод. В этом ряду особо выделяются болотные почвы, которые не орошаются, занимают наиболее низкие части понижений с годовым уровнем грунтовых вод выше 0,5 м.

Многолетние данные наблюдений за режимом грунтовых вод показывают, что периодически почвы из одного ряда, выделенного по глубине и режиму уровня грунтовых вод, а также режиму увлажнения, могут переходить в другой ряд, когда изменяются условия их ирригационно-хозяйственного использования. Например, почвы ряда В через несколько лет орошения при КЗИ выше 0,5 переходят в ряд Г, после чего использование их становится невозможным. Участок забрасывают, воды испаряются, уровень их снижается до 3—4 м. Затем почвы промывают и снова несколько лет орошают при использовании в бездренажных условиях. Таким образом, каждый из выделенных рядов почв периодически (в среднем около 3—4 лет из десяти) может испытывать большее или меньшее увлажнение со стороны грунтовых вод. Поэтому при картировании и классификационном подразделении следует учитывать динамику залегания грунтовых вод, а также месторасположение почвы, характер ее хозяйственного использования, время съемки.

В Мургабском оазисе на орошаемых почвах уровень наиболее высокого стояния грунтовых вод приходится на весенние месяцы, когда испарение очень мало. В это время проводят предпосевные и промывные поливы. К концу вегетации, несмотря на поливы, вследствие высокого расхода грунтовой воды на испарение и транспирацию, уровень грунтовых вод падает, и наиболее низкое стояние отмечается в сентябре. На перелогах уровень грунтовых вод на 40—100 см ниже, чем на

орошаемых картах того же поля. Уровень грунтовых вод под перелогами в среднемесячных величинах имеет бо́льшую амплитуду, чем на орошаемых картах. Она оказывается наибольшей в приканальной полосе благодаря большому колебанию в питании из каналов и локальному оттоку грунтовых вод. Межканальные понижения, имеющие постоянное подпитывание со стороны повышения и каналов, создающие местные напоры, имеют наименьшую амплитуду колебания уровня грунтовых вод. Расход воды на испарение в них компенсируется постоянным равномерным подтоком.

Режим грунтовых вод в периферийной части дельты, подпитывание которых идет главным образом за счет сбросных вод, может быть несколько иным, наиболее высокие уровни приурочены ко времени весенне-раннелетнего и осенне-зимнего сброса вод, когда потребность в оросительных водах в оазисе уменьшается и их избыток сбрасывается в периферийные части.

При искусственном дренаже уровень грунтовых вод стабилизируется и амплитуда значительно сокращается. Положение почвы в ряду по гидроморфности приобретает устойчивый характер.

Типы оазисных почв. Классы оазисных почв по рядам гидроморфности разделены на типы. Каждый тип почвы отличается по качественным признакам от других. В первых трех классах орошаемых почв определяющими признаками типов являются: мощность агроирригационных отложений, содержание гумуса в окультуренном горизонте, наличие признаков грунтового увлажнения, засоления и переувлажнения, что обычно коррелируется с глубиной залегания уровня грунтовых вод и их режимом.

Класс оазисных залежных и других неорошаемых почв разделен на типы в зависимости от глубины залегания уровня грунтовых вод и доминирования признаков отакыривания, засоления, заболачивания. Все эти признаки очень важны в мелиоративном отношении. Использование такой классификации позволит полнее оценить агропроизводственные и мелиоративные особенности почв оазисов и обеспечить более правильный учет качества земель.

В зависимости от водообеспеченности, гидрогеологических, дренажных и ирригационно-хозяйственных условий соотношение между площадями разных типов на

орошаемых массивах и в разных оазисах неодинаковы, отдельные типы почв могут выпадать, если нет условий для их формирования. Но принципиальный состав почвенных типов и взаимная их обусловленность в расположении по территории оазиса сохраняются, что может быть обнаружено на всех орошаемых землях пустынной зоны. С изменением ирригационно-хозяйственных условий состав типов или границы между почвенными типами могут изменяться, как, например, были сокращены площади оазисно-болотных почв в Хорезмском оазисе после сооружения дренажно-коллекторной сети.

Типы орошаемых почв делятся на подтипы, как это принято, по интенсивности почвообразовательного процесса и стадии орошаемого земледелия и времени окультуривания. Все типы орошаемых почв могут быть представлены подтипами: 1) мелиорированными; 2) обыкновенными орошаемыми (слабоокультуренными); 3) высокоокультуренными.

Мелиорированные почвы появляются в результате капитальных работ по освоению неплодородных почв на целинных или староорошаемых землях. Мелиорация направлена на коренное преодоление отрицательных для орошаемого земледелия качеств почв и обеспечение условий, предупреждающих их реставрацию или появление новых неблагоприятных свойств.

Содержание мелиоративных работ и их объем определяются природными особенностями объектов и требованиями сельскохозяйственных культур с учетом методов их орошения и возделывания, в число которых входит сооружение дренажных систем, проведение капитальных планировок поверхности, плантажные и глубокие вспашки, промывки, внесение мелиорантов, пескование, глинование, кольматация, искусственное оструктуривание почв с помощью полимеров и др.

К подтипу мелиорированных почв следует относить те почвы, которые прошли через цикл мелиораций, исключивших неблагоприятные для сельскохозяйственных культур условия возделывания или ослабивших их действие. В дальнейшем вновь приобретенные под влиянием мелиорации свойства должны быть закреплены и дополнены агротехническими, агрохимическими и агробиологическими мерами, улучшающими плодородие почв. На практике иногда не придают значения мерам закрепления результатов мелиорации, и мелиорированные почвы могут снова ухудшить свои качества, причем в последующем потребуются новые мелиорации. Так, например, многочисленны случаи реставрации засоления промытых почв при отсутствии или недостаточной обеспеченности искусственного дренажа почвенногрунтовых вод, осолонцевание почв после промывок и др.

При обеспеченности условий повышения плодородия орошаемых земель и высоком уровне культуры освоения почвы из мелиорированных перейдут со временем в подтип **высокоокультуренных.** Для этих почв характерна глубокая опресненность почвенного профиля при обеспеченном оттоке грунтовых вод, повышенное содержание гумуса и питательных элементов, хорошая оструктуренность (для Средней Азии микроструктурность), отсутствие солонцеватости, благоприятные физико-химические реакции и состав солей в почвенном растворе при концентрации ниже токсического уровня. Такие почвы дают полноценный урожай, в то время как на мелиорированных почвах в первые годы урожаи несколько понижены.

Подтип окультуренных почв может формироваться также стихийно в благоприятных условиях локального дренажа, интенсивного орошения и обработки почв с применением удобрений, что обычно приурочено к повышенным элементам рельефа и почвам исходно благоприятного состава и свойств, время формирования таких земель растягивается на десятилетия.

Подтип обыкновенных орошаемых почв формируется в условиях ведения неинтенсивного орошаемого земледелия или нерегулярного периодического орошения. Эти почвы слабооструктурены, бедны питательными веществами, при близком стоянии грунтовых вод подвержены засолению, а при глубоком — отакыриванию. В Мургабском оазисе значительная часть орошаемых слабоокультуренных почв представлена этим подтипом.

Нерегулярность орошения может быть следствием разных причин: а) малой водообеспеченности территории, которая орошается только в многоводные годы; это условно поливные земли, расположенные в концевых частях ирригационных систем; б) неблагоприятных мелиоративных условий территории, которую приходится периодически забрасывать из-за поднявшихся грунтовых вод и засоления почв, пока уровень грунтовых вод не снизится с помощью испарения; в) экстенсивных

форм ведения орошения —переложного орошаемого земледелия вследствие засорения орошаемых земель, заражения фитопаразитами, истощения запасов доступных растениям питательных элементов и др.

При нерегулярном и периодическом орошении больших капиталовложений в орошаемые земли не производили, землю приходилось забрасывать, получение урожая лимитировалось недостатком оросительной воды, неблагоприятными мелиоративными или биологическими причинами или же в силу сложившихся традиций кочевого земледелия. Эти почвы во время перерывов в орошении подвержены процессам пустынного почвообразования, которое при глубоких грунтовых водах способствует ухудшению водно-физических свойств и потере плодородия почв.

ГЛАВА VI

ПОЧВЕННО-МЕЛИОРАТИВНОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ МУРГАБСКОГО ОАЗИСА И ИЗМЕНЕНИЕ МЕЛИОРАТИВНОГО СОСТОЯНИЯ ЗЕМЕЛЬ ПОСЛЕ ПУСКА ПЕРВОЙ ОЧЕРЕДИ КАРАКУМСКОГО КАНАЛА

Развитие орошения в Мургабском оазисе. Начало больших изменений в мелиоративно-ирригационных условиях на землях Мургабского оазиса относится к рубежу прошлого и текущего столетия, когда были сооружены первые инженерные плотины и водохранилища: Гиндукушское, 1903 г., Султанбентское и Иолотанское, 1910 г. и восстановлена древняя Султанябская оросительная система, а затем построена новая Гиндукушская с магистральным каналом, известным ныне под названием Советского. В результате появился новый орошаемый массив на правобережной части Мургабской дельты (верхняя и средняя ее часть) общей площадью 133 тыс. га. До Великой Октябрьской революции местным населением орошалось в зависимости от водности года в Мервском уезде — 33—60 тыс. десятин, Иолотанском — 10—11,6 тыс. и Пендинском — 5—7 тыс. десятин. В пределах дельты орошаемая площадь колебалась от 43 до 72 тыс. десятин. А вместе со вновь освоенными в Мургабском имении землями составляла около 90 тыс. десятин.

Использование земель в Мургабском оазисе было переложным. Даже в Мургабском имении сдавали землю в аренду небольшими участками. В первый год получали урожай хлопка-сырца 10—12 ц/га, на второй год — 6 ц/га, на третий — 3—4 ц/га, после этого год-два сеяли зерновые и затем участки на несколько лет забрасывали в перелоги.

Причин снижения урожаев было несколько: истощение запасов доступных питательных элементов, зарастание полей сорняками, подъем грунтовых вод и вторич-

ное засоление почв. На землях Мургабского имения уже в 1904 г. появились первые пятна засоленных почв. В результате была поставлена задача разработать правила интенсивного и правильного ведения орошаемого земледелия с внедрением севооборотов, удобрения, рациональных обработок, искусственного дренажа грунтовых вод. В 1914 г. был построен первый в Мургабском оазисе закрытый дренаж в районе Байрам-Али. Дренаж был мелкий, не было хорошего водоприемника, воды перекачивали насосом в арык. В годы гражданской войны насосная станция вышла из строя.

В целом в Мургабском оазисе несмотря на сооружение инженерной оросительной сети, орошаемое земледелие было примитивным, таким оно оставалось в годы гражданской войны и в первые послевоенные годы. Большие изменения в ирригации произошли позже, в связи с более широким развитием хлопководства, что потребовало реконструкции оросительных систем, укрупнения карт, механизации и химизации хозяйств, изменения структуры посевов и всего уклада сложившегося кочевого орошаемого земледелия. Если на начало нашего столетия посевы хлопчатника занимали всего лишь около 10 тыс. га, то в 1911 г. они составили 35, а в 1932 г. — 53,7 тыс. га (табл. 46).

К 1930—1932 гг. ухудшение мелиоративных условий и распространение вторичного засоления заставляет заняться вновь разрешением проблемы засоленных и переувлажненных почв. Начались систематические исследования (Л. П. Розов). В качестве главной причины было названо бессистемное избыточное потребление воды для орошения и сброс воды в понижения, периодическое затопление низких земель паводковыми водами. Разработали план мероприятий, расчистили и в ряде мест спрямили русло р. Джар, по которому сбрасывали паводковые воды, восстановили опытный закрытый дренаж, насосную станцию, начались исследования промывок (Спенглер, Музычук). Главной задачей считалось улучшение водопотребления, сокращение потерь оросительных вод и продолжение работ по регулированию стока мургабских вод.

Было сооружено Ташкепринское водохранилище. Границы орошаемых земель несколько расширились, так как концентрация орошаемых площадей приводила каждый раз к росту очагов засоления.

Таблица 46

Посевные площади, занятые разными культурами, в Мургабском оазисе *, тыс. га

Год	Общая посевная площадь	Хлопчатник	Зерновые	Овощные и бахчевые культуры	Кормовые культуры и прочие
1882	46,9	Нет данных	Нет данных		Нет данных
1898	73,0	9,5	То же		То же
1911	83,0	35,0	44,0	—	4,0
1925	72,6	32,9	30,7	2,4	6,6
1928	90,7	45,8	37,1	2,2	5,6
1932	96,4	53,7	30,0	4,7	8,0
1940	100,6	49,7	32,7	5,3	12,0
1946	93,8	45,1	34,8	2,7	11,2
1950	82,4	48,1	15,1	2,3	16,9
1954	94,5	52,7	13,0	3,9	25,1
1956	98,4	54,7	12,0	3,7	28,0
1963	125,8	87,0	14,6	2,7	20,0
1965	132,5	89,6	19,5	4,7	23,9
1970	150,1	115,3	11,0	5,5	18,6

* Без Тахтабазарского района, где посевная площадь составляла около 9,4 тыс. га.

Улучшение водопользования, применение минеральных удобрений, улучшение агротехники и использование более высокоурожайных сортов позволили значительно увеличить урожай хлопчатника. Если в 1911 г. средний урожай хлопка-сырца составлял 10 ц/га, в 1928 г. — 7,5, в 1932 — 8,6 ц/га, то к 1940 г. он поднялся до 15 ц/га, в 1950 г. — до 16,2 ц/га, в 1958 г. — до 20,7 ц/га. После Великой Отечественной войны наметился новый устойчивый рост урожаев.

Все эти годы в Мургабском оазисе уровень грунтовых вод продолжал подниматься, как это было зафиксировано после организации постоянной наблюдательной гидрогеологической сети в 1948 г. (Мальцев, 1959). В 1958 г. было построено Сарыязинское водохранилище. Речной сток Мургаба теперь полностью использовался на орошение. Но воды в Мургабском оазисе хватало только на четвертую часть площади.

Условия изменились коренным образом с завершением строительства первой очереди Каракумского канала в 1959 г., когда проблема водообеспеченности была полностью разрешена и был создан массив нового оро-

шения на опустыненных землях, расположенных в северной части Байрам-Алийской дельты. Значительно улучшилось водообеспечение староорошаемых земель. Мургабские воды, ранее орошавшие площадь в 90—100 тыс. га, теперь орошают только 65 тыс. га земель, расположенных выше Каракумского канала. После завершения строительства Машинного канала в верхнюю часть дельты стали подавать дополнительное количество воды — 50 м³/сек.

Площади орошаемых земель значительно увеличились. Если в 1957 г. земли, имеющие оросительную сеть, занимали площадь 208,8 тыс. га и из них использовалось около 100 тыс. га, то к 1965 г. площадь земель с оросительной сетью увеличилась до 250 тыс. га и из них в 1970 г. орошалось 150 тыс. га; посевные площади возросли в 1,5 раза. Забор воды увеличился в 2,5 раза. Это привело к очень большим изменениям в мелиоративных условиях. Отмечено, что средний уровень грунтовых вод по Мургабскому оазису поднялся с 1960 г. до 1965 г. с 2,41 до 1,8 м от поверхности почвы.

Запасы солей, накопленные в глубоких слоях почв и грунтовых водах, перераспределились, что повлекло к засолению пахотного слоя. По данным съемки, выполненной под руководством С. Г. Сучкова (1957), площади незасоленных и слабозасоленных почв определены в количестве 77% общей площади земель. По данным почвенных съемок Туркменской землеустроительной комплексной экспедиции в 1962—1965 гг., площади таких почв по разным районам оазиса сократились до 38—58%, а в среднем по оазису — до 50%.

Ухудшение мелиоративных условий сказалось и на урожаях хлопчатника. К 1961 г. урожаи хлопка снизились до 11 ц/га. На новых землях урожай хлопка в первый год был равен 5,6 ц/га, во второй — 6,4 ц/га. В 1963 г. средний урожай на целинных землях совхоза «Москва» был всего лишь 9,4 ц/га.

Однако средний урожай снизился не только из-за меньшего плодородия новоосвоенных такырных почв, такое снижение наблюдалось и на староорошаемых землях. Например, в колхозах «Карл Маркс», «Октябрь» и «Зарпчи» Марыйского района Туркменской ССР, где ранее урожай хлопка-сырца был около 28 ц/га, через три года после пуска Каракумского канала он снизился до 7—9 ц/га. Дополнительно к землям Мургабского оазиса

были освоены и орошены целинные земли на площади 50—70 тыс. га в междуречье Мургаба и Теджена, на так называемом Хаузханском массиве.

Столь неблагоприятные последствия расширения площадей орошаемых земель произошли вследствие неподготовленности устройств, которые должны были регулировать водно-солевой режим при освоении земель. Это видно из описания хода развития работ в зоне Каракумского канала (табл. 47).

Таблица 47

Орошаемые площади в зоне Каракумского канала по годам (данные «Каракумстроя»), **тыс. га**

Земли	1959	1960	1961	1962	1963	1964
Ирригационно-подготовленные	6,5	19,5	29,0	38,6	45,3	54,5
Фактически орошаемые из Каракумского канала	42,2	71,4	115,8	119,9	138,3	154,3

Продолжение

Земли	1965	1966	1967	1968	1969
Ирригационно-подготовленные	62,5	70,9	82,6	91,9	105,1
Фактически орошаемые из Каракумского канала	157,5	187,2	200,7	203,2	229,2

После завершения первой очереди строительства Каракумского канала в среднем за год вводилось 7—10 тыс. га ирригационно-подготовленных земель. На 1968 г. из 91,9 тыс. га ирригационно-подготовленных земель освоено 68,6 тыс. га, в то же время колхозами без проектов орошалось 134,5 тыс. га (78,5 тыс. га в контуре старых оазисов за счет освоения переложных земель и 56,0 тыс. га целинных земель). Колхозы использовали старую и строили новую ирригационную сеть в земляных руслах без сооружения коллекторно-дренажной сети. На канале было сделано много неплановых водозаборов, где передвижные насосные станции забирали воду без контроля непосредственно из канала.

Средняя оросительная норма брутто для Мургабского оазиса возросла с 14 до 19,1 тыс. м³/га. Как показы-

вает весь опыт ирригационного строительства, расширение площадей орошаемых земель в таких условиях может быть успешным только при искусственном дренаже грунтовых вод.

В Мургабском оазисе, где и до строительства Каракумского канала солевой режим почв был критическим, расширению орошаемых площадей должно было предшествовать повсеместное строительство дренажно-коллекторной сети. Фактически же к такому строительству приступили позже, и темпы его развития были очень медленными, что видно из данных «Каракумводстроя» (табл. 48). Дренажный сток на 1968—1969 гг. составлял 8—9% от общего водозабора.

Таблица 48

Строительство дренажно-коллекторной сети и дренажный сток в Мургабском оазисе по годам

Показатели	1960	1961	1962	1963	1964	1965
Протяженность коллекторно - дренажной сети:						
общая, км	70	110	243	548	820	1016
удельная,* пог. м/га	0,6	0,8	1,5	3,5	4,8	6,8
Сток дренажных вод, млн. м³ в год	—	—	—	46,6	106,2	139,5

Продолжение

Показатели	1966	1967	1968	1969	1970
Протяженность коллекторно-дренажной сети:					
общая, км	1357	1771	2275	2595	3000
удельная*, пог. м/га	9,3	10,3	13,8	13,8	15,5
Сток дренажных вод, млн. м³ в год	155,2	287,2	—	374,1	—

* В расчете на орошенную площадь земель.

В первых проектах освоения земель в зоне Каракумского канала строительство дренажа не предусматривали.

Перелом, наметившийся в практике ирригационно-мелиоративного строительства, относится к 1964—

1965 гг., когда была признана настоятельная необходимость сооружения дренажа на землях, подверженных засолению.

В Мургабском оазисе мелиоративное строительство начиналось с расчистки старых русл Мургаба, которые стали выполнять роль коллекторов и глубоких дрен; были сооружены новые коллекторы на Марыйском, Байрам-Алийском массивах и в центральной части дельты выше Каракумского канала. Процесс подъема грунтовых вод был замедлен. Урожаи хлопка-сырца стали увеличиваться, в 1968 г. по районам дельты они колебались от 14,7 до 23,3 ц/га по средневолокнистым сортам и от 10—14 ц/га по тонковолокнистым. В 1969 г. средний урожай хлопка-сырца по Мургабскому оазису составил 19,3 ц/га (включая Хаузханский массив).

Строительство дренажа на староорошаемых землях дело значительно более трудное, чем на целинных, не только из-за высокого стояния уровня грунтовых вод, но и из-за сложности ирригационного рельефа, наличия сети каналов и по организационным причинам. Мелиорация всех засоленных почв оазиса и полное решение проблемы предупреждения вторичного засоления потребует не одного десятилетия.

Такова организационная сторона развития проблемы мелиорации орошаемых почв в Мургабском оазисе за последние десятилетия. Почвенно-мелиоративная сущность изменений требует особого анализа. Прежде всего надо отметить, что несмотря на то, что канал прошел в нижней части дельты, его влияние проявилось и в верхней. Но характер изменений оказался различным на разных массивах, что требует и дифференциации мелиоративных мероприятий.

Почвенно-мелиоративное районирование Мургабского оазиса. До строительства Каракумского канала для Мургабского оазиса было предложено несколько схем районирования: почвенно-мелиоративная (Федоров, 1942), агропочвенная (Сучков, 1957), гидрогеологическая (Мальцев, 1955; Скоркина и Горбунова, 1956), гидромелиоративная (Роговская, 1959) и позже (Минашина, 1965), почвенно-мелиоративная с учетом историко-ирригационно-хозяйственных условий. Последняя послужила основой и для нового гидрогеолого-мелиоративного районирования (Топалов). Мургабская дельта разделена на 2 области:

А. Пустынная песчаная дельта, которая соответствует древней дельте, по И. Г. Герасимову (1940), и IV—V террасам-дельтам, по Б. А. Федоровичу и А. С. Кесь (1934). Почвы песчаной дельты представлены в основном пустынными песчаными и супесчаными типами на эоловых отложениях с пятнами такыров на глинисто-делювиальных отложениях по межгрядовым понижениям. Эта часть территории не орошается. Освоение затруднено сложностью эолово-грядового рельефа и большой опасностью ветровой эрозии.

Б. Мургабский оазис, расположенный на поверхности современной сухой дельты. Оазис (область) разделен на 3 подобласти, соответствующие Иолотанской, Каушутбентской и Марыйской генерациям.

По общему уклону поверхности оазиса в соответствии с принятыми принципами, отражающими векторный характер изменения почвенно-мелиоративных условий, территория оазиса разделена на верхнюю, среднюю, нижнюю и периферийную часть.

Верхняя часть оазиса расположена на верхней части Иолотанской (Байрам-Алийской) генерации дельты, состоит из двух ирригационно-мелиоративных массивов: Юго-Восточного (Туркмен-Калинского) по правому берегу Мургаба и Куйбышевского — по левому берегу. Оба массива относятся к числу древнеорошаемых (рис. 19).

Средняя часть оазиса включает Южно-Байрам-Алийский массив, расположенный в средней части Иолотанской генерации, и Центральный солончаковый массив, занимающий поверхность более молодой — Каушутбентской генерации. Земли с мощными наносами ирригационных отложений.

Нижняя часть представлена двумя разобщенными массивами: Северо-Байрам-Алийским на нижней части Иолотанской генерации и Марыйским на самой молодой генерации дельты.

Периферийная часть по границе с пустыней несет следы нерегулярного древнего (Тахирбайский массив) и современного (северо-западная часть современной дельты) орошений.

Верхняя часть оазиса. *Юго-Восточный массив.* Занимает правобережье в верхней части Мургабской дельты, граничащей с поверхностью более высокой древней террасы (IV) р. Мургаба. До строительства Каракумского

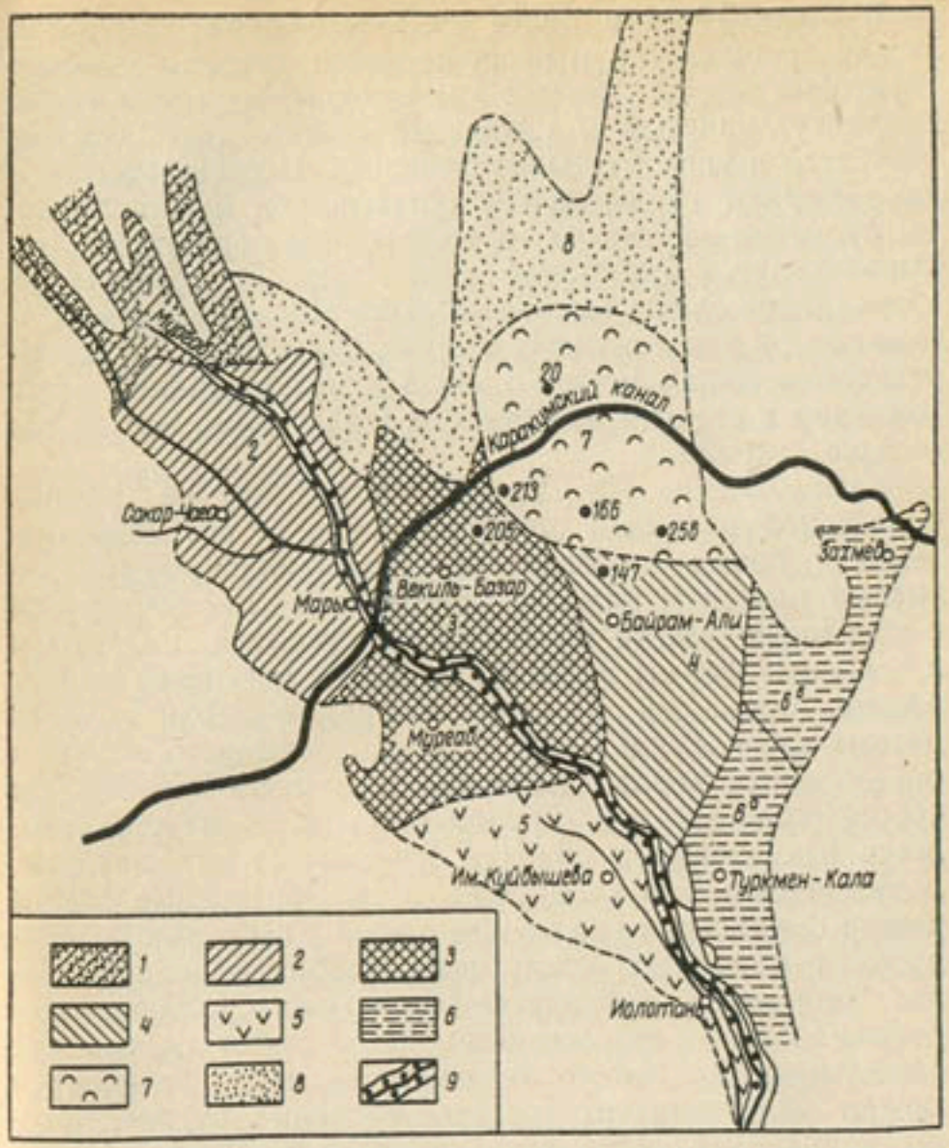


Рис. 19. Схема массивов разной давности орошения Мургабского оазиса:

1 — массив неизмененных и слабоизмененных орошением аллювиально-луговых почв; *2* — Марыйский массив недавнего орошения; *3* — центральный солончаковый массив древнего орошения; *4* — южный Байрам-Алийский массив древнего орошения; *5* — Куйбышевский массив древнего орошения; *6* — Туркмен-Калинский *(а)* и Восточный *(б)* массивы; *7* — северный Байрам-Алийский массив древнего орошения; *8* — запесченный массив нерегулярного древнего орошения; *9* — пойменная терраса.

канала массив по своей освоенности и использованию почв разделялся на две части: верхнюю, более освоенную, с КЗИ 0,5 и нижнюю, менее освоенную, с КЗИ около 0,15.

В нижней части более ярко выражены контрасты между орошаемыми и неорошаемыми почвами. Уровень грунтовых вод был глубже 5 м. Орошаемые почвы имеют тяжелосуглинистый и глинистый состав, часто слитые, относятся к типу пустынно-оазисных. Неорошаемые почвы занимают гряды между орошенными и представлены пустынно-песчаными. В понижениях образуются отакыривающиеся глинистые солончаки. В профиле их сохранились следы былого высокого стояния уровня грунтовых вод в виде сизых оглеенных горизонтов. Со строительством Каракумского канала и его машинной ветки различия в степени освоенности этих разных частей все больше стираются.

Расположение Юго-Восточного массива на границе с песчаной пустыней определяет многие его почвенно-мелиоративные особенности. Аллювиально-аккумулятивные элементы рельефа поверхности почв сочетаются с эолово-грядовыми на границе с пустыней. Развиты и эрозионные формы рельефа, особенно ярко выраженные вблизи пойменной террасы, которая в верхней части дельты врезана на 7—10 м. Вдоль обрывистого берега образовались овраги, имеющие тенденцию к росту при сбросе поливных вод. Грунты здесь очень неустойчивы, легко размываются, образуя отвесные стенки, которые, подмываясь с боков, обрушиваются. Эрозионные формы в виде останцовых гряд более древних песчаных поверхностей и размытых между ними ложбин выполнены более молодыми суглинисто-глинистыми аллювиально-делювиальными отложениями, встречаются по границе с пустыней. До самого недавнего времени среди полей можно было встретить остатки песчаных бугров, которые в последние годы выравниваются и входят в состав орошаемых площадей.

По сложившимся представлениям (Массон, 1959), верхняя часть Мургабской дельты под орошение была освоена значительно позже, чем земли в среднем и нижнем течении реки, которая орошалась в средневековое время сравнительно недолго. В позднесредневековое время предпринимались многочисленные новые попытки оросить эту часть дельты, прорывали новые каналы, но зеркало воды оказывалось слишком низко расположенным и приходилось прибегать к чигирному орошению (Бартольд, 1914). В начале XVIII в. плотина в долине Мургаба была окончательно разрушена и земли пришли

в запустение, поверхность запесчанена, отакырена, заросла саксаулом. В таком состоянии земли были включены в состав Мургабского имения в конце прошлого столетия, после чего стали вновь осваиваться уже в начале нашего столетия.

На основе более поздних детальных исследований почв Иолотанской станции мнение о молодости орошения в верхней части дельты приходится изменить. Отдельные участки, в частности полоса шириной примерно в 800 м по правому берегу Султан-Яба, орошались давно и длительное время. Свидетели этому мощные агроирригационные отложения, обнаруженные на втором от поверхности метре почвы.

Древние агроирригационные отложения погребены более поздними аллювиальными и эоловыми наносами, на которых сформировались позднесредневековые и формируются современные окультуренные почвы. Но орошаемые земли доарабского и раннесредневекового времени, по-видимому, занимали небольшие площади. Затруднения для более широкого освоения возникали, очевидно, не из-за сложности регулирования подачи воды.

Но и при бóльшей длительности орошения его влияние здесь на рельеф и почвы было меньше, чем в средней и нижней части дельты вследствие бóльших уклонов поверхности и соседства песчаной пустыни. Имеются своеобразные изменения в рельефе, связанные с деятельностью человека. Верхняя часть дельты — это массив водохранилищ, плотин, защитных дамб, искусственных котлованов, образованных при выемке грунта, и кое-где — эрозионных оврагов.

До строительства Каракумского канала район считался мелиоративно благополучным. На карте мелиоративного районирования Н. В. Роговской здесь выделен район с уровнем грунтовых вод на глубине 3—5 м, незасоленными почвами и пресными грунтовыми водами с минерализацией меньше 3 г/л. Это соответствовало представлениям того времени, которые были основаны на очень ограниченном материале.

По нашей классификации, почвы относились к орошаемым оазисным. Неорошаемые почвы были представлены остаточными формами пустынного почвообразования — пустынно-песчаными на буграх и такыровидными — в понижениях. Вблизи водохранилищ прилегающие

к заградительным дамбам почвы более темного цвета, повышенно карбонатные. Имеются солончаковые почвы, образовавшиеся в результате влияния водохранилищ. Но площади, занятые засоленными почвами, были небольшими. В связи с чем проблема борьбы с засолением не привлекала внимания практиков. Небольшой избыток поливных норм при низких КЗИ и грунтовых водах глубже критического уровня был достаточным, чтобы орошаемые почвы поддерживать в рассоленном состоянии.

Еще до строительства Каракумского канала здесь стали повышать КЗИ, и грунтовые воды, насыщая зону аэрации, поднимались все выше. Этот процесс шел по всей дельте и ранее как результат все более полного использования мургабских вод на орошение в связи со строительством новых водохранилищ. Насыщение водой грунтов и подъем уровня грунтовых вод шел непрерывно на протяжении всего нашего столетия на всех землях, которые были вновь освоены для орошения. После сооружения Каракумского канала и строительства его машинной ветки, подающей воду в верхнюю часть дельты, этот процесс ускорился. Верхняя часть дельты Мургаба тоже попала в зону вторичного засоления. Процесс соленакопления шел здесь и раньше, только в скрытой форме из-за низких КЗИ и еще не достигших критической глубины грунтовых вод. Эта часть дельты очень мало привлекала к себе внимание мелиораторов и была слабо изучена. Восполняя в какой-то мере этот пробел, даем описание мелиоративных особенностей территории Иолотанской станции.

Иолотанская станция расположена в верхней части Мургабской дельты, где в силу общегидрогеологических условий общий отток грунтовых вод несколько лучше, чем на более низких землях дельты. Местные условия дренированности здесь также несколько благоприятнее, что определяется небольшой площадью участка, заключенного между глубоко (7 м) врезанным руслом Мургаба с юго-западной стороны и песчаной пустыней (IV терраса) с восточной стороны, которые принимают часть подземного стока с орошаемой полосы шириной, увеличивающейся с юга на север от 1 до 2,5 км. Данный участок рассечен глубоким руслом канала Султан-Яб, который также частично дренирует грунтовые воды в период их наиболее высокого стояния. Питание грун-

товых вод идет со стороны вышерасположенного Иолотанского водохранилища, канала Султан-Яб, распределительной и оросительной сети, проложенных в земляных руслах (рис. 20).

Иолотанская станция была организована известным мелиоратором В. С. Малыгиным в 1925 г. для разработки приемов агротехники, машинной обработки и испытания сортов хлопчатника. Здесь разрабатывались режимы орошения (Самаркин), проводились агрохимические исследования (Семергей). Затем профиль станции был изменен, и она стала селекционной, унаследовав режимы орошения, агротехнику, систему удобрения и опыты с севооборотами от предыдущего периода ее развития.

К сожалению, нам не удалось найти материалов, которые бы надежно характеризовали засоление до начала опытов. В отчетах почвы характеризовались как незасоленные. Исследования касались агрохимических, водно-физических свойств почв и их изменения под влиянием севооборотов. Первые наши наблюдения были произведены осенью в 1957 г. Повторное наблюдение относится к осени 1969 г., когда на участках под севооборотами по причине засоления почв часть опытов (первое повторение) была заброшена.

Количественный анализ засоления почв с 1957 по 1969 г. и варьирование засоления в пространстве произведены с использованием статистического метода.

Литология и почвы. Представление о литологии верхнего 50-метрового слоя участка можно получить из описания скважины, пробуренной гидрогеологами примерно в 300 м от Султан-Яба во время проведения наших исследований. Верхние четыре метра сложены слоистыми песчано-суглинисто-глинистыми отложениями. Слой от 4 до 12 м представлен светлым желтоватым крупнозернистым песком с илисто-карбонатным цементом. Во влажном состоянии масса легко растекается, но при высыхании становится твердой, сцементированной. На глубине 12—28 м залегает желтоватый песок с включением известково-глинистых агрегатов. При высыхании песок затвердевает. Слой на глубине 28—35 м рыхлый, красный, песчаный. При высыхании становится сыпучим. На расстоянии 35—45 м от поверхности почвы глина белая, легкая, микропористая. Уровень грунтовых вод залегает на глубине 2 м. Воды очень слабо солоно-

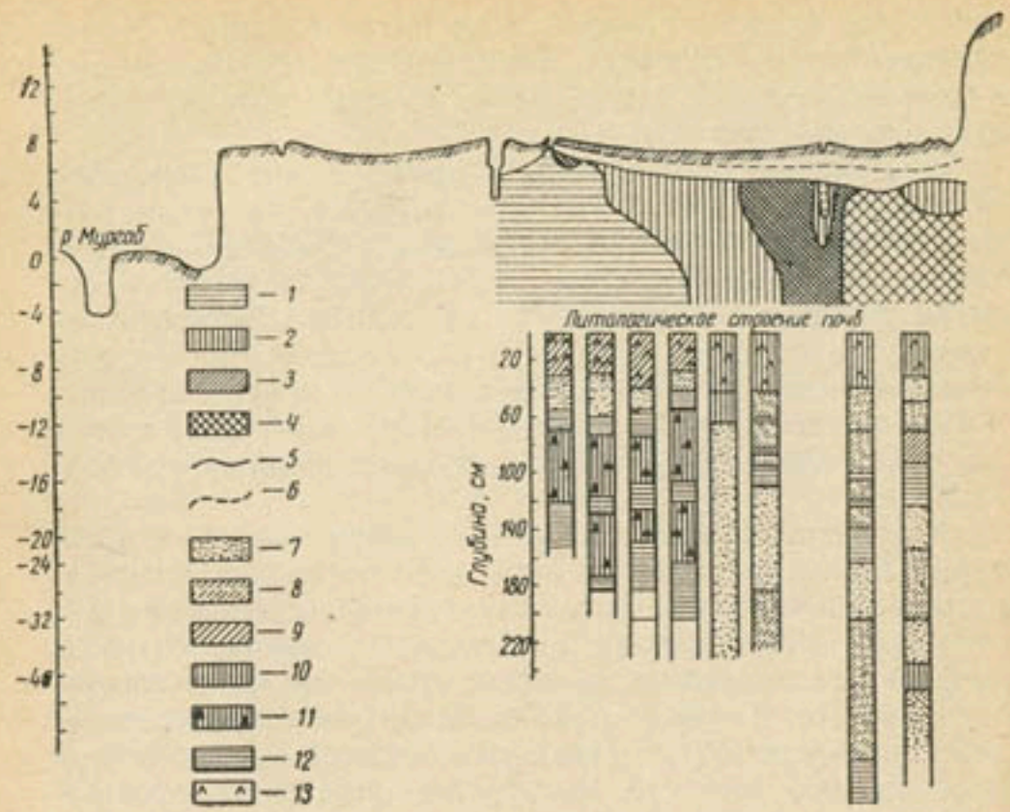


Рис. 20. Почвенно-гидрохимический профиль в верхней части Мургабской дельты:

Грунтовые воды: *1* — активное водозамещение (более 3 г/л); *2* — замедленное водозамещение (3—9 г/л); *3* — застойные, ирригационной фации (9—16 г/л); *4* — доирригационные (более 20 г/л); *5* — уровень (осень 1969 г.); *6* — то же, весна. Литологическое строение почв: *7* — песчаные аллювиальные; *8* — супесчаные аллювиальные; *9* — легкосуглинистые окультуренные, реже аллювиальные, отложения; *10* — то же, суглинистые; *11* — древние агроирригационные суглинистые и тяжелосуглинистые; *12* — глинистые, слоистые; *13* — окультуренные слои.

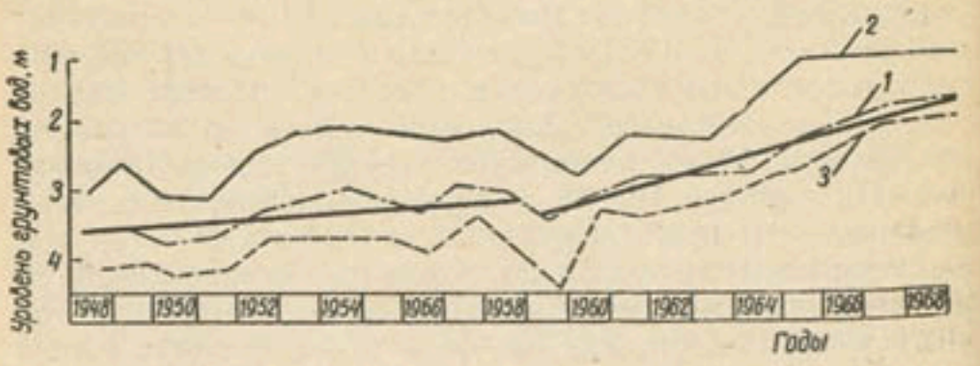


Рис. 21. Многолетняя динамика уровня грунтовых вод:
1 — среднегодовая; *2* — весна (май); *3* — осень (октябрь).

ватые. По схеме Н. В. Роговской (1964), в верхней части дельты, начиная с 25—60 м, под слоем песчано-супесчаных отложений залегают глинистые отложения, покрывающие неогеновые песчаники. Палеогеновые водоупорные глины залегают с глубины 880 м.

Верхний покров мощностью в 4 м состоит из слоистых аллювиально-ирригационных отложений. Ирригационные отложения обнаружены вдоль канала Султан-Яб по правому берегу в полосе шириной до 800 м. Далее к границе оазиса и пустыни культурного воздействия орошаемого земледелия в погребенных почвах не обнаружено, хотя следы человеческого пребывания кое-где остались в виде линз золы с включением черепков и костей. На глубине 120—140 см в толще аллювиальных почв почти повсеместно прослеживаются следы пожара.

Агроирригационные отложения прерывисты. Видны 2 разобщенных слоя разного возраста орошения, границы которых обычно не выходят за пределы 60—200 см от современной поверхности почв. Древние агроирригационные отложения залегают на супесчано-глинистых почвах доирригационного времени. Глинистые почвы часто имеют слоеватую корку, аналогичную такыровой, вертикально трещиноваты. Трещины заполнены песком. Это показывает, что на данной территории до начала орошения почвы были иссушены и опустынены, а местами занесены эоловыми отложениями, под которыми и законсервировалась такыровая корка. Поскольку эта территория не могла орошаться при естественном затоплении, то орошению ее искусственным путем должно было предшествовать сооружение водозаборного устройства выше по долине.

Мощность самого нижнего горизонта агроирригационных отложений небольшая — 20—50 см. Его образование, по-видимому, относится к доарабскому периоду. Эти отложения имеют однородный глинистый состав, включают множество древесных угольков и редко — обломки керамики, очень хорошо микроагрегированы и прокрашены органическим веществом, что предполагает высокую интенсивность обработки при бассейновой системе орошения.

Над нижним слоем агроирригационных отложений почти во всех разрезах был обнаружен слоистый глинистый наилок мощностью в 15—30 см. Слоистость это-

го наилка почти нигде не нарушена (табл. 49), что указывает на длительный перерыв в орошении данного участка и затопление его озерными водами. Причины длительного затопления бассейна пока неясны, возможно были какие-то нарушения в водоподводящей или отводящей сети. В редких случаях над глинистым слоем залегает супесчаный или легкосуглинистый слой в 10—25 см, тоже слоистый, аллювиальный.

Над глинистым наилком с наносами более легкого аллювия образован новый горизонт агроирригационных отложений мощностью в 25—60 см, преимущественно тяжелосуглинистого состава. Эти отложения тоже хорошо агрегированы, пористые, включают угольки и очень редко обломки керамики. Горизонт может быть отнесен к раннесредневековому времени. Способ орошения оставался бассейновым, но на поля попадало больше крупных частиц благодаря улучшению пропускной способности ирригационных каналов.

Выше верхней границы древних агроирригационных отложений образовался глинистый слой мощностью 10—40 см с ненарушенным сложением и отпечатками болотной растительности. Следовательно, земли снова были длительно затоплены и земледелие прервалось на долгое время; накопились глинистые наносы, образовались болотные почвы, которые затем обсохли, глинистый слой растрескался, но такыровые корки образоваться не успели. Поверхность была занесена супесью и песком, который заполнил трещины глинистого иссохшегося слоя. Местами накопились суглинистые наносы. Мощность покровных слоистых отложений 40—80 см. Эти отложения, по-видимому, аллювиального происхождения, местами были перевеяны и послужили материнской породой, на которой стали формироваться современные орошаемые почвы. В результате удобрения, приноса с оросительными водами ила, дезагрегации частиц с известковым и глинистым цементом, пахотный слой почвы обогатился тонкими частицами.

Закономерного утяжеления верхнего слоя орошаемых почв от канала к границе оазиса не наблюдается, доминирует исходная пестрота в распределении аллювиальных наносов, осложненная перевеванием. Преобладают легкие и средние суглинки.

Грунтовые воды. Грунтовые воды до восстановления Султан-Ябской системы и сооружения Иоло-

Таблица 49

Механический состав оазисно-луговой почвы (Иолотанская станция, разрез 530)

Слой почвы	Глубина взятия образца, см	Содержание фракций, % (размер частиц, мм)						
		1—0,25	0,25—0,10	0,10—0,05	0,05—0,01	0,01—0,005	0,005—0,001	<0,001
Окультуренный	Гребень	0,3	4,4	28,0	45,1	5,8	5,9	10,5	4,7	22,2
	13—0	0,4	3,8	28,8	45,1	4,9	6,6	10,4	4,2	21,9
	0—15	0,3	3,8	25,0	48,4	5,2	7,2	10,1	4,1	22,5
Аллювиально-слоистый	33—48	0,2	1,3	12,3	67,0	6,5	5,5	7,2	1,5	19,2
	48—80	0,1	0,5	2,1	19,3	15,6	30,6	31,8	0,6	78,0
Агроирригационный	80—110	0,0	1,1	9,5	33,9	11,8	22,8	20,9	1,1	55,5
Аллювиально - слоистый	110—136	0,1	1,2	13,9	62,7	6,4	6,5	9,3	1,3	22,2
	136—150	0,0	0,7	2,5	15,9	16,0	31,9	33,1	0,7	81,0
Агроирригационный слой	150—180	0,0	1,4	7,4	23,0	12,1	26,1	30,0	1,4	68,2
	180—200	0,0	0,9	11,4	26,9	12,2	22,6	26,0	0,9	60,8

танского водохранилища (1897—1910 гг.) залегали глубоко, по-видимому, значительно глубже 10 м. С началом действия канала и заполнением водохранилища (высокий уровень зеркала в котором лишь на 0,6—1 м ниже поверхности почв на данном участке) воды стали подниматься. Данные систематических наблюдений за уровнем грунтовых вод имеются начиная с 1948 г. (рис. 21). С 1948 до 1960 г. среднегодовой уровень грунтовых вод, периодически колеблясь, поднимался в среднем по 4 см в год, а в следующее десятилетие — в среднем по 20 см в год. Причиной ускорения подъема послужило расширение орошаемых площадей после строительства Сары-Язинского водохранилища и Каракумского канала.

Поливной режим на данном участке был рассчитан по дефициту.

До 1952 г., пока грунтовые воды залегали глубже 3—3,5 м от дневной поверхности, они не подпитывали корнеобитаемую зону почв и очень мало расходовались на испарение. Начиная с 1953 г. уровень грунтовых вод весной и в первой половине вегетационного периода поднимается выше 3 м, расход грунтовых вод на испарение увеличился, что находит выражение и в увеличившейся амплитуде сезонного колебания — в среднем 1,6 м против 1,26 м за предыдущее пятилетие. 1950 и 1958—1959 гг. были сухими и маловодными, особенно катастрофически сухим для орошаемого земледелия был 1959 г. Уровень грунтовых вод упал на 2 м — с 2,5 до 4,4 м в основном из-за оттока, который не компенсировался притоком, как в предыдущие годы. В последующие годы уровень грунтовых вод быстро поднялся. С 1964 г. на протяжении всего года уровень стал выше 3 м, а с 1967 г. — выше 2 м. Расход грунтовых вод на испарение становится заметным. По лизиметрическим данным при глубине залегания грунтовых вод в интервале 1—2 м в вегетацию хлопчатником расходуется 120—400 мм, а люцерной — до 1500 мм. Все это отражается на солевом балансе орошаемых почв.

В 1969 г. состав грунтовых вод проанализирован детально для профиля от Султан-Яба до границы оазиса (табл. 50). Проба воды, взятая на расстоянии 50 м от распределителя на солончаковом перелоге, вскрыла линзу застойной верховодки с минерализацией 11 г/л. Далее от канала минерализация грунтовых вод в общем филь-

Таблица 50

Состав грунтовых вод на территории Илолотанской станции

№ разреза, повторение опытов с севооборотами	Глубина взятия образца, см	Статистические показатели		Плотный остаток, г/л	Щелочность		Спектральный		Крайние значения показателя, г/л
					CO_3	общая в HCO_3	Na	K	
			мг-экв/л						
		Cl	SO_4	NO_3	Ca	Mg			
506, I-е повторение	145	$\bar{X}$	53,8	84,6	0,07	2,9	11,5	152,0	1,0	
505, » »	150		23,0	22,0	0,04	5,9	12,2	35,0	1,0	
504, » »	180		17,9	21,4	0,01	6,1	9,0	38,6	0,6	
II-е повторение, в среднем из 13	185	$\bar{X}$	39,6	43,0	0,08	17,3	28,7	47,8	1,4	3—8
		S	16,5	14,5	—	1,46	8,0	14,1		
III-е повторение, в среднем из 9	194	$\bar{X}$	32,7	49,1	0,15	14,6	23,3	53,1	0,7	3—8
		S	9,1	16,9		2,1	5,8	20,0		
2	278		262,7	130,0	0,96	34,6	96,5	260,9	2,2	16—32
517	320		419,9	128,3	1,9	47,8	157,7	326,0	2,3	
519	236		106,0	131,8	0,02	21,5	35,4	195,8	2,1	
516	300		12,6	15,4	0,41	9,1	11,5	17,4	0,20	
122 (1957 г.)			3,4	18,3	Не определяли	3,2	5,6	26,1	Не определяли	

№ разреза, повторение опытов с севооборотами	Плотный остаток, г/л	Щелочность	
		CO_3	общая в HCO_3
506, I-е повторение	11,2	5,2	28,6
505, » »	3,5	Нет	9,0
504, » »	3,1	0,80	10,2
II-е повторение, в среднем из 13	6,1	Нет	13,7
	1,7		1,8
III-е повторение, в среднем из 9	6,1	»	11,6
	1,4		1,8
2	23,8	»	14,9
517	32,0	»	10,2
519	15,6	»	19,6
516	2,5	»	9,5
122 (1957 г.)	2,1	»	7,0

Примечание. $\bar{X}$ — среднеарифметическое; S — среднеквадратическое отклонение.

трационном токе равна 3,5—5 г/л. Воды здесь имеют повышенную щелочность (имеется даже сода). В более удаленной от канала части, где обмен уже несколько замедлен, средняя минерализация вод увеличивается до 6 г/л несмотря на то, что здесь еще продолжается орошение, меньше расходуется грунтовых вод на испарение и происходит какое-то разбавление во время поливов.

Отмечается большая пестрота минерализации — от 3 до 8 г/л, в зависимости от микрорельефа и фильтрационных свойств почв. Эта полоса на расстоянии 150—600 м от канала и соответствует зоне влияния грунтовых вод замедленного водозамещения.

В полосе 600—1300 м от канала обнаруживаются воды с более высокой минерализацией — 16—32 г/л, хотя уровень их более низкий. Это застойные воды мест локального испарения. По границе оазиса проходит второй распределитель, по обе его стороны обнаруживаются слабо минерализованные воды — 2—2,5 г/л. По границе пустыни и орошаемого массива в 1969 г. было много озер с пресной, накопившейся в паводок, водой.

Гидрохимическую структуру по данному профилю можно представить следующим образом (см. рис. 20). Вдоль канала на расстоянии 100—150 м распространены воды активного водозамещения с минерализацией меньше 3 г/л, за исключением небольших линзочек более минерализованных верховодок вне сферы влияния потока активного водозамещения. Мощность этого потока до 50 м, по данным бурения скважины, на расстоянии 100 м от канала. За пределами 100 м от канала — влияние фазы вод замедленного водозамещения с минерализацией в интервале 3—9 г/л, которая распространяется на полосу 100—600 м. Большую мощность слоя вод замедленного водозамещения подтвердили результаты глубокого бурения скважины. Фаза застойных ирригационных и высокоминерализованных доирригационных вод проанализирована только по верхнему слою, так как глубоких скважин в зоне их распространения нет. Появление таких вод связано с влиянием напора со стороны ирригационных каналов и водохранилища. Их наличие показывает на затруднение горизонтального движения вод. Так же, как и в других частях Мургабского оазиса, в верхней части дельты господствует вертикальный обмен при очень малых скоростях горизонтального

движения (после сооружения водохранилища прошло 60 лет).

Обращает внимание наличие соды и низкое содержание кальция и магния в водах вдоль канала. В полосе замедленного водообмена состав ионов и их соотношение SO_4'' и Cl', Na^+ и Mg^{++} очень близки к среднему составу мургабских вод. Их состав полностью совпадает с водами аналогичной минерализации расчетного ряда упаривания, что показывает на отсутствие в этой фазе дифференциации солей, то есть это воды первичного цикла испарения фильтрационных оросительных вод.

Высокая хлоридность доирригационных вод показывает на значительные различия с рядом упаривания.

Изменение засоления почв с подъемом уровня грунтовых вод. В 1957 г. почвы в опытах с севооборотами были слабозасоленными в пахотном слое. Наблюдалось небольшое увеличение количества солей в подпахотном слое на глубине 30—60 см и более значительное засоление в нижней части почвенного профиля. При уровне грунтовых вод на глубине 290 см концентрация солей в почвенном растворе сильно уменьшалась (табл. 51).

Поливной режим был непромывным. Средняя часть профиля подпитывалась растворами и обогащалась частично солями при испарении с капиллярной каймы грунтовых вод в период их наиболее высокого стояния.

По концентрации солей в почвенных растворах слоя 0—60 см почва относится к незасоленной или очень слабозасоленной. Но по запасам солей в 2-метровом слое и по концентрации солей в растворах средней части почвенного профиля почва средне засолена. Запасы солей в 2-метровом слое достигли критических размеров, но концентрировались глубже 60—80 см благодаря глубокому залеганию уровня грунтовых вод (3 м) в сочетании с исключительно благоприятным литологическим строением профиля. Сверху, до 60—80 см, залегает легкий хорошо проницаемый слой супеси и легкого суглинка, а глубже — тяжелый слой из глинистого наилка с вертикальной трещиноватостью, сменяющийся агроирригационными отложениями. В таких почвах после полива гравитационные токи сверху легко стекают и вымывают соли на всю глубину промачивания. Возможности возвратного движения растворов снизу вверх ограничены из-за малой скорости капиллярной водопро-

Таблица 51

Данные анализа водных вытяжек из образцов почв (Илотанской станции, 1957 г., разрез 128), мг-экв. на 100 г почвы

Глубина взятия образца, см	Отношение плотного остатка к сумме токсичных солей, %	Щелочность		Cl'	SO_4''	Ca^{++}	Mg^{++}	Na^{+}	K^{+}
		CO_3''	общая в HCO_3'						
Водная вытяжка									
0—10	0,122	Нет	0,56	0,28	0,48	0,50	0,25	0,57	0,13
	0,098								
10—20	0,102	»	0,67	0,20	0,42	0,50	0,16	0,35	0,13
	0,093								
20—30	0,100	»	0,67	0,23	0,42	0,45	0,16	0,53	0,20
	0,098								
40—50	0,149	»	0,67	0,39	1,02	0,40	0,16	1,26	0,15
	0,140								
75—85	0,175	»	0,75	0,51	1,21	0,45	0,25	1,48	0,12
	0,150								
120—210	0,280	»	0,80	1,01	2,37	0,30	0,40	3,28	0,09
210—270	0,290	»	0,80	1,21	2,31	0,35	0,42	3,28	0,06
270—310	0,200	0,03	0,92	0,59	1,37	0,25	0,41	2,17	0,03
Расчетный почвенный раствор									
	г на 1 л			мг-экв. на 1 л при НВ					
0—10	3,5	—	5,3	15,4	26,4	2,0	13,8	31,3	7,2
10—20	3,4	—	11,0	11,0	23,0	2,0	8,8	19,2	7,2
20—30	3,5	—	14,3	12,6	23,1	2,0	8,8	29,2	11,0
40—50	7,0	—	18,6	23,4	61,2	2,0	9,6	75,7	9,0
75—85	6,6	—	16,1	24,2	57,5	2,0	11,9	70,2	8,5
120—210	12,3	—	25,0	50,5	118,5	2,0	20,0	164,4	4,8
210—270	12,5	—	24,0	60,5	116,5	2,0	21,0	164,4	3,0
270—310	7,7	—	26,0	21,8	50,6	2,0	15,4	81,5	1,1

водимости глинистых слоев и прерывистости капиллярных токов по границе раздела тонкопористых глинистых слоев с крупнопористыми супесчаными.

При опреснении верхних 60 см почвы состояние посевов в 1957 г. было вполне удовлетворительным, средний урожай хлопка-сырца был около 30—31 ц/га.

Несмотря на большой запас солей, который накапливался постепенно в нижней части почвенного слоя, критическое состояние стало очевидным только с подъемом уровня грунтовых вод, когда капиллярная кайма достигла корнеобитаемого, а затем пахотного слоя почвы. Из-за подпора грунтовых вод опреснительная способность обычных поливов сильно уменьшилась.

Изменение степени засоления почв с 1957 к 1969 г. представлено в таблице 52.

Таблица 52

Изменение содержания легкорастворимых солей в почвах севооборота

Глубина взятия образца, см	1957 г.				1969 г.			
	количество разрезов	концентрация солей в почвенном растворе, г/л: средняя	концентрация солей в почвенном растворе, г/л: квадратическое отклонение	запасы легкорастворимых солей, т/га	количество разрезов	концентрация солей в почвенном растворе, г/л: средняя	концентрация солей в почвенном растворе, г/л: квадратическое отклонение	запасы легкорастворимых солей, т/га
0—30	6	3,4	0,7	2,8	44	12,5	3,6	10,2
30—60	6	6,9	1,6	5,7	44	11,9	3,5	9,0
0—60	—	—	—	8,5	—	—	—	19,2
60—100	6	10,7	3,3	12,8	44	15,4	3,9	18,5
0—100	—	—	—	21,3	—	—	—	37,7
100—180	4	11,0	2,6	—	34	11,1	2,1	26,6
180—200	4	11,0	2,6	38,0	34	7,6	1,3	6,2
0—200	—	—	—	54,3	—	—	—	70,5

Прирост количества солей в 2-метровом слое за 12 лет равен 16,2 т/га, в метровом слое — 16,4, в слое 0—60 см — 10,7 т/га. Засоление 60-сантиметрового слоя достигло критического и равнялось в среднем 12,2 г/л, средний урожай хлопка-сырца при этом был равен 17,2 ц/га при хорошей агротехнике и полном комплексе удобрений, при котором на незасоленных почвах получают 40—45 ц/га.

За 12 лет засоление почв значительно увеличилось для верхнего метрового слоя, а во втором метровом слое осталось на прежнем уровне, на границе второго и третьего метровых слоев, где почвенные растворы разбавлены поднявшимися менее минерализованными грунтовыми водами, произошло уменьшение содержания солей.

Засоление почв с подъемом грунтовых вод раньше началось в приканальной полосе (первое повторение), где опыты были заброшены уже в 1961 г., и затем оно распространялось дальше на второе и третье повторения, ширина каждого из повторений 150 м. От засоления зависит и урожай хлопка-сырца (табл. 53) и подчиняется той же количественной зависимости, как это было установлено для Марыйской зональной опытной станции (Минашина, 1970).

Таблица 53

Засоление почв и урожай хлопка (1969 г.)

Повторение	Средний урожай, ц/га	Глубина слоя, см					
		0—30	30—60	0—60	80—100	100—180	180—200
		концентрация солей в почвенных растворах, г/л при НВ					
I	0	50,5	24,0	37,2	21,0	12,3	8,0
II	10,7	18,7	11,6	15,2	13,9	9,5	7,1
III	24,1	6,7	12,2	9,4	17,0	12,8	8,2
В среднем из I и II повторений	17,4	12,5	11,9	12,2	15,4	11,1	7,4

Если почвы с первого повторения относятся к классу сильно засоленных (солончаки), то второго повторения — к среднезасоленным; почвы третьего повторения в верхнем 60-сантиметровом слое слабозасоленные, расположенные глубже — среднезасоленные. Различия по запасам солей в 2-метровой толще между участками небольшие. Соли по-разному перераспределены по почвенному профилю. В первом повторении уровень грунтовых вод был на глубине 150 см, во втором — на глубине 185 см и в третьем — на глубине 195 см. Состояние хлопчатника и в третьем повторении тоже приближается к критическому. В третьем повторении имеются различия в соленакоплении и по полям севооборота, но для обоснованности результатов нет достаточного количества анализов. Замечено, что под люцерной второго и третьего года запасы солей в метровом слое оказались больше, чем под хлопчатником. Запасы солей под монокультурой хлопчатника также оказались несколько меньше, чем под хлопчатником в севообороте, возможно потому, что почвы под ним несколько плотнее, а скорость капиллярной подачи воды грунтовых вод меньше.

С подъемом уровня грунтовых вод увеличилась пестрота почв, которая отчетливо проявляется даже в пределах одной делянки (табл. 54).

Статистическая обработка данных засоления почв под гребнем и бороздой показали, что существенные различия (уровень существенности 0,05 и 0,01) получены только для верхней части почвенного профиля до глубины 35 см, если принимать за нулевую отметку поверхность дна борозды. Глубже, хотя и имеется небольшое превышение в содержании солей под гребнем, но статистическая достоверность различий невысокая.

Данный тип соленакопления и распределения в сочетании с грунтовыми водами замедленного водозамещения с минерализацией 3—9 г на 1 л характерен для большей части исследованного пространства в пределах полосы от 150 до 300 м от канала.

Далее, к границе оазиса, несмотря на некоторое снижение уровня грунтовых вод, минерализация их возрастает до 16 г на 1 л и выше. В составе солей (разрез 519) грунтовых вод, которые мы относим к фазе застойных ирригационных фаций, соотношение хлоридов и сульфатов не изменяется против эталона (ряд упаривания мургабских вод), но воды несколько обеднены магнием и соответственно обогащены натрием. Это обычное ирригационное засоление без дифференциации солей, что свидетельствует о небольшой давности соленакопления в этих почвах.

В полосе влияния более минерализованных доирригационных вод обнаруживается повышенно-хлоридный состав при высокой минерализации — 30—35 г на 1 л. Несмотря на глубокий уровень грунтовых вод, 3,3 м (весной они, по-видимому, поднимаются до 2 м), почвы сильно засолены. По составу воды они значительно отличаются от эталона очень высокой хлоридностью. Из анализа солей по профилю почвы видно (табл. 55), что почвенные растворы тоже сильно обогащены хлоридами. Несколько менее засолен пахотный слой, но и

Таблица 54

Результаты статистической обработки данных по концентрации солей и ионов в почвенных растворах $n=9$

Глубина взятия образца, см	Статистический показатель	Токсичные соли, г/л		Cl'		SO_4''		Mg^{++}		Na^{+}		K^{+}	
				мг-экв. на 1 л почвенного раствора при НВ									
		гребень	борозда	гребень	борозда	гребень	борозда	гребень	борозда	гребень	борозда	гребень	борозда
13—0	$\bar{X}$	49,0		419		348,0		222		551		26,7	
	S	17,4		227		77,8		93,4		268			
	$S_{\bar{x}}$	5,8		72		24,6		29,6		84,9			
	V	36		54		22		42		49			
0—15	$\bar{X}$	16,4	12,2	112	99	152	103	66,2	49	198	133	12,1	11,7
	S	3,5	4,4	36,3	44,5	41,1	25,2	36,6	18,8	46,2	42,8		
	$S_{\bar{x}}$	1,1	1,5	11,5	14,9	13,0	8,4	11,6	6,3	14,6	14,3		
	V	21	36	32	45	27	24	55	38	23	32		
15—35	$\bar{X}$	17,0	12,2	128	87,5	165	120,0	63,6	47,3	193	140	12,2	10,5
	S	3,9	4,0	32,0	35,3	33,0	26,5	44,1	15,1	51,3	48,7		
	$S_{\bar{x}}$	1,2	1,3	10,1	11,8	10,5	12,2	14,0	5,0	16,2	16,2		
	V	23	33	25	40	20	30	63	32	127	35		
35—62	$\bar{X}$	10,6	10,7	77	71	94	97	41	42,2	140	120	7,9	8,0
	S	2,7	4,0	21,9	28,1	24,1	28,6	31,8	26,2	37,0	38,8		
	$S_{\bar{x}}$	0,8	1,3	6,9	9,4	7,6	9,5	10,1	8,7	11,7	12,9		
	V	25	38	28	39	26	32	77	62	26	32		

Продолжение

Глубина взятия образца, см	Статистический показатель	Токсичные соли, г/л		Cl'		SO_4''		Mg^{++}		Na^{+}		K^{+}	
				мг/экв на 1 га почвенного раствора при ОВ									
		гребень	борозда	гребень	борозда	гребень	борозда	гребень	борозда	гребень	борозда	гребень	борозда
62—97	$\bar{X}$	13,7	12,6	79	77	149	136	59,9	47,8	151	141	9,2	8,4
	S	4,60	3,6	29,8	26,4	51,2	40,1	29,6	19,5	50,9	41,8		
	$S_{\bar{x}}$	1,5	1,2	9,4	8,8	16,2	13,4	9,4	6,5	16,1	14,0		
	V	34	29	38	34	34	29	49	41	34	30		
97—127	$\bar{X}$	11,5	10,1	72	63	99	86	43,2	28,2	135	115	3,5	7,8
	S	3,6	1,9	35,4	21,9	31,8	20,8	28,4	5,1	48,1	33,2		
	$S_{\bar{x}}$	1,1	0,6	11,2	7,3	10,1	6,9	9,0	1,7	15,2	11,1		
	V	31	19	49	35	32	24	66	18	36	29		
127—170	$\bar{X}$	6,9	6,1	50,0	43,6	57	47	29,7	20	81	71	5,9	5,0
	S	2,0	1,9	27,2	16,2	13,1	9,2	20,5	3,2	31,0	32,8		
	$S_{\bar{x}}$	0,6	0,6	8,6	5,4	4,1	3,1	6,5	1,1	9,8	11,1		
	V	30	31	55	37	23	20	69	16	38	46		

Примечание. $\bar{X}$ — среднеарифметическая; S — среднеквадратическое отклонение; $S_{\bar{x}}$ — ошибки средней; V — коэффициент варьирования.

здесь содержание хлоридов почти вдвое превышает количество сульфатов. Эти растворы выжимаются из глубины. Глубинные соленые воды местами по межканальным понижениям интрузируются в слои грунтово-ирригационных вод, там, где поступление фильтрационных вод с поверхности незначительное или отсутствует (неорошаемые участки, наличие с поверхности глинистых мало проницаемых экранов).

Вышеизложенный материал показывает, что бывшее ранее представление о верхней части дельты как о мелиоративно благополучном районе не соответствует действительности. Это благополучие было кажущимся и обеспечивалось низким коэффициентом земельного использования и рассеиванием поступающих солей на значительно большем пространстве, чем территория орошения (примерно в четыре раза). На левом берегу орошалось около 10% площади, на правом — 20—30%. После строительства Каракумского канала водопотребление в верхней и средней частях дельты значительно возросло.

Таблица 55

Состав почвенного раствора в очень сильно засоленной оазисной почве (Иолотанская станция, разрез 517), мг-экв. на 1 л

Глубина взятия образца, см	Сумма солей, г/л		Щелочность							Спектральный	
	общая	токсичных	CO_3	общая в HCO_3	Cl'	SO_4''	NO_3'	Ca''	Mg''	Na'	K'
0—20	21,3	17,9	Нет	6	210	119	32	48	54	232	16
20—40	43,7	41,1	»	6	358	281	48	37	66	533	14
40—70	57,1	54,4	»	6	402	379	81	37	97	735	14
70—100	38,9	36,3	»	6	317	260	42	36	58	466	5
100—130	58,4	55,8	»	6	510	355	71	37	104	715	5
130—145	58,4	55,7	»	6	574	301	77	37	124	705	5
145—160	50,2	48,2	»	6	376	375	46	37	105	620	6
160—200	43,3	39,2	»	6	420	219	42	36	101	515	5
200—250	53,0	49,0	»	6	504	257	32	60	140	520	6
250—300	55,3	54,4	»	6	705	277	42	76	171	692	8
300—330	38,8	36,3	»	6	400	199	24	36	113	482	5
Грунтовые воды	32,1	28	»	10	420	128	2,0	48	158	326	2

Примечание. Посев люцерны, растения погибли.

Территория Иолотанской станции расположена в самой верхней части дельты, возможности увеличения КЗИ небольшие, хотя и здесь были распланированы и орошены ранее неудобные и песчаные почвы.

По оросительной сети, которая проходит по территории станции, стали пропускать больше воды, построили дополнительные распределители, снабжающие водой нижерасположенные земли, что способствовало увеличению фильтрационного питания и подъему уровня грунтовых вод, так как приход вод оказался больше их расхода. Уровень грунтовых вод на части территории достиг критической глубины и превысил ее.

Поливной режим станции жесткий, рассчитан по дефициту влаги. Такой поливной режим для экстрааридных условий засоления, как показывает пример Иолотанской станции, опасен. В данном случае при содержании в мургабской воде 0,17 г на 1 л легкорастворимых солей, при среднегодовой норме орошения в 9 тыс. м³/га в хлопково-люцерновом севообороте в почву поступает в год 15,3 ц/га солей. Эти соли оставались в пределах почвенного профиля. Пока грунтовые воды были глубоко, соли накапливались на глубине 1—2 м, корнеобитаемый слой промывался поливами. Но запасы солей из года в год росли. Уже в 1957 г. по запасам солей в 3-метровом слое почвы относились к категории среднезасоленных.

С подъемом грунтовых вод были мобилизованы все ранее накопленные запасы, к тому же и сами грунтовые воды стали дополнительным источником солей, а опреснительная возможность обычных поливов уменьшилась в связи с затруднением стока почвенных растворов из-за подпора капиллярными и грунтовыми водами. В результате произошла обычная в таких случаях картина, как бы неожиданно катастрофического засоления, угнетение растений, падение урожаев, вплоть до полной непригодности участков к дальнейшей эксплуатации. Для восстановления удовлетворительного режима солей требуются коренные мелиорации, прежде всего обеспечение стока грунтовых вод. В настоящее время сооружается коллектор. Делают попытки сооружения вертикальных дрен. Дебит скважин оказывается небольшим. Как только будет обеспечен отвод с массива грунтовых вод, необходимо проведение на части земель капитальных промывок и внедрение необходимых здесь поливных

промывных режимов, к разработке которых здесь еще не приступили.

Куйбышевский массив. Куйбышевский массив расположен в верхней части дельты по левому берегу р. Мургаба. Здесь очень ярко выражен вторичный ирригационный рельеф. Широкие, иногда даже искусственно террасированные, приканальные повышения чередуются с межканальными понижениями и чашами. Верхняя в 1—1,5-метровая толща почв сложена ирригационными отложениями. Ярко представлена и ирригационная дифференциация наносов по механическому составу. Межканальные понижения и чаши заполнены биологически почти непереработанными глинами, очень плотными, слитыми, имеющими высокий объемный вес. Вдоль каналов тянется неширокая полоса песчаных отложений. В прошлом использование почв было более интенсивным, чем в период, предшествовавший строительству Каракумского канала. Время интенсивного орошения скорее всего относится к раннему средневековью, когда на Мургабе была высокая плотина, а русло реки было меньше врезано, чем в современный период. В литературе имеется упоминание о чигирном орошении (Джумаев, 1951).

В вертикальной толще ирригационных отложений следов перерывов в орошении не осталось, так как поверхность почв залегает высоко. При возобновлении орошения опустыненные слои окультуривались и перемешивались с новыми наносами.

Хотя до строительства Каракумского канала КЗИ был низкий — около 0,2, но большие потери воды из ирригационной сети и водохранилищ способствовали тому, что уровень грунтовых вод поднимался быстро, примерно по 40—50 см в год. С расширением орошаемых площадей скорость подъема уровня грунтовых вод ускорилась.

Вдоль канала и на средней части ирригационных склонов при глубоком уровне залегания грунтовых вод сформировались пустынно-оазисные орошаемые почвы. Нижние части склонов и межканальные понижения были заняты очень своеобразными слабоокультуренными пустынно-оазисными слитыми почвами. На неорошаемых поверхностях, вне командования оросительной сети, сформировались пустынно-оазисные отакыривающиеся почвы на заброшенных землях и оазисные почвы на рашах по бугристой поверхности вдоль старых каналов.

Полоса рашей здесь обычно не превышает 20 м в ширину. По периферии массива образовались такыровые опесчаненные и пустынно-песчаные почвы.

Пустынно-оазисные орошаемые почвы типичны, они были подробно описаны выше при рассмотрении вопросов классификации. Пустынно-оазисные слитые почвы, приуроченные к межканальным понижениям, обладают некоторым своеобразием. Они встречаются и на других массивах с низкими КЗИ, в частности в северной части юго-восточного массива. Судя по описаниям (Бутовский, 1934), они были также и в Иолотанском районе по правому берегу, теперь же они изменены здесь интенсивным орошением. Пустынно-оазисные слитые почвы были развиты и на Северо-Байрам-Алийском массиве на условно поливных землях. Это почвы экстенсивного орошения, тяжелого механического состава. По морфологии их можно было бы назвать солонцеватыми. Они слабогумусны, сильно уплотнены, особенно в средней части почвенного профиля, имеют исключительно тяжелый механический состав с высоким содержанием ила, особенно в средней и нижней части почвенного профиля. Высокая слитость наблюдается и над глинистыми слоями. Очевидно слой глины внизу создает условия, которые способствуют застаиванию воды, развитию процессов пептизации ила и переориентации глинистых частиц. Чередование процессов увлажнения и иссушения способствует плотной упаковке частиц и приводит к формированию слитых почв, о чем свидетельствует оптическая ориентация глинистого вещества, обусловливающая неблагоприятные водно-физические свойства почвы всего профиля. Пустынно-оазисные слитые почвы малогумусные, очень плохо фильтруют, трудно увлажняемые. Воды застаиваются на поверхности, почвы трудны в обработке и редко используются под посевы зерновых.

Площади пустынно-оазисных слитых почв не уточнены, и они слабо изучены.

С началом регулярного орошения и повышением гидроморфности слитые почвы изменяются, превращаются в болотно-оазисные, а со временем засоляются и теряют признаки слитости, так как под влиянием солей глинистые частицы образуют микроагрегатную структуру, которая не обладает водопрочностью. При промывках почвы снова уплотняются.

Пока уровень грунтовых вод на землях Куйбышевского массива залегал глубоко, проблема засоления не волновала земледельцев. Даже у исследователей создавалась иллюзия слабого проявления процессов засоления на этой территории и отсутствия признаков наличия больших запасов солей в почвогрунтах. Действительно, абсолютное содержание солей даже в глубоких горизонтах почвы было небольшим, а верхние 1—2 м были обычно рассолены (табл. 56). Орошаемые почвы глубоко промыты, но почвы неорошаемых участков в отдельных горизонтах содержат до 1% токсичных солей, что при заполнении грунта водой даст минерализацию раствора около 40 г на 1 л. Если учесть, что при увлажнении сухого грунта происходит перераспределение солей и обогащение фронтальной зоны движущихся почвенных растворов, то можно ожидать, что с подъемом уровня грунтовых вод могут проявиться резко выраженные очаги вторичного засоления. Меры по регулированию водно-солевого режима почв при расширении орошаемых площадей здесь также совершенно необходимы, хотя дренажная сеть может быть несколько разреженной по сравнению с более низкими землями Мургабской дельты.

Средняя часть оазиса. *Южно-Байрам-Алийский массив.* До начала действия Каракумского канала эта часть дельты орошалась в основном из системы Советского канала и в небольшой части из Султан-Ябской системы. Орошение здесь имеет очень сложную историю развития. Начало его, очевидно, восходит к раннему средневековью, а в западной части — к еще более раннему периоду. Здесь обнаруживают следы бассейновой системы орошения. О большой его давности свидетельствует мощная, более 2 м, толща ирригационных отложений. Наибольшее развитие орошаемое земледелие получило, вероятно, в позднем средневековье, когда земли соседней северной части Байрам-Алийского массива древнего орошения пришли в запустение. На Южно-Байрам-Алийском массиве располагались все водорегулирующие узлы. Местами здесь существовало чигирное орошение. В XV—XVIII вв. плотина на Мургабе, без которой невозможно орошение данного массива, несколько раз во время войн разрушалась и восстанавливалась вновь. До присоединения Туркмении к России территория на протяжении более сотни лет была подвер-

Таблица 56

Данные анализа водных вытяжек из образцов пустынно-оазисной отакыривающейся почвы (разрез 6)

Глубина взятия образца, см	Общая сумма солей, %	Токсичные соли, %	Мг-экв. на 100 г сухой почвы							Сумма токсичных солей в почвенном растворе, г/л
			щелочность общая в HCO_3	Cl	SO_4	Ca	Mg	Na	K	
0—6	0,082	0,045	0,80	Нет	0,15	0,45	0,16	0,30	0,20	2,3
6—16	0,082	0,048	0,72	0,11	0,29	0,50	0,25	0,35	0,15	2,4
16—27	0,116	0,075	0,72	0,28	0,56	0,50	0,41	0,52	0,13	3,7
40—50	0,115	0,078	0,61	0,34	0,54	0,45	0,33	0,87	0,13	3,9
76—85	0,145	0,104	0,61	0,51	0,92	0,50	0,49	1,00	0,15	5,2
98—108	0,135	0,103	0,61	0,56	0,71	0,40	0,49	1,00	0,13	5,2
144—154	0,101	0,076	0,61	0,31	0,44	0,30	0,33	0,83	0,05	3,8
163—173	0,118	0,090	0,67	0,45	0,48	0,35	0,41	1,00	0,05	4,5
173—196	1,119	0,907	0,39	6,20	10,87	2,80	5,26	9,4	0,15	45,2
196—215	0,105	0,081	0,75	0,20	0,42	0,30	0,25	0,74	0,15	4,1
232—245	0,136	0,112	0,52	0,17	0,40	0,30	0,16	0,70	0,03	5,1
253—274	0,112	0,094	0,72	0,23	0,60	0,35	0,33	0,78	0,03	4,7
296—310	0,163	0,122	0,84	0,39	1,06	0,50	0,58	1,22	0,05	6,1
332—343	0,194	0,153	0,80	0,34	1,56	0,50	0,58	1,65	0,05	7,7
375—384	0,259	0,194	0,75	0,54	2,44	0,65	0,66	2,31	0,05	9,7
391—412	0,407	0,324	0,75	0,90	4,54	1,10	0,99	3,26	0,05	16,2
417—438	0,300	0,259	0,75	0,82	2,71	0,50	0,49	3,39	0,03	12,9
451—471	0,299	0,271	0,75	0,82	2,69	0,35	0,33	3,61	0,03	13,6
488—506	0,714	0,611	0,64	2,08	7,81	1,40	1,48	7,48	0,10	30,5
521—533	0,223	0,191	0,80	0,56	1,85	0,40	0,33	2,26	0,03	9,5
576—593	0,244	0,216	0,80	0,62	2,15	0,35	0,33	2,52	0,03	10,3
629—644	1,030	0,863	0,44	2,76	11,92	2,30	1,97	10,09	0,10	43,1
656—672	0,759	0,666	0,56	2,73	8,06	1,40	1,32	8,44	0,08	33,3
672—694	0,883	0,764	0,44	3,21	9,44	1,65	1,64	10,09	0,10	38,2
694—713	0,923	0,813	0,56	3,41	9,85	1,50	1,48	10,57	0,10	40,6
713—725	0,243	0,215	0,75	0,70	2,00	0,35	0,25	2,83	0,03	10,7

жена опустыниванию после разрушения плотины Шах-Мурадом, и только в конце прошлого столетия эти земли вошли в состав Мургабского имения и стали вновь осваиваться.

На территории массива хорошо выражен ирригационный рельеф, в ряде мест осложненный многочисленными перестройками сети. Перестройка больше всего коснулась мелкой и средней части, так как крупные магистральные каналы всегда прокладывались по самым высоким местам. В толще ирригационных отложений на-

блюдаются следы сложной истории их формирования в виде горизонтов, обязанных своим происхождением переустройству сети и перерывам в орошении.

Все это привело к пестроте ирригационных отложений, которая особенно усиливалась в связи с укрупнением поливных карт и уничтожением мелких арыков, но общие закономерности в изменении механического состава ирригационных отложений здесь выражаются очень четко. В вертикальной толще почти всюду на небольшой глубине обнаруживаются супесчаные и суглинистые прослойки, образовавшиеся во время перерывов в орошении. Нижняя часть ирригационных отложений, относящаяся к древнему периоду орошения, характеризуется более тяжелым составом и бóльшей однородностью, чем современные окультуренные слои.

В начале нашего столетия под влиянием нового орошения опустыненные почвы очень быстро изменялись. Прежде всего с расширением орошаемых площадей и посевов хлопчатника происходило быстрое насыщение водой зоны аэрации, и уже через 10—15 лет обозначились очаги вторичного засоления и переувлажнения. Уровень грунтовых вод достиг критической глубины, часть земель, на которых возделывался хлопчатник, выпала из оборота.

В дальнейшем регулирование водно-солевого режима осуществлялось главным образом путем рассредоточения орошаемых земель и действия «сухого дренажа». Скорость подъема уровня грунтовых вод замедлилась, но засоление почв продолжалось. Усилилась дифференциация почв по степени засоления и гидроморфизма. Содержание гумуса в верхнем слое почв повысилось с 0,3—0,6 до 1—1,5%, а мощность пахотного слоя с переходом на тракторную тягу увеличилась с 10—12 до 25—35 см.

Постепенно восстанавливался и почвенный покров, характерный для массива древнего орошения с неудовлетворительным естественным дренажем. Формировались древнеоазисные орошаемые, лугово-древнеоазисные орошаемые, переувлажненные древнеоазисные орошаемые почвы. На землях, выпавших из орошения, образовались лугово-оазисные солончаки, оазисно-луговые и лугово-болотные солончаки, пустынно-оазисные и солончаковые почвы на рашах и культурных отложениях, болотные почвы в понижениях, периодически затапливавшихся сбросными водами. Общие закономерности в распределении солей были описаны ранее в ряде статей автора с анализом засоления на отдельных участках (Минашина, 1963, 1964).

По данным ключевой съемки на 1961 г., незасоленные и слабозасоленные почвы занимали здесь только 25% от общей территории (табл. 57), остальные почвы были засолены в средней и сильной степени. Среднее содержание токсичных солей в верхнем метровом слое почв составляло 0,636%, соли были сосредоточены в основном в солончаках, которые образовались в понижениях (18,5% площади), на неорошаемых и неудобных для орошения землях (5,7%), а также на пятнах среди орошаемых полей (6,4% от общей площади ключа). До 70% всех запасов солей, накопленных в 25-метровой

Таблица 57

Соотношение площадей почв разной степени засоления

Степень засоления почв	% от общей площади	Токсичные соли* в слое почв, см					
		0—50	50—150	150—200	0—100	0—200	в грунтовых водах
Незасоленные и слабозасоленные	25,1	5,0	8,1	8,6	6,6	7,6	2,0
		0,10	0,162	0,172	0,132	0,152	
Среднезасоленные	19,3	12,0	17,7	12,5	15,0	15,1	5,7
		0,24	0,354	0,250	0,30	0,302	
Сильнозасоленные	25,0	20,7	20,2	11,5	20,1	18,2	
		0,414	0,404	0,230	0,402	0,364	
Солончаки низинные	18,5	123	41,9	29,9	84	60	24,2
		2,46	0,838	0,598	1,68	1,20	
Солончаки приканальных бугров и пятна среди орошаемых полей	12,1	102,7	26,6	14,2	64	43,5	2,12
		2,05	0,432	0,284	1,28	0,87	
В среднем по участку (средневзвешенная)	100	43,95	21,41	14,68	32,83	25,74	11,1
		0,88	0,428	0,293	0,636	0,514	

* В числителе в граммах на 1 л при НВ, в знаменателе в процентах на сухую почву.

толще, были сосредоточены в почвогрунтах понижений, которые занимают около 30% от общей площади. Эти запасы накопились за всю многовековую историю орошения и уже превысили критические величины, но до строительства Каракумского канала были локализованы на неорошаемых и солончаковых землях. Солевой режим орошаемых почв регулировался с помощью сухого дренажа. Как только КЗИ превысил величину 0,5, началось перераспределение солей в грунтовых водах и почвах, что привело к засолению и выпадению части орошаемых площадей из оборота.

В Мургабском оазисе наблюдается постоянная зависимость среднего уровня грунтовых вод от КЗИ. Произведение величин КЗИ и глубины залегания среднего уровня грунтовых вод (в м) величина постоянная, близкая к единице. При КЗИ 0,2 глубина залегания уровня грунтовых вод 4 м, при КЗИ 0,5 средний уровень грунтовых вод располагается на глубине 2 м, а при 0,7 — на глубине 1,4 м. При средней критической глубине, для данного массива равной 2,5 м, КЗИ не должен подниматься выше 0,4. Там, где этот коэффициент выше, орошение нестабильно, поэтому засоление заставляет забрасывать одни участки и переходить на другие, а по мере опускания уровня грунтовых вод на заброшенных землях, вновь возвращаться на них, то есть орошение ведется в кочевой переложной системе, при которой высокого окультуривания почв достигнуть нельзя.

С 1963 г. на массиве начали строить коллекторы, а в некоторых хозяйствах и дренажную сеть.

Центральный солончаковый массив. Массив расположен в центральной части Мургабской дельты, занимая верхнюю и среднюю часть Каушутбентской генерации. Поверхность массива несколько приподнята над Марыйской частью дельты, что некоторые из исследователей (Шлегель, 1912) считали результатом накопления ирригационных наносов. Действительно, мощность аллювиально-ирригационных отложений достигает на северо-востоке участка до 3—3,5 м и уменьшается до 1,5 м на юго-западе. Данных точного определения начала орошения на этой части дельты не имеется, но несомненно, что в раннем средневековье оно было уже широко развито. Орошение на эту часть дельты распространилось с востока от Маргианы, и его начало может быть датировано первыми веками нашей эры.

Верхние 3—4 м почвы имеют своеобразное строение. Нижняя часть почвенного профиля представлена древними агроирригационными отложениями, очень однородными по своему сложению и составу, хорошо биологически переработанными. Вышерасположенный слой — 0,5—1,5-метровый — имеет обычно слоистое строение и представлен аллювиальными неокультуренными отложениями без следов обработки. Слоистость отчетливо выражена по механическому составу, цвету, строению. Верхняя часть почвы мощностью 40—50 см представлена современными окультуренными горизонтами.

Местами на отдельных, останцовых поверхностях древние агроирригационные отложения сохранились и на поверхности. Мощность их в таких случаях обычно равна 2—2,5 м. Такие участки часто находятся вне командования современной ирригационной сети и заняты солончаками. Местами современные окультуренные слои постепенно переходят в древние агроирригационные отложения суглинистого и тяжелосуглинистого механического состава, всегда очень хорошо микроагрегированные. Глубже ирригационных отложений почти всегда обнаруживаются слои погребенных луговых, переувлажненных и болотных почв, чаще глинистого механического состава, коричневато-красноватого цвета со ржавыми пятнами, без следов культуры.

Такую сложную стратиграфию ирригационно-культурных отложений аллювиальных прослоек и структуру покрова можно объяснить следующим образом: в I тысячелетии до н. э. основное русло Мургаба проходило восточнее по Байрам-Алийской части дельты, где был расположен тогда античный Маргианский оазис. В удалении от главного русла реки на низких землях, где теперь находится современный центральный массив, формировались лугово-болотные и болотные глинистые почвы, которые периодически затоплялись паводковыми водами, попадавшими сюда по боковым протокам. Вдоль боковых русел образовались неширокие полосы более легких суглинистых и супесчаных отложений, а большие площади между ними были заняты глинистыми заболоченными почвами. К началу нашей эры, когда в Маргиане были сооружены водорегулирующие плотины и орошение достигло широкого развития, поступление вод в северо-западную часть дельты сократилось, земли стали обсыхать вначале выборочно, а затем все

более широко вовлекаться под орошение. Орошаемое земледелие достигло наиболее широкого развития в раннем средневековье, а процветало вплоть до монгольского нашествия. За этот период и образовалась та однородная толща ирригационных отложений, которая ныне обнаруживается в нижней части профиля почв.

После монгольского нашествия были разрушены плотина и ирригационная сеть на вышерасположенных землях Байрам-Алийского массива и освободившиеся воды, частично размывая на своем пути ранее накопленные ирригационные отложения, затопили и перекрыли аллювиальными наносами наиболее низкие поверхности древних почв. Одновременно углубилось русло реки в верхней части дельты, а в средней, от Каушутбента и севернее отклонилось от старого направления и, выработав новое, ушло на более низкие земли. Перемещению русла на северо-запад в какой-то мере способствовали, по-видимому, и неотектонические процессы, вызванные очень медленным подъемом северо-восточного крыла дельты. В каждом новом цикле развития дельты река вырабатывает свое новое русло западнее прежнего. Последняя такая смена русла была в конце прошлого столетия севернее г. Мары.

Сразу после монгольского нашествия центральный массив был единственным местом, где сохранялось орошение и земледельческое население, так как на низких землях было легче восстановить орошение и легче осуществить водозабор из реки.

С конца XVIII до начала нашего столетия центральный массив был основным земледельческим районом оазиса, для орошения которого воду забирали с помощью несложных фашинных плотин у Каушутбента. Фашинные плотины часто разрушались паводками, но и легко восстанавливались. Туркменская система водозабора и орошения в конце прошлого и начале настоящего века на этой части дельты описана в работе Э. Барца (1910). Здесь было много заболоченных земель и озер, вода которых использовалась для орошения в наиболее критические периоды.

Земли центрального массива относительно широко орошались и до пуска Каракумского канала, где КЗИ составлял 0,3—0,5, то есть имел довольно высокие величины для Мургабского оазиса. Здесь грунтовые воды залегают на глубине 1,2—3 м от поверхности и имеют

очень пеструю, но в общем высокую минерализацию, достигающую 30—50 г на 1 л, а в отдельных депрессиях до 80—120 г на 1 л.

Вдоль каналов образовались узкие, иногда прерывистые, опресненные полосы грунтовых вод с минерализацией 3—5 г на 1 л. В составе солей большое участие принимают сульфаты и хлориды натрия и магния. Воды этого массива, так же как и почвы, отличаются от других повышенной магнезиальностью.

В рельефе массива видны элементы как ирригационного, так и аллювиального эрозийно-аккумулятивного происхождения. Массив пересекается эрозионным протоком Джар, по которому сбрасывались воды в паводки. В 30-е годы он был спрямлен и расчищен, а после строительства Каракумского канала используется как основная и пока единственная артерия, выводящая дренажные воды под каналом на северную периферию, собирая их со средней и верхней части дельты.

Для почвенного покрова центрального массива является характерным наличие больших площадей солончаков. Широкое распространение солончаков придает своеобразие всему ландшафту.

Кроме солончаков, которые очень ярко выражены благодаря близкому уровню залегания грунтовых вод, развиты оазисно-луговые орошаемые и оазисные орошаемые почвы в сочетании с древнеоазисными орошаемыми, оазисными переувлажненными, оазисно-болотными почвами и разнообразными солончаками. Незасолена только неширокая полоса орошаемых почв, приуроченная чаще к верху поля вдоль магистральных каналов.

Солончаки здесь занимают не только пониженные части рельефа, но и очень часто повышенные вдоль каналов, формируясь на приканальных буграх и рашах и на всех поверхностях, которые неподкомандны оросительной сети. Много солончаковых пятен и на орошаемых полях. Бóльшая часть солончаков повышенно хлоридного и нитратно-хлоридного состава.

Почвы и грунтовые воды этого массива наиболее засоленные среди других массивов (табл. 58). Причина высокой засоленности почв этого массива в том, что здесь уровень грунтовых вод столетиями стоял высоко и испарялось много грунтовых вод, а также положение этого массива, контактирующего с очень длительно орошаемой, вышерасположенной Байрам-Алийской частью

Таблица 58

Данные анализа водных вытяжек из почв центрального солончакового массива, мг-экв. на 100 г почвы

№ разреза	Глубина взятия образца, см	Плотный остаток, %	Щелочность		NO_3'	Cl'	SO_4''	Ca^{++}	Mg^{++}	Na^{+}	K
			CO_3	общая в HCO_3							
107	0—15	0,154	Следы	0,64	Следы	0,48	0,81	0,65	0,49	0,65	0,15
	35—53	0,208	То же	0,52	»	0,87	1,54	0,55	0,66	1,35	0,20
	53—76	0,269	0,08	0,61	»	1,15	2,27	0,25	0,49	2,74	0,23
	76—90	0,197	0,08	0,61	»	0,82	1,37	0,20	0,25	2,00	0,15
	90—109	0,238	0,08	0,52	»	1,10	1,67	0,28	0,33	2,30	0,15
	109—132	0,158	0,03	0,52	Не определяли	0,76	0,96	0,25	0,25	1,48	0,08
	132—150	0,186	0,03	0,47	То же	0,79	1,33	0,40	0,33	1,61	0,08
	150—187	0,099	0,03	0,47		0,37	0,44	0,25	0,08	0,78	0,05
	210—320	0,081	Следы	0,52		0,20	0,29	0,30	0,08	0,70	0,05
108	0—5	9,205	0,17	0,52	0,50	68,62	68,04	12,25	47,86	78,30	2,81
	5—25	1,634	Нет	0,36	0,13	4,53	17,56	11,20	5,10	6,09	0,46
	25—53	1,168	»	0,39	Следы	4,96	11,40	4,40	3,95	7,52	0,41
	53—90	0,742	»	0,52	»	4,11	6,33	1,85	2,80	6,52	0,33
	120—144	0,434	»	0,52	Нет	2,06	3,52	1,70	1,48	3,10	0,15
	144—190	0,652	»	0,47	Не определяли	2,73	7,96	2,70	2,80	4,35	0,18
	190—280	0,316	»	0,61	То же	2,39	2,31	1,10	1,23	3,13	0,10

Продолжение

№ разреза	Глубина взятия образца, см	Плотный остаток, %	Щелочность		NO_3'	Cl'	SO_4''	Ca^{++}	Mg^{++}	Na^{+}	K
			CO_3	общая в HCO_3							
Грунтовые воды, г на 1 л, мг-экв. на 1 л		15,20	Нет	10,39	Не определяли	128,03	96,00	44,10	73,52	116,80	Не определяли
112	0—6	25,73	0,33	0,92	1,61	318,31	79,31	19,65	138,81	202,3	2,38
	6—25	4,135	Следы	0,25	Не определяли	34,51	26,94	12,50	10,04	326,2	0,76
	25—50	1,220	Нет	0,25	То же	7,52	10,81	3,50	3,29	10,66	0,20
	50—75	1,132	Следы	0,25	» »	5,64	8,60	2,20	2,88	9,00	0,15
	75—100	0,980	Нет	0,25	» »	5,58	9,02	3,10	3,29	8,70	0,15
	100—140	1,028	»	0,30	» »	5,24	9,98	3,50	3,12	8,70	0,13
	140—183	1,168	Следы	0,25	» »	6,45	11,33	4,30	3,54	9,57	0,13
	183—200	0,726	»	0,25	» »	6,45	5,40	1,70	2,47	7,61	0,10
Грунтовые воды, г на 1 л, мг-экв. на 1 л		34,25	Нет	8,08	» »	299,72	213,06	68,65	222,53	229,7	Не определяли

дельты и нижерасположенной Марыйской, которая длительное время затоплялась паводковыми водами, что способствовало подпору стока поверхностных и грунтовых вод центрального солончакового массива.

В числе причин можно предполагать и влияние подпитывания грунтовых вод глубинными рассолами, так как в этой части больше всего размыта неогеновая кровля и ближе подходят к аллювиальной толще меловые отложения с рассольными водами. Факт широкого распространения солончаков на этой части дельты остается бесспорным, расположенные здесь хозяйства находятся в очень трудных мелиоративных условиях и собирают самые низкие урожаи хлопка-сырца. Например, по данным Туркменской землеустроительной экспедиции на 1964 г., колхоз «Комсомол» Мургабского района имел следующее соотношение площадей почв по степени засоления в %: незасоленные и слабозасоленные — 9,4, среднезасоленные — 36,0, сильнозасоленные — 25,3, солончаки — 29,4.

Большая засоленность почв этого массива видна и по данным подсчета площадей почв разных степеней засоления, произведенного той же экспедицией в разрезе административных районов.

Мургабский район занимает левобережную часть центрального солончакового массива. Солончаки вместе с неудобными землями, которые также очень сильно засолены, расположены на территории, равной примерно 30% площади района (табл. 59).

Таблица 59

Распределение почв по степени засоления на 1964—1965 гг., %

Район	Незасоленные и слабозасоленные почвы	Среднезасоленные	Сильнозасоленные	Солончаки	Прочие (неудобные)
Иолотанский	58,4	10,3	3,5	0,2	27,6
Туркмен-Калинский	53,7	9,6	5,7	1,8	19,2
Мургабский	38,0	20,0	13,0	14,0	15,0
Марыйский	53,4	25,8	13,3	7,5	—
Сакар-Чагинский (без песков)	52,6	17,6	10,2	3,2	16,4

Правобережная часть центрального солончакового массива разделена между Байрам-Алийским и Марыйским административными районами.

Почвы центрального солончакового массива, засоление которых уже задолго до строительства Каракумского канала превысило критические размеры, после сооружения канала засолились в еще большей мере и вдоль канала покрылись солончаковой корой. Особенно в тяжелом положении оказалась часть земель, расположенная выше Каракумского канала.

Хозяйства, расположенные на землях центрального солончакового массива, оказались в особенно трудных условиях. В настоящее время на центральном солончаковом массиве сооружаются коллекторы, наметилось образование зоны опреснения вдоль Каракумского канала. В ряде колхозов сооружена дренажная сеть.

Нижняя часть оазиса. *Марыйский массив.* Марыйский массив расположен в северо-западной части, на самой молодой генерации Мургабской дельты, которая была освоена сравнительно недавно, хотя отдельные островки этого массива орошались еще в XIV в. Бóльшая часть поверхности была заболочена и переувлажнена. Широкое освоение земель массива началось только в конце XVIII в. пришедшими сюда туркменскими племенами, полное освоение земель относится уже к началу нашего столетия. Особенно интенсивно развивалось орошаемое земледелие в годы Советской власти в связи с развитием хлопководства. Ирригационная сеть была реконструирована и значительно расширена, сооружены инженерные водозаборные узлы (Эгригюзарская плотина).

Орошаемое земледелие способствовало изменению рельефа и почвенного покрова, хотя и не в такой мере, как на массивах древнего орошения. Первичный дельтово-аллювиальный рельеф марыйского массива несколько сгладился, исчезли наиболее ярковыраженные элементы первичного рельефа: старицы, наиболее высокие гривы и глубокие депрессии. Теперь трудно определить точные конфигурации исходных элементов рельефа. Планировки, сооружение каналов преобразили поверхность. Только наиболее крупные депрессии с малопригодными для орошения почвами из-за высокого засоления сохраняются среди орошаемых земель, постепенно заиливаясь и еще более засоляясь.

В северо-западной периферийной части массива, где широко развиты темноцветные почвы, в почвенном профиле сохранилось больше следов лугово-болотного режима, они заметны даже в верхнем гумусовом горизонте. Осушение этих почв произошло в основном за счет сокращения поверхностного стока в связи с накоплением вод в водохранилищах. В современных условиях, не получая дополнительного поверхностного увлажнения, они все же более влажные из-за подтока грунтовых вод, так как такие почвы всегда занимают пониженные элементы рельефа и в природных условиях глубоко промыты. Однако с прекращением затопления опресненный слой воды со временем срабатывается на испарение и орошаемые темноцветные луговые почвы засоляются.

При полевом изучении почвенного профиля отмечены следы интенсивного механического вторжения при обработке и планировке почв и очень слабая степень окультуренности в пахотном горизонте. Это характерно для недавно орошаемых лугово-аллювиальных почв, которые на Марыйском массиве широко распространены, но чаще всего встречаются в северной части, где за последние годы граница оазиса сильно отодвинулась на северо-запад и в орошение вовлечено много новых почв. В таблице 60 показаны результаты анализа механического состава почв и содержания гумуса, которые подтверждают большую пестроту и слабую окультуренность лугово-аллювиальных почв.

До строительства Каракумского канала КЗИ в южной части Марыйского массива был высокий — около 0,6, к северо-востоку уменьшался до 0,3. Грунтовые воды залегали неглубоко, уровень их был на глубине 1,5—3 м от поверхности почвы, а нередко и выше. Минерализация пестрая, но на орошаемых землях менее 5 г на 1 л. Под солончаками, которые подпитываются минерализованными дренажными водами, содержание солей возрастает до 30—50 г на 1 л. Состав вод преимущественно хлоридно-сульфатно-натриевый, дренажных — сульфатный и хлоридно-магниево-натриевый.

Почвы Марыйского массива до начала орошения пережили лугово-солончаковую стадию своего развития.

В почвенном покрове все еще прослеживаются следы недавнего пойменно-болотного режима. В профиле встречаются гумусовые горизонты погребенных болотных почв. Мощность окультуренных слоев выходит за

Таблица 60

Механический состав орошаемых почв Марыйского массива

№ разреза	Глубина взятия образца, см	Гумус, %	Содержание фракций, % (размер частиц, мм)							Сумма частиц, %	
			1,0—0,25	0,25—0,10	0,10—0,05	0,05—0,01	0,01—0,005	0,005—0,001	<0,001	>0,1	<0,01
Луговые недавно орошаемые											
51	0—10	0,79	0,2	14,2	40,4	32,8	2,5	3,5	6,4	14,4	12,4
	20—30	0,86	0,2	11,1	43,8	32,9	1,0	4,6	6,4	11,3	12,0
	50—60	0,78	0,03	19,7	41,3	28,8	3,5	1,2	5,5	19,7	10,2
	100—110	0,22	0,01	17,5	54,9	22,3	1,4	0,4	3,5	17,5	5,3
	145—155	0,24	0,01	9,3	28,0	51,3	4,1	1,5	5,8	9,3	11,4
	180—190	0,69	0,02	0,4	1,8	7,6	10,4	38,2	41,6	0,4	90,2
54	0—15	0,91	0,2	5,6	25,8	47,4	4,2	7,2	9,6	5,8	21,0
	15—30	0,81	0,2	4,6	30,6	43,3	3,5	7,5	10,3	4,8	21,3
	50—75	0,17	0,0	3,7	60,4	32,1	0,3	0,1	3,4	3,7	3,8
	75—100	0,17	0,0	7,0	64,1	25,4	0,2	0,1	3,2	7,0	3,5
	100—123	0,12	0,0	5,9	55,2	28,3	1,6	3,3	5,7	5,9	10,6
	128—148	0,59	0,0	4,2	6,6	24,8	15,9	24,4	24,1	4,2	64,4
	190—200	0,59	0,1	77,6	18,6	1,1	0,4	0,1	2,1	77,7	2,6
50	0—10	0,64	0,2	32,1	25,5	15,1	4,3	9,7	13,1	32,3	27,1
	15—25	0,59	0,2	20,8	27,0	14,2	7,1	12,8	17,9	21,0	37,8
	45—55	0,19	0,0	46,8	34,2	8,7	1,8	2,7	5,8	46,8	10,3
	59—69	0,31	0,1	11,2	14,6	40,4	12,0	9,0	12,8	11,2	33,8
	77—87	0,45	0,1	10,7	16,7	22,0	13,7	15,8	21,0	10,8	50,5
	110—120	0,50	0,1	1,8	4,6	8,9	12,3	32,4	39,9	1,9	84,6
	150—160	0,45	0,0	0,8	1,4	9,0	20,3	31,7	36,8	0,8	88,8
	180—190	0,26	0,1	23,2	44,9	14,0	1,9	4,8	11,1	23,3	17,8

Продолжение

№ разреза	Глубина взятия образца, см	Гумус, %	Содержание фракций, % (размер частиц, мм)					Сумма частиц, %	
			1,0—0,25	0,25—0,10	0,10—0,05	0,05—0,01	0,01—0,005	0,005—0,001	<0,001	>0,1	<0,01
Оазисно-луговые орошаемые											
56	0—10	1,02	0,2	4,7	3,8	38,2	16,1	17,7	19,3	4,9	53,1
	20—30	1,00	0,1	1,4	0,3	31,0	19,5	23,3	24,4	1,5	67,2
	32—40	1,60	0,2	39,1	23,1	17,7	1,5	7,0	11,4	39,3	19,9
	43—53	0,78	0,2	52,4	23,7	11,2	0,2	4,1	8,2	52,6	12,5
	54—62	0,72	0,2	56,9	23,4	8,8	0,9	2,2	7,6	57,1	10,7
	66—77	0,36	0,1	68,0	18,9	4,7	0,9	1,0	6,4	68,1	8,3
	110—120	0,26	0,1	74,7	17,5	1,3	0,4	0,8	5,2	74,8	6,4
55	0—10	1,14	0,3	2,5	12,6	49,4	8,1	14,2	12,9	2,8	35,2
	10—20	1,10	0,2	1,6	14,8	49,0	7,4	13,2	13,8	1,8	34,4
	20—33	0,72	0,1	1,4	20,7	52,6	5,1	9,9	10,2	1,5	25,2
	33—53	0,26	0,0	1,7	29,8	61,3	1,1	2,7	3,4	1,7	7,2
	53—76	0,21	0,0	2,6	31,8	57,0	1,8	2,1	4,7	2,6	8,6
	76—96	0,47	0,1	6,8	30,3	35,6	5,8	10,1	11,3	6,9	27,2
	96—126	0,21	0,0	8,6	34,2	47,7	1,9	3,1	4,5	8,6	9,5
	126—160	0,41	0,0	3,1	10,5	55,6	9,2	10,5	11,1	3,1	30,8
	160—200	0,14	0,0	1,8	87,5	6,5	0,7	0,8	2,7	1,8	4,2
48	0—10		0,2	5,2	12,3	50,4	8,2	9,8	13,9	5,4	31,9
	10—25		0,1	4,2	10,8	51,5	8,3	10,5	14,5	4,3	33,3
	25—50		0,1	3,6	9,0	51,4	9,6	11,3	15,0	3,7	35,8
	50—67		0,1	1,6	11,3	68,5	5,0	5,1	8,3	1,7	18,5
	67—85		—	0,9	3,4	75,8	7,6	5,2	7,1	0,9	19,8
	85—103		0,2	0,6	1,0	53,2	17,1	13,7	14,2	0,8	45,0
	103—126		0,3	3,7	5,2	77,4	4,0	3,4	6,0	4,0	13,4

пределы пахотного слоя и в некоторых случаях достигает 40—50 см. Верхние окультуренные горизонты имеют преимущественно легкосуглинистый механический состав. Только в понижениях они нередко глинистые и тяжелосуглинистые. Эти отложения еще нельзя назвать ирригационными, они образовались в основном из-за перемешивания верхних горизонтов природных почв при планировках, глубокой перепашке и окультуривании аллювиальных почв.

Средняя часть профиля часто имеет супесчаный и песчаный состав, несет следы высокого увлажнения в виде ржавых и оглеенных пятен. Еще более резко влияние повышенного грунтового увлажнения обнаруживается на глубине 1,5—2,0 м, где сильнее выражено оглеение. На этих глубинах, а иногда и выше местами сохранились погребенные гумусированные тяжелосуглинистые и глинистые горизонты лугово-болотных и болотных почв. В прошлом почвы Марыйского массива формировались в значительном удалении от основного русла, поэтому они имеют более тяжелый механический состав. Они были сильно гумусированы и сохранили темный цвет в погребенном состоянии до настоящего времени. После того как массив был прорезан новым руслом, ставшим основным для Мургаба, лугово-болотные и болотные почвы были перекрыты новейшими, более легкими отложениями, а местами размыты.

По степени окультуренности почвенный покров на массиве очень неоднороден. Среди оазисно-луговых почв, где мощность окультуренного слоя выходит за пределы пахотного горизонта, встречаются участки, на которых он только несколько преобразован обработкой, глубже сохранились нетронутые слои луговой аллювиальной почвы. До начала орошения почвы переживали солончаково-луговую стадию. Местами здесь сохранились первичные солончаки, которые подпитываются теперь доирригационными водами, вытесняемыми из более глубоких слоев напором ирригационных вод на орошаемых полях.

Засоление почв главным образом сульфатное и хлоридно-сульфатное (табл. 61). Запасы солей в орошаемых почвах невелики, но соли приурочены к верхней части почвенного профиля, поэтому их влияние на урожай большое даже при незначительных абсолютных величинах. Запасы солей на неорошаемых почвах, при-

Таблица 61

Состав водной вытяжки из оазисно-луговых орошаемых почв и солончаков Марыйского массива, мг-экв. на 100 г почвы

№ разреза	Глубина взятия образца, см	Плотный остаток, %	Щелочность		Cl'	SO_4''	$Ca^{\cdot\cdot}$	$Mg^{\cdot\cdot}$	$Na^{\cdot}$	$K^{\cdot}$
			CO_3''	общая в HCO_3'						
47	0—10	0,138	Нет	0,80	0,56	0,92	0,80	0,50	0,61	0,12
	37—47	0,119	»	0,80	0,39	0,52	0,60	0,25	0,62	0,10
	60—70	0,298	»	0,80	1,18	1,64	0,85	0,83	1,49	0,11
	85—95	0,272	»	0,64	1,75	1,77	0,80	0,70	2,14	0,08
	115—125	0,620	»	0,72	3,04	6,45	1,30	1,93	6,17	0,11
48	0—2	21,540	»	1,00	218,30	100,62	9,70	114,40	187,70	2,80
	2—10	0,880	»	0,61	4,31	8,45	2,50	3,53	6,17	0,30
	10—25	0,771	»	0,39	3,07	8,20	2,65	2,88	5,75	0,27
	25—50	0,644	»	0,44	3,15	6,45	1,45	2,71	5,65	0,18
	50—67	0,663	»	0,44	3,52	5,77	2,15	2,47	5,30	0,08
	67—85	0,478	»	0,44	4,08	3,42	0,80	2,14	5,30	0,06
	85—103	0,912	»	0,39	3,60	9,83	4,10	4,11	5,65	0,07
	103—126	0,604	»	0,36	3,91	5,52	2,15	2,47	4,86	0,05
49	0—20	0,140	»	0,59	0,28	1,31	0,50	0,41	0,68	0,22
	20—37	0,234	»	0,61	0,93	2,04	0,85	0,82	1,67	0,11
	37—60	0,180	»	0,47	0,56	1,43	0,80	0,57	0,98	0,09
	60—80	0,200	»	0,47	0,84	1,35	0,60	0,49	1,64	0,13
	80—100	0,233	»	0,44	1,01	2,04	0,75	0,41	1,92	0,08

Продолжение

№ разреза	Глубина взятия образца, см	Плотный остаток, %	Щелочность		Cl'	SO_4''	$Ca^{\cdot\cdot}$	$Mg^{\cdot\cdot}$	$Na^{\cdot}$	$K^{\cdot}$
			CO_3''	общая в HCO_3'						
49	100—150	0,242	Нет	0,47	1,27	2,27	1,05	0,90	1,67	0,04
	150—160	0,268	»	0,67	0,84	2,73	0,85	0,90	2,17	0,03
	160—190	0,256	»	0,52	0,76	2,75	1,05	0,66	2,08	0,04
54	0—15	0,105	»	0,39	0,31	0,71	0,60	0,16	0,74	0,07
	15—30	0,303	»	0,72	1,13	3,10	0,80	0,57	3,13	0,08
	30—50	0,258	»	0,44	1,41	2,41	0,60	0,49	0,70	0,05
	75—100	0,104	»	0,47	0,48	0,83	0,40	0,10	1,22	0,02
	100—138	0,100	»	0,44	0,37	0,98	0,50	0,16	1,00	0,03
	138—148	0,174	»	0,67	0,49	1,25	0,50	0,25	1,70	0,08
	190—200	0,076	»	0,56	0,29	0,23	0,40	0,16	0,70	0,04
55	0—2	9,078	»	0,61	78,17	48,96	13,60	37,0	77,0	0,70
	2—10	1,252	»	0,44	3,89	13,83	6,40	4,36	6,74	0,38
	10—20	0,746	»	0,52	3,66	6,67	1,95	2,79	5,87	0,28
	20—33	0,538	»	0,56	2,39	4,75	1,65	1,89	4,00	0,23
	33—53	0,411	»	0,47	2,42	3,29	0,95	1,56	3,48	0,13
	53—76	0,376	»	0,39	2,51	3,18	1,05	1,64	3,48	0,13
	76—96	0,320	»	0,46	1,49	2,90	0,95	1,23	2,39	0,14
	96—126	0,234	»	0,56	1,35	1,92	0,75	0,90	1,95	0,11
	126—160	0,226	»	0,61	1,04	1,77	0,70	0,82	1,83	0,10
	160—200	0,139	»	0,44	0,67	0,75	0,30	0,33	0,82	0,05

уроченных к депрессиям с высокоминерализованными водами доирригационной фации, очень большие, и они распределены на всю глубину почвенного профиля. Иногда верхние горизонты почв несколько опресняются сбросными водами. В некоторых наиболее глубоких депрессиях доирригационные соленые воды выходят на поверхность.

Солевой режим почв на большей части массива был критическим и до сооружения Каракумского канала. После пуска воды по каналу посевные площади быстро расширились, что повлекло массовое распространение новой волны засоления почв и выпада земель. Орошаемые площади стали перемещаться в периферийные районы дельты. В 1961—1967 гг. сильно снизились урожаи, были заброшены большие площади орошаемых земель.

Марыйский и центральный массивы наиболее сильно пострадали от засоления почв в связи с необеспеченностью дренажа после пуска канала. Но на Марыйском массиве в первую очередь стали сооружать коллекторную сеть, расчистили старое русло Мургаба, построили другие коллекторы, стали строить дренажную сеть. К настоящему времени рост площадей засоленных почв приостановлен и местами наметилось рассоление.

Марыйский массив отличается рядом почвенно-гидрогеологических особенностей, которые делают трудным решение вопроса искусственного дренирования. Это прежде всего отсутствие мощных агроирригационных отложений и сильная плывунность легких аллювиальных почвогрунтов, все это сильно ограничивает положительное действие открытой дренажной сети. Дренажная сеть эксплуатационного назначения для регулирования солевого режима орошаемых почв должна быть закрытой. Но из-за высокого уровня грунтовых вод и большого распространения засоленных почв здесь потребуется на период мелиорации сооружение временной открытой дренажной сети, которая будет требовать периодических ремонтов или нарезки новой сети, так как оплывание и разрушение дрен при промывках приводит к их полной негодности. В связи с этим можно ожидать, что мелиоративный период до полной ликвидации засоления будет более затяжным, чем на староорошаемых массивах, имеющих мощные слои агроирригационных отложений, и локализованные очаги засоления.

Северо-Байрам-Алийский массив древнего орошения. Территория массива включает наиболее древние и длительно орошаемые земли, расположенные севернее развалин крепостей Султан-Кала и Гуяр-Кала. Мощность ирригационных отложений здесь достигает 3—3,5 м, а если включить и слои окультуренных почв, погребенных в аллювии, то общая мощность отложений со следами культурного воздействия достигает 5—6 м. Эта территория на протяжении последних 700 лет была опустынена, и только начиная с нашего столетия здесь время от времени орошались наиболее низко расположенные участки. После сооружения Каракумского канала эта территория стала основным районом нового освоения. Здесь организованы крупные хлопководческие и овоще-бахчеводческие совхозы.

На массиве очень ярко выражен вторичный ирригационный рельеф, осложненный в ряде мест развеванием. Имеется много разных бугров и возвышений антропогенного происхождения, а также развалин древних каналов. Сохранилась даже более мелкая ирригационная сеть, которая была использована местным населением в первые годы освоения новых земель при орошении из Каракумского канала.

Почвы до начала нового орошения были представлены такырами, такырными, пустынными песчаными почвами, сформировавшимися на древних ирригационных и частично на вновь навеянных отложениях. В толще искусственных отложений обнаруживаются почвы, которые формировались во время перерывов в орошении как при опустынивании, так и в периоды повышенного увлажнения. Чередование этих периодов было описано автором по материалам подробного изучения почвенных профилей (Минашина, 1962, 1965).

Изучение толщи искусственных наносов позволяет отметить несколько крупных периодов: а) период нерегулярного орошения, которое существовало здесь в пойменный период развития территории (III—II тысячелетия до н. э.); б) период, когда орошение данной территории было прервано в связи с возросшим обводнением и затоплением речными и озерными водами. Об этом свидетельствуют песчаные аллювиальные и глинистые дельтово-озерные отложения мощностью в 1,5—2 м, включающие погребенные профили луговых и болотных почв. Следов культуры в них не обнаружено; в) период,

когда с обсыханием и опустыниванием наиболее высоких частей территория вновь была освоена под орошение. Со временем использование земель стабилизировалось и, судя по ирригационным отложениям, орошение было почти непрерывным на протяжении не менее 2 тысячелетий. Здесь долго господствовала бассейновая система орошения. За этот период накопилось 2—2,5 м агроирригационных отложений, а вокруг древнего Мерва мощность их достигает 3,5 м. Начало образования этой толщи мы относим к началу I тысячелетия до н. э., а конец — к XIII в. н. э. Отложения характеризуются глинистым и тяжелосуглинистым однородным механическим составом, хорошей биологической переработанностью массы почвенной фауной и микроагрегированностью. Все это говорит о высоком уровне орошаемого земледелия, обеспечивающем формирование плодородных оазисных почв; г) период после монгольского нашествия, когда ирригационная сеть пришла в запустение и оазисные почвы постепенно разрушались, отакыривались и опесчанивались. На части территории временами орошение возобновлялось, но оно было непродолжительным и экстенсивным. Почвы развевались, местами покрывались песком, по понижениям — делювием. Здесь за весь послемонгольский период накопилась очень небольшая толща отложений — 40—80 см, а местами, наоборот, произошло развевание части ирригационных слоев. Механический состав отложений характеризуется повышенной опесчаненностью; д) период, продолжающийся и в настоящее время, когда после сооружения Каракумского канала эта территория вновь осваивается под орошаемое земледелие.

На большей части территории верхняя толща в 2—3 м сложена тяжелосуглинистыми и глинистыми агроирригационными отложениями, очень однородными и равномерно распределенными по территории. Только полосы шириной 20—30 м вдоль древних каналов сложены супесчано-песчаными отложениями с прослойками легких суглинков. Бóльшая часть ирригационных наносов накопилась при бассейновой системе орошения. Очертания бассейнов и окружавшие их дамбы четко проявлялись в рельефе до самого начала нового освоения.

В древних агроирригационных покровах в более позднее время под влиянием дефляции и эрозии были обра-

зованы понижения замкнутой формы, заполненные более поздними слоистыми песчано-глинистыми отложениями мощностью 1,5—2 м. Эти понижения в недавнем прошлом заливались сбросными или паводковыми водами.

Подстилающие аллювиально-аэрально-дельтовые отложения мощностью до 100—150 м состоят из тонкозернистой супеси и песка с прослойками глин небольшой мощности (0,5—2 м).

Длительный период опустынивания данного массива привел к отакыриванию почв и ухудшению их водно-физических свойств. Микроагрегационная структура древних почв сохранилась лишь глубже 50—60 см от поверхности почвы. В верхних горизонтах почвы до 30—40 см глинистые частицы диспергированы, пептизированы и сложение почв изменилось. Почвы приобрели такыровую корку, пористую, трещиноватую с чешуйчато-пластинчатой структурой, которая глубже переходит в комковато-глыбистую. Часть почв с поверхности и до 30—60 см запесчанена.

Водопроницаемость такыровых почв очень низкая, по опытам Н. И. Зиминой (1957) за первые 6 часов впитывалось всего лишь 16 мм воды. Удаление слоя в 20 см ускоряло фильтрацию, и за то же время впитывалось уже 141 мм воды. Менее отакыренные почвы ирригационных склонов впитывали в первый час 60—70 мм и к шестому часу фильтрация снизилась до 4—12 мм/час, всего за 6 часов впитывалось 85—150 мм. Почвы на рашах и более легких ирригационных отложениях имели высокую водопроницаемость и легче поддавались освоению.

Наихудшими свойствами характеризовались такыры по бывшим внутриоазисным депрессиям между ирригационными системами, которые из-за своей ровной поверхности раньше других стали орошаться, но очень скоро были заброшены.

Почвы на супесчано-глинистых слоистых отложениях в депрессиях более молодого возраста, не успевшие отакыриться, обладали более удовлетворительными свойствами, на них и раньше до пуска Каракумского канала иногда сеяли бахчи. Глинистая часть таких почв менее пептизирована, они менее плотные, объемные веса их более низкие — 1,4—1,5 против 1,6—1,7 на такырах.

Все почвы, сформировавшиеся на древних агроирригационных отложениях, не солонцеваты и до орошения содержали мало поглощенного магния (Минашина, 1965). Значительную часть площади занимали опесчаненные такыры со слоем навеянного песка около 20—30 см. Формирование современных окультуренных слоев происходит за счет преобразования отакыренных и пустынных песчаных почв. Отличительной особенностью современного окультуривания является проведение мощных планировочных работ и глубокой вспашки почв (до 40—45 см), что в прошлом при отсутствии машинной техники было неосуществимым. Оросительные воды поступают на поля в настоящее время почти осветленными. На поля выносится небольшое количество наносов, которые имеют тяжелый механический состав. Накопление новых отложений будет протекать значительно медленнее, чем в предыдущие периоды, а влияние отложений на плодородие почв сложится менее благоприятно.

В глубоких слоях почвогрунтов и даже в грунтовых водах сохранились следы влияния древнего орошения, особенно в распределении древних аккумуляций солей. На местах древней вторичной аккумуляции под маломощным отакыренным слоем вскрываются тяжелые глинистые отложения, переполненные кристаллами солей. Там, где были плодородные древние оазисные почвы на мощных ирригационных наносах, под отакыренным слоем обнаруживается хорошая сохранность этих накоплений, почти не изменивших свою микроструктуру. Эти почвы осваиваются легче и с бóльшим экономическим эффектом по сравнению с менее окультуренными почвами бывших межканальных понижений и других внутриоазисных депрессий.

Новое освоение земель началось в 1959 г. с пуском воды по Каракумскому каналу. Вода насосами из канала подавалась в несколько подправленные старые каналы в земляных руслах и на плохо спланированные поля, затопляя при этом наиболее низкие места. Почвы понижений сильно промывались и затем на них сеяли бахчевые, овощные культуры и хлопчатник. В первые годы освоения на новых землях были размещены так называемые неплановые посевы хлопчатника. Это привело к большим расходам оросительной воды, фильтрационным потерям и кое-где к ирригационной эрозии. Поэтому вскоре освоение было взято под контроль.

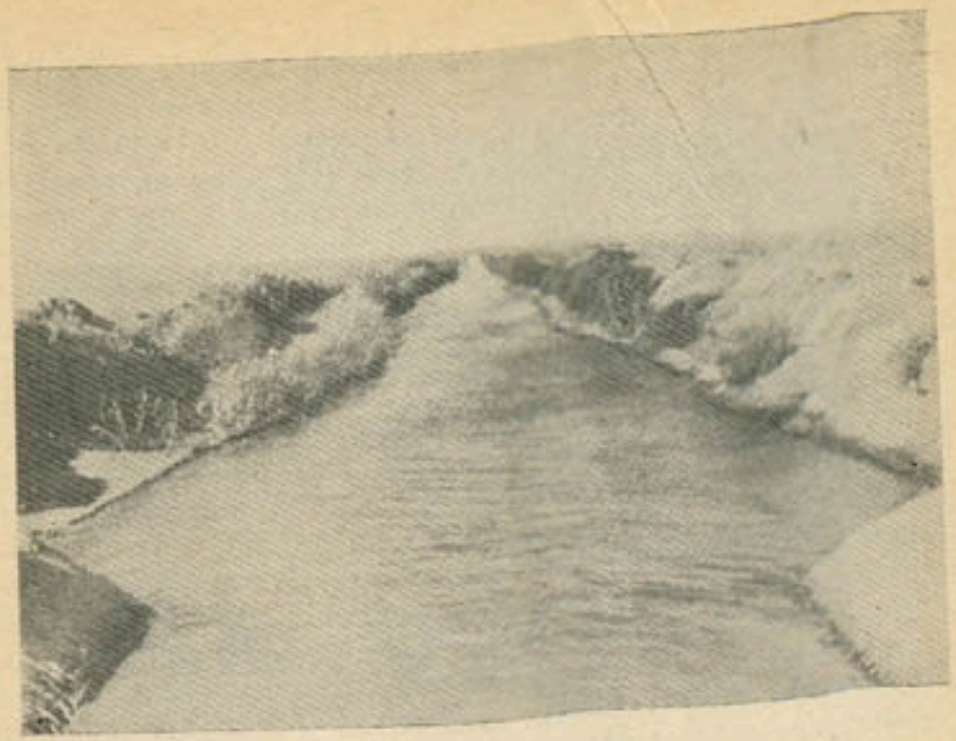


Рис. 22. Канал им. Москвы на опустыненных землях.

Вначале все каналы и водораспределительная сеть были в земляных руслах (рис. 22), и потери из них на фильтрацию были очень велики. Через несколько лет работы сеть стали заново переустраивать, бетонировать распределители, ставить лотковые оросители. Попутно велись планировки почв. В первую очередь осваивали наиболее ровные земли древних бассейнов и межканальных понижений, куда в первое время было легче подать поливную воду. После 2—3 лет орошения участки забрасывали и переходили на другие. Следствием начального освоения было очень скорое изменение почвенно-мелиоративного состояния земель.

Грунтовые воды на массиве до начала освоения залегали на глубине 10—30 м от дневной поверхности в аллювиально-дельтовых суглинисто-супесчаных отложениях. Минерализация их колебалась от 5 до 50 г/л. Наиболее низкая минерализация грунтовых вод была приурочена к древним каналам, а наиболее высокая — к межканальным понижениям и депрессиям. С удалением от канала минерализация вод возрастала до 35 г на 1 л, увеличивалась хлоридность (содержание NaCl — 70% от общего количества солей).

Засоление почв Байрам-Алийской части дельты колебалось в очень широких пределах несмотря на глубокое залегание уровня грунтовых вод, от 0,1 до 2—3% по плотному остатку. Соли в основном унаследованы от оазисного периода соленакопления, когда уровень грунтовой воды стоял высоко, и от более поздних периодов их перераспределения. Наибольшим засолением характеризуются почвы внутриоазисных понижений, которые служили для приема сбросных вод (табл. 62). Такие почвы имеют глинистый состав, они в процессе опустынивания сильно затакырены и нередко вследствие частичной дефляции более легких прилегающих почв их поверхность оказывается несколько приподнятой над окружающей. Примером такого засоления может быть почва, характеризованная разрезом 71. Это обычно хлоридно-засоленные в верхних слоях почвы. Глубже увеличивается доля сульфатов. Такое распределение осталось от оазисного периода солевой аккумуляции. Только самый верхний горизонт несколько обессолился из-за вмывания хлоридных солей вглубь и развевания сульфатных солей ветром. Возможно самый верхний, в прошлом рыхлый солевой горизонт был развеян вместе с мелкоземом. Аналогичным распределением солей по профилю характеризуется и другой разрез № 84, заложенный на такыре на несколько приподнятой поверхности. Разрез 90 (табл. 63) характеризует такырную почву, сформировавшуюся в небольшом местном понижении, которое несколько больше увлажнялось благодаря поверхностному стоку с окружающих склонов и солям, вмытым на глубину 1,5 м от поверхности.

Засолению обычно сопутствует и гипсонакопление, хотя размеры гипсонакопления на Байрам-Алийской части дельты не достигают больших размеров. Здесь содержание гипса почти всегда менее 3%. Рассоления почв в период опустынивания не произошло, почвы понижений или бывших понижений законсервировали соли в своем профиле. Опреснились только понижения, в которые позже сбрасывали воду. Почвы бывших орошаемых участков были незасоленными, почвы условно орошаемых земель (участков, которые поливались раз в несколько лет) также рассолились. Примером таких почв служит разрез 85. Опустыненные почвы приканальных повышений и опустыненные почвы бывших орошаемых участков, которые в последующие столетия не оро-

Таблица 62

Данные анализа водных вытяжек из образцов такыров

№ разреза	Глубина взятия образца, см	Плотный остаток, %	Щелочность		Cl′	Na′	K′	Ca″	Mg″	SO_4''
			CO_3''	общая в HCO_3'						
			% на сухую почву							
84	0—6	0,652	Нет	0,025	0,268	0,148	0,010	0,041	0,008	0,017
	6—16	0,746	»	0,025	0,280	0,183	0,006	0,036	0,014	0,033
	18—30	1,532	»	0,020	0,325	0,200	0,005	0,180	0,048	0,488
	48—58	0,970	»	0,022	0,258	0,173	0,004	0,090	0,027	0,267
	75—85	0,680	»	0,025	0,195	0,165	0,003	0,035	0,018	0,182
	94—104	1,052	»	0,020	0,188	0,210	0,004	0,085	0,030	0,434
	125—135	0,772	»	0,025	0,145	0,173	0,003	0,048	0,022	0,294
	165—175	1,150	»	0,022	0,130	0,183	0,004	0,110	0,034	0,541
	195—205	0,672	»	0,025	0,099	0,165	0,002	0,032	0,016	0,272
	220—248	1,176	»	0,022	0,132	0,223	0,005	0,076	0,031	0,547
	248—281	0,702	»	0,025	0,076	0,155	0,004	0,046	0,018	0,398
	281—306	0,612	»	0,027	0,070	0,147	0,003	0,032	0,013	0,311
	306—351	0,850	»	0,022	0,081	0,153	0,005	0,062	0,020	0,430
	351—362	0,586	»	0,025	0,076	0,145	0,004	0,029	0,013	0,265
	362—384	0,424	»	0,027	0,061	0,110	0,003	0,017	0,007	0,200

Продолжение

№ разреза	Глубина взятия образца, см	Плотный остаток, %	Щелочность		Cl′	K′
			CO_3''	общая в HCO_3'		
		% на сухую почву				
	392—405	1,200	Нет	0,020	0,107	0,006
	405—425	0,550	»	0,027	0,093	0,009
	451—474	0,992	»	0,022	0,128	0,006
	474—521	0,506	»	0,022	0,071	0,003
	521—525	1,384	»	0,027	0,185	0,007
	555—620	1,114	»	0,025	0,157	0,006
	620—695	1,648	»	0,022	0,160	0,008
	712—738	0,678	»	0,030	0,107	0,004
	738—768	0,570	»	0,022	0,093	0,003
	768—810	0,470	»	0,027	0,070	0,003
71	0—4	0,866	»	0,037	0,384	0,009
	5—11	1,678	»	0,034	0,742	0,087
	14—24	1,264	»	0,034	0,547	0,041
	24—40	1,182	»	0,034	0,509	0,036
	40—50	1,096	»	0,032	0,378	Не определяли
	50—70	0,854	»	0,039	0,329	То же
	70—100	0,858	»	0,034	0,255	» »
	100—140	0,930	»	0,032	0,130	» »
	140—180	0,034	»	0,034	0,133	» »

№ разреза	Глубина взятия образца, см	Плотный остаток, %	SO_4''	Ca''	Mg''	Na'	K'
		% на сухую почву					
	392—405	1,200	0,609	0,106	0,034	0,175	0,006
	405—425	0,550	0,224	0,018	0,010	0,138	0,009
	451—474	0,992	0,424	0,056	0,023	0,133	0,006
	474—521	0,506	0,226	0,028	0,012	0,115	0,003
	521—525	1,384	0,656	0,067	0,037	0,263	0,007
	555—620	1,114	0,527	0,079	0,028	0,215	0,006
	620—695	1,648	0,839	0,151	0,044	0,250	0,008
	712—738	0,678	0,302	0,026	0,013	0,250	0,004
	738—768	0,570	0,234	0,027	0,011	0,145	0,003
	768—810	0,470	0,197	0,022	0,009	0,115	0,003
71	0—4	0,866	0,037	0,045	0,010	0,222	0,009
	5—11	1,678	0,122	0,072	0,025	0,450	0,087
	14—24	1,264	0,098	0,054	0,029	0,320	0,041
	24—40	1,182	0,136	0,036	0,029	0,320	0,036
	40—50	1,096	0,245	0,045	0,024	0,275	Не определяли
	50—70	0,854	0,139	0,014	0,011	0,250	То же
	70—100	0,858	0,269	0,019	0,008	0,265	» »
	100—140	0,930	0,456	0,057	0,013	0,223	» »
	140—180	0,034	0,429	0,038	0,011	0,237	» »

шались, обычно в верхних слоях несколько засолены. Возможно, это результат бассейновой системы орошения (табл. 64). На территории массива широко распространены селитряные солончаки, которые образовались на месте развалин от древних поселений, всюду разбросанных по опустыненному массиву на древнеорошаемых землях.

Таким образом, распределение солей в почвогрунтах опустыненного массива древнего орошения унаследовано от оазисного почвообразования, причем сохранило присущую этому периоду локализацию солей. В процессе опустынивания развеяны солончаковые коры, местами развеяны легкие почвы. Почвы межканальных понижений частично покрылись делювием. Опустыненные почвы древнего орошения, как правило, не засолены или засолены очень слабо. С началом нового орошения после строительства Каракумского канала распределение солей в почвах изменилось. Почвы орошаемых участков рассолились. На почвах неорошаемых участков засоление не изменилось, а впоследствии усилилось.

Больше всего опреснились такыровые и опустыненные почвы понижений, которые раньше других стали орошаться. Поливы большими нормами понижений, занятых такырами и такыровидными почвами, привели к повышению щелочности почв: общая HCO_3 поднялась до 1 мг-экв. на 100 г почвы, появились следы нормальных карбонатов (Трапезников, Минашина, Топалов, 1963).

Изменение засоления земель нового освоения под влиянием орошения водами Каракумского канала. Наблюдения за солевым режимом проводились на ключевом участке площадью 2×4 км² в совхозе «Москва» и дополнялись наблюдениями на отдельных профилях и точках в других частях массива нового освоения.

Для оценки использован статистический анализ распределения солей отдельно по слоям 0—50, 50—100, 100—200 см и т. д. для всей изученной толщи. Способ послойного анализа позволяет полнее отразить динамику процесса перераспределения солей.

Засоление целинных почв после производственных промывок в начале орошения оказалось в общем невысоким. Не было обнаружено ни одного солончака, преобладали почвы слабого засоления. Рассмотрение анализов образцов почвогрунта по глубоким скважинам,

Таблица 63

Данные анализа водных вытяжек из образцов такырной почвы

№ разреза	Глубина взятия образца, см	Плотный остаток	Щелочность		Cl′	SO_4''	Ca··	Mg··	Na·	K·
			CO_3''	общая в HCO_3''						
		% на сухую почву								
90	0—5	0,109	Нет	0,052	0,006	0,005	0,008	0,001	0,008	0,007
	5—15	0,063	»	0,040	0,005	0,003	0,008	0,002	0,006	0,004
	16—26	0,065	»	0,037	0,003	0,006	0,008	0,002	0,005	0,003
	66—76	0,072	»	0,040	0,005	0,007	0,006	0,002	0,009	0,003
	145—155	0,090	»	0,042	0,006	0,022	0,005	0,003	0,018	0,002
	185—195	0,113	»	0,037	0,031	0,015	0,005	0,004	0,027	0,002
	206—255	0,152	Следы	0,035	0,040	0,034	0,005	0,004	0,038	0,002
	270—338	0,538	Нет	0,025	0,100	0,245	0,022	0,008	0,152	0,003
	338—360	0,689	»	0,020	0,126	0,310	0,038	0,014	0,182	0,003
	360—400	0,767	»	0,015	0,098	0,406	0,088	0,022	0,110	0,003
	400—428	0,334	»	0,017	0,046	0,152	0,023	0,009	0,072	0,002
	428—460	0,744	»	0,017	0,150	0,313	0,035	0,019	0,200	0,004
	460—497	1,140	»	0,017	0,183	0,525	0,059	0,042	0,242	0,005
	497—512	0,542	»	0,027	0,097	0,234	0,017	0,011	0,150	0,002
	512—590	0,476	Нет	0,025	0,067	0,230	0,022	0,012	0,115	0,002
	590—639	2,328	»	0,015	0,170	1,341	0,218	0,068	0,380	0,008
	650—670	1,806	»	0,017	0,151	1,024	0,177	0,054	0,289	0,005
85	0—10	0,102	»	0,030	0,006	0,004	0,009	0,002	0,008	0,003
	35—45	0,088	»	0,030	0,005	Нет	0,008	0,002	0,006	0,003
	50—60	0,086	»	0,030	0,006	0,004	0,009	0,002	0,006	0,003
	68—78	0,074	»	0,032	0,005	0,011	0,009	0,002	0,006	0,003
	105—115	0,096	»	0,037	0,006	0,006	0,007	0,003	0,008	0,003
	140—150	0,082	»	0,037	0,006	0,010	0,008	0,002	0,008	0,004
	178—188	0,098	»	0,047	0,005	0,017	0,007	0,003	0,009	0,005
	223—289	0,102	»	0,042	0,006	0,020	0,010	0,004	0,009	0,004
	289—330	0,082	»	0,042	0,006	0,016	0,008	0,003	Не определялись	
	330—375	0,060	»	0,035	0,006	0,010	0,009	0,003	»	»
	375—435	0,042	»	0,030	0,006	0,030	0,006	0,003	»	»
	435—460	0,084	»	0,037	0,006	0,010	0,007	0,004	»	»
	470—485	0,098	»	0,035	0,006	0,031	0,009	0,005	»	»
	485—505	0,044	»	0,030	0,006	0,009	0,006	0,003	»	»
	505—610	0,048	»	0,037	0,006	0,037	0,006	0,004	»	»
	610—665	0,038	»	0,035	0,006	0,010	0,006	0,003	»	»
	660—725	0,044	»	0,035	0,006	0,027	0,005	0,003	»	»

Таблица 64

Данные анализа водных вытяжек из образцов опустыненных почв на древних ирригационных отложениях приканальной полосы, % на сухую почву

№ разреза	Глубина взятия образца, см	Плотный остаток	Щелочность		Cl′	SO_4''	$Ca^{\cdot\cdot}$	$Mg^{\cdot\cdot}$	$Na^{\cdot}$	$K^{\cdot}$
			HCO_3'	CO_3''						
92	0—10	0,258	0,035	Нет	0,014	0,063	0,010	0,002	0,047	0,023
	27—37	0,144	0,030	»	0,006	0,018	0,012	0,005	0,011	0,007
	85—95	0,090	0,037	»	0,008	0,013	0,006	0,003	0,016	0,002
	135—145	0,206	0,040	Следы	0,031	0,064	0,007	0,004	0,055	0,016
	180—190	0,284	0,037	Нет	0,053	0,098	0,008	0,005	0,078	0,002
	230—240	0,432	0,017	»	0,048	0,490	0,087	0,044	0,093	0,004
	250—260	1,270	0,017	»	0,051	0,745	0,212	0,030	0,095	0,004
	260—320	0,844	0,020	»	0,059	0,430	0,105	0,021	0,093	0,005
	420—450	1,018	0,017	»	0,109	0,518	0,086	0,029	0,173	0,009
	453—535	0,664	0,017	»	0,076	0,329	0,059	0,018	0,110	0,008
	535—590	1,360	0,015	»	0,112	0,746	0,109	0,032	Нет	0,015
	590—610	1,704	0,015	»	0,104	0,982	0,162	0,046	»	0,017
	610—635	1,192	0,017	»	0,115	0,631	0,084	0,039	0,200	0,012
	635—651	1,240	0,017	»	0,081	0,713	0,112	0,048	0,183	0,014
	651—702	0,490	0,020	»	0,037	0,262	0,050	0,017	0,075	0,008
86	0—4	0,082	0,035	Нет	0,002	0,024	0,007	0,001	0,004	0,012
	5—15	0,082	0,037	»	0,002	0,017	0,005	0,001	0,008	0,014
	25—35	0,122	0,027	»	0,014	0,018	0,006	0,001	0,024	0,007
	50—60	0,306	0,022	»	0,039	0,074	0,032	0,011	0,035	0,004
	85—95	0,204	0,022	»	0,019	0,055	0,021	0,006	0,022	0,001
	120—130	0,154	0,020	»	0,013	0,019	0,014	0,005	0,012	0,002
	142—152	0,224	0,030	»	0,028	0,068	0,012	0,008	0,032	0,007
	165—175	0,148	0,017	»	0,009	0,032	0,017	0,004	0,008	0,001
	190—200	0,088	0,022	»	0,006	0,011	0,009	0,003	0,003	0,001
	225—235	0,130	0,022	»	0,010	0,022	0,015	0,005	0,006	0,002
	269—313	0,106	0,025	»	0,010	0,021	0,009	0,002	0,007	0,001
	343—367	0,116	0,030	»	0,013	0,017	0,011	0,004	0,010	0,001
	367—369	0,076	0,027	»	0,017	0,012	0,010	0,002	0,012	0,001
	391—405	0,142	0,030	»	0,027	0,027	0,015	0,004	0,020	0,002
	405—435	0,100	0,027	»	0,018	0,020	0,009	0,003	0,015	0,001
	451—487	0,156	0,027	»	0,030	0,039	0,015	0,005	0,024	0,002
	487—551	0,064	0,032	»	0,013	0,012	0,008	0,002	0,012	0,001
	551—581	0,086	0,035	0,014	0,014	0,018	0,009	0,002	0,015	0,002
	581—643	0,074	0,032	Нет	0,014	0,016	0,008	0,002	0,015	0,001
	643—693	0,172	0,032	»	0,039	0,042	0,014	0,005	0,030	0,002
	693—756	0,358	0,030	»	0,037	0,172	0,044	0,012	0,080	0,003
	756—796	0,528	0,030	»	0,037	0,172	0,088	0,017	0,035	0,002
	813—913	0,298	0,027	»	0,017	0,153	0,040	0,008	0,034	0,001

когда еще не были смочены грунты, показывает, что и глубокие горизонты зоны аэрации до уровня грунтовых вод в общем тоже не имели высокого засоления (табл. 65).

Таблица 65

Распределение почвогрунтов зоны аэрации по степени засоления

Степень засоления	Содержание солей		Распределение почвогрунтов по степени засоления в слое, см		
	Mg+Na, мг-экв. на 100 г почвы	токсические соли %	0—300	300—1600	0—1600
			% проб		
Незасоленные	<1,5	<0,1	57,0	23,1	30,9
Слабозасоленные	1,5—3,0	0,1—0,2	22,6	36,6	33,4
Среднезасоленные	3,0—4,5	0,2—0,3	11,5	21,7	17,6
	4,5—6,0	0,3—0,4	3,0	11,8	9,9
Сильнозасоленные	6,0—7,5	0,4—0,5	3,0	2,2	2,5
	7,5—9,0	0,5—0,6	2,4	2,9	3,0
	9,0—10,5	0,6—0,7	0,6	0,7	0,8
	10,5—12,0	0,7—0,8	0,0	0,6	0,6
Сильнозасоленные	12,0—13,5	0,8—0,9	0,0	0,3	0,3
Количество образцов			157	278	435

Среднее содержание токсичных солей в слое 0—300 см — 0,13%, в слое 300—1600 см — 0,20%, в среднем по зоне аэрации — 0,185%, что в пересчете на концентрацию почвенного раствора при полной влагоемкости дает соответственно 4,8; 7,2; 6,7 г на 1 л.

Под Каракумским каналом фильтрационные и грунтовые воды сомкнулись. На большей части участка грунты на момент анализа еще не были полностью смочены поливной водой. Распределение грунтовых вод по минерализации на начало 1962 г. было следующим:

Соли, г на 1 л	1—9	9—17	17—25	25—33	33—41	41—49	49—57
Число проб, %	33,2	20,3	25,5	8,5	8,3	3,7	1,5

Средняя минерализация грунтовых вод равна 16,8 г на 1 л, число образцов 133.

Через 4 года бурение было повторено, но только до глубины 20 м. Данные послойного анализа грунтовых вод были дополнены данными анализа грунтовых вод, которые взяты из почвенных разрезов. Минерализация грунтовых вод изменилась следующим образом:

Соли, г на 1 л	1—9	9—17	17—25	25—33	33—41	41—49	49—57	57—65
Число проб, %	51,3	17,7	9,0	16,7	1,8	0,9	1,8	0,8

Средняя минерализация 13,7 г/л, число проб 113. Таким образом, средняя минерализация грунтовых вод за 4 года понизилась на 3,1 г на 1 л и появились воды более высоких минерализаций (до 65 г на 1 л), которые ранее не обнаруживались, одновременно увеличилась группа вод слабой минерализации с содержанием солей менее 9 г на 1 л, то есть произошло как бы разделение грунтовых вод на 2 группы. Одна группа уменьшила свою минерализацию, другая — увеличила ее. По критерию Колмогорова, на основе сравнения кривых интегрального распределения различия между водами в начале орошения и через 4 года орошения существенны. Это 2 разных слоя грунтовых вод. Первый залегал в среднем на глубине 16—30 м от поверхности почвы, второй образовался после нескольких лет орошения на глубине от 3 до 20 м от поверхности за счет напластования фильтрационных вод и выдавливания снизу доирригационных вод, а также бокового подтока со стороны Каракумского канала.

По средним статистическим данным имеются следующие изменения в засолении слоя 0—3 м: до начала орошения содержание токсичных солей было в среднем на 3-метровый слой равно 0,23%, через два года орошения — 0,13%, а с подъемом уровня грунтовых вод оно увеличилось до 0,34% (1969).

В 1969 г. около 20% обследуемой территории было занято солончаками, которые появились после орошения. Солончаки раньше всего образовались вдоль Каракумского канала, вначале отдельными пятнами в полосе более легких почв вдоль древних каналов на участках, которые не использовали под орошение. Затем засоление распространилось полосой, ширина которой за 10 лет увеличилась местами до 3—5 км от канала. К настоящему времени вдоль канала уже наметилась полоса рассоления в 50—200 м. Таким образом, по мере подъема уровня грунтовых вод солончаки идут от канала как бы волной, которая затем сменяется прерывистой волной рассоления. Если первое время орошали понижения, то с прохождением солончаковой волны орошаемые площади перемещаются на более высокие поверхности, почвы

которых можно промыть без дренажа благодаря локальному оттоку в понижения. Солевой режим почв на повышениях приобретает черты стабилизации с одновременным снижением КЗИ. Дренажно-коллекторная сеть на массиве нового орошения не запроектирована, так как считалось, что почвы не засолены и вторичного засоления при глубоких грунтовых водах не произойдет.

Почвы понижений, которые вначале орошения были рассолены, с подъемом уровня грунтовых вод заболачиваются, и их забрасывают в перелог. Накопленные при промывках опресненные слои фильтрационных вод испаряются, на смену им поднимаются более минерализованные воды, и почвы засоляются. Без дренажа эти почвы уже нельзя промыть. Анализ показывает, что содержание солей в бывшей зоне аэрации увеличилось за 10 лет примерно на 60%. В этом случае дополнительным источником солей являются глубинные грунтовые воды.

Подсчеты по соотношению содержания солей в зоне аэрации до начала орошения и после ее заполнения фильтрационными водами, а также в результате минерализации исходных грунтовых вод показывают, что примерно 36% объема бывшей зоны аэрации заполнилось доирригационными грунтовыми водами. Следовательно, такой же объем фильтрационных вод вклинился в доирригационную зону грунтового насыщения, то есть произошло вдавливание доирригационных вод под напором фильтрационных куполов под каналами и на интенсивно орошаемых полях, а там, где почвы совсем не орошались или мало поливались, доирригационные воды поднялись, обогащаясь дополнительно солями из грунтов зоны аэрации. Это подтверждается и данными прямых наблюдений за послойной минерализацией при глубоком бурении. В местах подъема доирригационных вод в зоне бывшей аэрации минерализация вод увеличилась до 50—65 г на 1 л.

На неорошаемых участках высокоминерализованные воды подошли к поверхности. А под каналами и интенсивно орошаемыми полями обнаружено глубокое до 25—30 м опреснение вод. Поэтому при прогнозах процессов засоления в аналогичных условиях необходимо принимать в расчет не только запасы солей, которые имеются в зоне аэрации, но и возможность пополнения солей из глубоких грунтовых вод. В первом приближении можно считать, что заполнение зоны аэрации при орошении на одну треть осуществляется грунтовыми водами, которые будут выдавлены снизу, и на две трети фильтрационными водами от каналов и из-под избыточно орошаемых или промываемых участков.

Расчеты по средним статистическим величинам не дают представления о механизме формирования нового слоя грунтовых вод. Поэтому сделана попытка анализа процесса этого формирования с помощью изучения гидрохимического состава.

Метаморфизация солевого состава почвенно-грунтовых вод на массиве нового орошения. Характеристика гидрохимического состава грунтовых вод на массиве до начала освоения может быть дана по единичным скважинам, пробуренным в 1957—1958 гг. (табл. 66). Наиболее широко были распространены воды с минерализацией 25—45 г на 1 л, которые вскрывались на опустыненных древнеорошаемых землях между каналами. Под древними разрушенными каналами минерализация вод была более низкой, около 9—12 г на 1 л. Возможно, это результат остаточного древнего более глубокого опреснения вод под каналами. Не исключено, что это отражает облегченный отток грунтовых вод со стороны выше расположенных орошаемых массивов благодаря легкому песчано-супесчаному составу грунтов под каналами. Еще менее минерализованы (2—4 г на 1 л) воды под каналами, по которым периодически сбрасывали воду в пустыню в невегетационное время.

Более детальный анализ вод до нового освоения может быть дан по данным глубокого бурения, произведенного Г. М. Тополевым в начале 1962 г., когда орошение еще не оказало сильного влияния на грунтовые воды, за исключением полосы вдоль Каракумского канала. По составу преобладали воды высокой минерализации хлоридно-натриевого состава: Cl составлял 60—75% от суммы анионов, а сульфат-иона около 30%, 50—65% приходилось на натрий, 25—35% на магний, доля кальция была очень небольшой. Такие воды распространялись на всю пробуренную толщу воды, начиная от их зеркала.

Воды под древними разрушенными каналами имели сульфатно-хлоридный состав, при содержании хлор-иона 40—45%, сульфат-иона 55—60% от суммы анионов, натрия 55—60% и магния 25—35% от суммы катионов. Воды под периодически действующими каналами имели

Таблица 66

Состав грунтовых вод до начала нового освоения (по данным Теджен-Мургабской режимной станции)

№ скважины	Глубина взятия образца, см	Дата	Плотный осадок, г на 1 л	Единицы измерения	Щелочность общая в HCO_3	Cl	SO_4	Ca	Mg	По разности Na
132	17,2	27/V 1959	34,906	г на 1 л	0,134	12,736	9,694	0,667	2,356	7,731
				мг-экв. на 1 л	2,20	359,18	201,85	33,33	193,77	336,13
				% мг-экв.	0,4	63,8	35,8	5,9	34,4	59,7
133		21/VIII 1959	35,07	г на 1 л	0,085	13,749	8,871	0,700	2,325	7,996
				мг-экв. на 1 л	1,4	387,75	184,7	34,95	191,2	347,67
151	15,4	3/VI 1959	33,300	г на 1 л	0,176	11,12	9,514	0,710	2,153	6,942
				мг-экв. на 1 л	2,90	313,47	198,1	35,42	177,08	301,95
				% мг-экв.	0,60	60,9	38,5	6,9	34,4	58,7
152	19,0	3 /VI 1959	35,06	г на 1 л	0,103	11,819	10,78	0,668	2,127	8,076
				мг-экв. на 1 л	1,70	333,3	224,47	33,33	175,01	351,14
				% мг-экв.	0,3	59,6	40,1	6,0	31,3	62,7
153	20,0	3 /VI 1959	12,720	г на 1 л		2,849	5,506	0,469	0,361	3,262
				мг-экв. на 1 л		80,35	114,63	23,44	29,69	141,85
				% мг-экв.		41,2	58,8	12,0	15,2	72,8

магниево-натриевый и натриевый сульфатный состав при низкой минерализации.

Минерализация грунтовых вод, насыщавших грунты в период древнего орошения, конечно, была значительно ниже, о чем можно судить по запасам солей, оставшимся после испарения вод. В среднем в зоне аэрации в расчете на полное насыщение водой минерализация была около 7,2 г на 1 л против минерализации 30—40 г на 1 л, вскрытых на глубине 16—20 м. Минерализация под каналами и в приканальной зоне была на уровне 2—3 г на 1 л, если судить об этом по засолению почвогрунтов зоны аэрации. В верхней части ирригационного склона минерализация могла быть на уровне 3—10 г на 1 л, а в понижениях около 10—20 г на 1 л, что близко к минерализации вод на массивах современного орошения, хотя последние отличаются несколько большей пестротой и большей средней величиной (9—10 г на 1 л) содержания солей. Средняя минерализация глубоких грунтовых вод до начала нового освоения была около 18 г на 1 л.

С началом нового освоения уже после двух лет орошения, которое было выборочным и неумеренным по использованию воды, стала наблюдаться большая дифференциация в составе солей и в скорости подъема уровня грунтовых вод. Через 2 года орошения уровень грунтовых вод вдоль канала в полосе шириной до 4 км был на глубине от 4 до 19 м от поверхности, а минерализации от 0,6 г на 1 л под каналом до 50 г на 1 л в северной части участка. Если до начала освоения основной фон составляли хлоридные и сульфатно-хлоридные магниево-натриевые воды, то через 2 года действия канала появились воды повышенно-сульфатного и экстрасульфатного состава. В первые годы орошения хлоридные воды составляли около 45% от проанализированного количества проб (табл. 67), причем они были приурочены в основном к нижней части исследованного слоя грунтовых вод (20—30 м от поверхности почвы); в верхних слоях они составляли всего лишь 5% от общего числа проб. Сульфатные и экстрасульфатные воды образовались в приканальной зоне на глубине выше 10 м от дневной поверхности.

В 1965 г., через пять лет орошения, когда уровень грунтовых вод поднялся в среднем до 3 м, в слое грунтовых вод до глубины 20 м от дневной поверхности хло-

Таблица 67

Состав грунтовых вод (в числителе на начало 1962 г., в знаменателе на конец 1965 г., в % от общего числа проб)

Гидрохимические группы вод	Cl	SO_4	Минерализация, г на 1 л				Всего	Примечание
	% от анионов		0—3	3—9	9—16	16—50		
1	25—35	35—50	— 4,0	—	—	—	— 4,0	Воды по составу анионов близкие к оросительным
2а	13—25	40—70	2,3 5,3	—	—	—	2,3 5,3	Повышеннощелочные или гидрокарбонатные воды
2б	25—35	17—35	2,3 —	—	—	—	2,3 —	
3	34—45	50—70	—	—	5,3 —	5,3 —	10,6 —	По SO_4:Cl близкие к оросительным, но с уменьшением HCO_3
4	10—35	50—70	4,5 4,0	0,7 8,0	3,8 2,7	2,3 —	11,4 14,7	Повышенносульфатные против оросительных
5	4—28	70—84	4,5 —	12,1 33,3	4,5 5,3	0,7 5,3	20,0 44,0	Экстра сульфатные
6	35—50	30—55	0,7 —	1,6 2,7	2,3 —	2,3 10,7	6,8 13,3	Повышенно-хлоридные против оросительных
7	50—70	26—46	—	—	2,3 2,7	38,6 16,0	44,7 18,7	Хлоридные воды
Сумма			14,4 13,3	18,2 44,0	18,2 10,7	49,2 32,0	100 100	

ридные воды составляли уже только 19% от общего числа проб против 45% в 1962 г. Но доля экстрасульфатных вод возросла за это же время с 22 до 44% от общего числа проб.

Под влиянием нового орошения сформировалась вполне определенная гидрохимическая стратиграфия в слое 3—20 м. В нижней части преобладают хлоридные воды над ними — сульфатные и экстрасульфатные, в слое 3—7 м от дневной поверхности получают распространение воды с отношением $Cl' : SO_4''$, близким к оросительным водам, а в местах сильного опреснения сверху появляются воды с повышенной гидрокарбонатностью. Это — общая тенденция, наряду с которой появляются очаги вод с повышенной хлоридностью и сульфатностью в верхних слоях, что показывает на расщепление гидрохимического ряда и разделение солей по составу.

В процессе водонасыщения зоны аэрации в первую очередь растворяются и вымываются хлоридные соли, а затем по мере стекания части растворов и заполнения зоны новыми порциями фильтрационных вод — сульфаты.

Под влиянием орошения уменьшается доля высокоминерализованных вод, которые соприкасаются с нижней границей зоны аэрации, мощность которой тоже сократилась. Так, например, воды с минерализацией 16—50 г на 1 л в верхнем слое грунтовых вод уменьшились в своем распространении с 50 до 32%, однако объем опресненных вод с минерализацией менее 3 г на 1 л почти не изменился. Больше всего растет доля воды средних минерализаций — 3—9 г на 1 л.

В случаях повышения хлоридности вод в контакте с зоной аэрации происходит одновременно обогащение растворов и нитратами. Появляются даже нитратно-хлоридные воды (табл. 68). В таких местах хлоридность вод выдерживается на высоком уровне по всей исследованной глубине (до 20 м), но наибольшее содержание хлоридов приурочено к верхнему слою грунтовых вод, здесь же они оказываются и повышенно нитратными. Этот случай представляет особый интерес, поскольку помогает раскрыть механизм формирования гидрохимического состава грунтовых вод. Воды с заметным содержанием нитратов обнаруживаются на неорошаемых или слабоорошаемых участках, где фильтрация сверху исключена или крайне незначительна. Насыщение грунта водой шло в основном снизу под влиянием напора с более высоких уровней окружающих орошаемых участков. Одновременно с подъемом воды снизу растворы передвигались со стороны каналов и оросителей от фильтрационного потока вод. При боковом передвижении шло обогащение почвенных растворов нитратами, которые всегда имеются в том или ином количестве в опустыненной почве. Поджатие почвенных растворов шло одновременно сбоку и снизу, что способствовало концентрации нитратов в самом верхнем слое грунтовых вод. Наи-

Таблица 68

Характеристика хлоридно-селитряных вторичных солончаков

№ разреза, объект	Глубина взятия образца, см	Плотный остаток, г на 1 л	HCO_3	NO_3	Cl	SO_4	Ca	Mg	Na	K
			мг-экв. на 1 л							
535, почвенные растворы	0—25	113	3	690	955	40	337	313	826	154
	25—50	33	3	160	245	81	43	86	272	77
	50—75	23	3	64	166	110	36	57	191	56
	75—100	30	3	128	225	106	53	65	261	62
	100—150	34	3	128	305	102	63	105	327	61
	150—200	28	3	71	260	236	36	91	282	34
	200—250	24	3	56	170	138	36	67	239	22
	250—300	26	3	100	270	162	36	108	359	23
	320	30	2,2	97	261	110	45	128	282	10
Грунтовые воды	0—2	261		885	3270	50	985	552	2678	36
509, почвенные растворы	0—25	21	3	60	280	25	182	51	137	10
	25—50	36	3	161	385	32	96	130	343	6
	50—75	33	3	31	485	52	40	187	366	7
	75—100	23	3	20	315	56	57	91	218	6
	100—120	20	3	12	270	53	50	62	196	7
	120—150	20	6	8	264	70	40	69	209	8
	150—200	21	6	9	228	109	28	66	230	6
	200—250	16	6	6	89	147	27	37	177	5

Продолжение

№ разреза, объект	Глубина взятия образца, см	Плотный остаток, г на 1 л	HCO_3	NO_3	Cl	SO_4	Ca	Mg	Na	K
			мг-экв. на 1 л							
Грунтовые воды	337	9	4	0,2	10	118	20	26	87	2
	960	14	1	Не определяли	35	171	20	36	151	Не определяли
	2280	13	2	То же	142	64	43	63	102	То же
	4460	30	2	» »	276	198	25	143	307	» »
Хлоридные грунтовые воды										
542	223	17	5	0,1	199	48	71	65	109	0,4
421	205	22	8	0,1	285	64	75	114	174	1
430	260	6	2	2,6	59	19	33	31	16	0,6
426	400	18	1	16	203	57	60	115	96	3,5
285	160	16	5	Не определяли	212	50	80	95	92	Не определяли
	400	16	6	То же	211	47	80	94	91	То же
	710	31	7	» »	233	254	27	143	315	» »

более обогащенные нитратами воды обычно приурочены к местам древних поселений.

Перемещение водного тока со стороны более увлажняемых грунтов к сухим сбоку и снизу способствует обогащению фронтального слоя вод не только нитратами, но и хлоридами из-за более легкого их растворения из почвогрунтов.

В верхних слоях под интенсивно орошаемыми полями сформировались гидрокарбонатно-сульфатные кальциево-натриевые воды, которые с глубиной сменяются сульфатными и еще глубже — хлоридными водами.

Под неорошаемыми участками воды внизу сульфатно-хлоридные, унаследовавшие свой состав от периода до начала орошения, выше они сменяются хлоридными и нитратно-хлоридными. Почвы над ними представлены солончаками. Число проб с повышенной хлоридностью вод в верхних слоях невелико, менее 10% от общего их количества.

В глубоких слоях со стороны канала образовался вклинившийся поток вторично опресненных вод, который продвигается под влиянием напора от канала по наиболее легким и пористым грунтам.

Верхние слои вод и почв оказались наиболее засоленными в приканальных частях, где грунтовые воды поднялись раньше, чем в других местах. И, наоборот, центральная часть, которая очень обильно поливалась и где еще долгое время не сказывался напор со стороны каналов, опреснилась местами до 20 м.

Опреснение приканальной части было уже заметно через 9 лет после начала освоения (1969 г.), когда полоса опресненных вод вдоль канала достигала местами 100—150 м. Здесь почвы тоже опреснены и заросли тростником.

В центральной части понижения, как только прекратились поливы, опресненный слой грунтовых вод испарился и к поверхности приблизились минерализованные воды. Постепенно устанавливается обычное для орошаемых земель распределение опресненных вод и растворов вдоль каналов, а минерализованных — по межканальным понижениям.

На изменение концентрации растворов в первый период орошения влияют 2 фактора: растворение солей из твердой фазы почв и разбавление растворов менее минерализованными оросительными и фильтрационными водами. Испарение не могло оказать заметного влияния вследствие глубокого залегания уровня грунтовых вод и малого времени, прошедшего с начала орошения.

Физико-химические процессы растворения кристаллов солей и разбавления растворов сочетаются с гидродинамическими процессами передвижения почвенной и грунтовой влаги. Гидродинамический фактор определяет в конечном итоге характер почвенных и грунтовых растворов в каждой конкретной части почвогрунта.

Наиболее выражены следующие сочетания гидродинамических и физико-химических процессов:

1. Увлажнение почвы до наименьшей влагоемкости, растворение хлоридов и нитратов.

2. Движение капиллярно-пленочных растворов и обогащение их нитратами и хлоридами.

3. Насыщение почвогрунта гравитационной водой и обогащение фронтальной полосы наиболее растворимыми солями.

4. Замещение грунтовых вод в зоне насыщения, формирование разных фаз замещений ирригационной (при движении фильтрационных вод от каналов и орошаемых полей) и доирригационных (при собственном подъеме уровня глубинных вод) фаций, с присущим им химизмом от хлоридного до сульфатного и бикарбонатного.

Под влиянием сил гравитации и напоров вод движение почвенно-грунтовых растворов может происходить в любом направлении. Фронтальная полоса в том и другом случае (образования вод из-за фильтрации сверху и сбоку и из-за поднятия доирригационных вод под влиянием напоров) обогащается хлоридами и нитратами кальция, магния и натрия. Такие воды скапливаются в местах застоя, в зоне транзита; они эфемерны и со временем исчезают. При формировании фазы активного водозамещения состав солей в растворах бикарбонатный или близкий к составу оросительных вод. Состав доирригационных вод определяется исходным их химизмом и степенью их метаморфизации в сторону обогащения хлоридами.

В таблице 69 представлены расчетный состав почвенных растворов и фактический состав грунтовых вод в зоне влияния вод активного водозамещения под интенсивно и избыточно орошаемыми полями. Почвогрунты и грунтовые воды рассолены до глубины 20 м и более от поверхности почвы. Состав почвенных растворов би-

Таблица 69

Характеристика незасоленных недавно орошаемых пустынных почв на вторично опресненных грунтовых водах

№ разреза, объект	Глубина взятия образца, см	Плотный остаток г на 1 л	Щелочность	Cl'	SO_4''	Ca^{++}	Mg^{++}	Na^{+}	K^{+}
			общая в $HCO^{3'}$	мг-экв. на 1 л					
434, почвенные растворы	0–25	1,4	7	9	5	2	5	8	3
	25—50	1,5	16	2	1	2	8	5	3
	50–75	1,6	17	2	1	2	10	6	2
	75–100	1,5	17	2	1	2	8	7	1
	100–150	1,1	10	4	1	2	5	7	1
	150—205	1,6	14	4	1	2	5	11	1
	225–250	1,6	13	6	2	2	3	16	1
300, грунтовые воды	260	2,6	7	4	5	5	6	5	Не определяли
	500	3,4	6	6	41	19	16	17	То же
	800	4,2	5	6	52	23	19	20	» »
	1100	6,3	3	8	80	23	27	42	» »
	1400	6,9	7	12	84	24	31	48	» »
	1700	6,6	5	8	85	24	30	45	» »
	2000	6,6	5	8	85	24	30	44	» »
335	4280	18,3	2	183	112	17	75	204	» »
508, почвенные растворы	0–25	2,3	6	18	20	13	12	20	» »
	25–50	1,7	11	4	8	2	7	13	» »
	50–75	2,0	13	5	8	2	7	15	» »
	75—120	2,2	15	4	9	2	8	17	» »
	120—145	2,3	12	7	10	2	6	18	» »
	175—225	2,5	14	6	11	2	6	23	» »
	225—250	2,7	10	5	20	2	5	28	» »
	250—300	2,2	11	5	11	5	5	21	» »
296, грунтовые воды	320	1,6	6	7	10	6	6	12	» »
	500	3,6	7	15	35	12	15	31	» »
	800	5,6	7	18	60	22	24	40	» »
	1100	5,0	6	15	54	20	21	35	» »
	1400	5,8	8	23	59	25	24	40	» »
	1700	5,7	7	21	59	26	24	37	» »
	2000	5,6	7	21	60	26	23	40	» »

карбонатный при общей минерализации менее 2 г на 1 л. Сульфаты почти полностью вымыты, хотя хлориды в очень небольшом количестве обнаруживаются во втором метре от дневной поверхности и в верхнем слое

почвы. Абсолютные количества их очень небольшие. С увеличением минерализации грунтовых вод до 5 г на 1 л и более в их составе получают преобладание сульфаты кальция, магния и натрия, примерно в равных количествах. При повышении содержания солей доминирующее значение имеет натрий. В целом данные таблицы характеризуют полностью опресненные почти на 3 м почвы.

В таблице 70 представлены данные, характеризующие слабо засоленные почвы перелога, показывающие на начало реставрации засоления в связи с подъемом грунтовых вод и забрасыванием почв через 2—3 года дикого орошения. Первичное опреснение затронуло большую толщу почвогрунтов и образовались сверху слои мало минерализованных грунтовых вод, которые на глубине 10—15 м и переходят в более минерализованные хлоридные воды, обогатившиеся солями как при подъеме в зону аэрации, так из-за обогащения фронтальных вод фильтрационного потока при движении его сверху. Эти воды содержат магний, количество которого с глубиной уменьшается. В почвенных слоях при реставрации засоления хлориды накапливаются скорее, чем сульфаты.

В зоне влияния поднявшихся грунтовых вод без разбавления их оросительными фильтрационными водами, что наблюдается на неорошаемых участках, образуются вторичные солончаки, обогащенные нитратами или только хлоридами почвы (разрезы 538, 542). Почвенные растворы таких солончаков отличаются высоким содержанием хлоридов магния, а часто и кальция, при преобладании в составе катионов натрия. Иногда хлоридные растворы несколько разбавляются из-за бокового подтока грунтовых вод (разрез 542).

Разрезы 419 и 422 представляют вторичные солончаки, образовавшиеся на опресненных в первые годы орошения почвах, но затем заброшенных из-за переувлажнения. Слои нафильтровавшихся вод сульфатного состава испаряются, засоляя почву, и замещаются подтекающими снизу и с боку водами в результате напора грунтовых вод с окружающих повышенных поверхностей и со стороны прилегающего канала.

В процессе насыщения зоны аэрации фильтрационными и грунтовыми водами на орошаемом массиве происходят следующие процессы метаморфизации растворов:

Таблица 70

Характеристика слабозасоленных недавно орошаемых пустынных почв

№ разреза, объект	Глубина взятия образца, см	Плотный остаток, г на 1 л	Мг-экв./л							
			NO_3'	щелочность общая в HCO_3'	Cl'	SO_4''	$Ca^{\cdot\cdot}$	$Mg^{\cdot\cdot}$	$Na^{\cdot}$	$K^{\cdot}$
425, почвенный раствор	0—14	2,8	6	12	13	8	2	13	17	9
	14—39	4,1	2	12	14	31	2	13	39	6
	39—50	3,7	0,6	12	19	23	2	16	35	3
	50—86	4,7	0,5	13	25	33	2	18	49	3
	86—103	3,5	0,3	14	16	20	2	13	35	3
	103—150	3,6	0,3	17	16	18	2	11	35	3
	150—200	5,1	0,2	20	30	25	2	13	57	4
	200—240	9,3	0,2	6	32	100	12	23	109	3
	240—303	8,3	0,2	6	20	94	10	16	93	4
	303—356	13,9	0,2	6	40	154	24	36	158	3
	356—386	9,1	0,1	8	17	105	2	19	114	3
320, грунтовые воды	400	6,5	0,01	12	13	67	20	26	44	0,4
	600	8,9	Не определяли	3	58	70	33	26	69	0,2

Продолжение

№ разреза, объект	Глубина взятия образца, см	Плотный остаток, г на 1 л	Мг-экв./л							
			NO_3'	щелочность общая в HCO_3'	Cl'	SO_4''	$Ca^{\cdot\cdot}$	$Mg^{\cdot\cdot}$	$Na^{\cdot}$	$K^{\cdot}$
320, грунтовые воды	1000	11,0	Не определяли	1	45	121	26	27	114	—
	1200	10,8	То же	1	44	116	28	30	104	—
	1500	29,5	» »	2	398	155	45	221	239	—
	1800	31,7	» »	2	390	153	45	205	295	—
	2000	38,3	» »	6	378	163	44	198	311	—
	0—12	18	« »	6	156	132	37	93	158	10
	12—32	14,8	» »	4	24	44	2	18	49	4
	32—55	5,8	» »	3	40	49	2	18	63	4
	55—93	4,6	» »	6	28	37	2	16	46	4
	93—123	4,3	» »	12	17	36	2	18	37	4
	123—152	4,1	» »	15	16	31	2	18	36	3
	152—190	4,6	» »	11	23	36	2	23	41	3
	190—234	7,8	» »	6	38	78	6	37	71	3
	234—260	5,7	» »	5	30	54	2	28	56	3

Продолжение

№ разреза, объект	Глубина взятия образца, см	Плотный остаток, г на 1 л	Мг-экв./л							
			NO_3'	щелочность общая в HCO_3'	Cl'	SO_4''	$Ca^{\cdot\cdot}$	$Mg^{\cdot\cdot}$	$Na^{\cdot}$	$K^{\cdot}$
423, почвенный раствор	260—281	5,8	Не определяли	8	27	57	2	36	46	2
	281—300	3,9	То же	9	19	32	8	12	38	2,0
8, грунтовые воды	330	2,8	» »	13	19	13	10	20	13	Не определяли
	500	6,8	» »	3	7	89	22	20	55	То же
	700	6,9	» »	2	7	89	22	20	56	» »
	900	6,8	» »	4	6	88	22	20	56	» »
	1200	2,6	» »	2	8	29	12	8	19	» »
	1500	4,3	» »	1	16	48	12	15	38	» »
	1800	34	» »	2	409	158	30	147	393	» »
	2100	42	» »	2	487	198	32	302	353	» »
	2400	44	» »	3	516	217	34	192	514	» »
	2700	42	» »	3	495	221	34	191	495	» »
	3000	43	» »	3	490	212	34	200	472	» »

1) образование повышенно хлоридных натриево-магниевых вод в фронтальной полосе; в верхних слоях, контактирующих с почвами, появляются нитраты и хлориды кальция;

2) образование сульфатных магниево-натриевых и кальциево-натриевых вод в зоне водозамещения, следующей за фронтальной полосой фильтрационных вод;

3) образование сульфатно-гидрокарбонатных кальциево-натриевых вод в зоне интенсивного промывания и водозамещения под каналами и интенсивно орошаемыми полями;

4) появление вторичных солончаков вдоль ирригационной сети и на неорошаемых участках между орошаемыми полями с последующим оттеснением солевых растворов от ирригационной сети и перемещением солончаков в межканальное понижение.

Таким образом, элементарные процессы, определяющие формирование минерализации и состав грунтовых вод, следующие: а) растворение солей; б) обменные реакции растворов с поглощающим комплексом; в) кристаллизация вторичных солей; г) смещение растворов разного состава. Все эти процессы идут в подвижной гидродинамической системе водонасыщенной зоны, формирующейся из-за подтока грунтовых вод, или фильтрации оросительных вод, с развитием водозамещения разной скорости в активной зоне вертикального обмена, а впоследствии и испарения растворов.

Для количественной характеристики этих процессов предстоит выявить определяющие сочетания физико-химических явлений с гидродинамическими, которые, в свою очередь, находятся в зависимости от состава солей и водно-физических свойств водовмещающих грунтов, минерализации и состава исходных грунтовых и профильтровавшихся оросительных вод, характера распределения этих вод в пространстве и во времени. Все это, в свою очередь, зависит от ирригационно-хозяйственных условий и в какой-то мере от стихийных процессов (аварийные явления, прорыв дамбы канала и т. д.). В первые годы орошения создаются очень сложные системы условий и процессов, которые определяют конечный результат. Эти системы из-за стихийности распределения воды в строительный период трудно подаются количественному анализу.

В данном случае даже качественный прогноз по первому проекту освоения Северо-Байрам-Алийского массива орошения не предусматривал ухудшения мелиоративных условий и засоления почв. Спустя 10 лет запас солей здесь возрос не только в почвах, но и во всей зоне аэрации из-за внедрения вод доирригационной фации. Произошли значительные изменения в распределении солей при движении фильтрационных вод и дифференциации солей как по количеству, так и по составу в вертикальном и горизонтальном направлении. Обособились очаги вторичного засоления и рассоления, которые, однако, оказались неустойчивыми, в процессе стабилизации ирригационно-хозяйственных условий они мигрируют по территории. Сооружение дренажных устройств должно изменить гидрохимическую структуру вод и почвенных растворов.

Учитывая возможность вторичного перераспределения солей, оценка грунтов по степени засоления должна производиться по иной шкале, чем это принято для верхнего метра засоленных почв по существующим классификациям. Незасоленными могут быть признаны грунты, содержащие токсичные соли в количестве меньшем 0,05% на сухую почву. При этом средняя концентрация раствора при насыщении грунта водой будет не выше 2 г на 1л. Грунты с содержанием токсичных солей 0,2—0,4% должны быть отнесены к числу сильно засоленных, так как при этом можно ожидать концентрации грунтовых вод в интервале 8—16 г на 1 л.

Исходя из возможностей формирования грунтовых растворов за счет растворения солей зоны аэрации, их перераспределения и дополнительного подпитывания почв доирригационными грунтовыми водами, по запасам солей в грунтах можно выделить следующие категории (табл. 71):

Эти цифры характеризуют средние величины. Засоление всегда отличается пестротой. На орошаемых участках обычно 70% проб имеет величину ниже средней и 30% проб выше средней.

Опыт дренажа на засоленных почвах в Мургабском оазисе. Орошаемое земледелие в оазисе развивалось в бездренажных условиях. Борьба с засолением почв на орошаемых землях базировались на «сухом дренаже» путем рассредоточения орошаемых участков на площади, в 3—4 раза превышающей посевную. Переложные

Таблица 71

Классификация грунтов зоны аэрации по засолению

Соленосность грунта	Содержание токсичных солей		Общая концентрация солей в гипсоносных грунтах, г на 1 л
	% на сухую почву	при насыщении грунтовой водой, г на 1 л	
Незасоленные грунты	<0,05%	<4	<4,5
Слабая	0,06—0,10	2—4	4,5—6,5
Средняя	0,11—0,22	4—8	6,5—11
Сильная	0,23—0,45	8—16	11—19
Очень сильная	>0,45	>16	>49

и залежные земли испаряли грунтовые воды и служили аккумуляторами солей. Многократные попытки повышения КЗИ приводили к засолению орошаемых почв и выпаду части земель из сельскохозяйственного оборота. Так было в 1904—1910 гг. на землях Мургабского имения, в 1930—1935 гг. после расширения посевов хлопчатника, в 1960—1965 гг. после строительства Каракумского канала. После каждой волны активизации засоления предпринимались попытки сооружения дренажа для понижения уровня грунтовых вод. Первая попытка была предпринята на опытном поле Мургабского имения в 1910—1917 гг. Известно, что дренаж был закрытый, мелкий, не было хорошего водоприемника. Дренажные воды насосом перекачивали в арык. В первую мировую войну система перестала функционировать. Раскопками (Г. Рабочев, 1965) обнаружены хорошо сохранившиеся керамические дренажные местами заиленные трубы.

Вторая попытка применения дренажа относится к 1935—1940 гг., когда была частично восстановлена старая дренажная сеть. Но в это время главные надежды в борьбе с засолением почв возлагались на агромелиоративные меры. Разрабатывалась теория промывок засоленных почв малыми нормами в свободную емкость почвы, полива по дефициту влаги, борьбы с фильтрацией. Дренажные работы не получили развития, за исключением того, что было расчищено и спрямлено русло Джара, служившее для оазиса естественным коллектором.

В послевоенные годы в связи с сооружением новых водохранилищ, пуском воды по Каракумскому каналу и расширением посевов на староорошаемых землях вопрос о строительстве дренажа встал с еще большей остротой. Работы начаты в опытном порядке. Были запроектированы и сооружены опытные дренажные системы в 7 км южнее станции Байрам-Али, на землях древнего орошения и на землях Марыйского массива в колхозе «Октябрь» Марыйского района.

Некоторые вопросы о дренаже в Мургабском оазисе обсуждались в литературе (Трапезников, 1965; Изингер, 1971; Павлов, 1969; Топалов, Шерипов, 1971; Шубин, Ходжакурбанов, Фролова, 1972; Ефремов; 1970; Мамедов, 1971; Назармамедов, Изингер, 1971; Рабочев, 1968, и др.). Большое внимание было уделено влиянию дренажа на урожай хлопчатника и результатам опытов по промывкам на небольших площадках. Имеются данные систематических наблюдений за уровнем грунтовых вод и по солевому режиму почв на фиксированных точках, накопленные Мургабской режимной гидрогеологической станцией. В данной работе рассмотрены вопросы влияния дренажа на солевой режим почв и прогноза его эффективности.

Дренаж на землях Марыйской опытной сельскохозяйственной станции. До начала строительства дренажа уровень грунтовых вод на землях опытной станции был на глубине 0,5—2 м от дневной поверхности. Солевой режим орошаемых почв выходил за пределы критического, почвы засолялись, в связи с чем большая часть земель, где располагался 10-польный севооборот, выпала из сельскохозяйственного оборота. Средний урожай хлопчатника по станции упал до 14 ц/га.

В 1963 г. был сооружен коллектор, а в 1965 г. — закрытая дренажная сеть. Характеристики дренажной сети даны в таблице 72. Коллектор проведен по межканальному понижению. Длина коллектора составляет более 9 км, из них 4,5 км проходит по территории опытной станции. Дно коллектора после строительства было на 40—80 см ниже устья дрен. Общая площадь дренирования в проекте определена в 550 га. По нашему определению, влияние дрен распространилось на площадь около 330 га (рис. 23). После сооружения дренажной сети были начаты опытные промывки почв на площади 3—6 га. Были нарезаны дополнительно на период промывки мелкие временные дрены, но они вскоре перестали действовать, так как уровень грунтовых вод был ниже их дна. КЗИ на территории станции были очень низкими. В результате промывок урожаи на промытых почвах увеличились. Территория, находящаяся в сфере влияния искусственного дренажа до 1967 г. орошалась меньше чем наполовину, остальная площадь была занята перелогами и залежами. Однако площадь орошаемых земель с помощью производственных промывок постепенно расширяется. Осложнение вносит неотрегулированность условий использования коллектора, который периодически заиляется из-за сброса вод с полей, расположенных ниже станции, что ведет к подпору стока. В 1970 г. коллектор был снова расчищен, в 1971 г. он уже опять заилился. Очевидно, коллектор следует заключить в трубопровод, чтобы избежать влияния на его техническое состояние сброса поверхностных вод.

Таблица 72

Параметры дренажной сети на землях Марыйской станции

Дрена	Материал	Длина, м	Диаметр, мм	Уклон дрены, градусы		Глубина дрены, м		Междренное расстояние, м
				начало	конец	начало	конец	
9	Полиэтилен	556	150	0,004	0,0055	3,2	3,0	350
8		671	150	0,0015	0,0050	3,7	3,0	320
1		706	150	0,0015	0,0050	3,4	3,1	350
2	Асбоцемент	974	150	0,0015	0,0020	3,9	3,6	350
8	Керамика	952	150	0,0015	0,0025	2,8	3,5	340
4		884	150	0,0015	0,0020	2,6	3,1	320—300
4—1		867	150					
5		848	150	0,0015	0,0015	2,9	3,1	400
6	Полиэтилен	675	150	0,0085	0,0085	2,7	3,2	350—500
7	Керамика Полиэтилен	704	150	0,0020	0,0060	2,8	3,1	

В первые годы работы дренажа уровень грунтовых вод снизился на 1—1,5 м (рис. 24). Уже одно строительство коллектора в первый год позволило понизить уровень грунтовых вод на 50 см. Когда начал действовать дренаж, уровень грунтовых вод осенью 1966 г. сто-

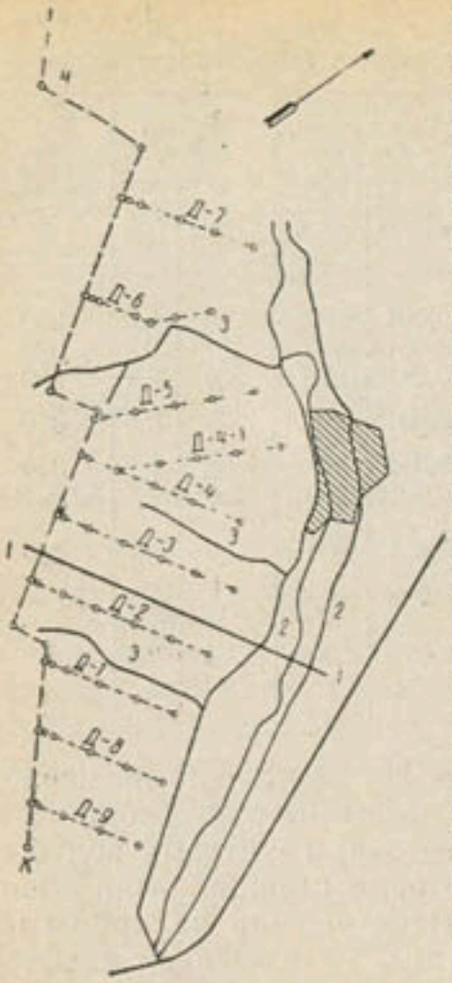


Рис. 23. Схема расположения ирригационной и дренажной сети на полях Марыйской опытной станции:

1 — магистральный канал; *2* — распределительный канал; *3* — постоянные оросители; *4* — открытый коллектор; Д1,2, ...9 — закрытые дрены; I—I — створ наблюдательных скважин.

ял на глубине 2—3 м от дневной поверхности. Больше всего уровень грунтовых вод снизился на территории вдоль коллектора. В верхней части ирригационного склона уровень грунтовых вод остается высоким, он здесь испытывает меньшее влияние дренажа. Большое понижение грунтовых вод происходит у коллектора. Некоторые из дрен осенью, собирая грунтовую воду в верхней части склона, к устью снова фильтруют их в грунты, осушенные коллектором. Весной сток по всем дренам высокий, что помогает быстро осушить территорию и начать полевые работы, тогда как до строительства дренажа из-за высокой влажности грунта обработка почв к посеву затягивалась.

Минерализация дренажных вод осенью, когда больше дренируются воды с верхней части склона, меньше, чем в зимнее время (табл. 73). Земли на территории станции еще не полностью освоены. Оценка же эффективности дренажа должна быть произведена при интенсивном использовании всех земель. В общем условия стока вод стали лучше, чем были до строительства дренажа, что позволило расширить посевные площади под хлопчатником и повысить его средний урожай с 13 ц в 1962 г. до 35 ц/га в 1971 г.

Общие запасы солей в 3-метровой толще почвы со времени ввода дренажа уменьшились незначительно (табл. 74). Однако верхний слой почвы до 75 см значи-

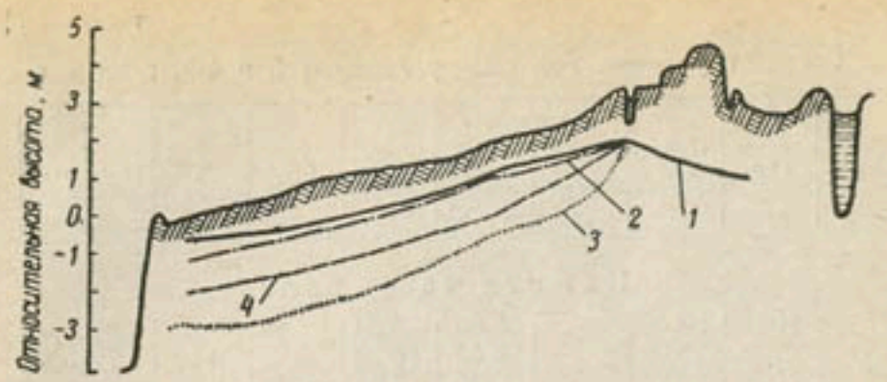


Рис. 24. Изменение уровня грунтовых вод под влиянием дренажа. Профиль по створу I—I:

1 — 1962 г.; *2* — 1964 г.; *3* — 1966 г.; *4* — 1968 г.

тельно опреснился, концентрация солей стала меньше токсического уровня даже осенью, но минерализация верхнего слоя грунтовых вод повысилась на 3 г на 1 л. Произошло перераспределение солей. Промывки и рассоление в нижней части привели местами к засолению почв на средней части склона, где специальных промывок не было, или их вели меньшей нормой.

Оценку дренажной системы можно дать исходя из следующего. Из общей площади ирригационной ячейки 70% почв нуждались в промывках. Понятно, что объем промывных вод в мелиоративный период будет значительно большим, чем в эксплуатационный. Поскольку

Таблица 73

Изменение средней концентрации солей в почвенных растворах между 3-й и 4-й дренами (г на 1 л в среднем из 20 определений)

Годы наблюдений	Глубина, см							
	0—25	25—50	50—75	75—100	100—150	150—200	200—300	0—300
1961—1962 гг.	39,6	19,1	17,6	19,9	18,5	20,2	12,3	18,6
1969, через 4 года работы дренажа	5,9	8,4	13,3	19,5	22,9	17,9	15,6	15,9
Изменение концентрации с 1961 по 1969 г.	—33,7	—10,7	—4,3	—0,4	+4,4	—2,3	+3,3	—2,7
То же, %	—85	—56	—24	—2	+24	—11	+27	—15

Таблица 74

Состав грунтовых вод между дренами 3 и 4-й, г на 1 л

№ разреза	Год	Плотный остаток	Щелочность CO_3''	Щелочность общая в HCO_3'	Cl'	SO_4''	Ca''	Mg''	Na'	K'
Нижняя часть поля										
167	1961	23,46		0,80	6,63	7,89	0,36	0,65	5,50	0,20
168		28,98		0,48	10,23	5,92	0,10	1,72	6,80	0,09
144	1966	25,24		0,76	7,03	8,08	0,59	1,22	6,90	0,06
145		30,54		0,67	7,10	11,39	0,56	1,93	6,00	0,07
557а	1969	21,3	0,14	1,21	4,08	8,45	0,45	1,18	4,20	0,05
557б		22,4	0,12	0,79	4,11	9,44	0,54	1,25	4,40	0,06
Средняя часть поля										
176	1961	14,78		0,57	0,98	8,35	0,30	0,43	3,82	
171г		9,22		0,67	0,62	5,12	0,43	0,51	1,77	
447	1966	13,19		0,60	3,44	4,36	0,66	0,83	2,20	0,05
446		17,43		0,54	3,69	6,80	0,53	0,71	3,85	0,06
559	1969	15,04	0,08	0,60	1,69	7,64	0,43	0,72	3,00	0,07
560		22,44	Нет	0,73	6,09	7,14	0,60	1,22	4,60	0,07
Верхняя часть поля										
175	1961	2,30		0,20	0,34	2,10	0,24	0,13	0,75	0,04
263	1962	2,98		0,54	0,45	1,14	0,19	0,14	0,48	0,04
450	1966	5,94		1,23	0,44	2,69	0,08	0,15	1,60	0,03
449		6,94		0,68	1,15	2,80	0,63	0,47	0,77	0,03
561	1969	11,94	0,05	0,69	2,14	4,84	0,55	0,63	2,10	0,04
562		6,22	0,13	1,37	1,08	2,28	0,06	0,37	1,60	0,03

закрытая дренажная сеть построена в расчете на эксплуатационный период, на время мелиорации она должна быть дополнена временным дренажем, или же надо рассчитывать на постепенное снижение уровня засоления орошаемых почв, обеспечив условия для постоянного нисходящего стока почвенных растворов и поддержание уровня грунтовых вод при данной их минерализации ниже критической глубины. В последнем случае промывки почв должны быть растянуты на более длительный срок при планомерном постепенном опреснении почв, при подаче определенного количества вод, чтобы не допустить реставрации засоления почв из-за подъема уровня грунтовых вод выше критического. В противном случае реставрация засоления будет снижать эффективность промывок и еще более затягивать мелиоративный период.

При расчете дренажа, который бы обеспечивал поступательный ход мелиоративного процесса и предупреждал реставрацию засоления, необходимо ориентироваться прежде всего на снижение уровня грунтовых вод ниже критического при существующей минерализации, так как последняя величина очень устойчива вследствие большой мощности слоя наиболее активного вертикального обмена (10—12 м). При опреснении верхнего слоя грунтовых вод нельзя не затронуть всю их толщу в 10—13 м, в пределах которой осуществляется активный вертикальный обмен.

Так, минерализация грунтовых вод в верхнем слое за 4 года работы дренажа не понизилась, а в верхней части поля даже несколько повысилась, и в среднем по расстояниям между дренами увеличилась на 3 г на 1 л за счет промывных почвенных растворов. Опреснение толщи в 10—15 м — операция, требующая многих лет направленного мелиоративного воздействия.

С началом регулирования солевого режима почв практически легче осуществить снижение уровня грунтовых вод, и только через много лет (примерно через 20—30) можно рассчитывать на полное опреснение почв и грунтовых вод в верхнем 10—15-метровом слое.

Расчет по уровню солевого баланса показывает, что при средней минерализации грунтовых вод на глубину 25 м по мелиоративным полям I — в верхней части ирригационного склона, II — в средней, III — в нижней, равной соответственно 2,5; 7 и 24,2 г на 1 л, нельзя допускать испарения грунтовых вод через почву более соответственно 600, 200 и 50 мм по тем же полям, для чего уровень грунтовых вод должен поддерживаться ниже 1,5 м на верхнем поле — в зоне активного водозамещения, 2,0 м — в зоне влияния вод замедленного водозамещения и не выше 3,5 м в нижней части и межканальном понижении — в зоне влияния застойных вод.

Оценивая с этих позиций запроектированный дренаж и первый опыт его работы, когда коллектор не был еще заилен, можно отметить, что на требуемую величину воды снизились только в верхней и средней части ирригационного склона. В нижней части это снижение хотя и было значительным, но уровень грунтовых вод был выше критического. При полном освоении всей площади дренаж, очевидно, не может в полной мере обеспечить поддержания уровня грунтовых вод ниже критической

глубины. В расчете на полное освоение и орошение всей площади надо либо усиливать (учащать) дренаж, или же, дополнив его временным, тоже глубоким, произвести планомерную и повсеместную промывку и опреснение почв и грунтовых вод до минерализации менее критической величины для уровней, которые могут быть стабильными при разреженном закрытом дренаже через 300—400 м. В противном случае удастся опреснить только верхний полуметровый слой, причем опасность реставрации засоления остается.

Опыт работы дренажа, сооруженного на территории Марыйской опытной станции, может быть распространен на весь Южно-Байрам-Алийский массив древнего орошения, а с внесением количественных поправок — на Куйбышевский и центральный солончаковый массивы древнего орошения.

Территория станции типична для земель древнего орошения, опыт ее дренирования после детального изучения и обобщения может быть широко распространен. Следующими за рассолением идут вопросы улучшения физических свойств почв. Засоление с подъемом грунтовых вод и рассоление путем промывок влечет за собой дезагрегацию почвенных частиц, сильное уплотнение, потерю части гумуса и питательных элементов.

Опытный дренаж на землях колхоза «Октябрь». Строительство дренажа осуществлено в 1962—1963 гг., в среднем построено по 16,2 пог. м/га. Расстояние между дренами 400—500 м. Сооружены 2 коллектора, 7 закрытых и 19 открытых дрен общей протяженностью 17 440 м на площади 2258 га, из которой в 1965 г. под посевами и посадками было занято лишь 1211 га, то есть около 50% дренированной площади. Глубина дрен 2—2,5 м, уровень грунтовых вод на полях 1,2—2,0 м.

В таблице 75 представлены данные по среднегодовым показателям стока дренажных вод (по данным Каракумской опытной станции). Эффективность дренажа оценивается стоком вод в расчете на единицу площади в единицу времени. Очевидно, чем больше гидромодуль, тем эффективнее дренаж. Увеличение стока достигается увеличением густоты и глубины закладки дрен. Эффективность дренажа для солевого режима повышается, если дрены собирают и отводят более высокоминерализованные воды. Из-за того, что воды Мур-

Таблица 75

Среднегодовой сток вод и солей по дренам Марыйского опытного участка (колхоз «Октябрь») 1965 г.

Дрена	Дренажный гидромодуль, л/сек-га	Удельный приток вод, л/м в сутки	Плотный остаток, г на 1 л	Cl, г на 1 л	Дренажный солевой модуль, г/га сек.		Удельный приток солей, кг в сутки	
					по плотному остатку	по Cl	по плотному остатку	по Cl на 1 пог. м
1	0,030	114	15,00	2,83	0,450	0 086	1,710	0,322
6	0,027	104	11,00	2,11	0,296	0,057	1,140	0,220
7	0,066	259	2,73	0,38	0.180	0,025	0,705	0,096
8	0,031	120	10,87	2,21	0,337	0,069	1,210	0,265
10	0,037	146	15,56	4,03	0,576	0.149	2,280	0,590
11	0,075	292	5,49	1,12	0.412	0.084	1,605	0,327
12	0,074	292	6,09	1.00	0,451	0,074	1,780	0,292
13	0,034	134	8,98	1,46	0,305	0.050	1,180	0,195
15	0,074	285	5,42	0,56	0,401	0,042	1,550	0,160
24	0,049	192	23,7	4.80	1,16	0,235	4,550	0,920
25	0,071	277	15,66	3.91	1,110	0,278	4,350	1,080
26	0,050	199	22,3	7.66	1,110	0,383	4,380	1,525
27	0,047	182	26,4	4,78	1.240	0,225	4,800	0,870
28	0,024	96	2,77	0.565	0,067	0.014	0,268	0,054
29	0,034	118	4,94	0,99	0,168	0,034	0,582	0,117
30	0,023	92	5,65	0.99	0.130	0,023	0,515	0,091

габской дельты не напорные, всякое увеличение концентрации солей в дренаже способствует более эффективному рассолению грунтовых вод активной зоны, которая определяет и солевой режим почв.

При рассмотрении с таких позиций результатов работы дрен по дренажному модулю и солевому стоку был сделан вывод, что дрены работают по-разному.

По аналогии с дренажным гидромодулем солевой гидромодуль можно измерять количеством солей, выносимых дренажным стоком с единицы площади в единицу времени (в г/сек·га). Очевидно, что чем выше солевой модуль, тем более эффективна для данной территории рассолительная роль дрены. Как видно из таблиц 75 и 76, рассолительная эффективность дрен на землях колхоза «Октябрь» оказалась очень разной. Это объясняется тем, что дрены собирают разные грунтовые воды в зависимости от размещения. В дренах, собирающих воды фазы активного водозамещения, они наименее минерализованы, а дрены в зоне влияния доирригацион-

Таблица 76

Группировка дрен по эффективности работы

Группа	Дренажный среднегодовой модуль		№ дрены	Примечание
	гидромодуль, л/сек·га	солевой модуль, г/сек·га		
I	0,045—0,075	0,09—0,383	11, 12, 24, 25, 26, 27	Эффект удовлетворительный
II	0,06—0,075	0,02—0,04	7, 15	Рассолительный эффект малый, дренажный — удовлетворительный
III	0,03—0,04	0,08—0,15	1, 10	Эффект малый
IV	0,01—0,07	0,02—0,035	6, 8, 13, 28, 29, 30	Эффект незначителен.

ных сильноминерализованных вод собирают наиболее соленые воды.

Солевой модуль по плотному остатку варьирует от 0,07 до 1,24 г/сек·га, то есть изменяется в 15 раз. Сравнение по плотному остатку не дает полной картины различий, так как при малых минерализациях (до 5 г на 1 л) 30—50% от суммы солей приходится на нетоксические карбонаты и сульфаты кальция. Поэтому при сравнении по Cl′ солевой модуль крайних по эффективности дрен различается в 25 раз (0,014 и 0,383 г/сек·га). Вообще дренировать воды фазы активного водозамещения на месте их формирования нецелесообразно. Почвы на территории их влияния не нуждаются ни в осушительном, ни в рассолительном дренаже, так как поверхности их обычно залегают несколько выше окружающих участков с фазами замедленного водозамещения и застойными водами, где и осуществляется «сухой (испарительный) дренаж». Но именно воды фазы активного водозамещения дренируют в данном случае две из 16 дрен (по которым у нас есть данные). Кроме того, еще 5 дрен имеют минерализацию воды в пределах 4—6 г на 1 л. Можно считать, что они по крайней мере около 30% своего стока получают благодаря дренажу вод фазы активного водозамещения. Таким образом, 8 из 16 дрен на данном участке размещены в условиях, не благоприятствующих рассолительному

действию дренажа: 6 дрен размещены более удачно в этом отношении.

Если оценить работу дрен по эффективности водно-солевого режима, разделив их условно на четыре группы, то даже первая, наиболее эффективная группа дрен удовлетворяла бы требованиям режима для полей, где грунтовые воды залегали бы не выше 1,8—2 м от поверхности почвы, а минерализация их была не выше 10 г на 1 л, если учитывать зависимость критического дренажа от минерализации грунтовых вод. Фактический же уровень грунтовых вод в зоне действия этих дрен 1,2—2 м и минерализация местами достигает 15—26 г на 1 л.

Такой дренаж не удовлетворяет требованиям водно-солевого баланса даже для критического солевого режима орошаемых почв и приходится снижать КЗИ. Испарение грунтовых вод происходит еще с 50% площади почв под перелогами.

Для полного использования почв дренаж должен быть значительно усилен, чтобы обеспечить снижение минерализации уровня грунтовых вод. Учитывая плывунность грунтов при открытом дренаже, сделать это очень трудно.

Что касается оценки других групп дрен, то эффективность их еще меньшая: II группа дрен, имея удовлетворительный дренажный модуль, выносит очень мало солей. Дрены расположены вдоль оросительных каналов и собирают воды фазы активного водозамещения. Остальные дрены не только обеспечивают незначительный сток дренажных вод, но и выносят мало солей.

Из предварительного анализа можно прийти к заключению, что такой дренаж не обеспечит быстрого рассоления почв, он должен быть значительно усилен, и, кроме того, размещение дренажа нельзя признать удачным. В дальнейшем необходимо принимать в расчет почвенно-гидрогеологические условия, обеспечивая в первую очередь усиленным дренажем участки влияния застойных вод ирригационной фации и доирригационных вод. Усиление дренажа последних повлечет ускорение оттока вод и расширение зоны влияния вод активного водозамещения. Дальнейшая цель — преобразование всей толщи наиболее активного вертикального обмена в зону активного водозамещения, исключив условия образования и испарения застойных вод. Там, где из-за

тяжелых водно-физических свойств почвогрунтов или интенсивно вторичного подтока сильно минерализованных глубинных доирригационных вод сделать это технически невозможно, нужно обеспечивать более значительное понижение уровня грунтовых вод, которое бы исключало влияние на орошаемую почву. При минерализации грунтовых вод равной 30—60 г на 1 л, их уровень на орошаемом поле не должен быть выше 3—3,5 м от дневной поверхности.

В Мургабском оазисе на конец 1970 г. всего построено, включая и расчищенные старые русла Мургаба, 2268 км дренажно-коллекторной сети (Ефремов, 1970), что составляет на орошаемую площадь в 147 тыс. га по 15,5 м/га. На то же время, по данным Ниязова (1970), удельная протяженность дренажно-коллекторной сети на орошаемую площадь составляет по районам: Марыйскому — 37,0, Сакар-Чагинскому — 27,9, Байрам-Алийскому — 10,9, Мургабскому — 18,5, Иолотанскому — 1,2, Туркмен-Калинскому — 1,0 и в среднем по Мургабскому бассейну — 16,5 м/га.

Более правильно считать удельную протяженность на всю площадь оазиса, которая за последние годы очень расширилась и, включая периферийные обводненные земли, составляет около 450 тыс. га. При этом для всего Мургабского оазиса удельная протяженность дренажно-коллекторной сети составит всего лишь около 5 м/га.

При оценке протяженности дренажа только на орошаемую площадь создается неправильное представление о потребности в мелиоративных работах. Главная цель мелиоративных работ — обеспечение возможностей полного использования всех свободных земель в контуре оазиса, и поэтому оценка мелиоративного состояния земель должна быть дана с учетом всей площади оазиса. Исходя из этого, дренажно-коллекторная сеть в 5—10 м/га должна быть оценена как совершенно недостаточная для того, чтобы начать широкую мелиорацию засоленных пустующих земель и стабилизировать солевой режим орошаемых почв. Расширение орошаемых площадей на таком фоне чревато опасными последствиями. «Сухой дренаж» по-прежнему выполняет роль главного регулятора водно-солевого режима на орошаемых почвах. Кроме того, на массиве нового освоения, где ранее грунтовые воды были очень глубокими, происходит быстрое заполнение свободной грунтовой емкости фильтрационной водой. Этот резерв фактически уже исчерпан, площади с уровнем грунтовых вод, близким к критическому, с каждым годом растут, и скорость этого роста увеличивается, что также ведет к переводу брошенных площадей в категорию «сухого дренажа» и к понижению КЗИ.

Имеющиеся материалы указывают на тяжелые мелиоративные условия, которые удалось несколько улучшить только на Марыйском массиве, где, по данным Ф. Ф. Трапезникова (1972), площади засоленных почв уменьшаются.

◆

Изложенные материалы заставляют коснуться вопроса о роли организационно-хозяйственного фактора в развитии почвенно-мелиоративного состояния земель Мургабского оазиса. На протяжении нашего столетия Мургабский оазис как перспективный объект для расширения орошаемых площадей испытывал влияние непрерывающихся ирригационно-мелиоративных преобразований вначале на базе регулирования местного стока, а затем переброски амударьинских вод. На протяжении всего этого времени попутно с улучшением водообеспечения хлопководства и расширения площади под хлопчатником наблюдалось ухудшение мелиоративных условий на староорошаемых землях. Это вынуждает вести орошаемое земледелие при низких КЗИ в переложной системе. В оазисе ведутся поиски мер борьбы с засолением и заболачиванием земель. В 30—40-х годах здесь были широко испытаны комплексы агромелиоративных мероприятий, разработанные Всесоюзным научно-исследовательским институтом гидротехники и мелиорации. Недостаток оросительных вод способствовал внедрению жесткого водопользования при ограниченном водопотреблении на орошаемых землях, что в то время считалось главной мерой борьбы с засолением почв. Позже, вплоть до 60-х годов, отдельные ученые оценивали эти меры борьбы очень высоко, отрицая роль дренажных средств в регулировании водно-солевого режима орошаемых почв.

В дальнейшем орошение в Мургабском оазисе развивалось на бездренажном фоне даже после строительства Каракумского канала, что предопределило низкие

КЗИ, малую производительность труда и ограничение возможностей повышения плодородия орошаемых почв.

В настоящее время большое значение придается дренажу и промывным поливам. Расширение строительства дренажно-коллекторных систем будет эффективным, если одновременно наладят службу эксплуатации дренажных систем, правильное использование орошаемых земель и их мелиоративный контроль с использованием инструментальных методов. В общей системе мер по борьбе с засолением наряду с гидротехническими большое значение имеют и агротехнические мероприятия, влияющие на высоту урожая.

Организация правильного сочетания гидромелиоративных, агромелиоративных и хозяйственных мероприятий в орошаемом земледелии зависит от правильного планирования, проектирования и руководства развитием орошаемого земледелия, что в конечном итоге определяет успех своевременного внедрения научных разработок. Существующие средства позволяют создавать оптимальные режимы для сельскохозяйственных культур в любых почвенно-мелиоративных условиях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Развитие орошаемого земледелия уже в энеолитическое время встретилось с главнейшей проблемой использования пустынных земель — необходимостью борьбы с засолением орошаемых почв.

В природных условиях засоление почв пустынь, в особенности гидроморфных, имеет очень широкое распространение. Эволюция почвенного покрова в автоморфных условиях северных субтропических пустынь направлена на образование малоплодородных пустынных песчаных почв с небольшим количеством такыров. В южных субтропических и тропических пустынях вне условий грунтового увлажнения отсутствие влаги исключает возможности образования почвенного покрова. Кое-где в защищенных местах имеются остатки ископаемых почв. Вместо почв развиваются разнообразные по морфологии, химическому и минералого-петрографическому составу коры выветривания, почти всегда карбонатные, часто гипсоносные и соленосные.

Направленность культурного почвообразования в автоморфных условиях пустыни противоположна природному. Оазисные почвы в пустыне представляют собой искусственные аккумулятивные образования, созданные многовековым, а местами и тысячелетним трудом земледельца-ирригатора. Хотя при оазисном почвообразовании не исключено проявление засоления, оно локализовано с помощью «сухого дренажа», тем самым обеспечены условия поддержания почв в незасоленном состоянии в зоне опреснения или частичного опреснения.

Вначале орошаемое земледелие следовало за естественным развитием речных систем. В дальнейшем орошение завоевывает все более древние и менее доступные поверхности. При этом оно вносит большие изменения в развитие почв оазисов и прилегающих земель; расширяя границы массивов искусственного орошения и сокращая площади стихийно-обводняемых территорий.

Засоление почв, относящееся к числу наиболее трудно преодолимых проявлений пустынного почвообразования, усиливается при переходе к постоянному орошению при развитой ирригационной сети. В наиболее сложных мелиоративных условиях это способствует перемещению орошения на более высокие земли и развитию переложного кочевого орошаемого земледелия при низких коэффициентах земельного использования (КЗИ) на естественно недренированных землях.

С развитием ирригационно-земледельческой и мелиоративной техники расширялись возможности освоения и охраны орошаемых земель от разрушительных пустынных процессов, в том числе и от засоления. На смену «сухому дренажу» пришел гидротехнический систематический дренаж, появились предпосылки полного исключения процессов засоления на орошаемых землях.

На всех стадиях развития орошаемое земледелие оказывает многогранное влияние на почвенный покров как в результате прямого воздействия полива, обработки, удобрения культурных растений, так и вследствие изменения условий почвообразования через воздействие на гидрогеологический и гидрохимический режимы грунтовых вод, микрорельеф, микроклимат и даже состав материнских пород вследствие накопления ирригационных отложений. Изменение почвенного покрова под влиянием орошения имеет необратимый поступательный характер, что отражено в предложенной классификации при разделении оазисных почв на классы: 1) недавно орошаемые, 2) оазисные, 3) древнеоазисные, 4) оазисные, выпавшие из орошения, 5) оазисные антропогенного происхождения неорошаемые.

Наряду с решающим влиянием орошаемого земледелия на свойства орошаемых почв пустынь разных широт накладывают отпечаток особенности зонального почвообразования, причем это проявляется более ярко, чем в естественных условиях. При орошении создаются условия для интенсивного преобразования минеральной массы материнских пород, миграции веществ, образования органических кислот, которые в отсутствии влаги ограничены или вовсе не проявляются.

Орошаемые почвы тропической и переходной к субтропической части пустыни отличаются высокодисперсным, глинистым составом минеральной массы, преобладанием в составе глинистых минералов монтмориллонита,

высокой емкостью обмена катионов, малой карбонатностью, повышенной щелочностью почвенных растворов.

В подпахотных слоях почвенная масса приобретает слитость. Пахотный горизонт почв характеризуется удовлетворительной макроструктурой. Благодаря этому почвы имеют неплохие показатели впитывания влаги и одновременно отличаются очень слабой капиллярной водопроводимостью, повышенной влагоемкостью. Эти особенности почвогрунтов ослабляют напряженность солевых процессов и определяют меньшие величины критической глубины и более высокие критические показатели минерализации грунтовых вод. Мелкий дренаж при таких условиях обеспечивает достаточную эффективность в борьбе с засолением.

Орошаемые почвы северных субтропических пустынь более грубодисперсны, преимущественно пылеватые, микроструктурные, но макробесструктурные, глинистые минералы представлены преимущественно гидрослюдами. Орошаемые почвы высококарбонатны, имеют низкую емкость обмена катионов, обладают чаще нейтральной реакцией почвенных растворов, характеризуются невысокой водопроницаемостью, но очень большой капиллярной водопроводимостью при удовлетворительной влагоемкости. Процессы солевой миграции в микроструктурных пылеватых почвогрунтах очень активны, и в то же время они имеют малую водоотдачу. Все это определяет более высокие величины критической глубины грунтовых вод и более низкие величины их критической минерализации.

Для успешной борьбы с засолением требуется глубокий систематический дренаж. Применение мелкого дренажа не исключает условий реставрации засоления.

Учитывая большую практическую значимость зональных различий в свойствах орошаемых земель, в классификации выделены 3 зональных общности оазисных почв: 1) тропическая, 2) южная субтропическая и 3) северная субтропическая общность почв пустыни.

По степени грунтового гидроморфизма каждая общность оазисных почв разделена на 4 класса: 1) ирригационно-автоморфные, 2) ирригационно-грунтово-гидроморфные, 3) ирригационно-гидроморфные, 4) ирригационно-переувлажненные, заболоченные.

Каждый тип почвообразования отличается от другого совокупностью признаков, в числе которых учитываются содержание гумуса, мощность и состав агроирригационных отложений, водно-физические свойства, подверженность засолению и т. д.

Количественное проявление засоления оазисных почв и качественный состав солей зависят от степени грунтового гидроморфизма почв, режима и минерализации грунтовых вод.

На территории Мургабского оазиса по химизму выделены грунтовые воды ирригационного и доирригационного происхождения. Найдены признаки их идентификации. Грунтовые воды ирригационного происхождения разделены на 3 фазы: активного, замедленного водозамещения и застойные.

Обнаружены случаи метаморфизации солей — щелочной в зоне влияния грунтовых вод активного водозамещения, сульфатной — в зоне влияния вод замедленного водозамещения и хлоридной в зоне влияния застойных вод.

Для анализа засоления почв и обмена солями с грунтовыми водами предложен метод расчета состава и концентрации солей в почвенных растворах по результатам анализа водных вытяжек, что позволяет восполнить недостаток прямых данных (Минашина, 1970). Статистическим анализом установлена зависимость урожая хлопчатника от концентрации солей в почвенном растворе. На этой основе разработана классификация почв по степени актуального засоления. Эта классификация предназначена для прогноза урожая и контроля размеров засоления в процессе эксплуатации орошаемых почв.

Для мелиоративных целей классификацию почв по степени засоления дают с учетом запасов токсичных солей в почвогрунтах зоны аэрации и минерализации грунтовых вод.

Критические величины минерализации и глубины залегания уровня грунтовых вод предложено определять на основе водно-солевого баланса почвенных растворов, формирующихся в результате поступления и испарения оросительных, грунтовых вод, режимов орошения и промывок. Определено понятие «критический солевой режим орошаемых почв», предложен метод его прогноза и даны рекомендации по обеспечению условий под-

держания солевого режима почв ниже критического уровня.

Анализ распределения солевых растворов в почвах и грунтовых водах орошаемой территории позволил выявить мелиоративно-однотипные поля по минерализации и химизму почвенно-грунтовых растворов, что определяется сходным характером режимов засоления — рассоления внутри них. Показано, что гидрохимические расчеты баланса и динамики увлажнения солей в почвенных растворах могут быть положены в основу мелиоративного прогноза для почв каждого мелиоративного поля, определения параметров критических величин глубины уровня и минерализации грунтовых вод, режимов орошения и промывок, потребностей в дренаже грунтовых вод при данных условиях ирригационно-хозяйственного использования земель. По гидрохимическому расчету определяется также и предельно допустимая минерализация оросительных вод, режимы орошения и размеры поливных норм для поддержания промывного режима и предупреждения вторичного засоления почв. Предложены необходимые формулы расчетов (Минашина, 1970, 1972, 1973).

Для Мургабского оазиса по массивам дана характеристика истории освоения, мелиорации и изменения мелиоративных условий в связи со строительством водохранилищ и Каракумского канала. Предстоит преодолеть ряд технических и организационных трудностей в строительстве и эксплуатации систематического дренажа на староорошаемых и вновь освоенных землях. Отсутствие оперативного контроля и службы прогноза мелиоративного состояния орошаемых почв приводит к тому, что ухудшение условий становится заметным слишком поздно, когда земли теряют плодородие, что не обеспечивает своевременного предупреждения этих неблагоприятных процессов.

Мелиорация староорошаемых земель требует не только капиталовложений, но и более четкой организации работ. Приходится считаться со сложившимся землепользованием и ирригацией, рассчитанными на бездренажные условия; появляется необходимость в реконструкции ирригационных систем.

Из теоретических исследований и практического опыта следует, что при освоении новых земель в зоне пустынь очень опасно развертывать фронт ирригационно-

строительных работ, когда не подготовлена база для правильного освоения и использования почв. Природные условия здесь таковы, что использование почв вне контролируемых условий при стихийном режиме орошения приводит к засолению, заболачиванию, которые вынуждают вести переложное земледелие. Разрыв между ирригационным строительством и правильным освоением в контролируемых условиях водно-солевого режима недопустим.

Опыт правильного развертывания ирригационно-освоительных работ накоплен мелиоративной практикой в Голодной степи, он заслуживает изучения и внедрения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Абаев Н. А. Развитие хлопководства Советского Туркменистана. Ашхабад, 1969.

Агроклиматический справочник по Туркменской ССР. Л., Гидрометеоиздат, 1961.

Андрианов Б. В. Древние оросительные системы Приаралья. «Наука», 1969.

Андрианов Б. В., Базилевич Н. И., Родин Л. Е. Из истории земель древнего орошения в Хорезме. Известия Всесоюзного географического общества. Т. 89, вып. 6, 1957.

Антипов-Каратаев И. Н. Мелиорация солонцов СССР. М., Изд-во АН СССР, 1953.

Аскоченский А. Н. Орошение и обводнение в СССР. М., «Колос», 1967.

Аскоченский А. Н. Борьба с засолением орошаемых земель. М., «Колос», 1967.

Алиман А. Доисторическая Африка. М., ИЛ, 1960.

Бабаев А. Г., Федорович Б. А. Основные этапы формирования рельефа Каракумов. —«Проблемы освоения пустынь», 1970, № 5.

Балябо Н. К. Повышение плодородия почв орошаемой хлопковой зоны СССР. М., Сельхозгиз, 1954.

Барц Э. Р. Орошение в долине р. Мургаба. СПб., 1910.

Бартольд В. В. К истории орошения Туркестана. СПб., 1914.

Белякова Л. П. Пути повышения плодородия орошаемых почв Южного Таджикистана в условиях хлопково-люцерновых севооборотов. Сталинабад, 1957.

Бессмертный В. Е. К характеристике основных водно-физических свойств целинных и мелиорируемых такыров Тедженского оазиса. — «Известия АН Туркменской ССР (серия биологическая)», 1963, № 5.

Бессмертный В. Е., Бурдыгина В. С., Закурдаева Т. И. Изменение некоторых элементов плодородия такыров под влиянием агромелиорации.—«Известия АН Туркменской ССР (серия биологическая)», 1964, № 6.

Богданов Н. М. Особенности геоморфологического строения Карабиля. —«Известия АН СССР (серия географическая)», 1962, № 6.

Богданович Н. В. Некоторые особенности почвообразования в дельте Амударьи. —«Труды института почвоведения», вып. I, Ташкент, 1955.

Букинич Д. Д. Изыскания в Мервском и Тедженском оазисах. Ежегодник Отдела Земельного Улучшения, VII (1915), ч. II, 1917.

Букинич Д. Д. История первобытного орошаемого земледелия Закаспийской области. — «Хлопковое дело», 1924, № 5.

Братчева М. И. Применение нового диспергатора — гексаметафосфата натрия, при механическом анализе почв и грунтов. Изд-во АН Узбекской ССР, 1957.

Бончковский Ф. Н. Основные принципы мелиорации засоленных земель на примере Вахшской долины. Всесоюзная конференция по вопросам борьбы с засолением орошаемых земель Средней Азии, Южного Казахстана, Азербайджана. М., 1963.

Боровский В. М., Погребинский М. А. Древняя дельта Сырдарьи и Северные Кызылкумы. Почвенно-мелиоративные условия и проблемы сельскохозяйственного освоения. Изд-во АН Казахской ССР, Алма-Ата, 1958.

Бурдыгина В. С., Фалеева М. Г. Химическая характеристика такыров Мургабского оазиса. — «Известия АН Туркменской ССР (серия биологическая)», 1962, № 2.

Вавилов Н. И. Роль центральной Азии в происхождении культурных растений. Избранные труды. Т. II. М.—Л., Изд-во АН СССР, 1960.

Вавилов Н. И. Происхождение культурных растений. Избранные труды. Т. V. М.—Л., Изд-во АН СССР, 1965.

Вавилов Н. И. Земледельческая Туркмения. Избранные труды. Т. V. М.—Л., Изд-во АН СССР, 1965.

Вавилов Н. И., Букинич Д. Д. Земледелие Афганистана, изд. 2-е. Изд-во АН СССР, 1959.

Виноградов А. В., Мамедов Э. Д., Степанов И. Н. О древних почвах и песках Кызылкумов. — «Почвоведение», 1969, № 9.

Вопросы происхождения засоленных почв и их мелиорация (под редакцией В. А. Ковды). Труды Почвенного института им. В. В. Докучаева. Т. 54, Изд-во АН СССР, 1954.

Воскресенский М. Н. Долина реки Мургаба в почвенном отношении. Известия Института почвоведения и геоботаники. САГУ, вып. 1. Изд-во САГУ, 1925.

Генусов А. З. Развитие такыров и такыровых комплексов на древнеаллювиальных равнинах. — В кн.: О развитии почвенного покрова на древнеаллювиальных равнинах Средней Азии. Ташкент, Изд-во АН Узбекской ССР, 1958.

Герасимов И. П. К вопросу о генезисе и эволюции пустынных песков Туркестана. Труды Почвенного института. Т. 5, Изд-во АН СССР, 1930.

Герасимов И. П. О такырах и процессе такырообразования. — «Почвоведение», 1931, № 4.

Герасимов И. П. Основные черты развития современной поверхности Турана. Труды института географии, вып. XXV. М.—Л., Изд-во АН СССР, 1937.

Герасимов И. П. Главнейшие моменты палеогеографии Западной Туркмении во вторую половину четвертичного периода. Проблемы физической географии, 1938, т. 5.

Герасимов И. П. Геоморфологические районы Юго-Восточных Каракумов. Природные ресурсы Каракумов, ч. 4. М.—Л., Изд-во АН СССР, 1940.

Герасимов И. П. Перспективы ирригации в Юго-Восточных Каракумах в свете современных почвенно-географических сведений, ч. 4. М.—Л., Изд-во АН СССР, 1940.

Герасимов И. П. Проблемы преобразования Средней Азии. М., «Наука», 1967.

Герасимов И. П., Мурзаев Э. М., Островский И. М. Средняя Азия. Природные условия и естественные ресурсы. М., «Наука», 1968.

География и классификация почв Азии (под редакцией В. А. Ковды и Е. В. Лобовой). М., «Наука», 1965.

Горбунов Б. В., Кимберг Н. В., Лобова Е. В., Шувалов С. А. Работа по уточнению единой номенклатуры почв Средней Азии. — «Почвоведение», 1951, № 11.

Горбунов Б. В. и Кимберг Н. В. К вопросу о границе между широтными почвенными зонами и высотными почвенными поясами Средней Азии. — «Почвоведение», 1961, № 11.

Горбунов Н. И. Поглотительная способность почв и ее природа. М., Изд-во АН СССР, 1948.

Горбунов Н. И. Минералогический состав и свойства взвесей рек Амударьи и Куры. Труды почвенного института. Т. 53, Изд-во АН СССР, 1958.

Горбунов Н. И., Бекаревич Н. Е. Природа образования почвенной корки и меры борьбы с ней. — «Почвоведение», 1951, № 4.

Горбунова О. Г. Гидрогеология дельты Мургаба. Материалы исследований в помощь проектировщикам и строителям Каракумского канала, вып. 4. Ашхабад, 1958.

Грабовская О. А. Почвы Вахшской долины и их мелиорация. Госиздат Таджикской ССР, 1947.

Грабовская О. А. Процессы рассоления почв долин южного Таджикистана при мелиорации. Изд-во АН Таджикской ССР, 1961.

Гуссак В. Б., Рыжов С. Н. Физические свойства почв. Хлопчатник. Т. II. Климат и почвы хлопковых районов Средней Азии. Ташкент, Изд-во АН Узбекской ССР, 1957.

Димо Н. А., Скворцов Ю. А. Босарга-Керки-Чарджуйская культурная полоса по левому берегу р. Амударьи. Ташкент, 1928.

Джумаев О. М. К истории орошаемого земледелия в Туркестане. Ашхабад, Изд-во АН Туркменской ССР, 1951.

Джумаев О. М. Такыры Туркменской ССР. Ашхабад, 1959.

Джумаев О. М., Носов А. К. О генезисе калийной селитры в селитроносных землях равнинного Туркменистана. — «Почвоведение», 1948, № 6.

Доленко Г. И. Почвы вдоль трассы Каракумского канала. — «Труды Арало-Каспийской комплексной экспедиции», вып. 1, М., изд-во АН СССР, 1954.

Доленко Г. И. Характеристика земельного фонда в зоне влияния Каракумского канала. — «Труды VIII сессии АН Туркменской ССР», Ашхабад, 1956.

Доленко Г. И. Рыхлопесчаные, песчаные и супесчаные сероземы Туркмении. Почвы Туркменской ССР и их использование. Изд-во АН СССР, 1953.

Дубянский В. А. Песчаная пустыня Юго-Восточных Каракумов. — «Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции». Т. 19, в. 4, 1928.

Дунин-Барковский Л. В. Проблема ирригации и мелиорации орошаемых земель в странах Ближнего и Среднего Востока. —«Гидротехника и мелиорация», 1956, № 7.

Дунин-Барковский Л. В. Физико-географические основы проектирования оросительных систем (районирование и водный баланс орошаемой территории). М., 1960.

Дюжев Г. А. Влияние обработки почвы и удобрений по пласту и обороту пласта трав на развитие и продуктивность хлопчатника. Труды Иолотанской селекционной станции, в. 1, Ашхабад, 1961.

Дюжев Г. А. О влиянии удобрений на агрохимические свойства почв южной пустыни. — В сборнике научно-технических работ по хлопководству. Ашхабад, «Туркменистан», 1966.

Земельно-водные ресурсы пустынь —«Труды Всесоюзной конференции по проблемам пустынь» (под редакцией И. С. Рабочева). Ашхабад, «Ылым», 1971.

Егоров В. В. Связь явлений отакыривания с засолением почв. — В кн.: Вопросы географии почв. М., Изд-во АН СССР 1957.

Егоров В. В. Почвообразование и условия проведения оросительных мелиораций в дельтах Арало-Каспийской низменности. М., Изд-во АН СССР, 1959.

Егоров В. В. Мелиоративная природа дельт погружения. — «Почвоведение», 1970, № 12.

Егоров В. В., Минашина Н. Г. Мелиорация засоленных почв и мелиоративное почвоведение в СССР. —«Почвоведение», 1967, № 11.

Ефимов Г. С. О балансе грунтовых вод в Мургабском оазисе. — «Труды VIII сессии АН Туркменской ССР», Ашхабад, 1956.

Захарченко В. Т. Освоение новых и улучшение мелиоративного состояния орошаемых земель в Туркменской ССР. —«Труды VIII сессии АН Туркменской ССР». Ашхабад, 1956.

Зимина Н. И. Физические свойства почв Мургабской долины. — В кн.: Почвы дельты Мургаба и вопросы агротехники хлопчатника. Ташкент, 1957.

Каменир-Бычков Г. А. Формирование такыров на землях древнего орошения в дельте р. Мургаб. —«Труды ТашГУ», вып. 291, 1966.

Каменир—Бычков Г. А. Значение влажности и физических свойств почв в процессе отакыривания залежей в пустыне. — «Труды ТашГУ (биология)», в. 204, 1962.

Кац Д. М. Контроль режима грунтовых вод на орошаемых землях. М., «Колос», 1967.

Кимберг Н. В. О направлении развития почвенного покрова дельты Амударьи. —«Известия АН Узбекской ССР», 1953, № 3.

Кимберг Н. В. Почвы пустынной зоны Узбекистана. Автореферат диссертации. ТашГУ, 1968.

Кимберг Н. В., Кочубей М. И., Сучков С. П. Систематика почв земледельческих районов Узбекистана. —«Почвоведение», 1960, № 6.

Кистер Э. Г. Исследование солеустойчивости палыгорскита.— «Коллоидный журнал», 1960, № 6.

Ковда В. А. Происхождение и режим засоленных почв. Т. 1 и 2. М., Изд-во АН СССР, 1946, 1947.

Ковда В. А. Спорные и бесспорные вопросы. —«Почвоведение», 1950, № 2.

Ковда В. А. Геохимия пустынь СССР. Доклады на V Международном конгрессе почвоведов. М., Изд-во АН СССР, 1954.

Ковда В. А. В пустынях и оазисах Египта. —«Вестник АН СССР», 1958, № 9.

Ковда В. А., Базилевич Н. И. Такыры Западной Туркмении и пути их сельскохозяйственного освоения. М., Изд-во АН СССР, 1956.

Ковда В. А., Захарьина Г. С., Шелякина О. А. Значение ирригационных наносов Аму-Дарьи в плодородии орошаемых почв. —«Почвоведение», 1959, № 4.

Ковда В. А., Егоров В. В. Применение дренажа при освоении засоленных земель. М., Изд-во АН СССР, 1958.

Козлова А. В. Влияние культуры травосмесей на орошаемых светлых сероземах. —«Труды Почвенного института им. В. В. Докучаева». Т. 14. М., Изд-во АН СССР, 1954.

Козлова А. В. О накоплении нитратов в термитниках Туркмении. —«Почвоведение», 1951, № 10.

Кондрашев С. К. Орошаемое земледелие. М., Сельхозгиз, 1948.

Костюченко В. П. Орошаемые сероземные почвы Ташкентского оазиса. Труды Почвенного института им. В. В. Докучаева. Т. 52. М., Изд-во АН СССР, 1957.

Костюченко В. П. Результаты аэровизуального обследования почвенного покрова восточной части Заунгузских Каракумов. — «Известия АН Туркменской ССР», 1959, № 2.

Кошкалда В. А. Материалы по гидрохимии водоемов р. Мургаб. —«Труды Мургабской гидробиологической станции». Ашхабад, Изд-во АН Туркменской ССР, 1958.

Кононова М. М. Окислительно-восстановительный потенциал как метод характеристики почвенных условий при различных способах орошения. —«Почвоведение», 1932, № 3.

Кононова М. М. Органическое вещество почв СССР. М., Изд-во АН СССР, 1963.

Кононова М. М., Бельчикова Н. П. Ускоренные методы определения состава гумуса минеральных почв. —«Почвоведение», 1961, № 10.

Лавров А. П. О распределении древних разливов в дельте Мургаба и влияние их на почвообразование. —«Известия АН Туркменской ССР», 1958, № 2.

Лавров А. П. К характеристике почв Бадхыза. —«Известия АН Туркменской ССР, серия биологическая», 1964, № 3.

Лавров А. Н. Почвы Заунгузья. —«Проблемы освоения пустынь». 1969, № 1.

Лагунова Е. П. Органическое вещество сероземов Зеравшанской долины. — В сб.: Влияние орошения на почвы оазисов Средней Азии. М., Изд-во АН СССР, 1963.

Лебедев Ю. П. Почвенные условия долины Мургаба. Материалы почвенно-агрохимической характеристики территории СССР. Т. II. М., Сельхозгиз, 1937.

Лебедев Ю. П. О причинах образования в почвах Голодной степи поверхностного и подпахотного уплотнения. —«Труды Почвенного института им. В. В. Докучаева». Т. 29. М., Изд-во АН СССР, 1948.

Левченко Ф. И. Почвы, грунты и грунтовые воды Каракумской пустыни в связи с вопросами ее орошения. Киев, 1912.

Летунов П. А. Почвенно-мелиоративные условия в низовьях Аму-Дарьи. М., Изд-во АН СССР, 1958.

Лисицына Г. Н. Орошаемое земледелие энеолитических племен Юго-Восточной Туркмении. — В кн.: Земли древнего орошения и перспективы их сельскохозяйственного использования. М., «Наука», 1969.

Липкинд И. М., Гредингер В. Х. Процессы образования пестроты плодородия сероземов нового орошения в результате неравномерного распределения ирригационных наносов в Вахшской долине. Труды Института почвоведения и мелиорации. Т. I. Изд-во АН Таджикской ССР, Сталинабад, 1951.

Липкинд И. М. Опыт устранения пестроты почвенного покрова методом коренной планировки. Сообщения 1 и 2. — «Труды АН Таджикской ССР». Т. 20. Почвоведение и мелиорация. Сталинабад, 1949.

Любченко А. Е. Каракумская степь. Почвенные и гидрологические исследования. М., 1910.

Лобова Е. В. Почвенно-географический очерк дельт рек Теджена и Мургаба. Природные ресурсы Каракумов, ч. 4. Изд-во АН СССР, 1940.

Лобова Е. В. Почвы Юго-западной Туркмении. Почвы Туркменской ССР и их использование. М., Изд-во АН СССР, 1953.

Лобова Е. В. Почвы пустынной зоны СССР. М., Изд-во АН СССР, 1960.

Лопатин Г. В. Наносы рек СССР. М., Географгиз, 1952.

Любавин Н. Н. О селитряных землях Туркестана. 1881.

Максимов С. П. Общий отчет изысканий на р. Мургабе в целях обеспечения орошения Мургабского государева имения. СПБ., 1914.

Массон М. Е. История Туркменской ССР. Т. I, кн. 1, 2. Изд-во АН Туркменской ССР. Ашхабад, 1957.

Массон М. Е. Труды Южно-Туркменской комплексной археологической экспедиции. Т. XIV. Ашхабад, 1969.

Массон В. М. Древнеземледельческая культура Маргианы. МИА, 73. Изд-во АН СССР, 1959.

Массон В. М. Средняя Азия и Древний Восток. М., «Наука», 1964.

Мальцев Л. М. Режим грунтовых вод Мургабского оазиса. Материалы исследований в помощь проектировщикам и строителям Каракумского канала, вып. V. Ашхабад, 1959.

Материалы к характеристике народного хозяйства в Туркестане. Ч. I, отд. I и II; ч. II. СПб., 1911.

Материалы объединенной сессии ВАСХНИЛ и АН УзССР по вопросам мелиорации. Ташкент, Изд-во АН Узбекской ССР, 1967.

Мелиорация орошаемых почв Таджикистана (под редакцией П. А. Керзума и П. А. Панкратова). Душанбе, 1969.

Минашина Н. Г. Древнеорошаемые почвы Мургабского оазиса. — «Почвоведение», 1962, № 8.

Минашина Н. Г. Вторичные солончаки массивов древнего орошения. — «Почвоведение», 1963, № 3.

Минашина Н. Г. Распределение солей в почвах и грунтовых водах на массиве древнего орошения в центральной части Мургабской дельты. — В кн.: Влияние орошения на почвы оазисов Средней Азии. М., Изд-во АН СССР, 1963.

Минашина Н. Г. Особенности микростроения целинного серозема и орошаемых почв Зеравшанской долины. — В кн.: Влияние орошения на почвы оазисов Средней Азии. М., Изд-во АН СССР, 1963.

Минашина Н. Г. Изменение микростроения и свойств пустынных (такырных) почв под влиянием орошения. Доклады к VIII Международному конгрессу почвоведов. Физика, химия, биология и минералогия. М., «Наука», 1964.

Минашина Н. Г. Микроморфология лесса, сероземов, хейлуту и некоторые вопросы их палеогенезиса. — В сб.: Микрометрический метод в исследовании генезиса почв. М., «Наука», 1966.

Минашина Н. Г. Засоление и необходимость мелиораций почв древнего орошения в зоне Каракумского канала. «Почвоведение», 1964, № 2.

Минашина Н. Г. Окультуренные и опустыненные почвы Мургабского оазиса. — В кн.: Оазисное почвообразование и перспективы развития орошаемого земледелия. М., «Наука», 1965.

Минашина Н. Г. Почвы древнего орошения в Каракумской и Ливийской пустынях. — «Почвоведение», 1966, № 5.

Минашина Н. Г. Микроморфологические особенности пустынных почв. — В кн.: Микроморфология почв и рыхлых отложений. М., «Наука», 1973.

Минашина Н. Г. Почвы энеолитического оазиса Геоксюр. — В сб.: Земли древнего орошения и перспективы их сельскохозяйственного освоения. М., «Наука», 1969.

Минашина Н. Г. Изменения почвенного покрова в связи с исторической динамикой древнего орошения (по материалам Мургабского оазиса). — В сб.: Земли древнего орошения и перспективы их сельскохозяйственного освоения. М., «Наука», 1969.

Молодцов В. А. Состав и агрохимические свойства наносов Нила. — «Почвоведение», 1964, № 12.

Молодцов В. А. Ирригационные наносы оазисов долины р. Зеравшан и дельты р. Мургаб. — В сб.: Влияние орошения на почвы оазисов Средней Азии. Изд-во АН СССР, 1963.

Молодцов В. А. Изменение почв долины Зеравшана при орошении. — В кн.: Оазисное почвообразование и перспективы интенсификации орошаемого земледелия. М., «Наука», 1965.

Муратов М. Д. К мелиоративной характеристике серо-бурых почв Каршинской степи. — «Хлопководство», 1970, № 11.

Муратов М. Д. Освоение пустынных песчаных почв для орошаемого земледелия. — «Проблемы освоения пустынь», 1972, № 1.

Мухамеджанов М. В. Севообороты и углубление пахотного слоя почвы в районах хлопководства. Ташкент, Изд-во АН Узбекской ССР, 1962.

Набиль Р. Гидрогеологические условия дельты Нила. Бюллетень Московского общества испытателей природы. Т. 69. Отделение геологическое. Т. 33, в. 2, 1964.

Народное хозяйство Средней Азии. — В сборнике статей (под редакцией В. А. Юдина). Ташкент, «Узбекистан», 1964.

Недиров Р. Влияние форм азотных удобрений на рост, развитие и урожайность тонковолокнистого хлопчатника в Мургабском оазисе. Автореферат диссертации, ТСХИ, Ташкент, 1969.

Неуструев С. С. Почвенная карта хлопковых районов Туркестана. М., 1926.

Нечаева Н. Т. Динамика пастбищной растительности Каракумов под влиянием метеорологических условий. Изд-во АН Туркменской ССР, Ашхабад, 1958.

Ниязов О. Характеристика режима грунтовых вод зоны Каракумского канала в дельте р. Мургаб. —«Известия АН Туркменской ССР, сер. биол.», 1965, № 2.

Никитин В. В. Сорная растительность Туркмении. Ашхабад, 1957.

Народное хозяйство Туркменской ССР. Статистический сборник ЦСУ. Ашхабад, 1957.

Орлов М. А. Изменения почвообразовательных процессов пустынь Средней Азии под влиянием орошения. — В сб.: Хозяйственное освоение пустынь Средней Азии и Казахстана. САОГИЗ, Ташкент, 1934.

Орлов М. А. О сероземах и оазисно-культурных почвах. — «Труды САГУ, сер. VII», вып. 6, 1937.

Орлов М. А. Картография и география культурных (или пашенных) почв. —«Труды САГУ, в. 18 (биологические науки)», кн. 7, 1950.

Орлов М. А. Оазисно-культурные или хлопковые почвы Средней Азии. —«Труды САГУ, вып. 138 (биологические науки)», кн. 34, 1958.

Орошение и дренаж засоленных почв и их изменение при длительном использовании (под редакцией В. А. Ковды и Н. Г. Минашиной). М., «Наука», 1967.

Перельман А. И. Палыгорскит в ископаемых и реликтовых пустынных солонцах Средней Азии. —«Доклады АН СССР», т. 71, 1950, № 3.

Петров Е. Г., Уколов И. А. Мелиоративное состояние земель Мургабского оазиса и пути его улучшения. —«Гидротехника и мелиорация», 1964, № 5.

Плохинский Н. А. Биометрия. 2-е изд. М., Изд-во МГУ, 1970.

Поляков Н. В. Борьба с засолением земель при орошении. — «Советский хлопок», 1936, № 6.

Полетаев И. К. Планировка и преобразование мезорельефа орошаемых площадей Вахшской долины. Известия Отделения естественных наук АН Таджикской ССР, вып. 3, 1953.

Пономарева В., Плотникова Т. Методика и некоторые результаты фракционирования гумуса черноземов. —«Почвоведение», 1968, № 11.

Понятовский С. Опыт изучения хлопководства в Туркестане и Закаспийской области, 1913.

Почвы Голодной степи как объект орошения и мелиорации. М.—Л., Изд-во АН СССР, 1948.

Почвы аридной зоны как объект орошения (под редакцией В. В. Егорова и Н. Г. Минашиной). М., «Наука», 1968.

Почвы Вахшской долины и их мелиорация. Сталинабад, 1949.

Почвы дельты Мургаба и вопросы агротехники хлопчатника (под редакцией Н. С. Рыжова). Ташкент, 1957.

Расулов А. Засоление почвы Каршинской степи, пути их освоения и повышения плодородия. Автореферат диссертации, ТашСХИ, Ташкент, 1969.

Рабочев И. С. Мелиорация засоленных почв. Туркменгиздат, 1964.

Рабочев И. С., Егоров В. В., Минашина Н. Г. и др. Схема мелиоративной группировки почв Туркменской ССР. —«Проблемы освоения пустынь», 1969, № 1.

Решеткина Н. М., Рачинский А. А. О проблемах и принципах освоения целинных земель. —«Гидротехника и мелиорация», 1964, № 8.

Роговская Н. В. Методика гидрогеологического районирования для обоснования мелиораций. М., Госгеолтехиздат, 1959.

Роговская Н. В., Морозов А. Т. Статистический и гидродинамический анализ влияния орошения на грунтовые воды (закономерности формирования грунтовых вод дельты р. Мургаба). М., «Недра», 1964.

Розанов А. Н. Об изменении сероземов под влиянием орошения. Труды Почвенного института им. В. В. Докучаева. Т. 27. М., Изд-во АН СССР, 1948.

Розанов А. Н. Сероземы Средней Азии. М., Изд-во АН СССР, 1951.

Розанов А. Н. Новые данные о почвах Южной Туркмении. Труды Арало-Каспийской комплексной экспедиции, вып. 1. Изд-во АН СССР, 1954.

Розанов А. Н., Якубов Т. Ф., Минашина Н. Г. О поездке в Египет. —«Почвоведение», 1961, № 8.

Розов Л. П. Мелиоративное почвоведение. Сельхозгиз, 1936. Россия (под редакцией В. П. Семенова-Тяньшанского). Т. 19, Пг., 1913.

Рыжов С. Н. Причины образования корки на поливных землях Средней Азии. — В сб.: Вопросы физики, химии, мелиорации почвы и удобрений хлопчатника. Ташкент, Изд-во СоюзНИХИ, 1939.

Рыжов С. Н. Орошение хлопчатника в Ферганской долине. Ташкент, 1948.

Рыжов С. Н. Распределение легкоподвижной влаги при различном строении почвенно-грунтовой толщи. —«Почвоведение», 1960, № 11.

Рыжов С. Н. Современный уровень плодородия, вопросы орошения и классификации почв республик Средней Азии. —«Почвоведение», 1963, № 2.

Рыжов С. Н. Эффективность удобрений под хлопчатник на засоленных землях. —«Хлопководство», 1970, № 1.

Рыжов С. Н., Тихонова В. П. Влияние поливов на восстановление плужной подошвы после глубокой вспашки. —«Химизация социалистического земледелия», 1957, № 4.

Рыжов С. Н., Дурновцев Д. И., Устинович А. Ф. Причины образования уплотненного подпахотного слоя на поливных землях Средней Азии. —«Почвоведение», 1938, № 10.

Рыжов С. Н., Беспалов Н. Ф. Скорость подтока влаги и выноса солей в поверхностные слои почвы в светлых сероземах Голодной степи. Сборник трудов по агрономической физике, в. 8. Изд-во МСХ СССР, 1960.

Рыжов С. Н., Зиямухамедов И. А. Изменение содержания и состава гумуса сероземов и такырных почв при орошении. — «Почвоведение», 1971, № 7.

Савельева Т. Н. Аграрный строй Египта в период Древнего Царства. М., Изд-во восточной литературы, 1962.

Санин С. А., Турбин А. И. Особенности минералогического состава илистых фракций такыров Мургабского оазиса. —«Известия АН Туркменской ССР (серия биологическая)», 1963, № 6.

Сидоренко А. В. Эоловая дифференциация вещества в пустыне. — «Известия АН СССР (серия географическая)», 1956, № 4.

Система ведения сельского хозяйства в Туркменской ССР. Ашхабад, Изд-во АН Туркменской ССР, 1961.

Скворцов Ю. А. Почвенно-географический очерк долины р. Аму-Дарьи в пределах Чарджуйского водного округа. Известия Института почвоведения и геоботаники САГУ, в. 4. Ташкент, 1928.

Скосырева К. Н. Такыры в зоне орошения Каракумского канала и их сельскохозяйственное освоение. Труды института земледелия, в. III. 1962.

Спенглер В. В. Учет засоленных площадей в хлопковых колхозах. —«Гидротехника и мелиорация», 1938, в. 15—16.

Спенглер В. В. Солевой и водный режим засоленных почв дельты р. Мургаба при различном режиме орошения. Проблемы советского почвоведения, сб. 13, 1941.

Степанов И. Н., Курбанназаров М. Материалы к познанию генезиса пустынных песчаных почв и серо-бурых почв Центральных Каракумов. —«Проблемы освоения пустынь», 1971, № 4.

Студенов Н. М. Культура сельскохозяйственных растений на орошаемых землях в условиях Мервского района. М.—Л., 1930.

Теория и практика борьбы с засолением орошаемых земель (под редакцией С. Ф. Аверьянова), М., «Колос», 1971.

Топалов Г. М., Шерипов Д. Лизиметрические исследования суммарного испарения на посевах хлопчатника в Мургабском оазисе. —«Проблемы освоения пустынь», 1971, № 2.

Трапезников Ф. Ф. Динамика солей в почвах и грунтоых водах на массиве древнего орошения в дельте Мургаба. —«Известия АН Туркменской ССР (серия биологическая)», 1965, № 3.

Трапезников Ф. Ф. Солевой режим солончаков Мургабского оазиса. —«Известия АН Туркменской ССР», 1963, № 2.

Трапезников Ф. Ф. Проблема мелиорации засоленных земель в Мургабском оазисе. —«Хлопководство», 1965, № 5.

Туркмения, Т. 1—3. Изд-во АН СССР, 1929.

Турсунов Х. Минералогический состав илистой фракции почв долины среднего и нижнего течения р. Зеравшана. Автореферат диссертации. МГУ, 1970.

Умаров М. У. Физические свойства почв районов нового и перспективного орошения Узбекской ССР. Автореферат диссертации ТашГУ. Ташкент, 1971.

Умаров М., Икрамов Ж. Изменение свойств такырных почв под влиянием орошения. —«Сельское хозяйство Узбекистана», 1967, № 12.

Успанов У. У. Генезис и мелиорация такыров. —«Труды Почвенного института им. В. В. Докучаева». Т. 19. М., Изд-во АН СССР, 1940.

Усманова З. И. Новые данные к археологической стратиграфии Эрк-Калы. Труды ЮТАКЕ. Т. XIV. Ашхабад, 1969.

Фахми Г. Р. О составе гумуса в почвах долины Нила. — «Вестник МГУ». Серия 6, 1963, № 5.

Фахми Г. Р. Почвы долины Нила в районе Бени-Суэйф. Автореферат диссертации, МГУ, 1963.

Федоров Б. В. Агромелиоративное районирование зоны орошения Средней Азии. Ташкент, Изд-во АН Узбекской ССР, 1953.

Федорович Б. А., Кесь А. С. Субаэральная дельта Мургаба. Труды геоморфологического института, вып. 12, 1934.

Фелициант И. Н. Опыт изучения закономерностей капиллярного передвижения воды и растворов солей в слоистых грунтах. Ташкент, 1961.

Фелициант И. Н. Почвы Хорезмской области. Почвы Узбекской ССР, Т. III. Ташкент, 1964.

Фурсов В. Н. Агрохимические и биологические свойства почв различных агрофонов и их изменение под влиянием севооборотов и длительного применения удобрений. — В сб.: Научно-исследовательские работы по хлопководству. Ашхабад, «Туркменистан», 1966.

Фурсов В. Н., Недиров Р. Н. Изменение физических свойств пустынных почв под влиянием севооборотов. — В сб.: Научно-исследовательские работы по хлопководству. Ашхабад, «Туркменистан», 1966.

Фурсов В. Н. Дождевые черви на травяных и хлопковых полях южной Туркмении. «Доклады АН СССР». Т. 122, 1958, № 1.

Херст Г. Нил. М., ИЛ, 1954.

Цинзерлинг В. В. Орошение на Амударье. 1927.

Чарыев М. К., Мелешкин В. Д. Почвы зоны Каракумского канала. —«Хлопководство», 1962, № 11.

Шамов Г. И. Речные взвеси. Л., Гидрометеоиздат, 1954.

Шаумян В. А. Научные основы орошения и оросительных сооружений. М., 1948.

Шахназаров А. Очерк сельского хозяйства Туркестанского края. СПб., 1898.

Шварц О. Солевые превращения в почвах Ирака. —«Почвоведение», 1961, № 1.

Шейнкин Г. Ю. Эксплуатационные методы борьбы с наносами на оросительных системах с помощью отстойников озерного типа. Труды Института почвоведения, мелиорации и гидротехники. Т. 5. Почвы Вахшской долины. Сталинабад, 1957.

Шлегель Б. Х. Мервский оазис и его орошение из р. Мургаба. Труды 2 южно-русского мелиоративного съезда. Киев, ч. 1, 1912; ч. 2, Одесса, 1912.

Шубин И. Д. Изучение обработки почв под хлопчатник в дельте р. Мургаба. Труды Марыйской опытной станции. Т. 1, Мары, 1963.

Шубин И. Д. и др. Роль дренажа в повышении урожайности тонковолокнистого хлопчатника. —«Хлопководство», 1972, № 1.

Шувалов С. А. Географо-генетические закономерности формирования пустынно-степных и пустынных почв на территории СССР —«Почвоведение», 1966, № 3.

Якубов Т. Ф. Пески оазиса Харга в Ливийской пустыне Египта и связанные с ними проблемы. —«Известия АН СССР (серия географическая)», 1968, № 3.

Ярилов А. А. Почвы Египта прежде и теперь. —«Почвоведение», 1937, № 1.

Abedine A. Z., Mahfous Abdalla M. The Soils of Egyptian Deserts III. The Improverent of Physical and some Chemical Properties of Wind-born Sand Sediments under Farm Management. Cairo University, Faculty of Agriculture, Bull. N 16, Cairo univ. Press., 1958.

Abedine A. Z., Fathi A. and Hafez A. Seasonal Variation of Solid Matter in Irrigation and Drainage Water, with some Aspects of Their Conditions after the High Dam. J. Soil Sci. UAR, 1964, v. IV, N 2.

Anwar R. M. Soil and Land Classification of Baris Plain in El Kharga oasis. Publ. de L'Inst. du Desert d'Egypte, 1960, N 11—12.

Ball J. Contributions to the Geography of Egypt. Gov. Press. Cairo, 1939.

Bowser W. E. Report to the Goverment of Egypt on Soil and Water Studies in the Mediterranean Coastal Zone. Cairo, 1959.

Butzer K. W. Climatic change in arid regions since the Pliocene A History of Land use in Arid Regions. UNESCO, Paris, 1961.

Buring P. Soils and Soil Conditions in Iraq. Baghdad, 1960.

Buursink J. Soil of Central Sudan. Unrecht, 1971.

Damati A. H. and Mobarek M. Studies on the Tahrear Province of the UAR. Part I, Cropping Effects on Some Physical and Chemical Properties of the Soil. J. Soil Sci. UAR, 1962, v. II, N 2.

Elgabaly M. M. The presence of Attapulgite in some Soils of the Western Desert of Egypt. Soil. Sci., 1964, v.. 93, N 3.

Hardan Adnan. Removal of Salts from Undisturbed Saline—Alkali Soil Columns by Different Leaching Waters. Symp. Proc. Man., Food and Agr. in the Middle East, AUB, 1969.

Hardan A. Dating of Soil Salinity in the Mesopotamian Plain. Simp. of the Age of Parent Materials and Soils. Amsterdam, August, 1970.

Hardan A. and Whitting L. D. Alkali Soil Formation as Influented by Organic Matter, Sulfate and Calcium Carbonata. Agrokenia Es Talajtan, v. 14. Budapest, 1965.

Hamdy H. A Study of Egyptian Clay Mineral Type by the Electron Microscope. Fouad Univ. Press, Cairo, 1953.

Hamby H. The Mineralogy of the Fine Fraction of the Alluvial Soils of Egypt. J. Soil Sci. UAR, 1967, v. 7, N 1.

Jacobson F. and Adams R. M. Salt and Silt in ancient Mesopotamian Agriculture. Science, 128, 1958, N. 3334, 21.

Kaddah, Malek. The Soils of Egypt. Soil Sci., 1948, v. 65, N 5.

Kaddah, Malek. Soil Suvey of the Northern-West Sinai Project. Mataria, 1956.

Kovda V. A. Report Submitted to the National Research Centre of Egypt. Silinity Problems of Irrigation Soils in Egypt. Cairo, 1958.

International Source Book on Irrigation and Drainage of Arid Lands in Relation to Salinity and Alkalinity. FAO/UNESCO, Paris, 1967.

Minashina N. G. Soil Formation and Salt Migration in the Murgab Rever Delta. Trans. 9-th Int. Congr. pf Soil Sci.; Australia, 1968.

Moustafa A. H., Shabassy A. J., Mitkees A. G. Soil Investigation on Kharga Oasis. Agr. Reaserch Review, UAR, 1958, v. 36, N 2.

Mostafa A. H. The Hydrogen Jon Concentration of Egyptian Soils. Agr. Research Review. UAR, 1958, v. 36. N 2.

Paver G. L., Pretorius D. A. Report on Hydrological Investigation in Kharga and Dakhla Oases. Publ. De L'Institute Du Desert D'Egypt. N 4, Heliopolis, 1954.

Schoonover W. El-Gabaly M. M. and Naguib H. A. Study of Some Egyptian Saline and Alkali Soils. Hilgardia, 1957, v. 26, N 13.

Samie A. G. The Use of Sprincler Irrigation in the Desert Soil Reclamation at Inchass Farm. Soil Depart; Desert Inst. Cairo, 1958.

Tunisi Research and Training on Irrigation with Saline Water. Technical Report 1962—1969. UNESCO, Paris, 1970.

Whyte R. O. Evolution of Land Use in South — Western Asia. A History of Land Use in Arid Regions. UNESCO, 1961.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие 3

Глава I. **Из истории орошаемого земледелия и борьбы с засолением почв** 5

Условия зарождения и распространения орошаемого земледелия 5
Стадии развития орошаемого земледелия 7
Развитие орошения в Мургабском оазисе 16

Глава II. **Особенности природных условий объектов исследования** 24

Климат 24
Геоморфология и геологическое строение 26
Гидрография и источники орошения 34
Гидрогеологические условия 38
Растительный покров 43

Глава III. **Развитие почвенного покрова в естественных условиях** 45

К истории изучения почв 45
Особенности почвообразования в сухих дельтах . . . 46
Гидроморфные почвы 47
Опустынивание гидроморфных почв 50
Опустынивание почв на землях древнего орошения . . 52
Соленакопление в природных гидроморфных и опустыненных почвах 68
Элементы плодородия и питания растений 79
Емкость обмена и состав поглощенных оснований . . 86
Сущность опустынивания и микроструктура такыров . 92
Пустынно-песчаные почвы и их сравнительная характеристика с сероземными песчаными почвами . . . 98
Серо-бурые почвы 115
Плодородие и мелиоративные особенности почв дельты 125

Глава IV. **Влияние орошения на почвы** 129

Изменение условий почвообразования 129
Изменение физических и водно-физических свойств почв 143
Изменение минералогического, химического состава и физико-химических свойств почв 157
Изменения содержания гумуса и питательных элементов 172

Глава V. **Классификация оазисных почв** 185

К истории вопроса о классификации оазисных почв . . 185
Зональная общность орошаемых почв 189
Классы оазисных почв 224
Ряды оазисных почв по гидроморфности 234
Типы оазисных почв 245

Глава VI. **Почвенно-мелиоративное районирование Мургабского оазиса и изменение мелиоративного состояния земель после пуска первой очереди Каракумского канала** . . 249

Развитие орошения в Мургабском оазисе 249
Почвенно-мелиоративное районирование Мургабского оазиса 255
Верхняя часть оазиса. Юго-Восточный массив . . . 256
Куйбышевский массив 278
Средняя часть оазиса. Южно-Байрам-Алийский массив 280
Центральный солончаковый массив 284
Нижняя часть оазиса. Марыйский массив 291
Северо-Байрам-Алийский массив древнего орошения 299
Изменения засоления земель нового освоения под влиянием орошения водами Каракумского канала 307
Метаморфизация солевого состава почвенно-грунтовых вод на массиве нового орошения 315
Опыт дренажа на засоленных почвах в Мургабском оазисе 330

Заключение 345

Список литературы 351

Минашина Нина Георгиевна
ОРОШАЕМЫЕ ПОЧВЫ ПУСТЫНИ
И ИХ МЕЛИОРАЦИЯ

Редактор С. А. Крылатова
Художественный редактор З. П. Зубрилина
Технический редактор В. М. Деева
Корректор А. В. Пригарина

Сдано в набор 21/I 1974 г. Подписано к печати 2/IV 1974 г. Формат 84×108¹/₃₂. Бумага тип. № 2. Усл.-печ. л. 19,32. Уч.-изд. л. 20,83. Изд. № 22. Тираж 2200 экз. Заказ № 6653. Цена 1 р. 36 к.

Ордена Трудового Красного Знамени
издательство «Колос», 103716, ГСП,
Москва, К-31, ул. Дзержинского, д. 1/19.

Типография им. Смирнова Смоленского
облуправления издательств, полиграфии
и книжной торговли, г. Смоленск,
пр. им. Ю. Гагарина, 2.